



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΩΝ, ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ
Π.Μ.Σ. ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ (MBA) ΜΕ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ
DIGITAL BUSINESS

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Τίτλος εργασίας

Διαχείριση ουρών αναμονής μιας υγειονομικής κρίσης σε δομές υγείας, μελέτη περίπτωσης Covid-19.

Συγγραφέας

Όνοματεπώνυμο:

Καρυδάκης Πέτρος

ΑΜ: 20024

Επιβλέπων:

Όνοματεπώνυμο:

Βρυζίδης Ισαάκ

Αθήνα, Νοέμβριος 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF MANAGEMENT, ECONOMICS & SOCIAL
SCIENCE
DEPARTMENT OF BUSINESS ADMINISTRATION
MASTER IN BUSINESS ADMINISTRATION (MBA) in DIGITAL
BUSINESS

Diploma Thesis

Title

Queue management of a health crisis in health facilities, Covid-19 case study.

Student name and surname:

Karydakis Petros

Registration Number:

20024

Supervisor name and surname:

Vryzidis Isaak

Athens, November 2024

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Βρυζίδης Ισαάκ	Επίκουρος Καθηγητής	
2	Σαλμόν Ιωάννης	Αναπληρωτής Καθηγητής	
3	Σπυριδάκος Αθανάσιος	Καθηγητής	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Καρυδάκης Πέτρος του Παναγιώτη, με αριθμό μητρώου 20024 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών MBA Διοίκηση Επιχειρήσεων του Τμήματος Διοίκησης Επιχειρήσεων της Σχολής Διοικητικών Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών
Καρυδάκης Πέτρος



Καρυδάκης Πέτρος

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζει τη διαχείριση υγειονομικής κρίσης σε φαρμακείο και νοσοκομείο, χρησιμοποιώντας μεθόδους επιχειρησιακής έρευνας, και συγκεκριμένα τη διαχείριση ουρών αναμονής. Η επιχειρησιακή έρευνα αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο στην ανάλυση και βελτιστοποίηση της ροής ασθενών και της κατανομής πόρων, με στόχο τη μείωση των χρόνων αναμονής και τη βελτίωση της αποδοτικότητας των υπηρεσιών υγείας. Μέσω της εφαρμογής αυτών των μεθόδων, αναλύονται οι διαφορές στις απαιτήσεις μεταξύ ενός φαρμακείου και ενός νοσοκομείου, παρέχοντας προτάσεις για την ενίσχυση της διαχείρισης κρίσεων σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου και στους καθηγητές του τμήματος για την εξαιρετική συνεργασία και καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας μου. Επίσης, ευχαριστώ θερμά τους συμφοιτητές μου για την αλληλοϋποστήριξη και την ομαδική δουλειά, καθώς και την οικογένειά μου για την αδιάκοπη στήριξη και ενθάρρυνση.

18/11/2024

Καρυδάκης Πέτρος

Επιτελική Σύνοψη

Η αναμονή σε ουρές είναι ένα παγκόσμιο φαινόμενο και η θεωρία της είναι η μελέτη της κίνησης ανθρώπων, αντικειμένων ή πληροφοριών μέσω μιας γραμμής. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η ανάλυση των ουρών αναμονής θεωρητικά αλλά και πρακτικά με τη μελέτη δύο παραδειγμάτων εξυπηρέτησης, ένα σε φαρμακείο και ένα στα επείγοντα ενός νοσοκομείου.

Αναλυτικότερα ασχοληθήκαμε με λειτουργικά δεδομένα ενός νοσοκομείου και ενός φαρμακείου διαπιστώνοντας πως λειτούργησαν την περίοδο της πανδημίας εξετάζοντας ποια ήταν τα προβλήματα που οδήγησαν σε σημαντικές καθυστερήσεις στην διάγνωση του ιού covid 19, διάγνωση η οποία ουσιαστικά γίνεται είτε στα φαρμακεία είτε στα επείγοντα ενός νοσοκομείου, αλλά παράλληλα δημιουργήσαμε σενάρια τα οποία θα βοηθούσαν στην ελαχιστοποίηση του χρόνου στις ουρές αναμονής.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η θεωρία της ουράς αναμονής γενικότερα και τα θεωρήματα που τη διέπουν. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η θεωρία της ουράς αναμονής στην υγειονομική περίθαλψη κάτι που αφορά και τις δύο περιπτώσεις που μελετήθηκαν. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η θεωρία της ουράς αναμονής σχετικά με την πανδημία Covid-19. Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται οι δύο εφαρμογές που αναφέρθηκαν και παραπάνω, μία σε φαρμακείο και μία στα επείγοντα περιστατικά ενός νοσοκομείου. Στο πέμπτο κεφάλαιο αποτυπώνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν συνολικά τόσο από το θεωρητικό όσο και από το ερευνητικό πλαίσιο. Τέλος, καταγράφονται λεπτομερώς οι βιβλιογραφικές αναφορές που χρησιμοποιήθηκαν σε όλη την εργασία.

Λέξεις – Κλειδιά: θεωρία ουρών αναμονής, φαρμακείο, νοσοκομείο, πανδημία.

Abstract

Queuing is a global phenomenon and its theory is the study of the movement of people, objects or information through a line. The purpose of this paper was to analyze waiting lines theoretically as well as practically by studying two examples of services, one in a pharmacy and one in the emergency room of a hospital.

In more detail, we dealt with the operational data of a hospital and a pharmacy, finding out how they worked during the pandemic period, examining what were the problems that led to significant delays in the diagnosis of the covid 19 virus, a diagnosis which is actually made either in pharmacies or in the emergency rooms of a hospital, but at the same time we created scripts that would help minimize the time in the waiting lines.

The first chapter presents the theory of the waiting queue in general and the theorems that govern it. In the second chapter, the theory of the waiting line in health care is presented, something that concerns both cases studied. The third chapter presents the queuing theory in relation to the Covid-19. In the fourth chapter, the two applications mentioned above are presented and analyzed, one in a pharmacy and one in emergency rooms and hospital Covid-19 clinics. In the fifth chapter, the conclusions obtained from both the theoretical and the research framework are reflected. Finally, the bibliographic references used throughout the work are recorded in detail.

Keywords: *queuing theory, pharmacy, hospital, pandemic.*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΟΥΡΑΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ.....	10
1.1 Εισαγωγή	10
1.2 Τα κύρια χαρακτηριστικά της θεωρίας ουρών αναμονής	12
1.2.1 Παράγοντες Ουράς – Άφιξη	13
1.2.2 Παράγοντες Ουράς – Η Ουρά.....	13
1.2.3 Παράγοντες Ουράς – Εξυπηρέτηση.....	14
1.2.4 Παράγοντες Ουράς – Αποχώρηση	14
1.3 Το θεώρημα του Little	15
1.4 Η σημείωση του Kendall	15
1.5 Πειθαρχία στην ουρά	16
1.5.1 Ουρά πρώτης εισόδου, πρώτης εξόδου.....	16
1.5.2 Ουρά τελευταίας εισόδου, πρώτης εξόδου	17
1.5.3 Ουρά προτεραιότητας	17
1.6 Ψυχολογία ουρών και ο αντίκτυπός της στη θεωρία της ουράς	18
1.6.1 Η ουρά αναμονής ως απώλεια	20
1.6.2 Αριθμός ατόμων στην ουρά.....	20
1.6.3 Η ιδανική ποσότητα προσωπικού χώρου.....	23
1.6.4 Το ιδανικό περιβάλλον αναμονής.....	23
1.6.4.1 Περισπασμοί.....	24
1.6.4.2 Μουσική.....	25
1.6.4.3 Μυρωδιά	26
1.6.4.4 Χρώμα.....	26
1.6.4.5 Φωτισμός	27
1.6.4.6 Ορατότητα εργαζομένων	27
1.7 Εκθετικές και Poisson κατανομές πιθανοτήτων	27

1.7.1 Η διαδικασία εισαγωγής	28
1.7.2 Η διαδικασία εξόδου	28
1.8 Διαχείριση συστήματος ουράς και λειτουργική αποτελεσματικότητα	28
1.8.1 Βελτίωση της παραγωγικότητας των εργαζομένων.....	28
1.8.2 Βελτίωση της διαχείρισης από τη διοίκηση.....	29
1.8.3 Απόκτηση γνώσεων πελατών	29
1.8.4 Μείωση των διαδρόμων.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΟΥΡΑΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗ	30
2.1 Η χρησιμότητα των μοντέλων ουράς στην υγειονομική περίθαλψη	30
2.2 Συνολικά κόστη	31
2.3 Μελέτες περιπτώσεων	34
2.4 Σχεδιασμός και οργάνωση υπηρεσιών.....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΟΥΡΑΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΚΑΙ ΠΑΝΔΗΜΙΑ COVID-19.....	42
3.1 Εισαγωγή	42
3.2 Θεωρία ουρών και περιστατικά μαζικών απωλειών	43
3.3 Ουρά αναμονής και Covid-19.....	46
Περίπτωση (i): Κατάσταση υπό έλεγχο	56
Περίπτωση (ii): Κατάσταση μερικώς εκτός ελέγχου	56
Περίπτωση (iii): Κατάσταση εκτός ελέγχου.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΟΥΡΑΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗ	63
4.1 Φαρμακείο -Εφαρμογή θεωρίας ουρών αναμονής σε ένα φαρμακείο για τεστ covid... 63	
4.2 Παράρτημα του παραδείγματος σε excel.....	73
3.2 Νοσοκομείο -Εφαρμογή θεωρίας ουρών αναμονής σε νοσοκομείο με covid	77
Χρήση πραγματικών δεδομένων νοσοκομείου.....	79
4.2 Παράρτημα του παραδείγματος σε excel.....	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	87

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΟΥΡΑΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ

1.1 Εισαγωγή

Η θεωρία ουρών είναι ένας κλάδος των μαθηματικών που μελετά πώς σχηματίζονται οι γραμμές, πώς λειτουργούν και γιατί δυσλειτουργούν. Η θεωρία της ουράς εξετάζει κάθε στοιχείο της αναμονής στην ουρά, συμπεριλαμβανομένης της διαδικασίας άφιξης, της διαδικασίας εξυπηρέτησης, του αριθμού διακομιστών, του αριθμού των θέσεων του συστήματος και του αριθμού των πελατών—που μπορεί να είναι άτομα, πακέτα δεδομένων, αυτοκίνητα ή οτιδήποτε άλλο. Οι πραγματικές εφαρμογές της θεωρίας αναμονής καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα επιχειρήσεων. Τα ευρήματά του οποίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή ταχύτερης εξυπηρέτησης πελατών, την αύξηση της ροής της κυκλοφορίας, τη βελτίωση των αποστολών παραγγελιών από μια αποθήκη ή το σχεδιασμό δικτύων δεδομένων και τηλεφωνικών κέντρων. Ως κλάδος της επιχειρησιακής έρευνας, η θεωρία αναμονής μπορεί να βοηθήσει στην ενημέρωση των επιχειρηματικών αποφάσεων σχετικά με τον τρόπο δημιουργίας πιο αποτελεσματικών και οικονομικά πιο αποδοτικών συστημάτων ροής εργασίας (Aziati & Hamdan, 2018; Rashid et al., 2015):

1. Η θεωρία της ουράς είναι η μελέτη της κίνησης ανθρώπων, αντικειμένων ή πληροφοριών μέσω μιας γραμμής.
2. Η μελέτη της συμφόρησης και των αιτιών της σε μια διαδικασία χρησιμοποιείται για να βοηθήσει στη δημιουργία πιο αποτελεσματικών και οικονομικά αποδοτικών υπηρεσιών και συστημάτων.
3. Η θεωρία της ουράς που χρησιμοποιείται συχνά ως εργαλείο διαχείρισης λειτουργιών μπορεί να αντιμετωπίσει ελλείψεις προσωπικού, προγραμματισμού και εξυπηρέτησης πελατών.
4. Ορισμένες ουρές είναι αποδεκτές στις επιχειρήσεις. Εάν δεν υπάρχει ποτέ ουρά, είναι σημάδι πλεονάζουσας χωρητικότητας.
5. Η θεωρία της ουράς αποσκοπεί στην επίτευξη μιας ισορροπίας που να είναι αποτελεσματική και οικονομικά προσιτή.

Το πεδίο της θεωρίας της ουράς αναμονής ξεκίνησε στις αρχές του 1900 και έχει εδραιωθεί με εφαρμογές σε διάφορους τομείς, όπως η κατασκευή, η πληροφορική, οι τηλεπικοινωνίες και η υγειονομική περίθαλψη (Medhi, 2002). Αρκετοί ερευνητές, ωστόσο, ανέλαβαν να ερευνήσουν το εύρος της εφαρμογής της θεωρίας αναμονής στην υγειονομική περίθαλψη (Hassin & Mendel, 2008; McClain, 1976; Nosek Jr & Wilson, 2001). Ενδιαφέρον για την τρέχουσα μελέτη είναι το εύρημα μιας πιο πρόσφατης έρευνας από τους Fomundam & Herrmann (2007). Οι ερευνητές βρήκαν μια ποικιλία

στην εφαρμογή της θεωρίας της ουράς στην υγειονομική περίθαλψη, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου αναμονής και της ανάλυσης χρήσης, του σχεδιασμού του συστήματος, των συστημάτων ραντεβού και του μεγέθους του συστήματος. Ωστόσο, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι στόχοι απόδοσης που επιβάλλονται στις υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης είναι πιθανό να οδηγήσουν μόνο σε συμφορήσεις και κακή ποιότητα υπηρεσιών και είναι απίθανο να είναι μια επιτυχημένη προσέγγιση για τον περιορισμό και τη μείωση του κόστους υγειονομικής περίθαλψης. Αυτό το εύρημα και αυτά των Ball et al. (2014), της πολύτιμης περίθαλψης που δεν έχει γίνει από νοσηλευτές στους θαλάμους, καθιστούν επείγουσα την ανάγκη καλύτερης κατανόησης της συμβιωτικής σχέσης μεταξύ της πλευράς της περίθαλψης του ασθενούς και της πλευράς του προσωπικού της περίθαλψης.

Ένα σύστημα ουράς μπορεί να περιγραφεί ως ένα λογικό φαινόμενο όπου οι πελάτες φτάνουν σύμφωνα με μια διαδικασία άφιξης για να εξυπηρετηθούν από μια εγκατάσταση εξυπηρέτησης σύμφωνα με μια διαδικασία εξυπηρέτησης. Κάθε υπηρεσία παροχής υπηρεσιών μπορεί να περιέχει έναν ή περισσότερους διακομιστές και γενικά θεωρείται ότι κάθε διακομιστής μπορεί να εξυπηρετεί μόνο έναν πελάτη κάθε φορά. Εάν όλοι οι διακομιστές είναι απασχολημένοι, τότε ο πελάτης αναγκάζεται στη συνέχεια να κάνει ουρά για μια υπηρεσία. Εάν ένας διακομιστής γίνει ξανά ελεύθερος, τότε ο επόμενος πελάτης επιλέγεται από την ουρά σύμφωνα με τους κανόνες που δίνονται από τον κλάδο της ουράς. Κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας, ένας πελάτης μπορεί να περάσει από ένα ή περισσότερα στάδια εξυπηρέτησης, πριν αποχωρήσει από το σύστημα. Στη θεωρία της ουράς, τα μοντέλα χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν τα χαρακτηριστικά ενός συστήματος αναμονής. Μερικά από τα πιο συχνά θεωρούμενα χαρακτηριστικά συζητούνται παρακάτω (Peter & Sivasamy, 2019):

(α) Μήκος ουράς που είναι ο μέσος αριθμός πελατών στην ουρά που περιμένουν να λάβουν μια υπηρεσία. Οι μεγάλες ουρές μπορεί να υποδεικνύουν κακές επιδόσεις διακομιστή ενώ οι μικρές ουρές μπορεί να υποδηλώνουν υπερβολική χωρητικότητα του διακομιστή.

(β) Μήκος συστήματος που είναι ο μέσος αριθμός πελατών στην ουρά εντός του συστήματος, δηλαδή αυτοί που αναμένουν και αυτοί που εξυπηρετούνται. Οι μεγάλες τιμές αυτών των στατιστικών υποδηλώνουν συμφόρηση και πιθανώς δυσαρέσκεια των πελατών και πιθανή ανάγκη για μεγαλύτερη ικανότητα εξυπηρέτησης.

(γ) Ο χρόνος αναμονής στην ουρά εξηγεί τον μέσο χρόνο που πρέπει να περιμένει ένας πελάτης στην ουρά για να λάβει υπηρεσία. Οι μεγάλοι χρόνοι αναμονής σχετίζονται άμεσα με τη δυσαρέσκεια των πελατών και την πιθανή απώλεια μελλοντικών εσόδων, ενώ οι πολύ μικροί χρόνοι αναμονής μπορεί να υποδηλώνουν υπερβολική ικανότητα εξυπηρέτησης.

(δ) Ο συνολικός χρόνος στο σύστημα δίνει τον μέσο χρόνο που ξοδεύει ένας πελάτης στο σύστημα, από τη στιγμή της συμμετοχής στην ουρά μέχρι την ολοκλήρωση της υπηρεσίας. Οι μεγάλες τιμές αυτού του στατιστικού είναι ενδεικτικές της ανάγκης να γίνουν προσαρμογές στην ικανότητα εξυπηρέτησης.

(ε) Ο χρόνος αδράνειας υπηρεσίας εξηγεί τη σχετική συχνότητα εντός της οποίας τα συστήματα υπηρεσίας βρίσκονται σε αδράνεια και αυτός ο χρόνος αδράνειας σχετίζεται άμεσα με το κόστος. Ωστόσο, η μείωση του χρόνου αδράνειας μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στα άλλα χαρακτηριστικά που αναφέρονται.

1.2 Τα κύρια χαρακτηριστικά της θεωρίας ουρών αναμονής

Η θεωρία της ουράς είναι ουσιαστικά μία διαδικασία ανάλυσης κόστους. Θα ήταν απαγορευτικά δαπανηρό ή ενδεικτικό της έλλειψης πολλών πελατών, για τις περισσότερες επιχειρήσεις να λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε κανένας από τους πελάτες τους να μην χρειάζεται ποτέ να περιμένει στην ουρά. Ως απλοϊκό παράδειγμα, για να εξαλείψει ένας κινηματογράφος την περίπτωση των ανθρώπων να περιμένουν στην ουρά για να αγοράσουν ένα εισιτήριο κινηματογράφου, πιθανότατα θα χρειαστεί να δημιουργήσει πενήντα έως εκατό θαλάμους εισιτηρίων. Ωστόσο, το θέατρο προφανώς δεν είχε τη δυνατότητα να πληρώσει εκατό υπαλλήλους. Ως εκ τούτου, οι επιχειρήσεις χρησιμοποιούν πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί από τη θεωρία ουρών προκειμένου να ρυθμίσουν τις λειτουργικές τους λειτουργίες έτσι ώστε να εξισορροπήσουν το κόστος εξυπηρέτησης των πελατών και την ταλαιπωρία που προκαλείται στους πελάτες λόγω της αναμονής στην ουρά. Τα βασικά στοιχεία μιας ουράς περιλαμβάνουν τους ανθρώπους που περιμένουν στην ουρά και την απόδοση της υπηρεσίας που περιμένουν να λάβουν. Στις μελέτες για την ουρά, συνήθως αναλύεται σε τέσσερις κατηγορίες, ως εξής (Sztirik, 2012):

1. **Αφιξη** – Η διαδικασία με την οποία οι πελάτες φτάνουν στη γραμμή/ουρά.

2. **Η ουρά** – Η φύση ή η λειτουργία της ίδιας της ουράς (Πώς κινείται η γραμμή;).

3. **Η εξυπηρέτηση** – Η διαδικασία παροχής της υπηρεσίας που περιμένει ένας πελάτης (για παράδειγμα, κάθεται και στη συνέχεια σερβίρεται σε ένα εστιατόριο – σημειώστε ότι το εστιατόριο πρέπει να λάβει υπόψη τη δυναμική δύο ξεχωριστών ουρών, την ουρά των ατόμων που περιμένουν να καθίσουν και, στη συνέχεια, την ουρά των ατόμων που ήδη κάθονται και περιμένουν να σερβιριστούν. Το τελευταίο μπορεί να αναλυθεί περαιτέρω στις δύο ουρές αναμονής για την παραλαβή της παραγγελίας σας και αναμονής για να φτάσει το φαγητό στο τραπέζι).

4. **Έξοδος** – Η διαδικασία αναχώρησης από την τοποθεσία της ουράς (για παράδειγμα, οι επιχειρήσεις

που προσφέρουν υπηρεσία μετακίνησης πρέπει να λάβουν υπόψη πώς οι άνθρωποι που εγκαταλείπουν το αυτοκίνητο μπορεί να επηρεάσουν τους ανθρώπους που εισέρχονται στο χώρο στάθμευσης της επιχείρησης).

1.2.1 Παράγοντες Ουράς – Άφιξη

Τα μοντέλα ουράς αναλύουν τις λειτουργικές πτυχές και τις μεταβλητές που εμπλέκονται σε καθεμία από τις τέσσερις κατηγορίες ουρών που περιγράφονται παραπάνω. Ακολουθούν ορισμένες από τις μεταβλητές που μπορούν να επηρεάσουν τη λειτουργία και τη λειτουργική αποτελεσματικότητα κάθε τμήματος μιας ουράς και, ως εκ τούτου, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από την επιχείρηση όπου σχηματίζεται μια ουρά. Οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη σε σχέση με την άφιξη ατόμων στην τοποθεσία της ουράς περιλαμβάνουν πράγματα όπως ο αριθμός των ατόμων, κατά μέσο όρο, που φτάνουν εντός ενός δεδομένου χρονικού πλαισίου, όπως μία ώρα. Ένας σχετικός παράγοντας είναι αυτός των σημαντικών διακυμάνσεων στην ποσότητα της κίνησης/αφίξεων που συμβαίνουν σε διαφορετικές ώρες της ημέρας ή/και σε διαφορετικές ημέρες της εβδομάδας ή του μήνα. Τα παντοπωλεία γνωρίζουν, για παράδειγμα, ότι για να αποφευχθεί η δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας στις ουρές, πρέπει να έχουν περισσότερους υπαλλήλους που εργάζονται κατά τις ώρες αιχμής την Παρασκευή από ό,τι, ας πούμε, τα πρωινά της Τετάρτης από τις 10 π.μ. έως το μεσημέρι (Ahsan et al., 2014).

1.2.2 Παράγοντες Ουράς – Η Ουρά

Πώς κινείται η γραμμή; Για παράδειγμα, λειτουργεί καλύτερα για μια τράπεζα να έχει μόνο μια σειρά πελατών που περιμένουν τον επόμενο διαθέσιμο ταμείο ή ταμιά ή να έχει ξεχωριστές γραμμές για κάθε ταμείο; Τα χαρακτηριστικά της ανθρώπινης συμπεριφοράς γίνονται σημαντικό μέρος της θεωρίας της ουράς όταν τίθεται μια τέτοια ερώτηση. **Ενώ μια γραμμή πελατών που τροφοδοτείται σε τέσσερα διαφορετικά ταμεία έναντι τεσσάρων ξεχωριστών γραμμών σε κάθε ταμείο μπορεί να μην έχει σημαντική επίδραση στο πόσο γρήγορα ή αποτελεσματικά εξυπηρετούνται οι πελάτες, μπορεί κάλλιστα να έχει αντίκτυπο στην ικανοποίηση των πελατών.** Αν και τελικά, ο χρόνος αναμονής για την εξυπηρέτηση μπορεί να είναι περίπου ο ίδιος, ανεξάρτητα από τη διεύθυνση της γραμμής, οι πελάτες μπορεί να αισθάνονται ή να αντιλαμβάνονται ότι εξυπηρετούνται πιο γρήγορα εάν πρέπει μόνο να περιμένουν στην ουρά πίσω από δύο ή τρία άτομα (κάθε ταμείο ή σταθμός έχει τη δική του ουρά) σε αντίθεση με το να πρέπει να στέκεται στην ουρά πίσω από 10 ή 12 άτομα (μία γραμμή πελατών τροφοδοτείται και στους τέσσερις σταθμούς ταμείων). Υπάρχουν επίσης βασικές πρακτικές που πρέπει να λάβετε υπόψη: Εάν το γραφείο της επιχείρησης είναι σχετικά μικρό, η χρήση μιας μόνο γραμμής θα έχει ως αποτέλεσμα μια γραμμή τόσο μεγάλη ώστε να εκτείνεται πίσω από την

πόρτα; Πολλοί άνθρωποι βλέποντας μια τέτοια κατάσταση μπορεί κάλλιστα να αποθαρρύνονται από το να δραστηριοποιούνται εκεί. Αντίθετα, μπορούν να επιλέξουν να πάνε σε έναν ανταγωνιστή που φαίνεται να προσφέρει λιγότερο χρόνο αναμονής. Η συναλλαγή με τον ανταγωνιστή μπορεί, στην πραγματικότητα, να περιλαμβάνει περίπου τον ίδιο χρόνο αναμονής στην ουρά. Η μόνη διαφορά μπορεί να είναι ότι ο ανταγωνιστής επέλεξε να πάει με ξεχωριστές γραμμές για κάθε πρατήριο και όχι με μία γραμμή για όλα τα πρατήρια, αποφεύγοντας έτσι να έχει μια γραμμή που εκτείνεται πίσω από την πόρτα. Εδώ, μπορείτε να δείτε ότι υπάρχει η αισθητική των ουρών που πρέπει να ληφθούν υπόψη εκτός από τυχόν παράγοντες λειτουργικής αποτελεσματικότητας (Lu et al., 2013).

1.2.3 Παράγοντες Ουράς – Εξυπηρέτηση

Υπάρχουν επίσης μεταβλητές που υφίστανται σε σχέση με την πραγματική παροχή της υπηρεσίας. Ένα συνηθισμένο παράδειγμα είναι η «λωρίδα express» στα παντοπωλεία, η οποία προορίζεται για πελάτες που αγοράζουν μόνο έναν μικρό αριθμό ειδών. (Συνήθως, οι λωρίδες express προορίζονται για πελάτες με «12 είδη ή λιγότερα» ή «20 είδη ή λιγότερα»). Ο λόγος για τον οποίο υπάρχουν τέτοιες λωρίδες εξπρές είναι ότι τα παντοπωλεία που χρησιμοποιούν τη θεωρία ουρών αναμονής έχουν διαπιστώσει ότι η ικανοποίηση των πελατών βελτιώνεται επιτρέποντας στους πελάτες που αγοράζουν μόνο μερικά πράγματα να τσεκάρουν πιο γρήγορα, σε αντίθεση με το να πρέπει να περιμένουν στην ουρά πίσω από άλλους πελάτες με γεμάτα καροτσάκια των παντοπωλείων. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν πραγματικά την παροχή υπηρεσιών περιλαμβάνουν το χρόνο που απαιτείται, κατά μέσο όρο, για την παροχή υπηρεσιών σε κάθε πελάτη, τον αριθμό των διακομιστών που απαιτούνται για τη μέγιστη λειτουργική και οικονομική αποδοτικότητα και τους κανόνες που διέπουν τη σειρά με την οποία εξυπηρετούνται οι πελάτες. Ενώ οι περισσότερες ουρές λειτουργούν με βάση τη «πρώτη παρουσία, πρώτη εξυπηρέτηση», δεν είναι κατάλληλο για ορισμένες επιχειρήσεις. **Κλασικό παράδειγμα είναι ο χώρος αναμονής στα επείγοντα του νοσοκομείου. Αντί να χρησιμοποιείται η βάση «πρώτης άφιξης» για παραγγελίες υπηρεσιών, οι ασθενείς εξυπηρετούνται με βάση τη σοβαρότητα της ασθένειας ή του τραυματισμού τους.** Απαιτείται λοιπόν η προσθήκη ενός βήματος υπηρεσίας που είναι γνωστό ως «διαλογή», σύμφωνα με το οποίο μια νοσοκόμα αξιολογεί κάθε ασθενή ως προς τη σοβαρότητα της έκτακτης ανάγκης για να αποφασίσει σε ποιο σημείο της γραμμής λήψης υπηρεσίας θα τοποθετηθεί αυτός ο ασθενής (Wang & Zhou, 2018).

1.2.4 Παράγοντες Ουράς – Αποχώρηση

Τα στοιχεία που σχετίζονται με τους πελάτες που αναχωρούν από μια τοποθεσία ουράς είναι συνήθως βασικά ζητήματα υλικοτεχνικής υποστήριξης. Το παράδειγμα αναφέρθηκε παραπάνω σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι επιχειρήσεις με λειτουργίες μετάδοσης κίνησης πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τον

τρόπο με τον οποίο τα άτομα που εγκαταλείπουν το πρόγραμμα οδήγησης μπορεί να επηρεάσουν την εισερχόμενη κίνηση προς την τοποθεσία. Ένα άλλο παράδειγμα παράγοντα που σχετίζεται με τις αναχωρήσεις είναι ένα εστιατόριο που καθορίζει εάν οι διακομιστές θα παρουσιάζουν λογαριασμούς και θα εισπράττουν πληρωμές στο τραπέζι ενός πελάτη ή εάν οι πελάτες θα πληρώνουν τον λογαριασμό τους σε ένα ταμείο κατά την έξοδό τους (Wang et al., 2014).

1.3 Το θεώρημα του Little

Ο John Little επινόησε έναν νόμο που περιγράφει τη σχέση μεταξύ του ποσοστού διανομής των πελατών και του χρόνου που αφιερώνουν στο σύστημα. **Το θεώρημα του Little μπορεί να συνοψιστεί σε αυτή τη σύντομη εξίσωση: $L = \lambda W$: Ο μέσος αριθμός πελατών (L) υπολογίζεται από το μέσο ποσοστό άφιξης πελατών (λ) πολλαπλασιασμένο με το μέσο χρόνο εξυπηρέτησης για έναν πελάτη (W).** Για να κατανοήσετε αυτή τη δυναμική, σκεφτείτε το τυπικό εστιατόριο σας: Εάν ο ρυθμός άφιξης διπλασιαστεί αλλά ο χρόνος εξυπηρέτησης παραμένει σταθερός, ο αριθμός των πελατών θα διπλασιαστεί. Με την ίδια λογική, εάν ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης διπλασιαστεί χωρίς να αλλάξει η τιμή άφιξης, θα διπλασιαστεί και ο αριθμός των πελατών. Εάν οι πελάτες φτάσουν με ρυθμό 10 ανά ώρα και παραμείνουν στο εστιατόριο για μία ώρα (1), ο μέσος αριθμός πελατών ανά πάσα στιγμή θα είναι 10. $L = 10 * 1 = 10$ (Whitt, 2012).

1.4 Η σημείωση του Kendall

Η θεωρία ουράς μελετά τη συμπεριφορά μεμονωμένων ουρών, που ονομάζονται επίσης κόμβοι ουράς. Ο Ντέιβιντ Τζορτζ Κένταλ πρότεινε ένα σύστημα για την ταξινόμηση αυτών των κόμβων στην ουρά — τη λεγόμενη σημειογραφία του Κένταλ. Σύμφωνα με τη σημείωση του **Kendall**, **οι κόμβοι στην ουρά περιγράφονται ως A/S/c/K/N/D:**

A => για τη διαδικασία άφιξης.

S => για τη μαθηματική κατανομή του χρόνου εξυπηρέτησης.

c => για τον αριθμό των διακομιστών.

K => για τη χωρητικότητα της ουράς (αν όχι απεριόριστη).

N => για τον αριθμό των πιθανών πελατών (αν όχι άπειροι).

D => για την πειθαρχία της ουράς (πρώτο-μέσα, πρώτο-έξω από προεπιλογή).

Ανάλογα με το θεωρητικό μοντέλο που χρησιμοποιείται, οι τρεις τελευταίοι κόμβοι μπορούν να παραληφθούν από την εξίσωση, καθιστώντας το ένα πιο διαχειρίσιμο A/S/c. Με βάση τον τρόπο με τον οποίο καθορίζεται κάθε μία από τις παραμέτρους, παίρνουμε διαφορετικά μοντέλα ουράς. **Μερικά από τα πιο γνωστά μοντέλα είναι τα M/M/1, M/M/c** (ονομάζεται επίσης μοντέλο Erlang-C), M/G/1, M/D/1 και άλλα. Αυτά τα μοντέλα ασχολούνται με τη μαθηματική θεωρία των πιθανοτήτων και χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν μοντέλα κατανομής στους υπολογισμούς και τα logistics. Το M στο όνομα αναφέρεται σε μια αλυσίδα Markov — ένα μοντέλο που περιγράφει μια ακολουθία πιθανών γεγονότων των οποίων η πιθανότητα εξαρτάται από την κατάσταση που επιτεύχθηκε σε ένα προηγούμενο γεγονός. Με πιο απλά λόγια, οι μελλοντικές και οι προηγούμενες καταστάσεις του συστήματος είναι ανεξάρτητες. Το τι θα συμβεί αύριο εξαρτάται από τη σημερινή κατάσταση και τίποτα άλλο (Komal & Sharma, 2021).

1.5 Πειθαρχία στην ουρά

Η πειθαρχία στην ουρά αναφέρεται στη μέθοδο επιλογής των πελατών που θα εξυπηρετηθούν και με ποια σειρά.

1.5.1 Ουρά πρώτης εισόδου, πρώτης εξόδου

Μια ουρά FIFO (First-in, First-out) είναι μια ουρά που λειτουργεί με την αρχή πρώτος-μέσα, πρώτος-έξω, εξ ου και το όνομα. Αυτό αναφέρεται επίσης ως η αρχή του πρώτος έρχεται, πρώτος εξυπηρετείται. Η ουρά FIFO αναφέρεται σε μια πειθαρχία στην ουρά όπου οι πελάτες εξυπηρετούνται με την ακριβή σειρά με την οποία φτάνουν. Ο πρώτος που θα μπει στη γραμμή είναι ο πρώτος που την εγκαταλείπει, όλοι οι άλλοι παράγοντες είναι ίδιοι. Η ουρά FIFO είναι η κυρίαρχη μέθοδος ουράς, καθώς προωθεί τη δικαιοσύνη και οι κανόνες της είναι παγκοσμίως κατανοητοί. Μπορεί να εντοπιστεί σχεδόν παντού: τράπεζες, ταχυδρομεία, νοσοκομεία κ.λπ. Η αντίληψη της δικαιοσύνης έχει αναμφισβήτητα τον μεγαλύτερο αντίκτυπο στο πώς νιώθει κάποιος όταν περιμένει στην ουρά. Γνωρίζοντας ότι μια ουρά λειτουργεί με βάση την αρχή του πρώτος έρχεται, πρώτος εξυπηρετείται — και η εμφάνιση διαφανών πληροφοριών αναμονής που το δείχνουν— ανακουφίζει από το άγχος που διαφορετικά θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια αρνητική εμπειρία. Η ουρά FIFO προάγει τη δικαιοσύνη. Το First-in, First-out είναι εγγενώς μια πολύ απλή, εύκολα κατανοητή αρχή. Αυτό κάνει το FIFO δίκαιο στα μάτια των πελατών: όσο νωρίτερα μπει κάποιος στην ουρά, τόσο πιο γρήγορα θα εξυπηρετηθεί. Δεν υπάρχουν συντομεύσεις ή άλματα μπροστά στους κανόνες FIFO. (Δηλαδή αν εφαρμοστούν σωστά.) Η δίκαιη ουρά εξαρτάται άμεσα από την ικανοποίηση του πελάτη. Εάν οι πελάτες δεν είναι ευχαριστημένοι με τον τρόπο που διαχειρίζονται οι ουρές αναμονής, δικαιολογημένα θα ενοχληθούν με την εξυπηρέτηση πελατών (Afolalu et al., 2021; Sameer, 2014).

1.5.2 Ουρά τελευταίας εισόδου, πρώτης εξόδου

Σύμφωνα με την πειθαρχία (ή πολιτική) της προληπτικής τελευταίας εισόδου, πρώτης εξόδου LIFO (Last-in, First-out), οι θέσεις εργασίας σε ένα δίκτυο ουρών που φτάνουν σε μια τάξη έχουν πάντα προτεραιότητα εξυπηρέτησης σε σχέση με προηγούμενες αφίξεις σε οποιαδήποτε τάξη που ανήκει στον ίδιο σταθμό. Η υπηρεσία για τις προεπιλεγμένες εργασίες συνεχίζεται μετά την εξυπηρέτηση των εργασιών που θα φτάσουν αργότερα. Αυτός ο κανόνας είναι απολύτως φυσικός και αντιστοιχεί σε μεταγενέστερες εργασίες που έχουν πάντα προτεραιότητα σε σχέση με προηγούμενες, για παράδειγμα, δίνεται προτεραιότητα σε νέες εργασίες σε μια στοίβα εργασιών που πρέπει να γίνουν. Αν και η αρχή της τελευταίας εισόδου, της πρώτης εξόδου ακούγεται στην αρχή παράλογη, μπορεί να υπάρχει κάποια δύναμη σε αυτήν. **Η LIFO αναγκάζει τους ανθρώπους να έρχονται σε κλιμακωτούς χρόνους, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μικρότερες ουρές.** Το να πάνε νωρίς εγκυμονεί περισσότερους κινδύνους, γι' αυτό στην πορεία αυτή οι άνθρωποι επιλέγουν να έρθουν αργότερα και να περάσουν όσο το δυνατόν λιγότερο χρόνο στην ουρά. Η LIFO προορίζεται συνήθως για την επίλυση προβλημάτων μεταφοράς και υλικοτεχνικής υποστήριξης, αντί για ζητήματα πελατών που στέκονται στην ουρά (Cowdrey et al., 2018; Huang et al., 2007).

1.5.3 Ουρά προτεραιότητας

Στην ουρά προτεραιότητας, ορισμένοι πελάτες έχουν ένα ειδικό καθεστώς που τους επιτρέπει να παρακάμπτουν τα συνήθη μέσα ουράς. Αυτός ο τύπος ουράς εμφανίζεται πιο συχνά σε βιομηχανίες όπου μπορεί να υπάρξουν επείγουσες περιπτώσεις - για παράδειγμα, η υγειονομική περίθαλψη. **Ένας ασθενής με σοβαρή περίπτωση αντιμετωπίζεται φυσικά μπροστά από όλους τους άλλους.** Σε βιομηχανίες που δεν αφορούν την υγειονομική περίθαλψη, αυτός ο τύπος αναμονής ονομάζεται συνήθως **ουρά VIP**. Για παράδειγμα, επιβάτες business class επιβιβάζονται στο αεροπλάνο πριν από άλλους. Το ίδιο ισχύει για κλαμπ, εστιατόρια και παρόμοιους χώρους. Το μειονέκτημα αυτού του συστήματος είναι ότι μπορεί να φαίνεται άδικο, εκτός εάν έχει γνωστοποιηθεί ξεκάθαρα εκ των προτέρων. Σε τελική ανάλυση, το να προλάβει κάποιος τη σειρά του άλλου ακούγεται εξοργιστικό αν δεν το γνωρίζει η επιχείρηση – οργανισμός ότι είχε προτεραιότητα στην ουρά. Τα μοντέλα ουράς πειθαρχίας προτεραιότητας θεωρείται ότι έχουν κλάσεις προτεραιότητας, με την τάξη να έχει την υψηλότερη προτεραιότητα και την κλάση 1 τη χαμηλότερη. Θεωρείται επίσης ότι οι μονάδες επιλέγονται για έναρξη υπηρεσίας με τη σειρά της προτεραιότητας κατηγορίας τους. Εντός της ίδιας τάξης εφαρμόζεται η αρχή του πρώτου που έρχεται, ότι εξυπηρετείται και πρώτος. Ένας μηχανισμός προτεραιότητας σε ένα σύστημα αναμονής κάνει διακρίσεις στους πελάτες με βάση τις κατηγορίες τους. Μια τέτοια διάκριση εμφανίζεται σε ορισμένες καταστάσεις της καθημερινής ζωής και σε μεγάλα συστήματα μηχανικής, συμπεριλαμβανομένων, ιδίως, του προγραμματισμού εργασιών στην

κατασκευή, των λειτουργικών συστημάτων σε υπολογιστές και των πρωτοκόλλων πρόσβασης καναλιών σε δίκτυα επικοινωνίας. **Η έξυπνη ανάθεση προτεραιοτήτων φέρνει την ικανοποίηση των πελατών, ενώ διατηρεί αμετάβλητο το συνολικό φόρτο εργασίας.** Εκτενής ανάλυση (και βελτιστοποίηση κατά τη λειτουργία) των ουρών με προτεραιότητα έχει γίνει με κίνητρο για εφαρμογή σε συγκεκριμένα συστήματα καθώς και από θεωρητικό ενδιαφέρον (Alexander et al., 2012; Larkin et al., 2014; Silva & Serra, 2008).

1.6 Ψυχολογία ουρών και ο αντίκτυπός της στη θεωρία της ουράς

Ένα από τα προβλήματα οποιουδήποτε θεωρητικού μοντέλου που προσπαθεί να περιγράψει την ανθρώπινη συμπεριφορά είναι ότι οι πράξεις μπορεί να φαίνονται παράλογες. Η θεωρία της ουράς είναι χρήσιμη όταν πρόκειται να εξηγήσει τα οφέλη μιας συγκεκριμένης ροής αναμονής, αλλά αγνοεί μια άλλη σημαντική πτυχή της ουράς: πώς νιώθουν οι πελάτες ενώ περιμένουν. Ευτυχώς, έχει γίνει επιστημονική έρευνα και σε αυτόν τον τομέα. Οι εμπειρογνώμονες στην ουρά διαπίστωσαν ότι (Furnham et al., 2020):

- 1. Ο μη κατειλημμένος χρόνος είναι μεγαλύτερος από τον κατειλημμένο.**
- 2. Οι ανεξήγητες αναμονές γίνονται αντιληπτές ως μεγαλύτερες από ό,τι είναι στην πραγματικότητα.**
- 3. Η αδικία της ουράς, είτε είναι πραγματική είτε αντιληπτή, επηρεάζει το πώς νιώθουν οι πελάτες.**

Για πολλούς οργανισμούς η δυσαρέσκεια των πελατών στους χρόνους αναμονής είναι ένα σοβαρό ζήτημα που απαιτεί λύσεις. Οδηγεί σε «οργή ουράς» που είναι σωματική και λεκτική κακοποίηση ως συνάρτηση ακόμη και μικρών καθυστερήσεων. Τα προϊόντα καταναλώνονται, αλλά οι υπηρεσίες βιώνονται σε πραγματικό χρόνο. Η καθυστέρηση είναι συχνά ο πιο σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την αξιολόγηση του εστιατορίου. Είναι ένα σοβαρό πρόβλημα για τη διοίκηση, που γνωρίζει το κόστος της πρόσληψης επιπλέον χεριών. Οι προσδοκίες έχουν αλλάξει σε σχέση με το σέρβις και τα «fast-food»: οι άνθρωποι μεταφέρουν το έθιμο τους αλλού, όπου παίρνουν αυτό που θέλουν, δηλαδή μια μορφή άμεσης ικανοποίησης. Είναι δύσκολο να ληφθούν καλά στοιχεία σχετικά με την ουρά. Ώρα της ημέρας και εποχιακές επιπτώσεις. Ο πιο οικονομικός τρόπος για τη μείωση του χρόνου αναμονής. πολιτισμικές διαφορές στις αντιδράσεις στην ουρά. Υπάρχει επίσης εκπληκτική έλλειψη καλών πειραματικών μελετών σχετικά με την ουρά. Η χρήση τεχνολογίας για τη μείωση των ουρών, όπως η «αυτοσάρωση» στα σούπερ μάρκετ και τα ηλεκτρονικά διαβατήρια στα αεροδρόμια, ήταν πολύ επιτυχημένες προσπάθειες μείωσης των ουρών, καθώς και του κόστους προσωπικού.

Πράγματι, η χρήση διαφορετικών μορφών τεχνολογίας θεωρούνται κύριοι τρόποι μείωσης της αναγκαιότητας της ουράς. Ωστόσο, υπάρχουν πολλά άρθρα και παρατηρήσεις για το πώς συμπεριφέρονται οι άνθρωποι στις ουρές. Σε μια καλά αναφερόμενη πρόιμη εργασία ο Maister (1984) κάνει οκτώ παρατηρήσεις:

1) Ο κατειλημμένος χρόνος φαίνεται μικρότερος: Χρειάζεται απόσπαση της προσοχής όσων περιμένουν.

2) Η αβεβαιότητα κάνει την αναμονή να φαίνεται μεγαλύτερη. Χρειάζεται να ξέρουν πόσο περίπου πρέπει να περιμένουν, έτσι ο κόσμος αποδέχεται περισσότερο την καθυστέρηση. Οι «εκτιμήσεις» δεν χρειάζεται να είναι ακριβείς, η ακρίβεια δεν έχει σημασία. Οι πληροφορίες απομακρύνουν την ασάφεια και δίνουν σε ένα άτομο τη σιγουριά ότι το σύστημα εξακολουθεί να λειτουργεί.

3) Το άγχος κάνει την αναμονή να φαίνεται μεγαλύτερη. Έτσι, η επεξήγηση και ο καθησυχασμός και η μουσική μπορεί να βοηθήσουν. Οι πολύ συχνές συγγνώμες δεν το κάνουν, καθώς οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται ότι αυτό είναι απλώς μια τυπική δικαιολογία που λέγεται.

4) Οι απρόβλεπτες και οι ανεξήγητες αναμονές είναι χειρότερες. Ορισμένοι οργανισμοί έχουν συνειδητοποιήσει τη σημασία της παροχής εξηγήσεων. Το τρένο/η πτήση σας έχει καθυστερήσει (και ζητάμε βαθιά συγγνώμη) λόγω της καθυστερημένης άφιξης του άλλου τρένου/αεροπλάνου για παράδειγμα.

5) Οι άδικες αναμονές είναι πολύ πιο επιβαρυντικές από τις δίκαιες αναμονές. Τίποτα δεν είναι χειρότερο από το να βλέπεις κάποιον να αποφεύγει ημινόμιμα την ουρά. Οι Fast Trackers που αγοράζουν την έξοδο τους, το πλήρωμα καμπίνας που έχει κάποια προνομιακή έξοδο ή οι ντόπιοι ενίοτε. Το πνεύμα του «όλοι μαζί» πάντα βοηθά.

6) Οι Solo Waits φαίνονται μεγαλύτερες από τις Group ή Social Waits. Αυτό είναι δύσκολο, αλλά εξηγεί την ιδέα μιας αίθουσας αναμονής.

7) Οι αναμονές πριν από τη διαδικασία φαίνονται μεγαλύτερες από τις αναμονές κατά τη διαδικασία. Οι αναμονές φαίνονται μεγαλύτερες αν περιμένει κάποιος να ξεκινήσει η υπηρεσία παρά αν περιμένει ήδη καθώς τον εξυπηρετούν. Για παράδειγμα, το να περιμένει στην ουρά σε ένα μπαρ συνήθως φαίνεται χειρότερο από το να περιμένει τον μπάρμαν να του φτιάξει τα ποτά.

8) Οι άνθρωποι περιμένουν περισσότερο για πιο πολύτιμες υπηρεσίες. Αυτό εξηγεί γιατί οι άνθρωποι θα περίμεναν περισσότερο για ιατρική φροντίδα από ό,τι θα αγόραζαν ένα κουτί γάλα στο πλησιέστερο κατάστημα.

1.6.1 Η ουρά αναμονής ως απώλεια

Ο χρόνος που περνά κανείς σε μια ουρά έχει κόστος ευκαιρίας για κάθε άτομο, καθώς αφαιρεί χρόνο που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί αλλού. Η αξία αυτού του χρόνου είναι υποκειμενική για τον καθένα στην ουρά (Bailey, 2019). Για άτομα που αντιλαμβάνονται τον εαυτό τους με υψηλή θέση, η αναμονή σε ουρές μπορεί να θεωρηθεί ως υποταγή. για τους παραγωγικούς ανθρώπους, η ουρά σημαίνει ότι δεν μπορούν να ολοκληρώσουν τη δουλειά τους.

Όσο περισσότερο σχεδιάζουμε τις ημέρες μας και συνειδητοποιούμε τη σημασία του χρόνου, τόσο πιο έντονα βιώνουμε την αναμονή στις ουρές (Ting et al., 2019). Γι' αυτό οι νέοι άνθρωποι συχνά είναι πιο υπομονετικοί, ενώ οι εργαζόμενοι δυσκολεύονται να περιμένουν κατά τη διάρκεια της ημέρας (De Vries et al., 2018). Αυτό συμβαίνει επειδή η επαγγελματική ζωή συχνά μας πιέζει χρονικά. Σύμφωνα με έρευνες, όσο πιο πεισμένοι νιώθουμε, τόσο περισσότερο εκτιμάμε τον χρόνο μας, όπως διαπίστωσαν οι Lin et al. (2015).

Παρόλα αυτά, υπάρχουν και εξαιρέσεις. Άτομα που είναι πιο ευέλικτα και μπορούν να κάνουν πολλά πράγματα ταυτόχρονα, ανησυχούν λιγότερο για τις ουρές (Leroy et al., 2015).

Οι επιχειρήσεις μπορούν να εκμεταλλευτούν αυτή τη γνώση, δημιουργώντας ευχάριστα περιβάλλοντα αναμονής και προσφέροντας δραστηριότητες που απασχολούν τους πελάτες. Έτσι, οι πελάτες θα νιώθουν ότι ο χρόνος τους αξιοποιείται καλύτερα, όπως προτείνει ο Liang (2019).

Επιπλέον, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ότι οι πελάτες αντιλαμβάνονται διαφορετικά τη διάρκεια της αναμονής. Μια μεγάλη αναμονή μπορεί να έχει πολύ πιο αρνητικό αντίκτυπο από ό,τι μια μικρή εξοικονόμηση χρόνου, όπως διαπίστωσαν και οι Lin et al. (2015).

Σε περιπτώσεις όπου η υπηρεσία δεν είναι απαραίτητη, ο καταναλωτής θα κάνει κρίσεις ανταλλαγής ενώ βρίσκεται στην ουρά (Carmon et al., 1995).

Η έρευνα δείχνει ότι η αντίληψη του χρόνου επηρεάζει σημαντικά την αντίδραση των καταναλωτών στις ουρές. Οι επιχειρήσεις πρέπει να λαμβάνουν υπόψη αυτόν τον παράγοντα για να βελτιώσουν την εμπειρία των πελατών τους.

1.6.2 Αριθμός ατόμων στην ουρά

Ένας βασικός παράγοντας για να αποφασίσει κάποιος εάν θα παραμείνει ή θα αποσυρθεί από μια ουρά εξαρτάται από τον αριθμό των ατόμων που βρίσκονται μπροστά του στην ουρά (Carmon & Kahneman, 1996).

Τα στοιχεία έχουν δείξει ότι όταν υπάρχουν περισσότεροι άνθρωποι μπροστά στην ουρά, είναι πιο πιθανό να φύγει κάποιος (Zhou & Soman, 2003). Οι καταναλωτές θα εκτιμήσουν πόσο χρόνο περιμένουν με βάση τον αριθμό των ανθρώπων που βρίσκονται μπροστά τους (Meyer, 1994).

Όταν ο εκτιμώμενος χρόνος αναμονής φαίνεται πολύ μεγάλος, οι καταναλωτές είτε θα αρνηθούν να περιμένουν όσο εκτιμάται, είτε θα αποφασίσουν να μην μπουν καν στην ουρά. Η δεύτερη περίπτωση είναι πιο δύσκολη να μετρηθεί και ενδέχεται να έχει υποτιμηθεί από πολλές μελέτες, υποβαθμίζοντας τον αρνητικό αντίκτυπο που έχει η αναμονή στα έσοδα των επιχειρήσεων. Όπως και ο αριθμός των ατόμων που βρίσκονται μπροστά μας στην ουρά, έτσι και ο αριθμός των ατόμων πίσω μας επηρεάζει την απόφασή μας να συνεχίσουμε να περιμένουμε. Αυτό είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον, καθώς ο αριθμός των ατόμων πίσω μας δεν επηρεάζει τον προσωπικό μας χρόνο αναμονής. Ωστόσο, τα στοιχεία δείχνουν ότι έχει σημαντικό αντίκτυπο. Οι καταναλωτές συχνά συγκρίνονται με τους άλλους που βρίσκονται πίσω τους, αντλώντας μια αίσθηση ανακούφισης από το γεγονός ότι δεν χρειάζεται να περιμένουν όσο αυτοί (Zhou & Soman, 2003).

Πολλές έρευνες δείχνουν ότι όταν οι άνθρωποι αισθάνονται ανήσυχοι και δυσαρεστημένοι για την τρέχουσα κατάστασή τους, είναι πιο πιθανό να συμβούν συγκρίσεις προς τα κάτω (κοιτάζοντας αυτούς που βρίσκονται πίσω) (Wills, 1981) σε σχέση με τις ανοδικές συγκρίσεις (κοιτάζοντας αυτούς που βρίσκονται μπροστά). Ως αποτέλεσμα, τα άτομα θα αισθάνονται πιο θετικά και λιγότερο αρνητικά όταν υπάρχουν περισσότερα άτομα πίσω τους στην ουρά.

Η παρουσία περισσότερων ατόμων πίσω μας στην ουρά μας κάνει να νιώθουμε πιο θετικά και λιγότερο αρνητικά. Οι Zhou & Soman (2003) έδειξαν ότι η παρουσία άλλων ανθρώπων πίσω μας δεν επηρεάζει μόνο τη διάθεσή μας, αλλά μειώνει και την πιθανότητα να εγκαταλείψουμε την ουρά. Σε μια σειρά πειραμάτων, διαπίστωσαν ότι όσο περισσότεροι άνθρωποι βρίσκονται πίσω μας, τόσο λιγότερο πιθανό είναι να φύγουμε, ακόμα κι αν βρίσκονται μπροστά μας περισσότεροι.

Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν και οι Kim et al., (2018) σε μια μελέτη για ουρές σε καταστήματα κινητών τηλεφώνων. Όταν υπήρχαν πολλοί άνθρωποι στην ουρά, οι πελάτες ένιωθαν μια κοινωνική πίεση να βιαστούν και να μην αφιερώσουν πολύ χρόνο στη δοκιμή του προϊόντος. Αντίθετα, όταν υπήρχαν λιγότεροι άνθρωποι, οι πελάτες έπαιρναν τον χρόνο τους.

Οι Dahm et al., (2018) είχαν παρόμοια συμπεράσματα σε διάφορα πλαίσια. Πρώτον, οι πελάτες που έκαναν ουρά για να χρησιμοποιήσουν ένα μηχάνημα ATM διαπίστωσαν μείωση στο θετικό αποτέλεσμα και μια αύξηση στο αρνητικό αποτέλεσμα μέχρι το μήκος της ουράς 5/6. Είναι πιθανό, ωστόσο, να είναι ένα μη γραμμικό φαινόμενο, καθώς υπάρχει αύξηση του θετικού συναισθήματος και

μείωση του αρνητικού συναισθήματος μετά από ένα μήκος ουράς. Στις αλλαγές από τις επιπτώσεις βρέθηκε ότι επηρεάζεται από κοινωνική πίεση, κάτι που θα μπορούσε να υποδηλώνει ότι τα άτομα στη μελέτη των Kim et al. (2018) ξόδευαν λιγότερο χρόνο σε δραστηριότητες αυτοεξυπηρέτησης για να ελαχιστοποιηθούν οι μειώσεις στη διάθεση και όχι από αλτρουισμό. Στο Dahm et al. (2018) στην τρίτη μελέτη εξέτασαν πελάτες σε μια ουρά ταμείου και διαπίστωσαν ότι οι πελάτες επηρεάζονται περισσότερο από την ουρά που σχηματίζεται πίσω τους όταν φτάνουν στο μπροστινό μέρος της ουράς, ίσως λόγω της οικοδόμησης κοινωνικής πίεσης. Ωστόσο, αυτά τα εφέ σημειώθηκαν μόνο σε γραμμικές ουρές και όχι σε ουρά τύπου "take a ticket", όπου ο καθένας παίρνει έναν αριθμό και περιμένει να κληθεί. Η ουρά τύπου "Take a ticket" μειώνει τη δυνατότητα των καταναλωτών να κάνουν κοινωνικές συγκρίσεις με το σημείο που βρίσκονται στην ουρά. Σε αυτές τις ουρές, οι καταναλωτές δεν μπορούν εύκολα να συγκρίνουν τη θέση τους με τους άλλους, οπότε η παρουσία περισσότερων ανθρώπων πίσω τους δεν επηρεάζει τόσο τα συναισθήματά τους.

Οι άνθρωποι πίσω είχαν επίσης μικρότερο αντίκτυπο στα θετικά και αρνητικά συναισθήματα. Ο αριθμός των ανθρώπων που βρίσκονται πίσω έχει σημαντικό αντίκτυπο στον χρόνο που χρειάζεται για να νιώσουν πόνο στα πόδια και να απογοητευτούν. Μια μεγαλύτερη ουρά πίσω μας προκαλεί δύο ψυχολογικές αλλαγές στην ουρά: πρώτον, λειτουργεί ως κοινωνική επικύρωση ότι αξίζει κάποιος να περιμένει. Δεύτερον, οδηγεί τον καταναλωτή να περιμένει περισσότερο, εάν υποχωρήσει και επανεπενταχθεί σε μεταγενέστερο χρονικό σημείο (Zhou & Soman, 2003). Αυτά τα δύο αποτελέσματα κάνουν τους καταναλωτές να είναι πιο πιθανό να περιμένουν σε ουρές περισσότερο.

Τα ευρήματα των Dahm et al., (2018) συμφωνούν με τα παραπάνω. Σε μια μελέτη για ουρές σε ATM, διαπίστωσαν ότι η ικανοποίηση των πελατών μειώνεται καθώς αυξάνεται το μήκος της ουράς, μέχρι ένα συγκεκριμένο σημείο. Ωστόσο, μετά από αυτό το σημείο, η ικανοποίηση φαίνεται να αυξάνεται ξανά.

Οι Lu et al., (2013) ερεύνησαν αυτό το στυλ ουράς στο ντελικατέσεν και πώς αυτό επηρέασε τις αγοραστικές συμπεριφορές σε ένα σούπερ μάρκετ της Λατινικής Αμερικής. Οι ερευνητές διαπίστωσαν πως οι καταναλωτές δίνουν μεγαλύτερη σημασία στο πόσο καιρό περιμένουν σε μια ουρά παρά στο πόσο γρήγορα εξυπηρετούνται. Προτείνουν ότι τα σούπερ μάρκετ θα μπορούσαν να αυξήσουν τα κέρδη τους αν είχαν περισσότερες, αλλά πιο αργές ουρές. Ωστόσο, αυτή η στρατηγική μπορεί να μην λειτουργήσει εξίσου καλά σε ουρές όπου οι πελάτες παίρνουν αριθμό, καθώς εκεί οι καταναλωτές κρίνουν την αναμονή μόνο από το μήκος της ουράς.

1.6.3 Η ιδανική ποσότητα προσωπικού χώρου

Οι ουρές, εκ φύσεως, αποτελούν κοινωνικά φαινόμενα. Όταν σχηματίζουμε ουρές, βρισκόμαστε σε κοντινή απόσταση από άλλους ανθρώπους με τους οποίους μοιραζόμαστε έναν κοινό στόχο. Έτσι ανακύπτει το ερώτημα: Επηρεάζει η απόσταση που κρατάμε από τους άλλους την εμπειρία μας στην ουρά; Είναι γνωστό ότι υπάρχουν συγκεκριμένοι κοινωνικοί κανόνες που διέπουν την προσωπική απόσταση που κρατάμε από τους άλλους σε διάφορες κοινωνικές καταστάσεις. Για να εξετάσουν αυτήν την έννοια στο πλαίσιο των ουρών, οι Fry & Willis (1971) πραγματοποίησαν ένα ενδιαφέρον πείραμα. Ζήτησαν από παιδιά να πλησιάσουν ενήλικες που περίμεναν σε ουρά για το θέατρο σε απόσταση μικρότερη από 6 ίντσες. Οι ενήλικες αντέδρασαν αρνητικά όταν ένα 10χρονο παιδί παραβίασε την προσωπική τους απόσταση στην ουρά, καθώς θεωρούσαν ότι σε αυτήν την ηλικία το παιδί έπρεπε να γνωρίζει τους κοινωνικούς κανόνες που διέπουν τις δημόσιες αλληλεπιδράσεις. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι οι αντιδράσεις των ενηλίκων διέφεραν ανάλογα με την ηλικία του παιδιού: τα παιδιά ηλικίας 5 ετών είχαν θετική απάντηση, ενώ τα παιδιά 10 ετών υποδέχθηκαν αρνητικές απαντήσεις.

Καθώς οι ενήλικες ένιωσαν ότι το 10χρονο παιδί ήταν αρκετά μεγάλο για να κατανοήσει τα χωρικά μοτίβα και τους κανόνες, η άμεση παραβίαση αυτών των κανόνων προκάλεσε απογοήτευση και ενόχληση στις ουρές. Η προσωπική άνεση κατά την αναμονή επηρεάζεται επίσης από τον περιβαλλοντικό χώρο που παρέχεται. **Μια μελέτη πειραματίστηκε με το επίπεδο δυσφορίας που εμφανίζεται σε άτομα που περίμεναν στο Υπουργείο Μηχανοκίνητων Οχημάτων της Πολιτείας της Καλιφόρνια. Όταν το δωμάτιο ήταν χωρισμένο (σχοινιά και μασίφ ξύλινα χωρίσματα), οι ουρές έδειχναν μεγαλύτερη ταλαιπωρία και αναταραχή από ό,τι όταν το δωμάτιο είχε ελάχιστο ή καθόλου διαχωριστικό (Stokols et al., 1975).** Καθώς οι ουρές γέμιζαν με περισσότερο κόσμο, η ταλαιπωρία τους μεγάλωνε. Οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται διαφορετικά τον συνωστισμό ανάλογα με το πλαίσιο. Για παράδειγμα, όταν περιμένουμε σε μια ουρά, νιώθουμε αρνητικά συναισθήματα, ενώ όταν είμαστε σε μια συναυλία και είμαστε κοντά σε άλλους ανθρώπους, το βιώνουμε ως μια θετική εμπειρία. Αυτό δείχνει ότι η αξιολόγηση του συνωστισμού εξαρτάται από το τι κάνουμε και το περιβάλλον στο οποίο βρισκόμαστε (Mowen et al., 2003).

Όσο πιο κοντά είναι σωματικά με τους άλλους, τόσο πιο εύκολο είναι να κάνει κοινωνικές συγκρίσεις. Οι άνθρωποι στις ουρές θα κάνουν κοινωνικές συγκρίσεις προς τα πάνω και προς τα κάτω όταν αποφασίζουν αν θα φύγουν από μια ουρά (Furnham et al., 2020).

1.6.4 Το ιδανικό περιβάλλον αναμονής

Ο Liang, σε πρόσφατες μελέτες του (2016, 2019), ανακάλυψε ότι βελτιώνοντας τις συνθήκες

αναμονής σε μια ουρά, όπως για παράδειγμα με καλύτερη οργάνωση και ενδιαφέρουσες δραστηριότητες, μπορούμε να κάνουμε τους πελάτες να νιώθουν ότι περιμένουν λιγότερο. Σύμφωνα με άλλους ερευνητές (Lee et al., 2017), αυτό οδηγεί σε πιο ευχαριστημένους πελάτες, κάτι που είναι πολύ σημαντικό για τις επιχειρήσεις. Έχουν γίνει και συνεχίζουν να γίνονται πολλές έρευνες για να βρεθούν νέοι τρόποι να βελτιώσουμε την εμπειρία των πελατών στις ουρές.

1.6.4.1 Περισπασμοί

Σε μια προσπάθεια να κατανοήσουν πώς μπορούμε να κάνουμε την αναμονή σε μια ουρά πιο ευχάριστη, ο Larson και οι συνεργάτες του (1991) πραγματοποίησαν μια μελέτη. Συγκεκριμένα, εξέτασαν τον αντίκτυπο διαφόρων περισπασμών στην εμπειρία των καταναλωτών. Πρώτον, τοποθέτησαν μια τηλεόραση που έδειχνε ειδήσεις ζωντανά. Αν και αυτό δεν μείωσε τον πραγματικό χρόνο αναμονής, έκανε την αναμονή πιο ευχάριστη, ειδικά για όσους περίμεναν περισσότερο. Οι καταναλωτές αυτοί αξιολόγησαν την εμπειρία τους ως πιο ενδιαφέρουσα και χαλαρωτική. Στη συνέχεια, οι ερευνητές δοκίμασαν ένα ηλεκτρονικό ρολόι που έδειχνε εκτιμώμενο χρόνο αναμονής. Αν και το ρολόι έκανε τους καταναλωτές να νιώθουν ότι περίμεναν λιγότερο, δεν βελτίωσε την ικανοποίησή τους ή μείωσε το άγχος τους. Αυτό συνέβη επειδή το ρολόι τους έκανε να συνειδητοποιήσουν πόσο χρόνο σπαταλούσαν στην ουρά, αυξάνοντας την απογοήτευσή τους.

Σε μια πιο πρόσφατη μελέτη, ο Borges και οι συνεργάτες του (2015) επιβεβαίωσαν την επίδραση των περισπασμών στην αντίληψη του χρόνου αναμονής και στην ικανοποίηση των καταναλωτών. Συγκεκριμένα, διαπίστωσαν ότι η παρουσία μιας τηλεόρασης μείωνε την αίσθηση του χρόνου που περνούσε στην ουρά. Οι πελάτες που έκαναν ουρές σε φαρμακεία και εστιατόρια αντιλήφθηκαν ότι ο χρόνος αναμονής τους ήταν σημαντικά μικρότερος με παρουσία ενός περισπασμού, παρόλο που ο αντικειμενικός χρόνος αναμονής ήταν ο ίδιος. Οι πελάτες ήταν επίσης πολύ πιο ικανοποιημένοι με την εμπειρία τους στην ουρά με έναν περισπασμό που περιείχε κάτι ευχάριστο και δη καταναλωτικές πληροφορίες.

Στη μελέτη των Lee και των συνεργατών του (2017), η οποία αναφέρθηκε προηγουμένως, οι ερευνητές εστίασαν σε ηλεκτρονικές αγορές και διερεύνησαν τον αντίκτυπο οπτικών στοιχείων που αποσπούν την προσοχή στον τρόπο που οι καταναλωτές αντιλαμβάνονται τον χρόνο αναμονής. Συγκεκριμένα, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν μια γραμμή προόδου που απεικόνιζε ένα αεροπλάνο σε πτήση ως έναν ελκυστικό οπτικό παράγοντα. Στη συνέχεια, σύγκριναν αυτή τη γραμμή με μια απλή, λειτουργική γραμμή προόδου χωρίς εικόνες. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι καταναλωτές που παρακολουθούσαν την κινούμενη εικόνα του αεροπλάνου απολάμβαναν περισσότερο την αναμονή. Ωστόσο, η μελέτη έδειξε επίσης ότι η αποτελεσματικότητα αυτής της μεθόδου εξαρτάται από τη

διάρκεια της αναμονής. Όταν ο χρόνος αναμονής ήταν πολύ σύντομος (κάτω των 5 δευτερολέπτων), η κινούμενη εικόνα δεν είχε τόσο μεγάλο αντίκτυπο, υποδηλώνοντας ότι η καινοτομία της μειώνεται με τον χρόνο.

Μια μελέτη διάρκειας τεσσάρων εβδομάδων εξέτασε τον αντίκτυπο των ψηφιακών πινακίδων στην εμπειρία των πελατών σε ένα κατάστημα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι πινακίδες μείωσαν σημαντικά την αίσθηση του χρόνου αναμονής των πελατών, κατά μέσο όρο κατά 43%. Επιπλέον, οι πελάτες ανέφεραν πιο θετική εμπειρία αναμονής όταν υπήρχαν πινακίδες. Ωστόσο, παρόλο που οι πινακίδες βελτίωσαν την αντίληψη του χρόνου αναμονής, δεν επηρέασαν σημαντικά τη συνολική ικανοποίηση των πελατών από το κατάστημα. Αυτό το αποτέλεσμα μπορεί να οφείλεται στον τρόπο που μετρήθηκε η ικανοποίηση. Σύμφωνα με τους Garaus & Wagner (2019), οι ερωτήσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση της ικανοποίησης ήταν πολύ γενικές και αφορούσαν το κατάστημα ως σύνολο, αναφέροντας παράγοντες όπως την προσβασιμότητα, την διαθεσιμότητα προϊόντων και τις τιμές. Ως αποτέλεσμα, οι πελάτες ενδεχομένως να μην επικεντρώθηκαν ειδικά στην εμπειρία της αναμονής και στην επίδραση των ψηφιακών πινακίδων σε αυτήν.

1.6.4.2 Μουσική

Έχουν γίνει αρκετές μελέτες που έχουν δείξει την επίδραση της μουσικής στη συμπεριφορά στην ουρά. Η μουσική, ως ισχυρό εργαλείο που επηρεάζει τα συναισθήματά μας, μπορεί να διαμορφώσει σημαντικά την εμπειρία της αναμονής. Όπως αναφέρουν ο Tom και οι συνεργάτες του (1997), η μουσική επιδρά τόσο στη διάθεση όσο και στην αντίληψη του χρόνου.

Σύμφωνα με τον Bruner (1990), η γρήγορη μουσική συνδέεται με θετικά συναισθήματα, ενώ η αργή μουσική προκαλεί πιο μελαγχολική διάθεση. Ωστόσο, για καταστάσεις αναμονής, η γνωστή μουσική, όπως η σύγχρονη ποπ, φαίνεται να είναι πιο κατάλληλη. Η άγνωστη μουσική, αντίθετα, μπορεί να δημιουργήσει την αίσθηση ότι ο χρόνος περνάει πιο αργά (Yalch & Spangenberg, 2000).

Ο McDonnell (2007) επιβεβαίωσε πειραματικά ότι η οικεία μουσική, όπως αυτή ενός σύγχρονου ραδιοφωνικού σταθμού, μπορεί να μειώσει την απογοήτευση και την ανησυχία κατά την αναμονή σε τράπεζες. Επιπλέον, η «συμπαθής» μουσική έχει βρεθεί να βελτιώνει τη διάθεση και να μειώνει την ενόχληση της αναμονής, ακόμη και σε καταστάσεις υψηλού άγχους (Cameron et al., 2003).

Σε μια μελέτη που αφορούσε ασθενείς που περίμεναν για πλαστική χειρουργική, οι Fenko & Loock (2014) διαπίστωσαν ότι η μουσική μείωσε σημαντικά το άγχος. Ειδικότερα, οι οργανικοί και φυσικοί ήχοι φάνηκαν να έχουν το μεγαλύτερο θετικό αντίκτυπο σε σύγκριση με την κλασική και τη σύγχρονη μουσική.

1.6.4.3 Μυρωδιά

Μελέτες των Hirsch & Gay (1991) σε Furnham et al., (2020) διαπίστωσαν ότι ορισμένες μυρωδιές, ακόμη και σε αρκετά χαμηλές συγκεντρώσεις, μπορούν να επηρεάσουν τη διάθεση των ανθρώπων.

Χρησιμοποιώντας άρωμα ως περιβαλλοντική μεταβλητή, ο McDonnell (2007) εξέτασε την επίδραση της όσφρησης στη διάθεση των πελατών. Τα αποτελέσματα της μελέτης του έδειξαν ότι ένα συγκεκριμένο μείγμα αρωμάτων βελτίωσε την αξιολόγηση της υπηρεσίας (Burns et al., 2002). Παρόμοια, οι Fenko & Loock (2014) διαπίστωσαν ότι η εισαγωγή αρώματος σε έναν χώρο αναμονής για πλαστική χειρουργική μείωσε σημαντικά το άγχος των ασθενών. Αυτές οι μελέτες υποστηρίζουν την άποψη ότι τα αρώματα, ακόμα και όταν δεν αντιλαμβανόμαστε συνειδητά την παρουσία τους, μπορούν να επηρεάσουν τη διάθεση και την ψυχολογική μας κατάσταση.

Συγκεκριμένα, αρώματα όπως η βανίλια και η λεβάντα ήταν πιο αποτελεσματικά στη μείωση του άγχους αναμονής από τα αρώματα μάνγκο, λεμονιού, μανόλιας και πορτοκαλιού. Όταν «συμβαίνουν πάρα πολλά» στο περιβάλλον αναμονής, αυτό ενισχύει τη διέγερση αυτού που εξυπηρετεί και τον αναγκάζει να γίνει πιο ανήσυχος και να συνειδητοποιήσει την κατάσταση.

1.6.4.4 Χρώμα

Αν και καμία μελέτη δεν εξέτασε άμεσα την επίδραση του χρώματος στις συνθήκες ουράς, αρκετές εργασίες έχουν προεκβάλει τις πιθανές επιδράσεις του χρώματος με βάση παρόμοια στοιχεία (Baker & Cameron, 1996).

Τα χρώματα, πέρα από την αισθητική τους αξία, μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την ανθρώπινη αντίληψη και συμπεριφορά. Οι ερευνητές συχνά τα κατηγοριοποιούν σε ζεστά (όπως το κόκκινο και το πορτοκαλί) και ψυχρά (όπως το μπλε και το πράσινο).

Σε ελεγχόμενες συνθήκες, μελέτες όπως αυτή των Shibasaki & Masataka (2014) έχουν δείξει ότι τα ζεστά χρώματα κάνουν τον χρόνο να φαίνεται να περνάει πιο αργά σε σύγκριση με τα ψυχρά χρώματα. Αυτό σημαίνει ότι σε ένα δωμάτιο βαμμένο με κόκκινο, για παράδειγμα, μπορεί να έχουμε την εντύπωση ότι περιμένουμε περισσότερο από ό,τι στην πραγματικότητα.

Η παραπάνω διαπίστωση έχει σημαντικές επιπτώσεις σε περιβάλλοντα όπου οι άνθρωποι αναμένουν, όπως σε ιατρεία ή σε καταστήματα. Σύμφωνα με τους Baker & Cameron (1996), τα ζεστά χρώματα μπορούν να αυξήσουν το στρες και την αρνητική εμπειρία της αναμονής. Αυτό συμβαίνει επειδή η αυξημένη αντίληψη του χρόνου μπορεί να οδηγήσει σε μεγαλύτερη ανυπομονησία και απογοήτευση.

Βάσει των διαθέσιμων ερευνητικών δεδομένων, τα ψυχρά χρώματα φαίνεται να είναι πιο κατάλληλα για χώρους αναμονής, καθώς μπορούν να βοηθήσουν στη μείωση της αντίληψης του χρόνου και να δημιουργήσουν μια πιο χαλαρωτική ατμόσφαιρα.

1.6.4.5 Φωτισμός

Παρόλο που δεν υπάρχουν συγκεκριμένες μελέτες που να εξετάζουν αποκλειστικά τον αντίκτυπο του φωτισμού στην εμπειρία της αναμονής σε ουρές, υπάρχουν ενδείξεις από σχετικές έρευνες. Συγκεκριμένα, έχει διαπιστωθεί μια άμεση σχέση μεταξύ της έντασης του φωτισμού σε ένα χώρο και της αίσθησης άνεσης των ανθρώπων που βρίσκονται σε αυτόν. Όταν ο φωτισμός είναι χαμηλός, οι άνθρωποι τείνουν να αισθάνονται πιο άνετα, ενώ σε περιβάλλοντα με έντονο φωτισμό η άνεση μειώνεται. Σε πειραματικές συνθήκες, οι συμμετέχοντες υπερεκτίμησαν τη χρονική διάρκεια υπό συνθήκες υψηλότερου φωτισμού σε σύγκριση με αυτόν υπό χαμηλότερο φωτισμό και υπολόγισαν μεγαλύτερη χρονική διάρκεια κάτω από φώτα υψηλότερης έντασης σε σύγκριση με εκείνη κάτω από φώτα χαμηλότερης έντασης (Goldstone et al., 1978).

1.6.4.6 Ορατότητα εργαζομένων

Η υπομονή των ουρών είναι επίσης γνωστό ότι κυμαίνεται ανάλογα με την ορατότητα των εργαζομένων. Ειδικότερα, αν οι ουρές αντιλαμβάνονται τους εργαζόμενους ότι εργάζονται σκληρά για να εξυπηρετήσουν όλους όσους κάνουν ουρά. Μελέτες έχουν δείξει ότι η ικανοποίηση των πελατών στις τράπεζες προβλέπεται έντονα από το αν όλοι οι ταμίες έκαναν το καλύτερο δυνατό για να εξυπηρετήσουν όλους τους πελάτες (Clemmer & Schneider, 1989 σε Furnham et al., 2020; Larson, 1987).

1.7 Εκθετικές και Poisson κατανομές πιθανοτήτων

Όταν θέλουμε να μελετήσουμε πόσο συχνά συμβαίνει κάτι, όπως για παράδειγμα πόσο συχνά φτάνουν οι πελάτες σε ένα κατάστημα, χρησιμοποιούμε συχνά την εκθετική κατανομή. Αυτή η μαθηματική έννοια μας βοηθά να καταλάβουμε πόσο χρόνος περνάει μεταξύ δύο διαδοχικών συμβάντων. Είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την ανάλυση των συστημάτων αναμονής, όπως έδειξαν ο Li και οι συνεργάτες του το 2018, καθώς και οι Sharma και Sharma το 2013.

Για να μπορέσουμε να περιγράψουμε επακριβώς διάφορα φαινόμενα, όπως για παράδειγμα τον χρόνο που περιμένουμε σε μια ουρά, οι επιστήμονες έχουν επεκτείνει την εκθετική κατανομή προσθέτοντας δύο νέες παραμέτρους (Berhan, 2015). Αυτές οι παράμετροι μας επιτρέπουν να δημιουργήσουμε πιο ευέλικτα μοντέλα που μπορούν να προσαρμοστούν σε μια μεγαλύτερη ποικιλία πραγματικών δεδομένων. Αυτές οι γενικευμένες κατανομές βρίσκουν εφαρμογή κυρίως όταν θέλουμε να

αναλύσουμε πώς οι άνθρωποι ή τα αντικείμενα εισέρχονται και εξέρχονται από ένα σύστημα, όπως για παράδειγμα μια ουρά σε ένα κατάστημα ή ένα τμήμα επειγόντων περιστατικών.

1.7.1 Η διαδικασία εισαγωγής

Για να υπολογίσουμε πότε ακριβώς φτάνουν οι πελάτες σε ένα σύστημα, ορίζουμε μια τυχαία στιγμή άφιξης για κάθε έναν. Αυτή η στιγμή καθορίζεται με βάση μια εκθετική κατανομή, που είναι ένα μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει φαινόμενα όπως οι αφίξεις πελατών. Υποθέτουμε ότι μόνο ένας πελάτης μπορεί να φτάσει τη φορά. Αν αυτό δεν ισχύει, τότε μιλάμε για μαζικές αφίξεις. Επιπλέον, διακρίνουμε δύο βασικούς τύπους μοντέλων: τα μοντέλα πεπερασμένης πηγής, όπου οι πελάτες προέρχονται από έναν συγκεκριμένο, περιορισμένο αριθμό, και τα μοντέλα όγκου, όπου ο αριθμός των πελατών που φτάνουν είναι απεριόριστος, αλλά δεν μπαίνουν όλοι στο σύστημα. Η συνάρτηση μη μνήμης της εκθετικής διανομής μπαίνει στο παιχνίδι καθώς η δράση κάθε πελάτη είναι ανεξάρτητη από τον άλλο (Setiawani & Hidayatni, 2020).

1.7.2 Η διαδικασία εξόδου

Όταν ένας πελάτης ολοκληρώνει την εξυπηρέτησή του σε ένα σύστημα αναμονής, ξεκινάμε μια νέα διαδικασία για να υπολογίσουμε πόσος χρόνος χρειάστηκε για να εξυπηρετηθεί. Για να το κάνουμε αυτό, χρησιμοποιούμε μια μαθηματική κατανομή που μας λέει πόσο πιθανό είναι να διαρκέσει η εξυπηρέτηση ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Υπάρχουν δύο κύριοι τρόποι οργάνωσης των διακομιστών: παράλληλα και σε σειρά. Στους παράλληλους διακομιστές, ο πελάτης εξυπηρετείται από έναν μόνο διακομιστή, ενώ στους διακομιστές σε σειρά, ο πελάτης περνάει από πολλούς διακομιστές. Όταν έχουμε διακομιστές σε σειρά, η εκθετική κατανομή δεν είναι πάντα το καλύτερο μοντέλο για να περιγράψουμε τον χρόνο εξυπηρέτησης, καθώς μια υπηρεσία μπορεί να αποτελείται από πολλά διαφορετικά στάδια. Σε αυτές τις περιπτώσεις, χρησιμοποιούμε συχνά την κατανομή Erlang (Vass & Szabo, 2015).

1.8 Διαχείριση συστήματος ουράς και λειτουργική αποτελεσματικότητα

1.8.1 Βελτίωση της παραγωγικότητας των εργαζομένων

Οι οργανωμένες ουρές ενισχύουν την εμπειρία του πελάτη και ελαχιστοποιούν κάθε απογοήτευση που βιώνουν οι εργαζόμενοι. Για να εξυπηρετούνται αποτελεσματικά οι πελάτες, οι υπάλληλοι πρέπει να γνωρίζουν εκ των προτέρων ποιος θα έρθει, τι ζητά και πόσο περίπου θα περιμένει. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούν να προετοιμαστούν κατάλληλα και να εξυπηρετήσουν κάθε πελάτη γρήγορα και αποτελεσματικά (Ibanez et al., 2018).

1.8.2 Βελτίωση της διαχείρισης από τη διοίκηση

Στα σύγχρονα κέντρα εξυπηρέτησης, οι υπάλληλοι χρησιμοποιούν ολοένα και περισσότερο tablet για να έχουν άμεση πρόσβαση σε όλες τις πληροφορίες που χρειάζονται για να εξυπηρετήσουν τους πελάτες αποτελεσματικά. Αυτές οι συσκευές επιτρέπουν στους υπαλλήλους να διαχειριστούν τις ουρές, να ελέγξουν τη διαθεσιμότητα των συναδέλφων τους και να έχουν πρόσβαση σε προσωπικά στοιχεία των πελατών, ώστε να προσφέρουν μια πιο εξατομικευμένη εξυπηρέτηση (Bard et al., 2016).

1.8.3 Απόκτηση γνώσεων πελατών

Τα δεδομένα που συλλέγονται από τις συναντήσεις και τις ουρές είναι εξαιρετικά σημαντικά για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας μιας επιχείρησης. Μας επιτρέπουν να αναλύσουμε πότε υπάρχει λιγότερη δουλειά και να προσαρμόσουμε το ωράριο των εργαζομένων ανάλογα, αλλά και να εντοπίσουμε τους πιο σημαντικούς πελάτες και να τους προσφέρουμε εξατομικευμένη εξυπηρέτηση. Οι ισχυρές ενότητες αναφορών θα πρέπει να παρέχουν βαθιά εικόνα για μετρήσεις ανώτατου επιπέδου, όπως μέσες κρατήσεις σε ένα καθορισμένο χρονικό πλαίσιο, σχόλια πελατών και βαθύτερες μετρήσεις για το ποιοι από τους κορυφαίους πελάτες είναι κατά συχνότητα συναντήσεων και μέγεθος καλαθιού (Mercan et al., 2020).

1.8.4 Μείωση των διαδρόμων

Οι καταναλωτές σήμερα απαιτούν γρήγορες και εύκολες λύσεις, όπως αυτές που προσφέρουν οι εφαρμογές κινητών. Για να τους κρατήσουν, οι επιχειρήσεις πρέπει να προσαρμοστούν και να προσφέρουν εξυπηρέτηση χωρίς αναμονή και γραφειοκρατία. Τα συστήματα διαχείρισης ουρών που βασίζονται σε εφαρμογές κινητών είναι η ιδανική λύση, καθώς επιτρέπουν στους πελάτες να διαχειρίζονται μόνοι τους την εμπειρία τους, μειώνοντας την αναμονή και αυξάνοντας την ικανοποίησή τους (Dagli & Eken, 2021).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΟΥΡΑΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗ

2.1 Η χρησιμότητα των μοντέλων ουράς στην υγειονομική περίθαλψη

Η υγειονομική περίθαλψη είναι γεμάτη καθυστερήσεις. Τα νοσοκομεία μπορούν να χρησιμοποιήσουν μαθηματικά μοντέλα για να προβλέψουν τις ουρές των ασθενών και να βελτιώσουν την οργάνωση των υπηρεσιών τους. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να βοηθήσουν τα νοσοκομεία να καταλάβουν πόσους γιατρούς, νοσηλευτές και κλίνες χρειάζονται, καθώς και πώς να διαχειριστούν τις διαφορετικές ανάγκες των ασθενών. Με αυτόν τον τρόπο, τα νοσοκομεία μπορούν να μειώσουν τους χρόνους αναμονής και να παρέχουν καλύτερη φροντίδα στους ασθενείς. Η έγκαιρη πρόσβαση έχει αναγνωριστεί ως ένα από τα βασικά στοιχεία της ποιότητας της υγειονομικής περίθαλψης και κατά συνέπεια, η μείωση των καθυστερήσεων έχει γίνει το επίκεντρο σε πολλά ιδρύματα υγειονομικής περίθαλψης (Peter & Sivasamy, 2019).

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της τάσης των ασθενών να εγκαταλείπουν τις ουρές παρατηρείται στα τμήματα επειγόντων περιστατικών, όπου συχνά αναφέρεται ότι κάποιοι ασθενείς «έφυγαν χωρίς να τους δούμε». Όσον αφορά την οργάνωση των ουρών, υπάρχουν διάφοροι τρόποι. Συνήθως, υπάρχει μία ενιαία ουρά που εξυπηρετεί όλους τους διαθέσιμους παρόχους υπηρεσιών. Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις όπου κάθε πάροχος έχει τη δική του ξεχωριστή ουρά, όπως συμβαίνει στα ιατρεία πρωτοβάθμιας φροντίδας. Αυτή η οργάνωση ονομάζεται παράλληλη εξυπηρέτηση. Επιπλέον, υπάρχει και η δυνατότητα να συνδυάσουμε διαφορετικούς τύπους εξυπηρέτησης, όπου ο πελάτης περνά από διαφορετικούς σταθμούς για να λάβει ολοκληρωμένες υπηρεσίες.

Τα περισσότερα μοντέλα που περιγράφουν πώς λειτουργούν οι ουρές, όπως σε ένα κατάστημα ή ένα νοσοκομείο, υποθέτουν ότι ο χώρος αναμονής είναι τόσο μεγάλος που μπορεί να χωρέσει όλους τους πελάτες που θέλουν να εξυπηρετηθούν. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει όριο στον αριθμό των ανθρώπων που μπορούν να περιμένουν. Ωστόσο, στην πραγματικότητα, αυτό δεν ισχύει πάντα. Για παράδειγμα, αν ένας πελάτης δει μια πολύ μεγάλη ουρά, μπορεί να αποφασίσει να φύγει χωρίς να περιμένει (Palvannan & Teow, 2012).

Υπάρχει μια σειρά από **περίπλοκα ζητήματα που επηρεάζουν τόσο τη ρύθμιση όσο και την επίτευξη των στόχων του χρόνου αναμονής**. Περιλαμβάνουν τα ακόλουθα (Patrick & Puterman, 2008):

- **Οι ασθενείς δεν είναι ίδιοι:** Κάθε ασθενής έχει διαφορετικές ανάγκες. Για παράδειγμα, ένας ασθενής που χρειάζεται επείγουσα φροντίδα δεν πρέπει να περιμένει όσο ένας ασθενής που

δεν έχει άμεσο κίνδυνο. Επομένως, για να αξιολογήσουμε σωστά τους χρόνους αναμονής, πρέπει να τους μετράμε ξεχωριστά για κάθε κατηγορία ασθενών.

- **Οι μετρήσεις των χρόνων αναμονής δεν είναι πάντα ακριβείς:** Συνήθως μετράμε τον χρόνο από τη στιγμή που ένας ασθενής ζητάει βοήθεια μέχρι τη στιγμή που τον εξυπηρετεί ένας γιατρός. Όμως, αυτό δεν μας δίνει όλη την εικόνα, γιατί δεν λαμβάνει υπόψη τον χρόνο που χρειάζεται για να μπει ο ασθενής στην ουρά των γιατρών.
- **Δεν αρκεί ο μέσος όρος:** Οι χρόνοι αναμονής ποικίλλουν πολύ, ανάλογα με τον ασθενή, την ημέρα και τον χώρο. Επομένως, δεν μπορούμε να βασιστούμε μόνο στον μέσο όρο. Πρέπει να δούμε ποιο ποσοστό των ασθενών κάθε κατηγορίας περιμένει λιγότερο από έναν συγκεκριμένο χρόνο.
- **Δεν έχουμε πάντα τα σωστά δεδομένα:** Πολλές φορές δεν έχουμε ακριβή και πλήρη δεδομένα για τους χρόνους αναμονής. Τα δεδομένα μπορεί να είναι λάθος, να βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία ή να μην είναι διαθέσιμα σε ηλεκτρονική μορφή.

Η θεωρία των ουρών προσφέρει ένα ισχυρό εργαλείο για τη βελτιστοποίηση της ροής των ασθενών στα συστήματα υγείας. Με την ανάλυση των καθυστερήσεων και της ζήτησης για υπηρεσίες, τα μοντέλα ουρών μπορούν να προβλέψουν χρόνους αναμονής, να εκτιμήσουν την απαραίτητη προσωπικότητα και να αξιολογήσουν την αποτελεσματικότητα διαφόρων διαδικασιών. Από τα τμήματα επειγόντων περιστατικών μέχρι τα χειρουργεία, η εφαρμογή αυτών των μοντέλων συμβάλλει στη μείωση των χρόνων αναμονής, στην αύξηση της ικανοποίησης των ασθενών και στην αποτελεσματικότερη αξιοποίηση των πόρων. **Κεντρικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη ροή των ασθενών και που αναλύονται με τη βοήθεια των μοντέλων ουρών είναι ο αριθμός των ασθενών που προσέρχονται, η διάρκεια εξυπηρέτησης και οι διακυμάνσεις σε αυτούς τους παράγοντες.** Τα μοντέλα ουρών μας βοηθούν να κατανοήσουμε πώς κινούνται οι ασθενείς μέσα στο σύστημα υγείας και να βρούμε τρόπους για να βελτιώσουμε αυτή τη διαδικασία, μειώνοντας τις καθυστερήσεις και αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα (Chowdhury et al., 2018).

2.2 Συνολικά κόστη

Η αποτελεσματική λειτουργία ενός νοσοκομείου εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο κατανέμει τους πόρους του, ιδίως την κατανομή των κλινών σε ασθενείς, ένα πρόβλημα γεμάτο πολυπλοκότητες και αβεβαιότητες. Οι ασθενείς που περιμένουν πολύ σε ένα νοσοκομείο συχνά φεύγουν χωρίς να εξυπηρετηθούν, κάτι που δημιουργεί προβλήματα τόσο για τους ασθενείς όσο και για το νοσοκομείο. Για να λύσουν αυτό το πρόβλημα, οι ειδικοί προτείνουν τη χρήση ειδικών

υπολογιστικών συστημάτων που μπορούν να βοηθήσουν τα νοσοκομεία να οργανωθούν καλύτερα. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν προηγμένες μαθηματικές μεθόδους για να αναλύσουν τη λειτουργία του νοσοκομείου και να προτείνουν βελτιώσεις. Με αυτόν τον τρόπο, τα νοσοκομεία μπορούν να εξυπηρετήσουν περισσότερους ασθενείς, να μειώσουν τα έξοδα και να βελτιώσουν την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών (Baru et al., 2015).

Στα σύγχρονα νοσοκομεία, οι ασθενείς πρέπει να περιμένουν πολύ για να λάβουν την απαραίτητη φροντίδα. Αυτό το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα σημαντικό σήμερα, καθώς οι άνθρωποι ζουν σε πιο γρήγορους ρυθμούς και έχουν υψηλότερες προσδοκίες από τις υπηρεσίες υγείας. Είναι απαραίτητο να βρεθούν τρόποι για να μειωθούν οι χρόνοι αναμονής και να βελτιωθεί η ποιότητα της φροντίδας που παρέχεται στους ασθενείς (Stakutis & Boyle, 2009). Επομένως, ο στόχος της ουράς είναι να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος για το σύστημα. Μέσω κατάλληλων υπολογισμών, μπορούμε να βρούμε τον καλύτερο τρόπο για να διαχειριστούμε τους πόρους μας, ώστε να εξυπηρετούμε τους πελάτες μας αποτελεσματικά και οικονομικά. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να αποφύγουμε να έχουμε πάρα πολλούς ή πάρα λίγους υπαλλήλους, εξασφαλίζοντας παράλληλα την καλύτερη δυνατή εξυπηρέτηση. Το κόστος αναμονής για κάθε άτομο διαφέρει ανάλογα με το τι κερδίζει το άτομο κάθε ώρα. Κάποιοι μπορεί να έχουν το κόστος αναμονής τους πολλαπλάσιο της αξίας άλλων ανθρώπων (Kembe et al., 2012).

Ανασκόπηση της έρευνας σε μοντέλα για την αξιολόγηση του αντίκτυπου των πολιτικών ανάθεσης κρεβατιού στη χρήση, τον χρόνο αναμονής και την πιθανότητα απομάκρυνσης των ασθενών, επανεξέτασε η χρήση της θεωρίας ουράς σε εφαρμογές φαρμακείου με ιδιαίτερη προσοχή στη βελτίωση της ικανοποίησης των πελατών (Nosek Jr & Wilson, 2001). Προτείνεται μια μεθοδολογία βήμα προς βήμα, όπου αξιολογείται το κόστος αγοράς ενός επιπλέον κρεβατιού σε σχέση με τα οφέλη που θα υπάρξουν. Διαφορετικά κόστη καταλογίζονται στους χρόνους αναμονής για συνταγές διαφορετικών προτεραιοτήτων (Güenal & Pidd, 2010; Kalwar et al., 2021).

Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι ασθενείς είναι προετοιμασμένοι για μια επέμβαση αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα μέσω διαδικασιών όπως ο έλεγχος της αρτηριακής πίεσης, τα επίπεδα αίματος και η πείνα για περισσότερες από 6 ώρες. Αυτό σημαίνει ότι αφού ακυρωθεί μια λειτουργία, δεν είναι δυνατή η άμεση έναρξη άλλης λειτουργίας. Η διαθεσιμότητα των κλινών είναι επομένως ένας εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας που αντανακλά την ποιότητα των υπηρεσιών του νοσοκομείου. Μια μεγάλη ποικιλία μοντέλων ουράς μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη διαχείριση λειτουργιών, για να βοηθήσει στην επίλυση προβλημάτων που αφορούν τη διάρκεια της ουράς, την ικανοποίηση των πελατών, τους διακομιστές σε αδράνεια και το βέλτιστο κόστος εξυπηρέτησης και αναμονής. Υπάρχει

μια κλίμακα τιμών για τις συνταγές, ανάλογα με το πόσο επείγουσα είναι η κάθε περίπτωση. Διαφορετικά κόστη καταλογίζονται στους χρόνους αναμονής για συνταγές διαφορετικών προτεραιοτήτων, γεγονός που σημαίνει ότι οι ασθενείς με πιο σοβαρές παθήσεις μπορεί να αναγκαστούν να πληρώσουν περισσότερα για να λάβουν τα φάρμακά τους έγκαιρα (Rotich, 2016).

Σύμφωνα με τους Fomundam και Herrmann (2007), η θεωρία ουρών μπορεί να εφαρμοστεί με επιτυχία σε διάφορους τομείς της υγειονομικής περίθαλψης, όπως η διαχείριση χρόνων αναμονής και η σχεδίαση συστημάτων ραντεβού. Στόχος της έρευνάς τους ήταν να παρέχουν ένα ολοκληρωμένο οδηγό για τους ερευνητές που επιθυμούν να χρησιμοποιήσουν τη θεωρία ουρών για να αναλύσουν και να βελτιστοποιήσουν τις διαδικασίες σε ένα νοσοκομείο, με ιδιαίτερη έμφαση σε τμήματα όπως τα επείγοντα περιστατικά.

Χρησιμοποιώντας δεδομένα για τον αριθμό των ασθενών που έρχονται και φεύγουν από τα επείγοντα, καθώς και για τη χωρητικότητα του τμήματος, ο Broyles (2007) κατάφερε να υπολογίσει το οικονομικό κόστος που συνεπάγεται το γεγονός ότι κάποιοι ασθενείς δεν λαμβάνουν την απαραίτητη φροντίδα. Αυτή η ανάλυση, όπως και άλλες παρόμοιες μελέτες (Armony et al., 2015), υπογραμμίζει τη σημασία της μελέτης των χρόνων αναμονής και της χρήσης των πόρων σε ένα σύστημα υγείας, με στόχο τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του.

Λόγω της διαθεσιμότητας πολλών παράλληλων διακομιστών, το μοντέλο ουράς M/M/s συνάγεται από την αναπαράσταση Karlin & McGregor (1958) για τις πιθανότητες μετάβασης. Σύμφωνα με τους Keller & Laughhunn (1973), η χωρητικότητα της μονάδας υγειονομικής περίθαλψης μπορεί να είναι καλή, αλλά χρειάζεται να ανακατανεμηθεί έγκαιρα για να προσαρμοστούν τα πρότυπα άφιξης ασθενών.

Η θεωρία των ουρών, δηλαδή ο τρόπος με τον οποίο διαχειριζόμαστε τις αναμονές, είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τα νοσοκομεία. Πολλές μελέτες, όπως αυτή του McClain (1976) που αναφέρεται από τον Rotich (2016), έχουν δείξει ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτή τη θεωρία για να προβλέψουμε πώς οι αλλαγές στον αριθμό των κρεβατιών επηρεάζουν την ποιότητα της φροντίδας που παρέχουμε στους ασθενείς.

Μια έρευνα από τους Gorunescu και τους συνεργάτες του (2002) χρησιμοποίησε μαθηματικά μοντέλα για να κατανοήσει καλύτερα πώς λειτουργεί ένα τμήμα του νοσοκομείου. Με αυτόν τον τρόπο, οι ερευνητές μπόρεσαν να εκτιμήσουν πόσο συχνά τα κρεβάτια είναι κατειλημμένα και πόσο συχνά το νοσοκομείο μπορεί να μην μπορεί να δεχτεί νέους ασθενείς λόγω έλλειψης χώρου. Αυτές οι ποσότητες επιτρέπουν στους διευθυντές των νοσοκομείων να προσδιορίσουν τον αριθμό των κρεβατιών που

χρειάζονται για να διατηρήσουν το κλάσμα των καθυστερήσεων κάτω από ένα όριο, καθώς και να βελτιστοποιήσουν το μέσο κόστος ανά ημέρα εξισορροπώντας το κόστος των κενών κρεβατιών με το κόστος των καθυστερημένων ασθενών.

Σε μια ιατροχειρουργική Μονάδα Εντατικής Θεραπείας όπου οι βαρέως πάσχοντες ασθενείς δεν μπορούσαν να τεθούν σε ουρά και έπρεπε να απομακρυνθούν όταν η εγκατάσταση ήταν πλήρως κατειλημμένη (McManus et al., 2004).

Ο Green (2006) χρησιμοποίησε μαθηματικά μοντέλα, όπως το Erlang-C, για να υπολογίσει τον ακριβή αριθμό νοσηλευτών που χρειάζεται κάθε τμήμα ενός νοσοκομείου. Επιπλέον, πρότεινε τον καλύτερο τρόπο για να οργανώσει τα κρεβάτια στους θαλάμους, πάντα με στόχο να εξασφαλίσει την καλύτερη δυνατή φροντίδα στους ασθενείς.

Ο Whitt (2007) δημιούργησε ένα εξελιγμένο εργαλείο που προβλέπει πότε και πόσοι γιατροί και νοσηλευτές χρειάζονται στα επείγοντα. Στόχος του ήταν να βελτιώσει την ποιότητα της φροντίδας και να αυξήσει τις πιθανότητες επιβίωσης των ασθενών.

2.3 Μελέτες περιπτώσεων

Στη μελέτη των Chowdhury et al., (2018) ο οργανισμός Lehigh Valley Health Network, χρησιμοποίησε συσχετισμούς στο πλαίσιο ανάπτυξης μοντέλων ουρών αναμονής.

Η μελέτη εξέτασε αρχικά τη σχέση μεταξύ του αριθμού των διαθέσιμων υπαλλήλων (διακομιστών) και του αριθμού των ασθενών που επισκέπτονται το τμήμα επειγόντων περιστατικών (άφιξη ασθενών) ανά ώρα. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε η μέση αξιοποίηση των υπαλλήλων, δηλαδή πόσο απασχολημένοι είναι κατά μέσο όρο. Για να γίνει αυτό, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για τον μέσο αριθμό ασθενών που φτάνουν στο τμήμα ανά ώρα. **Το τμήμα επειγόντων περιστατικών που μελετήθηκε εξυπηρετεί κατά μέσο όρο 25.000 ασθενείς ετησίως.** Ο αριθμός των ασθενών που φτάνουν κάθε ώρα δεν είναι σταθερός, αλλά ποικίλλει αρκετά. Αυτή η διακύμανση ακολουθεί μια συγκεκριμένη μαθηματική κατανομή που ονομάζεται Poisson. **Ως παράδειγμα, κατά τη διάρκεια της πιο πολυσύχναστης ώρας, δηλαδή στις 11 το πρωί, κατά μέσο όρο φτάνουν πέντε ασθενείς στο τμήμα.** Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο αριθμός αυτός μπορεί να διαφέρει σημαντικά από μέρα σε μέρα, λόγω της τυχαίας φύσης των αφίξεων.

Η μελέτη εξέτασε επίσης τη σχέση μεταξύ του αριθμού των ασθενών που περιμένουν (ουρά) και άλλων παραγόντων. Διαπιστώθηκε ότι ο αριθμός των ασθενών στην ουρά (L_q) εξαρτάται από:

- Την αξιοποίηση των υπαλλήλων (U): Όσο πιο πολύ απασχολημένοι είναι οι υπάλληλοι, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να σχηματιστεί ουρά.
- Τη διακύμανση του ρυθμού άφιξης των ασθενών (ca): Όσο μεγαλύτερη είναι η διακύμανση στον αριθμό των ασθενών που φτάνουν κάθε ώρα, τόσο πιο δύσκολο είναι να διαχειριστεί η ροή των ασθενών και να σχηματίζονται μεγαλύτερες ουρές.
- Τη διακύμανση του ρυθμού εξυπηρέτησης των ασθενών (cs): Όσο μεγαλύτερη είναι η διακύμανση στον χρόνο που χρειάζεται για να εξυπηρετηθεί ένας ασθενής, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να σχηματιστεί ουρά.

Η διακύμανση υπολογίζεται ως ο λόγος της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή. Όσο μεγαλύτερη είναι η διακύμανση, τόσο πιο πολύ διαφέρουν οι τιμές από τη μέση τιμή. Η μελέτη έδειξε ότι υπάρχει μια εκθετική σχέση μεταξύ της διακύμανσης και του αριθμού των ασθενών στην ουρά. Αυτό σημαίνει ότι ακόμα και μικρές αυξήσεις στη διακύμανση μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική αύξηση του αριθμού των ασθενών που περιμένουν. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας τον νόμο του Little, οι ερευνητές μπόρεσαν να υπολογίσουν το μέσο χρόνο αναμονής των ασθενών (Wq). Στη συνέχεια, συγκρίθηκαν δύο διαφορετικά σχέδια στελέχωσης του τμήματος επειγόντων περιστατικών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το παλιό σχέδιο στελέχωσης δεν ήταν αποτελεσματικό, καθώς υπήρχε υπερφόρτωση των υπαλλήλων, ειδικά κατά τις ώρες αιχμής (7 π.μ. έως 2 μ.μ.). Τέλος, η μελέτη παρείχε συγκεκριμένα στοιχεία για τον ρυθμό εξυπηρέτησης των διαφόρων κατηγοριών προσωπικού. Για παράδειγμα, διαπιστώθηκε ότι ένας γιατρός εξυπηρετεί κατά μέσο όρο 1,7 ασθενείς την ώρα, ενώ ένας νοσηλευτής 0,8 ασθενείς την ώρα. Η μελέτη έδειξε ότι η αποτελεσματικότητα ενός τμήματος επειγόντων περιστατικών εξαρτάται όχι μόνο από τον αριθμό των υπαλλήλων, αλλά και από τον τρόπο με τον οποίο διαχειρίζονται τις διακυμάνσεις στη ζήτηση. Μειώνοντας τη διακύμανση και βελτιστοποιώντας την αξιοποίηση του προσωπικού, μπορούμε να μειώσουμε τους χρόνους αναμονής των ασθενών και να βελτιώσουμε την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών.

Τα αποτελέσματα της μελέτης υποδεικνύουν ότι το τμήμα επειγόντων περιστατικών λειτουργούσε με βάση ένα σχέδιο στελέχωσης που δεν ήταν αποτελεσματικό. Όταν η ζήτηση ήταν υψηλή (ώρες αιχμής), το προσωπικό ήταν ανεπαρκές, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι χρόνοι αναμονής των ασθενών. Αντίθετα, κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης, υπήρχε περισσότερο προσωπικό από όσο χρειαζόταν. Αυτό το φαινόμενο είναι συχνό στα τμήματα επειγόντων περιστατικών, όπου τα σχέδια στελέχωσης προσαρμόζονται αντιδραστικά, δηλαδή μόνο όταν προκύπτουν προβλήματα. Ως αποτέλεσμα, οι πόροι δεν αξιοποιούνται αποτελεσματικά και οι ασθενείς υποφέρουν από μεγάλους χρόνους αναμονής. Η μελέτη πρότεινε ένα νέο σχέδιο στελέχωσης, όπου η

διαθεσιμότητα του προσωπικού προσαρμόζεται ανάλογα με τη ζήτηση σε κάθε χρονική περίοδο (Foster et al. 2010). Με αυτό τον τρόπο, αποφεύγεται η υπερφόρτωση του προσωπικού κατά τις ώρες αιχμής και η υποαπασχόλησή του κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι αυτό το νέο σχέδιο ήταν πιο αποτελεσματικό, καθώς μείωσε τους χρόνους αναμονής των ασθενών χωρίς να αυξήσει το συνολικό κόστος προσωπικού. **Επιπλέον, η μελέτη υπογράμμισε ότι τα μοντέλα ουρών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναλύσουν διάφορες πτυχές της λειτουργίας ενός τμήματος επειγόντων περιστατικών.** Για παράδειγμα, μπορούν να εντοπίσουν σημεία όπου υπάρχει περιθώριο βελτίωσης της παραγωγικότητας, να αξιολογήσουν τον αντίκτυπο διαφορετικών διαδικασιών και να προσομοιώσουν διάφορα σενάρια. **Σε γενικές γραμμές, τα αποτελέσματα της μελέτης υπογραμμίζουν τη σημασία της χρήσης μοντέλων ουρών για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των τμημάτων επειγόντων περιστατικών.** Με τη βοήθεια αυτών των μοντέλων, είναι δυνατόν να σχεδιαστούν πιο αποτελεσματικά σχέδια στελέχωσης, να μειωθούν οι χρόνοι αναμονής των ασθενών και να βελτιωθεί η ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών.

Μια πρόκληση με την εφαρμογή της θεωρίας της ουράς είναι να ξεπεραστεί η αντίληψη ότι περιλαμβάνει προηγμένη γνώση των μαθηματικών και της στατιστικής (Wiler et al., 2013). Αντίθετα, αποδεδειγμένα και είναι άμεσα διαθέσιμα δοκιμασμένα μοντέλα ουράς, συσχετίσεις και προσεγγίσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση διαφόρων παραμέτρων ροής ασθενών (Crane, 2017).

Αντίθετα, η εστίαση ήταν κυρίως στην αξιολόγηση των τυπικών λειτουργικών μετρήσεων του τμήματος επειγόντων περιστατικών — δηλαδή, αποχώρηση χωρίς εμφάνιση και διάρκεια παραμονής. Οι συνολικές ώρες παροχής υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης διατηρήθηκαν σταθερές μειώνοντας τα επίπεδα στελέχωσης των παρόχων κατά τις ώρες εκτός αιχμής (Fitzgerald et al., 2017; Lantz & Rosén, 2016).

Η έκθεση των Fitzgerald et al., (2017) διερεύνησε τον αντίκτυπο στους χρόνους αναμονής των ασθενών και στη ζήτηση πόρων νοσηλευτών από την προσθήκη μιας γρήγορης διαδρομής ή ξεχωριστής μονάδας για ασθενείς χαμηλής οξύτητας, στο τμήμα επειγόντων περιστατικών χρησιμοποιώντας μια προσομοίωση Monte Carlo που βασίζεται σε ουρά στο MATLAB. Η πληρότητα του τμήματος επειγόντων περιστατικών και η ζήτηση πόρων νοσηλευτών μοντελοποιήθηκαν και αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας τα επίπεδα του Δείκτη Σοβαρότητας Έκτακτης Ανάγκης των ασθενών και όχι τον αριθμό των κλινών στο τμήμα. Η προσομοίωση έδειξε ότι η δημιουργία μιας ξεχωριστής διαδρομής για τους πιο σοβαρούς ασθενείς μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών στα επείγοντα περιστατικά. Αυτό το εργαλείο μοντελοποίησης μπορεί να

χρησιμοποιηθεί από τους υπεύθυνους των νοσοκομείων για να σχεδιάσουν και να αξιολογήσουν διάφορα σενάρια πριν τα εφαρμόσουν στην πράξη, εξασφαλίζοντας έτσι τη βέλτιστη διαχείριση των πόρων και την παροχή ποιοτικότερης φροντίδας στους ασθενείς. Στην προσομοίωση του ιδρύματος από το μοντέλο, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προσθήκη μιας γρήγορης διαδρομής κατά τις ώρες αιχμής όγκου ασθενών του τμήματος επειγόντων περιστατικών μπορεί να μειώσει τους μέσους χρόνους αναμονής ασθενών κατά περίπου 35 τοις εκατό και πάνω από 70 τοις εκατό για τον δείκτη σοβαρότητας έκτακτης ανάγκης και τον δείκτη σοβαρότητας έκτακτης ανάγκης ασθενείς. Οι χαμηλότεροι χρόνοι αναμονής συσχετίστηκαν με βελτιωμένη συνολική απόδοση του τμήματος έκτακτης ανάγκης. Με βάση την εμπειρία τους, πιστεύουν ότι η στρατηγική για τη μοντελοποίηση είναι ένας πολλά υποσχόμενος μηχανισμός για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων γρήγορης υλοποίησης. Ενώ το μοντέλο έχει μελετηθεί μόνο σε μία τοποθεσία, η ευελιξία του επιτρέπει τη γενίκευσή του σε άλλα τμήματα έκτακτης ανάγκης.

Η μελέτη των Aziati & Hamdan (2018) είχε ως στόχο να καταλάβει πόσο χρόνο περιμένουν οι ασθενείς για να εξυπηρετηθούν σε μια κλινική στη Μαλαισία. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν υπολογιστικά προγράμματα για να δημιουργήσουν ένα μοντέλο που μιμείται την πραγματική κατάσταση στην κλινική. Βρήκαν ότι οι ασθενείς περιμένουν κατά μέσο όρο περίπου 54 λεπτά για να δουν γιατρό. Αυτό σημαίνει ότι η κλινική κατάφερε να πετύχει τον στόχο που είχε θέσει το υπουργείο υγείας, δηλαδή να εξυπηρετεί τους ασθενείς εντός μιας ώρας. Η μελέτη αντιμετώπισε επίσης μερικά προβλήματα που εντοπίστηκαν κατά την παρατήρηση και διαμορφώθηκαν κατάλληλες στρατηγικές για τη βελτίωση του χρόνου αναμονής και του ποσοστού χρήσης, συμπεριλαμβανομένης της αναδιάταξης του χρονοδιαγράμματος των πόρων.

Χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο ουράς, οι Kembe και οι συνεργάτες του (2012) ανέλυσαν τη λειτουργία της Ειδικής Κλινικής Riverside. Με αυτόν τον τρόπο, μπόρεσαν να υπολογίσουν το κόστος που σχετίζεται με τον χρόνο αναμονής των ασθενών και με την παροχή των υπηρεσιών υγείας. Ο τελικός στόχος ήταν να βρεθεί ο βέλτιστος αριθμός προσωπικού και πόρων που χρειάζεται η κλινική για να λειτουργήσει αποτελεσματικά.

Για να πραγματοποιηθεί αυτή η έρευνα, οι επιστήμονες επισκέφτηκαν μια συγκεκριμένη κλινική για τέσσερις εβδομάδες. Εκεί παρατήρησαν τι συνέβαινε, μίλησαν με τους ανθρώπους που εργάζονταν εκεί και ζήτησαν από κάποιους να απαντήσουν σε ερωτήσεις. Στη συνέχεια, χρησιμοποίησαν ειδικά προγράμματα στον υπολογιστή (όπως το TORA) για να αναλύσουν τα δεδομένα που είχαν συλλέξει και να βγάλουν συμπεράσματα.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι η μέση διάρκεια της ουράς, ο χρόνος αναμονής των

ασθενών καθώς και η υπερχρησιμοποίηση των γιατρών θα μπορούσαν να μειωθούν όταν το επίπεδο ικανότητας εξυπηρέτησης των γιατρών στην κλινική αυξηθεί από δέκα σε δώδεκα με ελάχιστο συνολικό κόστος που περιλαμβάνει αναμονή και εξυπηρέτηση.

2.4 Σχεδιασμός και οργάνωση υπηρεσιών

Έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες προσπάθειες με την εφαρμογή ανάλυσης ουράς σε νοσοκομειακές δραστηριότητες, χωρίζοντάς τες σε διάφορα τμήματα ως μέσο εξασφάλισης επαρκούς παράδοσης (Palvannan & Teow, 2012). Οι ουρές αναλύθηκαν στο πλαίσιο των τηλεφωνικών διευκολύνσεων, ώστε να εξασφαλιστεί μείωση του χρόνου αναμονής. Η μελέτη υποβάθρου στη στοχαστική ανάλυση και η υπόθεση πιθανοτήτων απαιτείται για τη μελέτη της ουράς ώστε να κατανοηθεί η λειτουργικότητά της σε πραγματική κατάσταση, ειδικά σε νοσοκομείο όπου απαιτείται ικανότητα για ανταπόκριση στις απαιτήσεις σχετικά με το μείγμα ασθενών και την ανομοιομορφία στη ροή άφιξης προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η καθυστέρηση σε οποιαδήποτε διαδικασία υγειονομικής περίθαλψης γίνεται με μοντέλα ουράς (Afolalu et al., 2019). Ο σχεδιασμός της υγειονομικής περίθαλψης περιλαμβάνει την ανάληψη της ποσότητας των πόρων που απαιτούνται για την παροχή υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης με συγκεκριμένο κόστος και ποιότητα (Olorunsola et al., 2014). Η αύξηση της προσέλευσης ασθενών δυσκολεύει τον ασθενή να περιμένει τη σειρά του και όταν δει ότι η ουρά είναι πολύ μεγάλη, προτιμά να φύγει ή να πάει σε άλλες υπηρεσίες υγείας με μικρότερη ουρά (Alizadehsani et al., 2021). Όταν ένας ασθενής μπαίνει σε μια ουρά και περιμένει μέχρι να φτάσει η σειρά του, τα συστήματα ουράς μπορούν να ωφελήσουν τη συμπεριφορά των ασθενών ώστε αλλάζοντας ενδεχομένως ουρά αναμονής να κινούνται πιο γρήγορα. Η επαναφορά του ασθενούς μπορεί επίσης να επιτευχθεί στην ουρά όπου ένας ασθενής περιμένει για κάποιο χρονικό διάστημα και μετά βγαίνει από το σύστημα ως αποτέλεσμα μιας σταδιακής διαδικασίας, επομένως η πιθανότητα αναστολής του ασθενούς αυξάνεται με το μήκος της ουράς (Afolalu et al., 2019).

Η μεταβλητότητα στις υπηρεσίες υγείας, δηλαδή οι συχνές διακοπές, έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνονται οι χρόνοι αναμονής των ασθενών. Αυτό έχει άμεσες επιπτώσεις στην ποιότητα της φροντίδας που παρέχεται και αποτελεί σημαντικό λόγο ανησυχίας στον τομέα της υγείας (Creemers & Lambrecht, 2007). Μετά την κατάλληλη εξέταση των ασθενών από τον ιατρό, οι ασθενείς μπορεί να κληθούν να υποβληθούν σε ορισμένες εξετάσεις για να επικυρώσουν τη δράση του γιατρού με αποτέλεσμα οι ασθενείς να μετακινούνται από το ένα τμήμα στο άλλο. Η μετακίνηση ασθενών σε ένα ή περισσότερα τμήματα στο νοσοκομείο δεν καθορίζεται σε πολλές περιπτώσεις όπου πρέπει να γίνουν πολλές εξετάσεις πριν μεταφερθεί ο ασθενής για χειρουργική επέμβαση και μετά την επέμβαση, απαιτείται παρακολούθηση για να βεβαιωθούν ότι ο ασθενής αναρρώνει οδηγώντας τον να

συνεχίσει να εμφανίζεται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, καθιστώντας έτσι δύσκολη τη χρήση ενός μοντέλου ουράς ως αποτέλεσμα της αμφισημίας που δημιουργείται στους νέους ασθενείς (Yekini et al., 2018). Η πλειονότητα των μοντέλων στην ουρά κατανέμει διαφορετικά συμβάντα όπως χειρουργική επέμβαση, διαβούλευση με ασθενείς και θηλάζουσες μητέρες σε διαφορετικό χρόνο και θεωρούν ότι μια συγκεκριμένη χρονική περίοδος είναι σταθερή (Sundayet al., 2018).

Σύμφωνα με έρευνα των Blocker et al. (2017), ο ανεπαρκής εξοπλισμός στα νοσοκομεία έχει άμεσο αντίκτυπο στους χρόνους αναμονής για χειρουργικές επεμβάσεις. Παράλληλα, η υψηλή ζήτηση για νοσοκομειακή περίθαλψη, όπως επισημαίνουν οι Salawu et al. (2018), οδηγεί σε υπερφόρτωση των υγειονομικών δομών και έλλειψη υλικών, με αποτέλεσμα την καθυστέρηση στην αντιμετώπιση των ασθενών που χρήζουν άμεσης βοήθειας.

Καταστάσεις που προκύπτουν από επείγοντα περιστατικά, μη διαθέσιμο προσωπικό, διακοπή της υπηρεσίας στο νοσοκομείο καθιστούν αδύνατη την ακριβή ώρα λειτουργίας του νοσοκομείου ή την ώρα που ο γιατρός θα είναι διαθέσιμος για διαβούλευση (Afolalu et al., 2019).

Για να μειωθεί αυτή η καθυστέρηση, η οποία οδήγησε σε μη ικανοποίηση των ασθενών και οικονομικές επιπτώσεις θα πρέπει να υπάρξει προσοχή στο να καταστήσουν την ανάλυση της ουράς εξαιρετικά πολύτιμη στη χρήση πόρων έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η καθυστέρηση. Πρέπει να υπάρξει η βελτιστοποίηση στην είσοδο των ασθενών σε κάθε τμήμα στα νοσοκομεία, έτσι ώστε να δίνεται λύση στον μέσο χρόνο αναμονής ασθενών, στον μέσο χρόνο επίσκεψης, στην πιθανότητα αναμονής ασθενών πέραν της μισής ώρας και κάτω, στη διάρκεια του μέσου ασθενούς που εξετάζεται από γιατρό και στην πιθανότητα παραπομπής ασθενών σε άλλο νοσοκομείο (Gilaninia et al., 2011; Mardiah & Basri, 2013; Yu et al., 2011).

Οι υπεύθυνοι των νοσοκομείων συχνά προσπαθούν να προβλέψουν πόσο δουλειά θα έχουν στο μέλλον, ώστε να μπορέσουν να προετοιμαστούν καλύτερα. Ένας συνηθισμένος τρόπος είναι να κοιτάζουν πόση δουλειά είχαν τα προηγούμενα χρόνια και να υποθέσουν ότι ο αριθμός των ασθενών θα συνεχίσει να αυξάνεται με τον ίδιο ρυθμό. Ωστόσο, αυτός ο τρόπος δεν είναι πάντα αξιόπιστος, γιατί ο αριθμός των ασθενών μπορεί να αλλάξει απότομα λόγω διαφόρων παραγόντων, όπως η εμφάνιση μιας νέας ασθένειας ή η αλλαγή των συνηθειών των ανθρώπων. Επιπλέον, δεν μπορούμε να υποθέσουμε ότι ο αριθμός των ασθενών θα συνεχίσει να αυξάνεται με τον ίδιο ρυθμό για πάντα. Ένας καλύτερος τρόπος είναι να εξετάσουμε παράγοντες όπως η ηλικία του πληθυσμού, καθώς η χρήση των υπηρεσιών υγείας συνδέεται στενά με αυτήν.

Μπορεί πρώτα να καθοδηγηθεί από το ποσοστό χρησιμοποίησης της συγκεκριμένης ηλικίας, το οποίο

είναι ο αριθμός των συναντήσεων (π.χ. επείγουσες παρουσίες ή ασθενείς, εισαγωγές στο νοσοκομείο) ανάλογα με τον πληθυσμό για κάθε ηλικιακή ομάδα. Λόγω των συνεχών αλλαγών στον τομέα της υγείας, της αυξημένης ζήτησης για υπηρεσίες και των οικονομικών πιέσεων, τα νοσοκομεία και οι κλινικές αναζητούν τρόπους για να οργανώσουν καλύτερα τις εργασίες τους. Ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο είναι τα μοντέλα ουράς. Αυτά τα μοντέλα βοηθούν τους υπεύθυνους να βρουν τον καλύτερο τρόπο για να εξυπηρετήσουν τους ασθενείς, χωρίς να δημιουργούν μεγάλες καθυστερήσεις (Mehandiratta, 2011).

Σε πολλά σενάρια όπου οι πόροι μπορεί να είναι σπάνιοι ή η καλή ποιότητα υπηρεσίας αποτελεί απαίτηση, το κατάλληλο μέγεθος εξαρτημάτων και συσκευών είναι μία από τις κύριες προκλήσεις. Η μοντελοποίηση και η προσομοίωση συστημάτων υπολογιστών ομίχλης είναι μια πολύπλοκη εργασία. Τα συστήματα που υιοθετούν το παράδειγμα του Διαδικτύου των Πραγμάτων μπορούν να μοντελοποιηθούν με επιτυχία. Χρήσιμες μετρήσεις απόδοσης μπορούν να ληφθούν για να συλλεχθούν πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο σωστής διαστασιολόγησης του συστήματος πριν από το σχεδιασμό και την ανάπτυξη μιας πραγματικής αρχιτεκτονικής με περιορισμούς συμφωνίας ποιότητας υπηρεσίας ή σε επίπεδο υπηρεσίας (Mas et al., 2022).

Η θεωρία των ουρών έχει αποδειχθεί ένα πολύτιμο εργαλείο για την κατανόηση και βελτιστοποίηση των υπηρεσιών cloud. Ερευνητές όπως ο Liu και οι συνεργάτες του (2015) έχουν εφαρμόσει αυτή τη θεωρία για να αναλύσουν την απόδοση των συστημάτων cloud. Επιπλέον, εργαλεία όπως το Java Modeling Tool for Internet of Things Middle-ware, που χρησιμοποιήθηκε από τους Rathod και Chowdhary (2019), έχουν συμβάλει στην ανάπτυξη πιο ρεαλιστικών μοντέλων για την προσομοίωση και την ανάλυση αυτών των συστημάτων. Ειδικά εργαλεία, όπως αυτά που προτείνονται από τους Tadakamalla και Menascé (2018), έχουν σχεδιαστεί για να διεξάγουν πιο εξειδικευμένες αναλύσεις σε περιβάλλοντα cloud και fog computing.

Η θεωρία της ουράς έχει επίσης χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της ολοκλήρωσης της εργασίας μέσω της εξισορρόπησης φορτίου και για τη μείωση των επιβαρύνσεων δεδομένων για ετερογενή δίκτυα σε περιβάλλοντα έξυπνων πόλεων (Said & Tolba, 2020; Sthapit et al., 2018). Οι χρήστες φορητών συσκευών συνήθως συνδέονται σε cloudlet μέσω WiFi. Αυτά τα κέντρα δεδομένων χαρακτηρίζονται από γεωγραφική διασπορά. Εξαιτίας αυτού, η απόφαση για το σε ποιο cloudlet θα συνδεθεί γίνεται πρόβλημα, καθώς εξαρτάται όχι μόνο από την εγγύτητα, αλλά και από την εξισορρόπηση φορτίου (Maiyama et al., 2017; Sundararaj, 2019). Στην έρευνα των Xu et al., (2019), η θεωρία ουράς και οι μέθοδοι βελτιστοποίησης πολλαπλών στόχων χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό των λύσεων εκφόρτωσης για τις ροές εργασίας περιορισμένων προθεσμιών στο φορητό νέφος που βασίζεται σε

cloudlet, μια βασική πρόκληση σε αυτά τα περιβάλλοντα, καθώς ένα cloudlet έχει περιορισμένους πόρους. Έχουν προταθεί διάφοροι αλγόριθμοι για τη βέλτιστη ανάθεση εργασιών σε περιβάλλον Mobile Cloud Computing (Rashidi & Sharifian, 2017). Το κύριο χαρακτηριστικό αυτών των αλγορίθμων είναι η αποτελεσματική ανάθεση εργασιών ανάλογα με τη θέση του περιβάλλοντος cloud. Ένα άλλο βασικό μέλημα είναι η βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας για όλες τις κινητές συσκευές (Pandi et al., 2019). Αυτή είναι η ορολογία που χρησιμοποιείται στο περιβάλλον Mobile Cloud Computing για το σχεδιασμό αρχιτεκτονικών cloud/fog. Επομένως, η επικοινωνία μεταξύ των διακομιστών cloud και των χρηστών απαιτεί σύνδεση στο Διαδίκτυο, κατά συνέπεια, η αργή σύνδεση θα έκανε την εργασία να ξοδέψει σημαντικό χρόνο και μπαταρία (Sundararaj et al., 2018).

Το γεγονός ότι υπάρχει μόνο μία αρχιτεκτονική ενός επιπέδου (μόνο το σύννεφο) περιορίζει σημαντικά τις δυνατότητες. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, ερευνούνται λύσεις που βασίζονται σε τρεις βασικούς πυλώνες: τη θεωρία ουρών, τη θεωρία ελέγχου και τη μηχανική μάθηση (El Kafhali & Salah, 2018; Zhang et al., 2016).

Τα μοντέλα ουράς έχουν αποδειχθεί χρήσιμα για την ανάπτυξη αναλυτικών μοντέλων για την παροχή Ποιότητας Υπηρεσίας σε αρχιτεκτονικές cloud (Bai et al., 2015; Cassar et al., 2021; Vilaplana et al., 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΟΥΡΑΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΚΑΙ ΠΑΝΔΗΜΙΑ COVID-19

3.1 Εισαγωγή

Η έρευνα για την εξάπλωση του COVID-19 —και οι προσπάθειες για τον περιορισμό του— έχουν επικεντρωθεί μέχρι στιγμής κυρίως σε δύο κατηγορίες διεργασιών: (i) τις βιολογικές και φυσικές διεργασίες που διέπουν την εξάπλωση των ιικών σωματιδίων (π.χ. και σωματίδια αερολύματος) και (ii) την τοποθέτηση και την κίνηση των ανθρώπων σε όλες τις κοινότητές τους, καθώς εκπληρώνουν τις διάφορες επιθυμίες και ανάγκες τους (π.χ. να εργαστούν, να ψωνίσουν σε παντοπωλεία, να αναζητήσουν υγειονομική περίθαλψη κ.λπ.) (Bove & Benoit, 2020).

Πριν την πανδημία COVID-19, οι επιστήμονες χρησιμοποιούσαν κυρίως απλουστευμένα μαθηματικά μοντέλα για να μελετήσουν πώς εξαπλώνονται οι ασθένειες σε μεγάλους πληθυσμούς. Αυτά τα μοντέλα χωρίζουν τον πληθυσμό σε ομάδες (διαμερίσματα) με βάση την κατάστασή τους (π.χ., υγιείς, άρρωστοι, ανθεκτικοί) και μελετούν πώς μεταφέρεται η ασθένεια από τη μια ομάδα στην άλλη.

Μοντέλα μαθηματικών έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την κατανόηση της πανδημίας COVID-19. Ερευνητές όπως οι Housni et al. (2020), Kaplan (2020), Acemoglu et al. (2020), Alvarez et al. (2020), Chang et al. (2021), Drakopoulos et al. (2017) και Drakopoulos & Zheng (2017) έχουν αξιοποιήσει αυτά τα μοντέλα για να μελετήσουν την εξάπλωση του ιού, να αξιολογήσουν την αποτελεσματικότητα μέτρων όπως τα lockdown και να αναλύσουν το κόστος-όφελος διαφόρων πολιτικών. Ειδικότερα, τα μοντέλα διαμερισμάτων, σε συνδυασμό με μοντέλα χωρικής εξάπλωσης, έχουν βοηθήσει στην κατανόηση του ρόλου των μετακινήσεων των ανθρώπων στην εξάπλωση της νόσου.

Σύμφωνα με μια μελέτη του 2020 από τον Birge και τους συνεργάτες του, αν κλείσουμε μόνο συγκεκριμένες περιοχές που έχουν πολλά κρούσματα COVID-19, μπορούμε να περιορίσουμε την εξάπλωση της ασθένειας χωρίς να προκαλέσουμε τόσο μεγάλη οικονομική ζημιά όσο αν κλείσουμε ολόκληρη την πόλη.

Τα μοντέλα ουράς έχουν σχεδιαστεί για να καταγράφουν τη στοχαστικότητα στις λειτουργίες των εγκαταστάσεων εξυπηρέτησης και την παραμονή των πελατών σε τέτοια συστήματα. **Για παράδειγμα, οι Trapman & Bootsma (2008), Dike et al. (2016) και Singh et al. (2018) δανείζονται τυπικές θεωρητικές έννοιες της ουράς όπως M/M/1, M/G/1 και ανάλυση περιόδου αιχμής, προκειμένου να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα των στρατηγικών παρέμβασης που σχετίζονται με κέντρα καραντίνας, εμβολιασμούς κ.λπ.**

Η μελέτη των Dike et al., (2016) παρουσιάζει την τεχνική ουράς M/M/1 ως μια αποτελεσματική μαθηματική προσέγγιση στη διερεύνηση της μετάδοσης και του ελέγχου της νόσου του ιού Έμπολα. Η θεωρία της ουράς που διέπει τις εξισώσεις εφαρμόστηκε στο πρόβλημα της νόσου του ιού Έμπολα. Οι συναγωγές της εφαρμογής της θεωρίας της ουράς αναμονής στο πρόβλημα της νόσου του ιού Έμπολα χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της επιδημίας του ιού Έμπολα στη Γουινέα το 2014. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η εξάπλωση της νόσου του ιού ακολουθεί ένα ακανόνιστο και τυχαίο μοτίβο κατανομής. Η τεχνική που υιοθετήθηκε σε αυτό το έγγραφο δείχνει ότι για το ξέσπασμα του ιού στη Γουινέα το 2014, δύο κέντρα καραντίνας ήταν αρκετά για τον έλεγχο της νόσου. Η τεχνική αποδεικνύεται χρήσιμη για την ελαχιστοποίηση της σπατάλης ανθρώπινων και υλικών πόρων στη μάχη κατά της επιδημίας του ιού Έμπολα. Αυτή η έρευνα θα μπορούσε να επεκταθεί στη χρήση μοντέλων δικτύων αναμονής για να καλύψει άλλες χώρες που πλήττονται από την επιδημία του ιού Έμπολα.

3.2 Θεωρία ουρών και περιστατικά μαζικών απωλειών

Μια σημαντική έννοια που πρέπει να συμπεριληφθεί σε ένα σχέδιο ετοιμότητας για περιστατικά μαζικών ατυχημάτων είναι αυτή της ισορροπίας μεταξύ της ζήτησης (π.χ. ασθενείς) και της προσφοράς (π.χ. πόρων). Δύο έννοιες έχουν χρησιμοποιηθεί για να περιγράψουν την προαναφερθείσα ισορροπία: ικανότητα ικανοποίησης υπερβάλλουσας ζήτησης (υπέρτασης), η οποία παραδοσιακά ορίζεται ως ο μέγιστος διαθέσιμος πόρος ενός συστήματος υγειονομικής περίθαλψης για την κάλυψη της αυξημένης ζήτησης που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια περιστατικών μαζικών ατυχημάτων και η ικανότητα απόκρισης υπέρτασης, που είναι η ικανότητα της υπέρτασης για την υποδοχή της υπέρτασης (Kelen & McCarthy, 2006). Ενώ η υπερβολική εξοικονόμηση ικανότητας απόκρισης υπέρτασης κατά τη διάρκεια καταστροφών μπορεί να επιβαρύνει τις καθημερινές ιατρικές ανάγκες ή και να αυξήσει τον φόρτο εργασίας του ιατρικού προσωπικού, η κράτηση πολύ μικρής ικανότητας απόκρισης υπερτάσεων θα μπορούσε να παρουσιάσει άλλα ζητήματα που μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο το ιατρικό προσωπικό και τους ασθενείς. Η Ομάδα Εργασίας για τον Ποιοτικό Έλεγχο στην Ιατρική από Καταστροφές της Παγκόσμιας Ένωσης για την Ιατρική Καταστροφών και Έκτακτης Ανάγκης όρισε την αποτελεσματικότητα ως μια ποιότητα που σχετίζεται με το πόσο στενά το αποτέλεσμα ταιριάζει με τον καθορισμένο στόχο (Sundnes & Task Force on Quality Control of Disaster Management, 1999). Επομένως, η θέσπιση ευέλικτων και αντικειμενικών μέτρων με τα οποία θα καθοριστεί η αποτελεσματικότητα στην αντιμετώπιση περιστατικών μαζικών ατυχημάτων είναι μια αξιόλογη προσπάθεια. Αυτή η ιδέα έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για την ανάπτυξη μοντέλων ροής τμήματος έκτακτης ανάγκης για την αντιμετώπιση του συνωστισμού των τμημάτων έκτακτης ανάγκης αλλά σπάνια εφαρμόζεται σε περιστατικά μαζικών ατυχημάτων (Alavi-Moghaddam et al., 2012;

Wilson et al., 2013).

Με βάση τη θεωρία της ουράς, θα μπορούσαν να προκύψουν πολλά μέτρα απόδοσης, συμπεριλαμβανομένου του μέσου χρόνου αναμονής στην ουρά ή στο σύστημα, τον αναμενόμενο αριθμό αναμονής ή λήψης υπηρεσίας και την πιθανότητα να συναντήσετε το σύστημα σε ορισμένες καταστάσεις. **Η εφαρμογή της θεωρίας ουρών στην υγειονομική περίθαλψη αποτελεί μια λεπτή ισορροπία μεταξύ της παροχής υπηρεσιών υγείας και του χρόνου αναμονής των ασθενών.** Στόχος είναι να βρεθεί το ιδανικό σημείο όπου η ικανοποίηση των αναγκών των ασθενών συνδυάζεται με την αποτελεσματική λειτουργία των υγειονομικών μονάδων, τόσο σε κανονικές συνθήκες όσο και σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. **Τα μοντέλα ουρών προσφέρουν ένα ισχυρό εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων σε αυτό το πλαίσιο.** Ωστόσο, η απλή θεωρία ουρών έχει περιορισμούς, καθώς εστιάζει σε ένα μόνο σημείο παροχής υπηρεσιών. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα, αναπτύχθηκε η **θεωρία των δικτύων αναμονής** που επιτρέπει την ανάλυση πιο σύνθετων συστημάτων με πολλαπλούς σταθμούς παροχής υπηρεσιών. **Μέσω της εφαρμογής και της προσομοίωσης αυτών των μοντέλων, έχουν εξαχθεί πολύτιμα συμπεράσματα για τη βελτιστοποίηση των υγειονομικών συστημάτων.** Συγκεκριμένα, μελέτες όπως αυτές του Henderson και συνεργατών (2001) και των Levi και Bregman (2003) έχουν αναδείξει τη σημασία της ισορροπίας μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης υπηρεσιών υγείας, καθώς και την ανάγκη για ευέλικτα συστήματα που μπορούν να ανταποκριθούν σε απρόβλεπτες καταστάσεις. Η θεωρία ουρών και η θεωρία των δικτύων αναμονής παρέχουν ένα ισχυρό θεωρητικό υπόβαθρο για τη βελτιστοποίηση της παροχής υπηρεσιών υγείας. Με τη βοήθεια αυτών των μοντέλων, οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής μπορούν να λάβουν αποφάσεις που θα οδηγήσουν σε πιο αποτελεσματικά και αποδοτικά συστήματα υγείας.

Πιστεύεται ότι η εφαρμογή ενός δικτύου ουράς σε διαφορετικούς τύπους πραγματικών περιστατικών μαζικών ατυχημάτων μπορεί να βοηθήσει στην αξιολόγηση της λήψης αποφάσεων και της αποτελεσματικότητας (βέλτιστη ικανότητα απόκρισης υπέρτασης) ως απόκριση σε περιστατικά με μαζικές απώλειες (Lin et al., 2019).

Σύμφωνα με τη μελέτη του Lin και συνεργατών το 2019, τα μαθηματικά μοντέλα της θεωρίας των ουρών μπορούν να αποτελέσουν ένα πολύτιμο εργαλείο για τους υπεύθυνους σχεδιασμού των συστημάτων υγείας. Με τη χρήση αυτών των μοντέλων, είναι δυνατός ο ακριβής υπολογισμός σημαντικών δεικτών απόδοσης, όπως ο μέσος χρόνος αναμονής των ασθενών και το ποσοστό εκείνων που εγκαταλείπουν την αναμονή χωρίς να εξυπηρετηθούν. Αυτή η πληροφορία είναι εξαιρετικά χρήσιμη για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης της ροής των ασθενών, ιδιαίτερα σε περιόδους αυξημένης πίεσης, όπως κατά τη διάρκεια επιδημιών ή άλλων καταστροφών.

Για να επιτευχθεί αποτελεσματική ροή ασθενών, απαιτείται υψηλή απόδοση με υψηλή ικανότητα απόκρισης υπέρτασης σε κάθε σταθμό εργασίας στο τμήμα επειγόντων περιστατικών κατά τη διάρκεια περιστατικών μαζικής αιτιότητας. Τα χαρακτηριστικά μιας αποτελεσματικής ροής ασθενούς περιλαμβάνουν υψηλή απόδοση ασθενών, μικρή διάρκεια παραμονής (W_s και W_q), διατήρηση επαρκούς ρυθμού χρήσης πόρων (ρ) και χαμηλό χρόνο αδράνειας του προσωπικού (Jun et al., 1999). Η διάρκεια παραμονής σε τμήμα έκτακτης ανάγκης κατά τη διάρκεια περιστατικών μαζικής αιτιότητας θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως δείκτης αποτελεσματικότητας στη διαχείριση περιστατικών μαζικής αιτιότητας. Σε αυτή τη μελέτη, διαπίστωσαν ότι οι ασθενείς από το συμβάν B είχαν πολύ μεγαλύτερη διάρκεια παραμονής στο τμήμα επειγόντων περιστατικών από εκείνους του συμβάντος A. Αυτό το εύρημα θα μπορούσε να εξηγηθεί από διαφορές στον τύπο των περιστατικών μαζικής αιτιότητας, στον ρυθμό άφιξης της διαλογής (λ), τη σοβαρότητα της κατάστασης του ασθενούς (χρόνος που απαιτείται για την αξιολόγηση και τη θεραπεία ασθενών) και το χρονικό διάστημα εξόδου μεταξύ των συμβάντων, τα οποία μπορεί να επηρεάσουν τη διάρκεια παραμονής στο τμήμα επειγόντων περιστατικών. Ένας σημαντικός τροποποιήσιμος παράγοντας είναι ο ρυθμός άφιξης, ο οποίος έχει συνεχή επίδραση στη διάρκεια παραμονής του ασθενούς ως συνάρτηση της επίδρασής του στον χρόνο αναμονής (Armony et al., 2015). Το συμβάν A είχε υψηλότερο ποσοστό άφιξης (λ) από το συμβάν B στη διαλογή, ωστόσο παρατηρήθηκε μικρότερη διάρκεια παραμονής στο τμήμα επειγόντων περιστατικών στο συμβάν A. Το συμβάν B ήταν περιστατικά μαζικής αιτιότητας που χαρακτηρίζονταν από μεγάλο αριθμό ασθενών με σοβαρά εγκαύματα, ενώ το συμβάν A ήταν τροχαίο ατύχημα με ασθενείς που υπέστησαν μόνο ήπιους τραυματισμούς.

Η σοβαρότητα των περιστατικών μαζικής αιτιότητας επηρεάζει σημαντικά τη λειτουργία των υγειονομικών συστημάτων. Για παράδειγμα, σε ένα συμβάν όπως το B, όπου οι ασθενείς παρουσιάζουν πιο σοβαρές καταστάσεις, παρατηρείται αυξημένος χρόνος παραμονής στο τμήμα επειγόντων περιστατικών σε σύγκριση με ένα λιγότερο σοβαρό συμβάν όπως το A. **Χρησιμοποιώντας μοντέλα δικτύων αναμονής, μπορούμε να αναλύσουμε λεπτομερώς αυτές τις διαφορές.** Συγκεκριμένα, μπορούμε να μετρήσουμε πόσο χρόνο περιμένουν οι ασθενείς για να ξεκινήσει η θεραπεία τους (W_q) και πόσο συνολικά παραμένουν στο σύστημα (W_s). Επιπλέον, μπορούμε να υπολογίσουμε τον μέσο αριθμό ασθενών που βρίσκονται στο τμήμα διαλογής και επειγόντων περιστατικών (L_s και L_q). Τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων δείχνουν ότι σε πιο σοβαρά συμβάντα, όπως το B, οι ασθενείς παραμένουν περισσότερο στο σύστημα και υπάρχει μεγαλύτερη πίεση στα τμήματα επειγόντων περιστατικών. **Η εφαρμογή των μοντέλων δικτύων αναμονής σε διαφορετικούς τύπους περιστατικών μαζικής αιτιότητας μπορεί να μας βοηθήσει να αξιολογήσουμε την αποτελεσματικότητα των υγειονομικών συστημάτων μας.** Με αυτόν τον

τρόπο, μπορούμε να εντοπίσουμε αδυναμίες και να προτείνουμε βελτιώσεις, ώστε να είμαστε καλύτερα προετοιμασμένοι να αντιμετωπίσουμε μελλοντικά συμβάντα.

Στις δύο περιπτώσεις μαζικών περιστατικών αιτιότητας που μελέτησαν, παρατηρήθηκε η μικρή διάρκεια παραμονής (W_s και W_q), η επαρκής χρήση πόρων (ρ) και η απουσία χρόνου αδράνειας του προσωπικού (που προσδιορίστηκε μέσω συζήτησης με τους επικεφαλής νοσηλευτές που συμμετείχαν στα δύο περιστατικά μαζικής αιτιότητας). Η υπερβολική διαθεσιμότητα προσωπικού κατά τη διάρκεια περιστατικών μαζικής αιτιότητας είναι μια παγίδα στη διαχείριση περιστατικών μαζικής αιτιότητας. Στην περίπτωση Α, σε αυτή τη μελέτη, παρατηρήθηκε υπερβολικός αριθμός νοσηλευτών και ανεπαρκές ανθρώπινο δυναμικό γιατρών. Εκτός από την ισορροπία μεταξύ της ικανότητας υπέρτασης και της ικανότητας απόκρισης υπέρτασης, η ισορροπία μεταξύ επείγουσας ανάγκης και αποτελεσματικότητας θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη διαχείριση περιστατικών μαζικής αιτιότητας στο τμήμα επειγόντων περιστατικών. Μελέτες σχετικά με την ταχεία παρέμβαση για λιγότερο επείγοντες ασθενείς (Cooke et al., 2002) έδειξαν ότι η μείωση του χρόνου αναμονής θα μπορούσε να επιτύχει υψηλή αποτελεσματικότητα (Kazahaya, 2005; McQuarrie, 1983).

Η ελάχιστη αναλογία νοσηλευτών προς ασθενή είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τον προσδιορισμό των επιπέδων στελέχωσης νοσηλευτών (Yankovic & Green, 2011). Τα μοντέλα ουράς μπορούν να αποτυπώσουν ευέλικτα τη στοχαστική φύση της ικανότητας υπέρτασης κατά τη διάρκεια περιστατικών μαζικής αιτιότητας, επομένως μπορεί να είναι ένα καλό εργαλείο για τον προσδιορισμό των επιπέδων στελέχωσης νοσηλευτών κατά τη διάρκεια συμβάντων έκτακτης ανάγκης. Επιπλέον, οι πάροχοι υγειονομικής περίθαλψης που αποσύρονται από άλλα τμήματα στο τμήμα επειγόντων περιστατικών θα μπορούσαν επίσης να θέσουν σε κίνδυνο την ασφάλεια των ασθενών. Στην περίπτωση Β, η διάρκεια παραμονής στο τμήμα επειγόντων περιστατικών επηρεάστηκε από τα χρονικά διαστήματα εξόδου. Επομένως, ένα δίκτυο ουράς μπορεί να είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την αντιμετώπιση διαφορετικών τύπων περιστατικών μαζικής αιτιότητας σε διαφορετικά τμήματα έκτακτης ανάγκης για την εκτίμηση της ικανότητας απόκρισης υπέρτασης. Η συλλογή των μεταβλητών του δικτύου αναμονής σε ιστορικά περιστατικά μαζικής αιτιότητας θα μπορούσε να είναι ένα επιστημονικό μέσο στα προγράμματα διαχείρισης επειγόντων περιστατικών νοσοκομείων.

3.3 Ουρά αναμονής και Covid-19

Η εποχή του κορωνοϊού έχει ζητήσει τη λήψη **μέτρων κοινωνικής αποστασιοποίησης** για την ελαχιστοποίηση της εξάπλωσης της ιογενούς νόσου. Τα ιδρύματα υγειονομικής περίθαλψης μειώνουν το μέγεθος του εργαζομένου προσωπικού τους, ενώ άλλα λειτουργούν με βάση την εργασία σε βάρδιες για να εξασφαλίσουν πρωτόκολλα για κοινωνική απόσταση. Εγγενές στο πρωτόκολλο

κοινωνικής απόστασης είναι η δυνατότητα δημιουργίας γραμμών αναμονής στα σημεία παροχής υπηρεσιών. Τα κέντρα υγειονομικής περίθαλψης σε πολλές χώρες έχουν ήδη πλημμυρίσει από πολλές επισκέψεις ασθενών σε καθημερινή βάση για θεραπεία από ήπιες έως σοβαρές παθήσεις. Ο COVID-19 έχει προσθέσει επιπλέον βάρος στα ήδη αδύναμα συστήματα υγείας. Ενώ οι επισκέψεις αυξάνονται, πρέπει να ληφθούν μέτρα κοινωνικής απόστασης. Η γρήγορη παροχή υπηρεσιών, η οποία είναι απαραίτητη για τους ασθενείς που επισκέπτονται τα νοσοκομεία για θεραπεία, συντομεύεται. Η εμφάνιση ουράς αναμονής, ένα εμπόδιο στην παροχή υγειονομικής περίθαλψης έχει γίνει συνηθισμένη στα περισσότερα κέντρα υγείας. Εκτός από την απώλεια οικονομικών κερδών, η καθυστέρηση και η μη ικανοποιητική υγειονομική περίθαλψη θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε απώλεια ζωών.

Οι μονάδες υγείας ασχολούνται με την αποτελεσματική διαχείριση των χρονοδιαγραμμάτων του προσωπικού για να περιορίσουν τον αντίκτυπο του COVID-19 και ταυτόχρονα να καλύψουν την ικανότητα να ανταποκριθούν στις πρόσθετες απαιτήσεις παροχής υγειονομικής περίθαλψης. **Ως εκ τούτου, οι προσπάθειες για μείωση του χρόνου αναμονής για τη λήψη ιατρικής φροντίδας είναι ζωτικής σημασίας.** Τα συστήματα υγείας παγκοσμίως βρίσκονται υπό σοβαρή πολιορκία με τη συνεχιζόμενη οργή της πανδημίας του κορωνοϊού. Τα εξωτερικά ιατρεία είναι κοινά σημεία επαφής και εξυπηρέτησης στα περισσότερα κέντρα υγείας. Η εμφάνιση του COVID-19 έχει επιβαρύνει περισσότερο τα εξωτερικά ιατρεία και πολλές άλλες μονάδες βασικής φροντίδας. **Οι ουρές των ασθενών που περιμένουν αυξάνονται και είναι συχνές τόσο πολύ που παρεμποδίζεται η γρήγορη και ποιοτική παροχή υγειονομικής περίθαλψης.** Για τη διευκόλυνση της λειτουργικής αποτελεσματικότητας σε εξωτερικούς ασθενείς τμημάτων όπως και για την επιτάχυνση της παροχής υπηρεσιών κατά τη διάρκεια επιδημιών όπως ο κορωνοϊός, πρέπει να καθοριστεί ο βέλτιστος αριθμός παραθύρων υπηρεσίας για να μειωθεί ο χρόνος αναμονής των ασθενών και να απολαύσουν τα συνακόλουθα οφέλη παροχής υγείας (Nawusu et al., 2020).

Η μελέτη των Nawusu et al., (2020) έδειξε τη δυνατότητα εφαρμογής της θεωρίας της ουράς στη διαχείριση της ουράς ασθενών στα εξωτερικά ιατρεία. Το τμήμα εξωτερικών ασθενών διαμορφώνεται ως σύστημα αναμονής M/M/1. Ο ρυθμός άφιξης του ασθενούς και το ποσοστό εξυπηρέτησης μετρήθηκαν σε περίοδο μίας εβδομάδας. Βασίζόμενοι σε τύπους από τη θεωρία αναμονής, η απόδοση του τμήματος εξωτερικών ασθενών μετρήθηκε υπολογιστικά. σε τομείς όπως η αξιοποίηση του συστήματος, ο αναμενόμενος αριθμός ασθενών στην ουρά, ο χρόνος αναμονής των ασθενών στην ουρά και άλλα. Με βάση την προσωπική παρατήρηση στη μελέτη περίπτωσης, δόθηκαν και οι ακόλουθες συστάσεις:

1. Θα πρέπει να εφαρμοστεί ηλεκτρονικό σύστημα παρακολούθησης φακέλων, καθώς παρατηρήθηκε

ότι μεγάλο μέρος του χρόνου που αφιερώνεται στην εξυπηρέτηση πελατών οφείλεται σε δυσκολία εντοπισμού φακέλων ασθενών που έγινε χειροκίνητα.

2. Ο χώρος αναμονής για τον ασθενή βρέθηκε λιγότερο ευρύχωρος, καθιστώντας δύσκολη την τήρηση της κοινωνικής απόστασης. Η έρευνα προτείνει μια μετεγκατάσταση σε ένα πιο ευρύχωρο σημείο εξυπηρέτησης, εάν το επιτρέπουν τα κεφάλαια.

3. Οι μη κρίσιμες επισκέψεις στα εξωτερικά ιατρεία θα πρέπει να αποφεύγονται ή να αναβάλλονται σε περιόδους λιγότερο απασχολημένων.

4. Η ουρά προτεραιότητας θα πρέπει να εφαρμόζεται στα εξωτερικά ιατρεία για να επιτρέπεται στους ασθενείς που παρουσιάζουν σύμπτωμα του COVID-19 να παρακολουθούνται χωριστά από άλλους ασθενείς με συμπτώματα που δεν μοιάζουν με τον COVID-19.

5. Για την αποφυγή μεγάλων ουρών στα εξωτερικά ιατρεία της κατηγορίας των περιπτώσεων εξωτερικών ιατρείων, αυτά των εγκαταστάσεων μη τριτοβάθμιας περίθαλψης θα πρέπει να προορίζονται για ασθενείς που πάσχουν από χρόνιες παθήσεις.

Η πιθανή αύξηση της ζήτησης για μονάδες εντατικής θεραπείας και αναπνευστήρα λόγω της πανδημίας ενισχύει τη σημασία της στρατηγικής διαχείρισης ιατρικών πόρων. Η σημασία της μαθηματικής μοντελοποίησης για την πρόβλεψη του αριθμού των ασθενών και της απαιτούμενης ικανότητας πόρων εντατικής θεραπείας κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19 έχει αναγνωριστεί ευρέως (Alnowibet, K. A., & Perros, H. (2006; Baas et al., 2021; Ingolfsson et al., 2021; Lakshmi & Iyer, 2013; Rothkopf & Oren, 1979). Ωστόσο, απαιτείται πρόσθετη μοντελοποίηση για την πρόβλεψη της χρήσης ιατρικών πόρων και την ενημέρωση των επιχειρησιακών αποφάσεων (Baas et al., 2021). Μια προσέγγιση για την εκτίμηση της ζήτησης της μονάδας εντατικής θεραπείας είναι απλώς να κλιμακωθεί ο αριθμός των προβλεπόμενων περιπτώσεων με βάση το προβλεπόμενο ποσοστό των περιπτώσεων που εισάγονται στη μονάδα εντατικής θεραπείας (Bai et al., 2018). Ωστόσο, η χρήση πόρων εντατικής θεραπείας εξαρτάται επίσης από τη ζήτηση για μη COVID-19, τον χρόνο χρήσης πόρων, τη διαθέσιμη χωρητικότητα και την καθυστέρηση από την έναρξη των συμπτωμάτων του COVID-19 στην εντατική φροντίδα (Baas et al., 2021).

Έχουν χρησιμοποιηθεί άπειρα μοντέλα διακομιστών για την πρόβλεψη της καμπύλης χρήσης της μονάδας εντατικής θεραπείας COVID-19, ανεξάρτητα από τη διαθέσιμη χωρητικότητα. Αυτά τα μοντέλα αντιμετωπίζουν την απαιτούμενη χωρητικότητα με βάση είτε την αναμενόμενη χρήση (García-Vicuña et al., 2020) είτε χρησιμοποιώντας προσομοίωση για να συλλάβουν τη στοχαστικότητα στη χρήση πόρων (Bekker et al., 2021).

Όταν μιλάμε για μονάδες εντατικής θεραπείας για ασθενείς με COVID-19, είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι έχουν περιορισμένο αριθμό κλινών. Τα μοντέλα που μελετούν αυτές τις μονάδες μας βοηθούν να καταλάβουμε πώς ο αριθμός των διαθέσιμων κλινών επηρεάζει τον αριθμό των ασθενών που μπορούν να νοσηλευτούν και πόσοι ασθενείς μπορεί να χάσουν τη ζωή τους επειδή δεν βρήκαν διαθέσιμη κλίνη. (Alban et al., 2020).

Σε κανονικές συνθήκες, χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα μοντέλα για να υπολογίσουμε πόσες κλίνες χρειάζονται σε μια μονάδα εντατικής θεραπείας ή σε ένα νοσοκομείο γενικότερα. Αυτά τα μοντέλα μας βοηθούν να καταλάβουμε πόσους ασθενείς μπορούμε να δεχτούμε και να εξυπηρετήσουμε (Davies et al., 2020; Green et al., 2007; Izady & Worthington, 2011).

Όμως, η πανδημία του COVID-19 άλλαξε τα δεδομένα. Ο αριθμός των ασθενών που χρειάζονταν νοσηλεία άλλαξε πολύ γρήγορα και αυτό δημιουργούσε μεγάλες δυσκολίες στον προγραμματισμό του αριθμού των κλινών που χρειαζόταν κάθε φορά. Τα παραδοσιακά μοντέλα δεν ήταν αρκετά αποτελεσματικά για να αντιμετωπίσουν αυτή την κατάσταση (Asaduzzaman & Chaussalet, 2014).

Οι Zimmerman et al., (2022) ανέπτυξαν ένα σύστημα ουράς με βάση το μοντέλο απώλειας για να ενημερώσουν τη διαχείριση της χωρητικότητας στη ΜΕΘ κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19. Το μοντέλο ενσωμάτωσε προβολές κρουσμάτων COVID-19, το ποσοστό των περιπτώσεων που χρειάζονται αναπνευστήρα, την καθυστέρηση από την έναρξη των συμπτωμάτων στον μηχανικό αερισμό, τη ζήτηση για μη COVID-19, τον χρόνο αερισμού και τη χωρητικότητα της ΜΕΘ.

Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν προσομοιώσεις για να προβλέψουν πόσοι αναπνευστήρες θα χρειάζονταν σε διάφορα σενάρια της πανδημίας COVID-19. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούσαν να εκτιμήσουν αν οι διαθέσιμοι αναπνευστήρες ήταν αρκετοί και τότε θα εξαντλούνταν. **Για να βρουν τον βέλτιστο αριθμό αναπνευστήρων, χρησιμοποίησαν ένα μαθηματικό μοντέλο που ονομάζεται μοντέλο απώλειας.** Αυτό το μοντέλο τους επέτρεψε να υπολογίσουν την πιθανότητα ένας ασθενής να βρει διαθέσιμο αναπνευστήρα σε κάθε χρονική στιγμή. **Για να λύσουν αυτό το πρόβλημα, οι ερευνητές ανέπτυξαν μια ειδική μέθοδο που τους βοηθούσε να βρουν γρήγορα την απάντηση, ακόμα και όταν η ζήτηση για αναπνευστήρες άλλαζε συνεχώς.** Συνεργάστηκαν στενά με κυβερνητικούς φορείς στον Καναδά για να προσαρμόσουν το μοντέλο τους στα πραγματικά δεδομένα της πανδημίας. Κάθε εβδομάδα, παρείχαν εκτιμήσεις για το πόσοι αναπνευστήρες θα χρειάζονταν τις επόμενες εβδομάδες, λαμβάνοντας υπόψη τις πιο πρόσφατες πληροφορίες για την εξέλιξη της πανδημίας. **Με αυτόν τον τρόπο, οι ερευνητές βοήθησαν τις κυβερνητικές αρχές να σχεδιάσουν καλύτερα την αντιμετώπιση της πανδημίας και να εξασφαλίσουν ότι υπήρχαν αρκετοί αναπνευστήρες διαθέσιμοι για τους ασθενείς που τους χρειάζονταν.**

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης προβλέπουν ότι σε ένα σενάριο μειωμένης μετάδοσης του COVID-19 (μέσω μέσων όπως η κοινωνική απόσταση, αλλά και άλλα μέτρα δημόσιας υγείας και αλλαγές στη συμπεριφορά του πληθυσμού), η πληρότητα της ΜΕΘ πιθανότατα δεν θα επιτευχθεί, συμβάλλοντας έτσι στην αποτροπή πολλών θανάτων την ημέρα.

Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν την ικανότητα του μοντέλου τους να αντιμετωπίζει τη διαχείριση πόρων εντατικής θεραπείας κατά τη διάρκεια της επιδημίας COVID-19. Επιπλέον, το μοντέλο συνδέει τις παρεμβάσεις στη δημόσια υγεία, συμπεριλαμβανομένης της κοινωνικής απόστασης, με λειτουργικές επιπτώσεις στη χρήση του αναπνευστήρα.

Το πρόβλημα του υπερπληθυσμού στο χώρο της υγειονομικής περίθαλψης έχει ως επί το πλείστον αντιμετωπιστεί στη βιβλιογραφία στο παρελθόν σχετικά με τα Τμήματα Επειγόντων Περιστατικών (Joseph, 2020; Moreno-Carrillo et al., 2019). Η βιβλιογραφία σχετικά με τον προγραμματισμό ραντεβού στην υγειονομική περίθαλψη είναι τεράστια. Λόγω της φύσης των ιατρικών υπηρεσιών, είναι πολύ δύσκολο να προβλέψουμε με ακρίβεια πότε θα έρθει ένας ασθενής και πόση ώρα θα χρειαστεί για να εξυπηρετηθεί. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν αυτές τις παραμέτρους, καθιστώντας την ακριβή πρόβλεψη μια δύσκολη υπόθεση (Cho et al., 2017; Zhu et al., 2018).

Σε μια πρόσφατη μελέτη (Di Pumpo et al., 2022), οι ερευνητές χρησιμοποίησαν τη θεωρία των ουρών για να αναλύσουν τη λειτουργία ενός κέντρου εμβολιασμού κατά του COVID-19. Στόχος τους ήταν να βελτιστοποιήσουν τη διαδικασία εμβολιασμού, μειώνοντας τους χρόνους αναμονής και εξασφαλίζοντας την ασφάλεια των εμβολιασμένων. Τα ευρήματα έδειξαν:

- **Βελτιστοποίηση της διαδικασίας:** Η εφαρμογή της θεωρίας των ουρών οδήγησε σε σημαντική μείωση των ατόμων που περίμεναν σε ουρά, ειδικά σε μεγάλα κέντρα εμβολιασμού.
- **Υψηλή αξιοποίηση των πόρων:** Τα κέντρα εμβολιασμού λειτουργούσαν με πολύ υψηλή αποδοτικότητα, με τους σταθμούς εμβολιασμού να αξιοποιούνται σχεδόν στο μέγιστο.
- **Μέτρια τήρηση των ραντεβού:** Παρόλο που η θεωρία των ουρών προϋποθέτει την τήρηση των ραντεβού, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ένα σημαντικό ποσοστό ατόμων δεν έφτανε στην ώρα του.
- **Επίδραση του μεγέθους του κέντρου:** Το μέγεθος και η πολυπλοκότητα του κέντρου εμβολιασμού επηρέασαν σημαντικά την απόδοση και την ασφάλεια της διαδικασίας.

Όσον αφορά την ανάλυση απόδοσης, φαίνεται η υψηλότερη απόδοση ως προς το ποσοστό του χρόνου

χρήσης των σταθμών και ο μέσος χρόνος αναμονής βρίσκεται στο χώρο μαζικού εμβολιασμού, ακολουθούμενο από τη ρύθμιση διπλού μεγέθους και την αρχική προσομοίωση ρύθμισης. Η μελέτη καταδεικνύει τη χρησιμότητα της θεωρίας των ουρών στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των κέντρων εμβολιασμού. Με τη χρήση αυτής της μεθόδου, είναι δυνατόν να προβλεφθούν πιθανά προβλήματα και να ληφθούν μέτρα για την αποφυγή τους, εξασφαλίζοντας έτσι μια πιο αποτελεσματική και ασφαλή διαδικασία εμβολιασμού.

Οι Yang et al., (2022) εξέτασαν μια πολιτική FIFO σύμφωνα με την οποία η μονάδα δοκιμών διενεργεί δοκιμές στους ελεγχόμενους σύμφωνα με τη σειρά άφιξής τους. Έδειξαν ότι η δωρεάν δοκιμή μπορεί να εντοπίσει τις περισσότερες περιπτώσεις, υπό την προϋπόθεση ότι η πολιτική προγραμματισμού είναι βελτιστοποιημένη. Τα αποτελέσματά δίνουν μια προειδοποίηση ενάντια σε μια προσέγγιση που ταιριάζει σε όλους στις πολιτικές δοκιμών. Για παράδειγμα, συνιστάται να ανακοινώνονται και να δημοσιεύονται όλες οι πληροφορίες σχετικά με τη διαδικασία σε συνδυασμό με τις πληροφορίες τοποθεσίας δοκιμής. Εάν οι συμπτωματικές ή ασυμπτωματικές περιπτώσεις είχαν υψηλότερο βάρος, τότε η βέλτιστη πολιτική προγραμματισμού θα μετατοπιζόταν προς την προτεραιότητα των συμπτωματικών ή ασυμπτωματικών ατόμων πιο συχνά. Ωστόσο, η βέλτιστη πολιτική προγραμματισμού απαιτεί, κατά καιρούς, να δοθεί προτεραιότητα στο ασυμπτωματικό έναντι του συμπτωματικού, κάτι που μπορεί να αντιμετωπιστεί με απόθεση από εκείνους που αισθάνονται άβολα με έναν τέτοιο κανόνα.

Οι Meares & Jones (2020) χρησιμοποίησαν ένα μαθηματικό μοντέλο για να προβλέψουν τις μελλοντικές ανάγκες σε κρεβάτια ΜΕΘ στην Αυστραλία. Τα αποτελέσματα του μοντέλου δείχνουν ότι τα νοσοκομεία ενδέχεται να αντιμετωπίσουν σοβαρές ελλείψεις σε κλίνες, ειδικά σε περίπτωση μιας μεγάλης επιδημίας. Αυτό σημαίνει ότι τα αυστραλιανά νοσοκομεία πρέπει να λάβουν άμεσα μέτρα για να αυξήσουν την χωρητικότητά τους και να βελτιώσουν την ετοιμότητά τους.

Η έρευνα του Yadav και των συνεργατών του (2021) εξέτασε πώς λειτουργούσε η διαδικασία διαλογής ασθενών με COVID-19 σε ένα μεγάλο νοσοκομείο στο Δελχί. Διεξήχθη ως εξής:

- **Παρατήρηση από μακριά:** Οι ερευνητές παρακολουθούσαν τι συνέβαινε στην αίθουσα διαλογής χωρίς να παρεμβαίνουν. Χρησιμοποιούσαν κάμερες για να καταγράψουν όλα όσα συνέβαιναν.
- **Συλλογή δεδομένων:** Καταγράφονταν στοιχεία όπως:
 - Πόσοι ασθενείς έρχονταν κάθε ώρα.

- Πόσοι γιατροί υπήρχαν για να εξυπηρετήσουν τους ασθενείς.
- Πόση ώρα χρειαζόταν κάθε γιατρός για να εξετάσει έναν ασθενή.
- **Χρονική διάρκεια:** Η έρευνα διήρκεσε 10 ημέρες και οι παρατηρήσεις γίνονταν κάθε 10 λεπτά.

Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν ένα μαθηματικό μοντέλο (M/M/c/K) για να αναλύσουν τα δεδομένα. Αυτό το μοντέλο είναι πολύ χρήσιμο για να καταλάβουμε πώς λειτουργούν τα συστήματα όπου οι άνθρωποι περιμένουν σε ουρές (όπως σε ένα νοσοκομείο). Σύμφωνα με τους κανονισμούς για την αποφυγή της διασποράς του COVID-19, στην αίθουσα διαλογής μπορούσαν να βρίσκονται το πολύ 20 ασθενείς ταυτόχρονα.

Η έρευνα αυτή μας δίνει μια εικόνα για το πώς λειτουργούσε η διαδικασία διαλογής των ασθενών με COVID-19 σε ένα συγκεκριμένο νοσοκομείο. Με τη βοήθεια μαθηματικών μοντέλων, οι ερευνητές κατάφεραν να αναλύσουν τα δεδομένα και να κατανοήσουν καλύτερα πώς μπορούμε να βελτιώσουμε την διαχείριση των ασθενών σε παρόμοιες καταστάσεις (Green, 2002).

Η έρευνα κατέληξε στα εξής συμπεράσματα:

- **Βέλτιστος αριθμός γιατρών:** Με βάση τα δεδομένα, διαπιστώθηκε ότι ο βέλτιστος αριθμός γιατρών για την εξυπηρέτηση των ασθενών με COVID-19 ήταν **2**. Αυτός ο αριθμός βρέθηκε να ελαχιστοποιεί τον αριθμό των ασθενών που αποχωρούν χωρίς εξέταση και τον μέσο χρόνο αναμονής.
- **Απόδοση με 2 γιατρούς:**
 - **Πιθανότητα κορεσμού:** Υπήρχε 15% πιθανότητα να υπάρχουν 20 ασθενείς στην αίθουσα αναμονής (το μέγιστο επιτρεπτό).
 - **Πληρότητα γιατρών:** Οι γιατροί ήταν απασχολημένοι κατά 99,25% του χρόνου.
 - **Μέσος χρόνος αναμονής:** Οι ασθενείς περίμεναν κατά μέσο όρο 21,7 λεπτά.
 - **Απώλεια ασθενών:** Περίπου 1 ασθενής κάθε 10 λεπτά έφευγε χωρίς εξέταση.
- **Επιπτώσεις της αλλαγής του αριθμού των γιατρών:**
 - **Μείωση γιατρών σε 1:** Αυξάνεται σημαντικά ο χρόνος αναμονής (πάνω από 60 λεπτά) και αυξάνεται ο αριθμός των ασθενών που φεύγουν χωρίς εξέταση.

- **Αύξηση γιατρών σε 3 ή περισσότερους:** Μειώνεται σημαντικά ο χρόνος αναμονής (κάτω από 3 λεπτά), σχεδόν μηδενίζεται ο αριθμός των ασθενών που φεύγουν χωρίς εξέταση και μειώνεται σημαντικά η πιθανότητα κορεσμού της αίθουσας αναμονής.
- **Ρυθμός εξυπηρέτησης:** Κάθε γιατρός μπορούσε να εξυπηρετήσει κατά μέσο όρο 3 ασθενείς κάθε 10 λεπτά.
- **Ρυθμός άφιξης:** Κατά μέσο όρο, έφταναν 7 ασθενείς κάθε 10 λεπτά.

Η έρευνα καταδεικνύει ότι ο αριθμός των γιατρών έχει σημαντικό αντίκτυπο στην αποτελεσματικότητα της διαδικασίας διαλογής των ασθενών. Η εύρεση του βέλτιστου αριθμού γιατρών είναι κρίσιμη για τη μείωση των χρόνων αναμονής, την αποφυγή της απώλειας ασθενών και τη διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας της υπηρεσίας.

- Το μοντέλο M/M/c/K χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση των δεδομένων.
- Οι παραμέτρους του μοντέλου ήταν:
 - **M:** Μέσος ρυθμός άφιξης ασθενών (7 ασθενείς/10 λεπτά)
 - **c:** Αριθμός γιατρών (διακομιστών)
 - **K:** Μέγιστος αριθμός ασθενών στην αίθουσα (20)

Συμπερασματικά, η έρευνα αυτή προσφέρει πολύτιμα στοιχεία για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης των ασθενών σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης όπως η πανδημία COVID-19.

Μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε νοσοκομείο της Ζιμπάμπουε από τους Mawonike & Mahachi (2018) έδειξε ότι η προσθήκη ενός επιπλέον γιατρού σε τμήματα με περιορισμένο χώρο αναμονής, όπως τα επείγοντα περιστατικά και η ΜΕΘ, μπορεί να μειώσει σημαντικά τους χρόνους αναμονής των ασθενών και να βελτιώσει την ποιότητα της παρεχόμενης φροντίδας. Αυτό το εύρημα υποστηρίζει την άποψη ότι η επαρκής στελέχωση των υπηρεσιών υγείας είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική λειτουργία τους.

Στη μελέτη των Gurta et al., (2020), παρουσιάστηκε η ανάλυση της σταθερής κατάστασης ενός μοντέλου ουράς GI^X /M/1 με αρνητικούς πελάτες και καταστροφές. Αυτή η εργασία μελετά ένα μοντέλο ουράς άπειρης προσωρινής μνήμης ενός διακομιστή με εκθετικά κατανεμημένους χρόνους εξυπηρέτησης και αρνητικές αφίξεις. Οι πελάτες φτάνουν σε ομάδες, σε τυχαία χρονικά διαστήματα, για να εξυπηρετηθούν. Ωστόσο, υπάρχουν δύο είδη "εισβολέων": πρώτον, πελάτες που "ακυρώνουν"

την εξυπηρέτηση άλλων πελατών που βρίσκονται ήδη στη σειρά. Δεύτερον, υπάρχουν συμβάντα που "καθαρίζουν" εντελώς την ουρά, αφαιρώντας όλους τους πελάτες. Χρησιμοποιώντας τη συμπληρωματική τεχνική μεταβλητής και τη μέθοδο εξίσωσης διαφοράς αποκτούν σαφείς τύπους για την κατανομή σταθερής κατάστασης του αριθμού των θετικών πελατών στο σύστημα σε εποχές πριν από την άφιξη και σε αυθαίρετες εποχές. Η μελέτη αυτή κατάφερε να βρει ακριβείς μαθηματικές εξισώσεις που περιγράφουν πόσοι πελάτες βρίσκονται σε μια ουρά σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Οι ερευνητές εξέτασαν διάφορα σενάρια, συμπεριλαμβανομένων των περιπτώσεων όπου οι πελάτες φτάνουν ή φεύγουν απροσδόκητα. Επίσης, ανέπτυξαν μια νέα μέθοδο για να λύσουν αυτές τις εξισώσεις, καθιστώντας την ανάλυση πιο εύκολη. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κατανοήσουμε καλύτερα πώς λειτουργούν οι ουρές σε πιο περίπλοκες καταστάσεις.

Η υπερβολική αναμονή οδηγεί στην απώλεια ηλικιωμένων ασθενών που θα μπορούσαν να είχαν σωθεί από αναπνευστήρες. Καθώς η ηλικία και το φύλο είναι οι κύριοι καθοριστικοί παράγοντες της θνησιμότητας από τον Covid-19 και έχουν το πλεονέκτημα, σε αντίθεση με άλλα κριτήρια προτεραιότητας, να είναι άμεσα διαθέσιμα στους επαγγελματίες υγείας, το κριτήριο είναι η ελαχιστοποίηση του μέσου ποσοστού θνησιμότητας σταθμισμένο ανά ηλικία και φύλο. Η δυναμική είναι μια διαδικασία ουράς που περιλαμβάνει θνησιμότητα και ροές επιστροφής στο σπίτι και ανταγωνισμό μεταξύ ηλικιών. Το αποτέλεσμα είναι ο καθορισμός μιας βέλτιστης ηλικίας που μπορεί να καθοδηγήσει τη διαλογή.

Στη μελέτη του Bonneuil (2021) η ηλικία έχει παίξει εξέχοντα ρόλο στην κατανομή των αναπνευστήρων σε αυτήν την περίοδο έλλειψης. Η διαδικασία κατά την οποία οι ασθενείς εισέρχονται και εξέρχονται από μια μονάδα εντατικής θεραπείας είναι πολύ πιο περίπλοκη από ό,τι φαίνεται αρχικά. Δεδομένου ότι οι ασθενείς μπορεί να πεθάνουν ή να αναρρώσουν και να φύγουν, καθώς και να υπάρχουν νέες εισαγωγές, η διαχείριση των διαθέσιμων πόρων, όπως οι αναπνευστήρες, γίνεται ιδιαίτερα δύσκολη. Αυτή η δυναμική κατάσταση, όπου οι ανάγκες αλλάζουν συνεχώς, απαιτεί τη λήψη αποφάσεων σχετικά με το ποιοι ασθενείς θα έχουν πρόσβαση σε περιορισμένους πόρους, όπως έδειξε και η μελέτη του Bonneuil (2021).

Εάν το κριτήριο είναι να μεγιστοποιηθεί ο συνολικός αριθμός των ετών ζωής που σώζονται, ο οποίος, σε σχέση με τον πληθυσμό των ασθενών σε ζήτηση για αναπνευστήρες, είναι ο μέσος όρος θνησιμότητας σταθμισμένος με το προσδόκιμο ζωής ανάλογα με την ηλικία και το φύλο, αν όχι με συν-νοσηρότητες, τότε η εξέταση μόνο των παρόντων οδηγεί σε απώλεια ετών ζωής που θα μπορούσαν να είχαν σωθεί.

Η χρήση της ηλικίας ως κριτήριο θα μπορούσε να αποτελέσει μια συστηματική προσέγγιση. Σύμφωνα με την έρευνα, υπάρχει μια συγκεκριμένη ηλικία που θα μπορούσε να θεωρηθεί ως όριο, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως ο αριθμός των νέων ασθενών και η διαθεσιμότητα αναπνευστήρων. Ωστόσο, η χρήση αποκλειστικά της ηλικίας ως κριτήριο εγείρει ηθικά διλήμματα. Ενώ η ηλικία μπορεί να αποτελεί έναν εύκολο δείκτη για την πρόβλεψη της επιβίωσης, δεν είναι πάντα ο πιο δίκαιος. Άλλοι παράγοντες, όπως η γενική υγεία ενός ατόμου ή η σοβαρότητα της ασθένειας, θα μπορούσαν επίσης να ληφθούν υπόψη. Για να μειωθεί η αυστηρότητα αυτής της προσέγγισης, προτείνεται να διατηρηθεί μια μικρότερη ποσόστωση αναπνευστήρων για άτομα μεγαλύτερης ηλικίας από το καθορισμένο όριο. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να εξισορροπήσουμε την ανάγκη για μια συστηματική προσέγγιση με την επιθυμία να είμαστε δίκαιοι απέναντι σε όλους τους ασθενείς.

Η έννοια των μοντέλων μίας εισόδου είναι αυτή που έχει επίσης εφαρμοστεί για να βοηθήσει στη μείωση του χρόνου αναμονής για προαιρετικές υπηρεσίες, και οι αναφορές δείχνουν ότι μπορεί να βελτιώσει την έγκαιρη πρόσβαση και την εστίαση στον ασθενή στις προαιρετικές υπηρεσίες, ιδιαίτερα όσον αφορά την πρόσβαση σε προαιρετική χειρουργική επέμβαση για αυτό και στόχος των Brandman et al., (2020) ήταν να δημιουργήσουν ένα φιλικό προς τον χρήστη εργαλείο που θα επιτρέψει στους επαγγελματίες να εξετάσουν τις απαιτήσεις πόρων και ορισμένες επιλογές για την αντιμετώπιση της συσσώρευσης ασθενών μετά τον COVID-19. Η μοντελοποίηση των αναγκών σε χειρουργικές επεμβάσεις είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την οργάνωση των νοσοκομείων. Με αυτό τον τρόπο, μπορούμε να προβλέψουμε πότε θα υπάρξει μεγάλη ζήτηση για χειρουργεία και να προετοιμαστούμε ανάλογα. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε περιόδους αιχμής, όπως το καλοκαίρι, όταν τα νοσοκομεία λειτουργούν με μειωμένη δυναμικότητα. Η ελπίδα τους είναι ότι θα βοηθήσει στην παροχή κατευθύνσεων για τους γιατρούς που ασκούν πιέσεις για πρόσβαση σε επιπλέον πόρους, με απτά στοιχεία για την υποστήριξη των ισχυρισμών τους.

Στη μελέτη του Girija και των συνεργατών του (2021), χρησιμοποιήθηκε η θεωρία των ουρών για να αναλυθεί το σύστημα εξυπηρέτησης ασθενών σε ένα κέντρο υγείας στην περιοχή Hosapete, Καρνάτακα της Ινδίας. Οι ερευνητές μελέτησαν διάφορες μεθόδους προσέλευσης των ασθενών και υπολόγισαν σημαντικούς δείκτες όπως ο χρόνος αναμονής και ο χρόνος που περνά ένας ασθενής στο σύστημα. Αυτή η έρευνα είναι ιδιαίτερα επίκαιρη, καθώς η αυξημένη προσέλευση ασθενών λόγω της πανδημίας COVID-19 καθιστά απαραίτητη την αποτελεσματική διαχείριση των ουρών αναμονής στα κέντρα υγείας.

Αυτή η μελέτη παρουσίασε ένα μοντέλο διαδοχικής ουράς για την εκτίμηση της αντίχρευσσης και της αναγνώρισης λοιμώξεων σε συνθήκες σοβαρής φόρτισης. Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης

έδειξαν ότι η περίοδος αναμονής του ασθενούς κατά τη διάρκεια των ερευνών της ανίχνευσης ή της θεραπείας του COVID-19 σε περίπτωση ανισορροπιών στο σύνολο του συστήματος αυξήθηκε σύμφωνα με τον κανόνα του λογαρίθμου.

Οι Shivali Shrivastava & Saloni Srivastava (2021) μελέτησαν με τη βοήθεια του μοντέλου ουράς πεπερασμένου μήκους πολλών διακομιστών σε ποια κατάσταση δεν είναι σε θέση να λάβουν άμεση θεραπεία και πρέπει να αντιμετωπίσουν τον θάνατό τους και επίσης πόσο γρήγορα αυξάνεται το πρόβλημα. Θεώρησαν όλα τα ιδιωτικά νοσοκομεία του Άγκρα ως πολλαπλούς διακομιστές και στη συνέχεια μελέτησαν το όλο σενάριο και κατάλαβαν πώς η κατάσταση έρχεται στη χειρότερη κατάσταση της. Οι κύριες παράμετροι μιας γραμμής αναμονής είναι:

- **Επιτυχία στην αποφυγή της ουράς:** Πόσο συχνά κάποιος μπορεί να εξυπηρετηθεί αμέσως χωρίς αναμονή;
- **Αναμονή στο σύστημα:** Πόσος όγκος εργασίας υπάρχει μέσο όρο στο σύστημα;
- **Συνωστισμός:** Πόσο μεγάλη είναι η μέση αναμονή στην ουρά;
- **Συνολικός χρόνος εξυπηρέτησης:** Πόσος χρόνος χρειάζεται κατά μέσο όρο για να ολοκληρωθεί μια διαδικασία;
- **Χρόνος αναμονής:** Πόσο χρόνο χάνεται κατά μέσο όρο περιμένοντας;
- **Αποτελεσματικότητα της υπηρεσίας:** Πόσο καλά αξιοποιείται ο χρόνος και οι πόροι;

Μελέτησαν τρεις περιπτώσεις πιθανοτήτων:

Περίπτωση (i): Κατάσταση υπό έλεγχο

- **Αφιξη ασθενών:** Οι ασθενείς με COVID-19 φτάνουν στο νοσοκομείο Άγκρα με σταθερό ρυθμό 80 ατόμων ανά ώρα.
- **Εξυπηρέτηση ασθενών:** Το νοσοκομείο μπορεί να εξυπηρετήσει 10 ασθενείς κάθε 5 λεπτά.

Περίπτωση (ii): Κατάσταση μερικώς εκτός ελέγχου

- **Αφιξη ασθενών:** Ο αριθμός των ασθενών που φτάνουν διπλασιάζεται σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση, δηλαδή περίπου 183 άτομα ανά ώρα.
- **Εξυπηρέτηση ασθενών:** Η ικανότητα εξυπηρέτησης παραμένει η ίδια, δηλαδή 10 ασθενείς κάθε 5 λεπτά.

Περίπτωση (iii): Κατάσταση εκτός ελέγχου

- **Αφιξη ασθενών:** Ο αριθμός των ασθενών τριπλασιάζεται σε σχέση με την πρώτη περίπτωση, φτάνοντας περίπου 284 άτομα ανά ώρα.
- **Εξυπηρέτηση ασθενών:** Η ικανότητα εξυπηρέτησης παραμένει η ίδια, δηλαδή 10 ασθενείς κάθε 5 λεπτά.

Στη μελέτη των Alipour-Vaezi et al., (2022), βασιζόμενοι σε μοντέλα εξόρυξης δεδομένων και τις απόψεις των ειδικών, πρότειναν μια μέθοδο ταξινόμησης και ιεράρχησης των ασθενών. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν από το τμήμα επειγόντων περιστατικών του νοσοκομείου Jawad Al Aeme, το οποίο ασχολείται με ασθενείς με COVID-19 και άλλους. Η διαδικασία θεραπείας είναι σύμφωνα με την κατανομή Poisson και το ανώτερο όριο (U) και το κάτω όριο (L) του ρυθμού θεραπείας θεωρούνται ως 15 και 3. Παρόλο που υπάρχει μεγάλη ζήτηση για υπηρεσίες υγείας, οι διαθέσιμοι πόροι (δηλαδή οι γιατροί που μπορούν να εξυπηρετήσουν τους ασθενείς) είναι πολύ περιορισμένοι. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ασθενείς να περιμένουν πολύ καιρό για θεραπεία, με αποτέλεσμα να κινδυνεύει η υγεία τους, ειδικά για όσους χρειάζονται άμεση ιατρική φροντίδα. Κατά μέσο όρο, 38 ασθενείς φτάνουν στο νοσοκομείο κάθε ώρα. Υπάρχουν μόνο 2 γιατροί διαθέσιμοι για να εξυπηρετήσουν όλους αυτούς τους ασθενείς. Κάθε γιατρός μπορεί να εξυπηρετήσει κατά μέσο όρο 12 ασθενείς την ώρα. Δεν υπάρχει κάποιος τρόπος να διαχωριστούν οι ασθενείς που χρειάζονται άμεση βοήθεια από αυτούς που μπορούν να περιμένουν. Οι ασθενείς περιμένουν πολύ, με αποτέλεσμα να κινδυνεύει η υγεία τους. Το νοσοκομείο πρέπει να βρει έναν τρόπο να διαχειριστεί καλύτερα την κατάσταση. Αυτό μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, όπως:

- **Προσθήκη περισσότερων γιατρών:** Αυτό θα επιτρέψει την ταχύτερη εξυπηρέτηση των ασθενών.
- **Βελτίωση της οργάνωσης:** Μπορεί να υπάρξει καλύτερη οργάνωση των εξετάσεων και των διαδικασιών, ώστε οι ασθενείς να μην χάνουν χρόνο.
- **Δημιουργία συστήματος προτεραιοποίησης:** Οι ασθενείς με σοβαρά προβλήματα υγείας πρέπει να εξυπηρετούνται πρώτα.

Το νοσοκομείο αντιμετωπίζει ένα σοβαρό πρόβλημα με τις ουρές των ασθενών. Η έλλειψη πόρων και η απουσία ενός συστήματος προτεραιοποίησης θέτουν σε κίνδυνο την υγεία των ασθενών.

Η έρευνα αυτή παρουσιάζει μια νέα μέθοδο για να βελτιωθεί η διαχείριση των ασθενών στα επείγοντα περιστατικά. Το κύριο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν τα νοσοκομεία είναι οι μεγάλες ουρές και οι

καθυστερήσεις στην εξυπηρέτηση των ασθενών. Η μελέτη αυτή προτείνει έναν τρόπο να βρούμε τον ιδανικό αριθμό γιατρών που χρειάζονται και τον πιο αποτελεσματικό τρόπο να εξυπηρετούν τους ασθενείς, έτσι ώστε να μειωθούν οι χρόνοι αναμονής και να βελτιωθεί η ποιότητα της φροντίδας.

Αυτή η μέθοδος λειτουργεί ως εξής:

1. **Κατηγοριοποίηση των ασθενών:** Οι ασθενείς χωρίζονται σε ομάδες ανάλογα με τη σοβαρότητα της κατάστασής τους. Αυτή η κατηγοριοποίηση γίνεται με τη βοήθεια ειδικών αλγορίθμων που αναλύουν τα δεδομένα των ασθενών.
2. **Μαθηματικό μοντέλο:** Χρησιμοποιώντας μαθηματικά μοντέλα, οι ερευνητές μπορούν να υπολογίσουν τον ακριβή αριθμό των γιατρών που χρειάζονται και τον καλύτερο τρόπο να οργανώσουν την εργασία τους, ώστε να εξυπηρετούν όλους τους ασθενείς με τον πιο αποτελεσματικό τρόπο.
3. **Βελτιστοποίηση:** Στόχος είναι να βρεθεί η καλύτερη λύση που θα ελαχιστοποιήσει τον χρόνο αναμονής των ασθενών, ειδικά εκείνων που έχουν πιο σοβαρές παθήσεις.

Τα οφέλη της μεθόδου είναι:

- **Μείωση των χρόνων αναμονής:** Οι ασθενείς θα περιμένουν λιγότερο για να λάβουν την απαραίτητη φροντίδα.
- **Βελτίωση της ποιότητας της φροντίδας:** Οι ασθενείς με σοβαρές παθήσεις θα εξυπηρετούνται πρώτα, μειώνοντας τον κίνδυνο επιπλοκών.
- **Αύξηση της αποτελεσματικότητας:** Το νοσοκομείο θα λειτουργεί πιο αποτελεσματικά, αξιοποιώντας καλύτερα τους πόρους του.

Αυτή η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορα ιατρικά περιβάλλοντα, όπως κέντρα υγείας, κέντρα εμβολιασμού και ακόμη και σε υπηρεσίες νοσηλείας κατ' οίκον. Οι ερευνητές προτείνουν να διερευνηθούν περαιτέρω άλλοι παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τους χρόνους αναμονής, όπως η πολυπλοκότητα των περιπτώσεων των ασθενών και η διαθεσιμότητα άλλων πόρων. Επίσης, προτείνουν να εξεταστεί η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν πιο σύνθετα μαθηματικά μοντέλα για να εξηγήσουν καλύτερα την πραγματική λειτουργία των τμημάτων επειγόντων περιστατικών.

Οι Perlman και Yechiali, σε μια έρευνα που πραγματοποίησαν το 2020, δημιούργησαν δύο διαφορετικά μοντέλα με στόχο να βελτιώσουν την εμπειρία των πελατών σε ένα κατάστημα. Αυτά τα μοντέλα επικεντρώνονται κυρίως στο να μειώσουν τον χρόνο που περιμένουν οι πελάτες στην ουρά

και να διασφαλίσουν την ασφάλεια όλων ως εξής:

- **Τυχαία άφιξη:** Οι πελάτες φτάνουν στο κατάστημα τυχαία, δηλαδή δεν μπορούμε να προβλέψουμε ακριβώς πότε θα έρθει ο επόμενος.
- **Δύο φάσεις εξυπηρέτησης:** Μόλις μπουν στο κατάστημα, οι πελάτες περνούν από δύο διαφορετικές φάσεις:
 - **Ψώνια:** Κάθε πελάτης περνάει ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ψωνίζοντας.
 - **Πληρωμή:** Μετά τα ψώνια, οι πελάτες πηγαίνουν στις ταμίες για να πληρώσουν.
- **Στόχος:** Τα μοντέλα αυτά προσπαθούν να βρουν τον καλύτερο τρόπο για να οργανώσουν τις ταμίες και να διαχειριστούν τη ροή των πελατών, έτσι ώστε όλοι να εξυπηρετούνται γρήγορα και με ασφάλεια.

Οι ερευνητές προσπάθησαν να βρουν τον καλύτερο τρόπο για να οργανώσουν ένα κατάστημα, ώστε οι πελάτες να μην περιμένουν πολύ στην ουρά και να μπορούν να κάνουν τα ψώνια τους όσο πιο άνετα γίνεται.

Στο δεύτερο μοντέλο που προτείνουν οι Perlman και Yechiali, ο χώρος του καταστήματος χωρίζεται σε δύο ξεχωριστά τμήματα:

- **Τμήμα αγορών:** Εδώ οι πελάτες μπορούν να περιηγηθούν και να επιλέξουν τα προϊόντα που επιθυμούν.
- **Τμήμα πληρωμών:** Σε αυτό το τμήμα βρίσκονται οι ταμίες και οι πελάτες πηγαίνουν εκεί αποκλειστικά για να πληρώσουν τις αγορές τους.

Ο λόγος για αυτόν τον διαχωρισμό είναι να αυξηθεί η ασφάλεια των ταμείων και των υπαλλήλων. Με τον τρόπο αυτό, περιορίζεται η πρόσβαση των πελατών στο χώρο όπου χειρίζονται τα χρήματα, μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο κλοπής ή άλλων περιστατικών. Το κατάστημα χωρίζεται στα δύο για να προστατεύσει τα χρήματα και τους υπαλλήλους που δουλεύουν στα ταμεία. Οι πελάτες κάνουν τα ψώνια τους σε έναν χώρο και πληρώνουν σε άλλον.

□ **Υπολογίζουν τον κίνδυνο μόλυνσης:** Δημιούργησαν έναν τρόπο να μετρήσουν πόσο πιθανό είναι να μολυνθεί κάποιος πελάτης μέσα στο κατάστημα. Αυτή η πιθανότητα εξαρτάται από τον αριθμό των ανθρώπων που βρίσκονται σε κάθε σημείο του καταστήματος (π.χ., στα ράφια ή στην ουρά).

□ **Δημιουργούν ένα παιχνίδι στρατηγικής:** Φαντάσου το κατάστημα και τους πελάτες να παίζουν

ένα παιχνίδι. Το κατάστημα θέλει να έχει όσο το δυνατόν περισσότερους πελάτες, αλλά ταυτόχρονα θέλει να τους κρατήσει ασφαλείς. Οι πελάτες, από την άλλη, θέλουν να ψωνίσουν αλλά ταυτόχρονα θέλουν να αποφύγουν τον συνωστισμό. Οι ερευνητές δημιούργησαν ένα μαθηματικό μοντέλο για να δουν ποια είναι η καλύτερη στρατηγική για κάθε πλευρά.

□ **Βρίσκουν την ισορροπία:** Στόχος είναι να βρεθεί μια ισορροπία όπου και το κατάστημα και οι πελάτες είναι ευχαριστημένοι. Δηλαδή, να υπάρχει ένας αριθμός πελατών που να επιτρέπει στο κατάστημα να έχει κέρδος, αλλά ταυτόχρονα να μην υπάρχει κίνδυνος υπερσυνωστισμού.

Η έρευνα των Ahmed & Ahmed (2021) εξέτασε το πρόβλημα των μεγάλων ουρών σε ένα νοσοκομείο στο Σουδάν, ειδικά μετά την πανδημία COVID-19. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν μαθηματικά μοντέλα για να αναλύσουν το πρόβλημα και πρότειναν λύσεις. Διαπίστωσαν ότι οι μεγάλοι χρόνοι αναμονής όχι μόνο είναι ενοχλητικοί για τους ασθενείς αλλά μπορεί να επιδεινώσουν και την κατάσταση της υγείας τους, ειδικά σε μια πανδημία. Για να μειώσουν τις ουρές, οι ερευνητές προτείνουν να προσληφθούν περισσότεροι υπάλληλοι, να γίνονται συχνές έρευνες για την ικανοποίηση των ασθενών και να εφαρμοστούν παγκόσμια πρότυπα ποιότητας.

Προκειμένου να διώξει τον φόβο από τον κόσμο και να εξασφαλίσει έναν ελάχιστο χρόνο παραμονής στους χώρους του Νοσοκομείου κατά τη διάρκεια της επίσκεψης, η ερευνητική εργασία των Thirupathi Eswaran et al., (2021) προτείνει ένα σύστημα διαχείρισης μηδενικής ουράς (ZQMS). Υποστηρίζει επίσης τους χρήστες να κάνουν online πληρωμή για την επίσκεψή τους και τους διευκολύνει να ακυρώσουν το ραντεβού σε περίπτωση αλλαγής σχεδίων.

Στο Πακιστάν σενάριο υπερπληθυσμού παρατηρείται καθημερινά σε μεγαλύτερο βαθμό στα νοσοκομεία. Οι εξωτερικοί ασθενείς καθυστερούν στα γενικά δημόσια συστήματα υγειονομικής περίθαλψης πολύ πριν εξυπηρετηθούν από ιατρικό προσωπικό. Ως εκ τούτου, αυτή η έρευνα πραγματοποιήθηκε για να φέρει τη βέλτιστη εξυπηρέτηση των ασθενών. Ο στόχος της ερευνητικής εργασίας των Khan et al., (2021) ήταν να αξιολογήσει την απόδοση του τρέχοντος συστήματος αναμονής και να προτείνει τα μέσα για το βέλτιστο επίπεδο εξυπηρέτησης. Τα δεδομένα αποτελούνταν από τους χρόνους άφιξης, τους χρόνους εξυπηρέτησης των ασθενών συν τον αριθμό των γιατρών και του ρεσεψιονίστ στο χώρο εργασίας, εκτός από τους μισθούς τους. Επιπλέον, συγκεντρώθηκε το κόστος αναμονής των εξωτερικών ασθενών. Η αξιολόγηση των εισροών, των αφίξεων και της εξυπηρέτησης των ασθενών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του αναλυτή εισόδου του λογισμικού Rockwell Arena. Προτάθηκε ότι αυτή η ερευνητική μελέτη μπορεί να επεκταθεί συμπεριλαμβάνοντας τον χρόνο που αφιερώνουν οι εξωτερικοί ασθενείς στο δρόμο προς τις εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης για να διασφαλιστεί ότι το κόστος χρόνου μπορεί να

υπολογιστεί με όλους τους τρόπους. Μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί η εποχιακή ανάλυση του συστήματος αναμονής των εξωτερικών ιατρείων.

Η μελέτη των Majedkan et al., (2020) στόχευε και στοχεύει στο εξής: να αποτρέψει άλλους να εκτεθούν από πανδημίες όπως η Covid-19, επειδή έχει γίνει ένα μεγάλο παγκόσμιο πρόβλημα σήμερα. Η συλλογή και η εκτέλεση έγιναν εντός μιας εβδομάδας με την ομάδα υγειονομικής περίθαλψης μιας δραστηριότητας στην κύρια είσοδο της πόλης Duhok, στο Ιράν. **Το μοντέλο αναφέρει, κατά μέσο όρο, πόση ώρα περιμένει ένας ασθενής μέχρι να εξυπηρετηθεί (συμπεριλαμβανομένου του χρόνου εξυπηρέτησης).** Μας δείχνει επίσης πόσο χρόνο περιμένει στην ουρά πριν ξεκινήσει η εξυπηρέτηση και πόσοι ασθενείς αναμένεται να έρθουν. Από τους υπολογισμούς, βρήκαν ότι, κατά μέσο όρο, ένας ασθενής περνάει περίπου 32,4 λεπτά στο σύστημα υγείας. Έτσι, ένας συνολικός αναμενόμενος χρόνος που μπορεί να περάσει η άφιξη στο σύστημα (χρόνος ουράς + χρόνος εξυπηρέτησης) στην ομάδα υγειονομικής περίθαλψης στα καταστήματα της πόλης σε 32,4 λεπτά. Παρά τις αξιολογήσεις, λαμβάνοντας υπόψη ότι οι πολίτες του Duhok και άλλων πόλεων θα πρέπει να ενημερωθούν ότι υπολογίζεται ότι θα ξοδέψουν έως και 32,4 λεπτά εάν επισκεφθούν για να κάνουν διάγνωση στην υγειονομική περίθαλψη.

Τα αποτελέσματα δείχνουν επίσης ότι η βελτίωση των αφίξεων θα αυξήσει δραματικά τα οφέλη για το περιβάλλον, την υγεία και τον πληθυσμό. Αυτό είναι σημαντικό για τη χρήση της αρχής της ουράς για την ανάπτυξη ενός μοντέλου ουράς για την αυτοματοποίηση των υπηρεσιών στο προσωπικό υγειονομικής περίθαλψης και για τη γνώση της βελτίωσης της ποιότητας των υπηρεσιών και της μείωσης του χρονοδιαγράμματος για τις υπηρεσίες. Η μελέτη έδειξε ότι μπορούμε να μειώσουμε τους χρόνους αναμονής των ασθενών και να βελτιώσουμε την αποτελεσματικότητα των γιατρών, αν τους δώσουμε περισσότερο χρόνο για κάθε ασθενή. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να μειωθούν και τα έξοδα που προκύπτουν από τις καθυστερήσεις και τις διαφορές.

Οι ερευνητές Abdellatief και Abdelatey (2022) χρησιμοποίησαν ένα μαθηματικό μοντέλο για να υπολογίσουν πόσες κλίνες χρειάζονται τα νοσοκομεία. Επέλεξαν την Ιταλία ως παράδειγμα γιατί ήταν μια από τις χώρες που επλήγησαν περισσότερο από την πανδημία. Μελετώντας τα στοιχεία από τα ιταλικά νοσοκομεία, προσπάθησαν να καταλάβουν πώς λειτουργούσαν οι ουρές των ασθενών κατά τη διάρκεια της πανδημίας. Σύμφωνα με τους τύπους της θεωρίας αναμονής, προσδιορίζεται ο αριθμός των απαιτούμενων νοσοκομειακών κλινών και κλινών Μονάδας Εντατικής Θεραπείας. Η μελέτη ασχολήθηκε με το πρόβλημα της διαχείρισης των μεγάλων ουρών ασθενών που περιμένουν τις νοσοκομειακές υπηρεσίες. Στην Ιταλία, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν ένα ειδικό μοντέλο για να υπολογίσουν τον απαραίτητο αριθμό κλινών στα νοσοκομεία. Με αυτόν τον τρόπο, οι ιταλικές αρχές

μπορούν να προετοιμαστούν καλύτερα για να αντιμετωπίσουν καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπως μια πανδημία, και να εξασφαλίσουν ότι όλοι οι ασθενείς θα έχουν την απαραίτητη φροντίδα. Με αξιολόγηση της περιόδου από 24 Φεβρουαρίου 2020 έως 23 Μαΐου 2021 και με την υπόθεση μηδενικής ουράς, αρκούν 20000 νοσοκομειακές κλίνες για να εξυπηρετήσουν το 98,93% των 88591 καταγεγραμμένων ασθενών και 2500 κλίνες ΜΕΘ αρκούν για την εξυπηρέτηση των 10% 10003 καταγεγραμμένοι ασθενείς στη ΜΕΘ. Αν υπάρχουν 20.000 κλίνες νοσοκομείου, οι ασθενείς δεν θα περιμένουν πολύ για να νοσηλευτούν. Αν, όμως, υπάρχουν πολλοί ασθενείς που περιμένουν (π.χ. 200), τότε ο χρόνος αναμονής θα αυξηθεί. Το ίδιο ισχύει και για τις κλίνες εντατικής θεραπείας (ΜΕΘ). Αν υπάρχουν αρκετές κλίνες ΜΕΘ (π.χ. 2000), οι ασθενείς δεν θα χρειάζεται να περιμένουν καθόλου.

Ο Silva και οι συνεργάτες του (2021) δημιούργησαν ένα ειδικό μαθηματικό μοντέλο για να μελετήσουν πώς λειτουργούν τα συστήματα υγείας που χρησιμοποιούν τον Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoHT) και συνδυάζουν υπολογιστικά συστήματα που βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία (σύννεφο, ομίχλη, άκρη). Με αυτό το μοντέλο, μπορούμε να καταλάβουμε πόσο καλά λειτουργούν αυτά τα συστήματα. Το μοντέλο λαμβάνει υπόψη έναν κύκλο ζωής ιατρικών δεδομένων από αισθητήρες IoT που συνδέονται με το σώμα σε επίπεδο ακμής μέχρι τοπικούς πελάτες (π.χ. τοπικούς ιατρούς, ιατρούς) μέσω του στρώματος ομίχλης και σε απομακρυσμένους πελάτες (π.χ. επαγγελματίες υγείας, μέλη της οικογένειας του ασθενούς) μέσω του στρώματος σύννεφων. Η προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε αποκάλυψε με ακρίβεια τις βέλτιστες ρυθμίσεις και χαρακτηριστικά του συστήματος IoHT για τη συχνή συλλογή ιατρικών δεδομένων από ασθενείς. Τα αποτελέσματα της έρευνας μπορούν να αξιοποιηθούν για τη βελτίωση της οργάνωσης και της λειτουργίας των νοσοκομείων και των κέντρων υγείας, ειδικά σε περιόδους υγειονομικής κρίσης, όπως οι πανδημίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΟΥΡΑΣ ΑΝΑΜΟΝΗΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΠΕΡΙΘΑΛΨΗ

Στην μοντελοποίηση που ακολουθεί ασχοληθήκαμε με δύο διαφορετικές περιπτώσεις: μία περίπτωση για ένα νοσοκομείο και μία για ένα κεντρικό φαρμακείο.

Η περίπτωση του νοσοκομείου αφορά το τι συνέβη στα επείγοντα περιστατικά, της εποχής της υγειονομικής κρίσης που βίωσε ο πλανήτης, δηλαδή πόσο καθυστερούν οι άνθρωποι μέχρι να έχουν οριστική διάγνωση και είτε να αποχωρήσουν με οδηγίες είτε να γίνουν εισαγωγή στο νοσοκομείο.

Η δεύτερη μοντελοποίηση αφορά την περίπτωση του φαρμακείου που ασχοληθήκαμε με την ουρά που δημιουργούταν ώστε να γίνει η διάγνωση του covid test, η οποία μπορεί να ήταν εξαιρετικά σημαντική ώστε να δοθούν οι κατάλληλες οδηγίες και να γίνει περιορισμός των κρουσμάτων με κοινωνική αποστασιοποίηση, είτε να οδηγήσουν σε κατάλληλη θεραπεία στο σπίτι είτε σε κάποιο νοσοκομείο. Αρχικά ασχολούμαστε με το φαρμακείο.

4.1 Φαρμακείο -Εφαρμογή θεωρίας ουρών αναμονής σε ένα φαρμακείο για τεστ covid.

Η θεωρία των ουρών μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα φαρμακείο για τα τεστ COVID προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα του συστήματος και να μειωθούν οι χρόνοι αναμονής των πελατών.

Μια επιλογή είναι να χρησιμοποιηθεί σύστημα κράτησης ραντεβού, όπου οι πελάτες θα μπορούν να κλείσουν ραντεβού για τα τεστ COVID μέσω ενός ηλεκτρονικού συστήματος. Αυτό θα μπορούσε να βοηθήσει στην ελαχιστοποίηση των χρόνων αναμονής των πελατών, καθώς θα μπορούν να φτάνουν στο φαρμακείο μόνο για την ώρα του ραντεβού τους.

Δυστυχώς μια τέτοια επιλογή δεν είναι κάτι που συνηθίζεται για πρακτικούς λόγους, μιας και κάθε ασθενής στα πρώτα συμπτώματα σπεύδει στο φαρμακείο, ώστε να κάνει το τεστ στην περίπτωση θετικού αποτελέσματος, ώστε να μην μεταβεί στην εργασία του, να προφυλάξει τους οικείους του και πιθανότατα να αναζητήσει ιατρική φροντίδα.

Μια άλλη επιλογή είναι να χρησιμοποιηθεί σύστημα ουρών, όπου οι πελάτες θα εισέρχονται σε μια ουρά και θα εξυπηρετούνται με τη σειρά που έφτασαν.

Η θεωρία των ουρών αναμονής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να βελτιστοποιήσει τη λειτουργία ενός φαρμακείου για τα τεστ Covid. Συγκεκριμένα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί ο καλύτερος αριθμός των εργαζομένων που απαιτούνται για την εξυπηρέτηση των πελατών και το χρόνο αναμονής στην ουρά.

Συγκεκριμένα, η θεωρία των ουρών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί ο μέσος χρόνος αναμονής του πελάτη στην ουρά, και επίσης για να υπολογιστεί η πιθανότητα της πελατείας να βρεθεί σε μια ουρά και να περιμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Για παράδειγμα, αν ένα φαρμακείο παίρνει 50 τεστ Covid την ημέρα και ο μέσος χρόνος εξυπηρέτησης ανά πελάτη είναι 10 λεπτά, τότε ο μέσος χρόνος αναμονής θα είναι 10 λεπτά αν οι πελάτες φτάσουν τακτοποιημένα κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Η θεωρία ουρών αναμονής μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα φαρμακείο για test covid για να βελτιστοποιήσει το χρόνο αναμονής των πελατών και να αυξήσει την αποδοτικότητα του συστήματος.

Η πρώτη παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι ο ρυθμός άφιξης των πελατών στο φαρμακείο. Αυτός ο ρυθμός μπορεί να εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η περιοχή του φαρμακείου, ο αριθμός των κρουσμάτων στην περιοχή και ο ρυθμός των τεστ που διενεργούνται στο φαρμακείο.

Η δεύτερη παράμετρος είναι ο ρυθμός εξυπηρέτησης των πελατών. Αυτός ο ρυθμός εξαρτάται από τον αριθμό των εργαζομένων που είναι διαθέσιμοι για να διενεργήσουν τα τεστ και την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας εξέτασης.

Με βάση αυτές τις παραμέτρους, μπορούν να υπολογιστούν οι χρόνοι αναμονής των πελατών και η χωρητικότητα του φαρμακείου. Με τη βοήθεια της θεωρίας ουρών αναμονής, μπορούν να γίνουν προβλέψεις για το ρυθμό άφιξης των πελατών.

Η θεωρία των ουρών μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα φαρμακείο για τα τεστ COVID ακόμα και χωρίς σύστημα κρατήσεων ραντεβού. Μια προτεινόμενη λύση θα ήταν να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα ουρών που να βοηθά στην οργάνωση της εξυπηρέτησης των πελατών.

Συγκεκριμένα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές ουρές για τους πελάτες που έχουν έρθει για το τεστ COVID και για τους πελάτες που έχουν άλλες ανάγκες. Μπορεί να υπάρχουν διαφορετικές ουρές ανάλογα με τον τύπο του τεστ που χρειάζεται ο πελάτης (π.χ. Rapid Test, PCR Test) ή ανάλογα με την προτεραιότητα του πελάτη (π.χ. άτομα που έχουν υψηλότερο κίνδυνο να είναι θετικοί στον ιό).

Επιπλέον, μπορεί να εφαρμοστεί ένα σύστημα εκτίμησης του χρόνου αναμονής στην ουρά, έτσι ώστε οι πελάτες να έχουν μια ιδέα για τον χρόνο που θα πρέπει να περιμένουν. Επίσης, μπορεί να δοθεί η δυνατότητα στους πελάτες να παρακολουθούν την πρόοδο της ουράς τους μέσω ενός συστήματος ειδοποίησης.

Στην παρούσα ανάλυση, θα εστιάσουμε σε ένα φαρμακείο που βρίσκεται σε κεντρική λεωφόρο, σε αντίθεση με ένα συνοικιακό φαρμακείο. Η συγκεκριμένη τοποθεσία συνεπάγεται με υψηλότερο ρυθμό προσέλευσης πελατών. Η έρευνά μας θα βασιστεί σε δεδομένα δύο μηνών, κατά τη διάρκεια των οποίων ίσχυαν διαφορετικές κυβερνητικές οδηγίες σχετικά με τα rapid test COVID-19. Συγκεκριμένα, θα συγκρίνουμε μια περίοδο κατά την οποία τα τεστ ήταν απαραίτητα για την επαγγελματική δραστηριότητα πολλών πολιτών με μια περίοδο κατά την οποία δεν υπήρχε υποχρεωτικότητα διενέργειας τέτοιων τεστ.

Για την επίλυση του προβλήματος, προτείνεται μια διττή προσέγγιση. Καταρχάς, θα αξιολογήσουμε την επίδραση της προσθήκης μιας νέας ταμειακής μηχανής στην αποτελεσματικότητα του φαρμακείου, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι δεν αποτελεί πανάκεια. Στη συνέχεια, θα εστιάσουμε σε λύσεις που στοχεύουν στη μείωση του χρόνου αναμονής των πελατών.

Κάθε μοντέλο M/M/1 και M/M/s συνοδεύεται και από δυο παραμέτρους τη λ (Μ.Ο. αφίξεων) και τη μ (Μ.Ο. εξυπηρέτησεων), με το περιορισμό $\mu > \lambda$ ή $s\mu > \lambda$ αντίστοιχα, ώστε η ουρά να λειτουργεί.

Από τη θεωρία πιθανοτήτων, οι κατανομές Poisson και εκθετική παρέχουν τα κατάλληλα μαθηματικά εργαλεία για να μοντελοποιήσουμε τη συμπεριφορά του συστήματός μας. Η παράμετρος λ της κατανομής Poisson αντιπροσωπεύει τον μέσο αριθμό πελατών που φτάνουν στο φαρμακείο ανά ώρα, ενώ η παράμετρος μ της εκθετικής κατανομής αντιστοιχεί στον μέσο χρόνο εξυπηρέτησης ενός πελάτη. Χρησιμοποιώντας αυτές τις παραμέτρους, μπορούμε να υπολογίσουμε ποσοτικά διάφορα μεγέθη ενδιαφέροντος, όπως η πιθανότητα να μην υπάρχει κανένας πελάτης στο φαρμακείο σε μια συγκεκριμένη στιγμή ή ο μέσος χρόνος αναμονής ενός πελάτη στην ουρά.

Οι τύποι που χρησιμοποιούνται είναι οι ακόλουθοι:

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΟΥΡΩΝ ΑΝΑΜΟΝΗΣ		
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ	M/M/1	M/M/s
Η πιθανότητα το σύστημα να βρίσκεται σε χρήση από τουλάχιστον έναν πελάτη.	$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$	$\rho = \frac{\lambda}{s * \mu}$
Η πιθανότητα να μην υπάρχει πελάτης στο σύστημα.	$P_{(0)} = 1 - \frac{\lambda}{\mu} = 1 - \rho$	$P_{(0)} = \frac{1}{\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!} + \frac{s\mu}{s\mu - \lambda}}$

Η πιθανότητα να υπάρχουν πάνω από K πελάτες στο σύστημα.	$P_{(N>K)} = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{K+1}$	$P_{(N>K)} = \left(\frac{\lambda}{s * \mu}\right)^{K+1}$
Μέσος χρόνος αναμονής κάθε πελάτη στην ουρά αναμονής.	$W_q = \frac{\lambda}{\mu * (\mu - \lambda)}$	$W_q = \frac{P_{(0)} * (\lambda/\mu)^2 * \rho}{s! * (1 - \rho)^2 * \lambda}$
Μέσος αριθμών πελατών στην ουρά αναμονής.	$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu * (\mu - \lambda)}$	$L_q = \lambda * W_q$
Μέσος χρόνος αναμονής και εξυπηρέτησης κάθε πελάτη στο σύστημα.	$W = \frac{1}{\mu - \lambda}$	$W = W_q + \frac{1}{\mu}$
Μέσος πελατών που αναμένουν και εξυπηρετούνται στο σύστημα.	$L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$	$L = L_q + \frac{\lambda}{\mu}$

Όπως βλέπουμε και από τον πίνακα, τα τέσσερα βασικά μεγέθη (L, W, L_q & W_q) συνδέονται μεταξύ τους με τις σταθερές μαθηματικές σχέσεις

$$L = \lambda * W, \quad L_q = \lambda * W_q, \quad W_q = W - (1 / \mu)$$

- **Πρακτική εφαρμογή της θεωρίας ουρών αναμονής σε φαρμακείο για test covid με 1 εξυπηρετητή όταν τα test ήταν απαραίτητα στην χώρα.**

Για να εφαρμόσουμε τη θεωρία των ουρών αναμονής στο συγκεκριμένο σενάριο ενός φαρμακείου που διενεργούσε rapid tests COVID-19, είναι απαραίτητο να προσδιορίσουμε με ακρίβεια τις κρίσιμες παραμέτρους του συστήματος. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να υπολογίσουμε τον μέσο ρυθμό άφιξης των πελατών, τον μέσο ρυθμό εξυπηρέτησης ανά πελάτη, τον συνολικό αριθμό των φαρμακοποιών που διενεργούν τα τεστ (δηλαδή των εξυπηρετητών) και τον μέγιστο αριθμό πελατών που μπορούν να βρίσκονται ταυτόχρονα εντός του φαρμακείου, περιμένοντας ή υποβάλλοντας το τεστ.

Κατά τις ώρες αιχμής, από τις 8 το πρωί έως τη 1 το μεσημέρι, καταγράφηκε ένας μέσος ρυθμός άφιξης πελατών στο φαρμακείο 45 ατόμων ανά ώρα. Παράλληλα, μια λήπτρια μπορούσε να εξυπηρετήσει κατά μέσο όρο 50 άτομα ανά ώρα. Ωστόσο, λόγω της υψηλής ζήτησης, απαιτούνταν τουλάχιστον μία ακόμη, αν όχι δύο, επιπλέον λήπτριες για να εξυπηρετηθούν αποτελεσματικά όλοι οι

πελάτες που επιθυμούσαν να υποβληθούν σε rapid test. Παράλληλα, το φαρμακείο διέθετε δύο φαρμακοποιούς που εξυπηρετούσαν τους υπόλοιπους πελάτες. Για να αναλύσουμε ποσοτικά αυτή την κατάσταση και να βελτιστοποιήσουμε τη διαχείριση της ουράς, είναι απαραίτητο να εφαρμόσουμε τη θεωρία των ουρών αναμονής. Συγκεκριμένα, θα πρέπει να υπολογίσουμε κρίσιμες μετρήσεις απόδοσης, όπως ο μέσος χρόνος αναμονής ενός πελάτη στην ουρά, ο μέσος συνολικός χρόνος που διαρκεί η επίσκεψη ενός πελάτη στο φαρμακείο και ο μέσος αριθμός πελατών που αναμένουν σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του φαρμακείου είναι τα εξής:

$$\lambda = 45 \text{ άτομα}$$

$$\mu = 50 \text{ άτομα}$$

$$s = 1 \text{ λήπτρια}$$

Ο αναμενόμενος χρόνος παραμονής στο σύστημα είναι:

$$W = 1 / \mu - \lambda = 1 / 5 = 0,2$$

$$0,2 * 60 = 12 \text{ λεπτά ανά ώρα}$$

Άρα, ένας πελάτης θα περίμενε στην ουρά περίπου 12 λεπτά έτσι ώστε να του πάρουν δείγμα. Θα πρέπει εδώ να προστεθεί πως ο χρόνος της παραλαβής του αποτελέσματος δεν προσμετράτε γι' αυτό και θα πρέπει να προσθέσουμε άλλα 15 λεπτά που χρειάζεται ώστε να βγει το αποτέλεσμα του test. Συνολικά, 27 λεπτά.

Ο μέσος όρος πελατών στο φαρμακείο είναι:

$$L = \lambda * W = 9 \text{ άτομα}$$

Ο μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά είναι:

$$W_q = W - (1 / \mu) = 0,18$$

$$0,18 * 60 = 10,8 \text{ λεπτά ανά ώρα}$$

Ο μέσος όρος πελατών που περιμένουν στην ουρά είναι:

$$L_q = \lambda * W_q = 8,1 \text{ άτομα}$$

Το ποσοστό χρόνου που απασχολείται το φαρμακείο:

$$\rho = \lambda / \mu = 0,9 \text{ ή } 90\%$$

Άρα η πιθανότητα η λήπτρια να μην απασχολείται:

$$\rho_0 = 1 - \rho = 0,1 \text{ ή } 10\%$$

- **Πρακτική εφαρμογή της θεωρίας ουρών αναμονής σε φαρμακείο για test covid με 2 εξυπηρετητές όταν τα test ήταν απαραίτητα στην χώρα.**

Υποθέτοντας ότι ο μέσος χρόνος που απαιτείται για την εξυπηρέτηση κάθε πελάτη είναι $1/\mu$ χρονικές μονάδες και ότι διαθέτουμε s λήπτριες, τότε ο συνολικός ρυθμός εξυπηρέτησης του συστήματος ανέρχεται σε $s\mu$ πελάτες ανά μονάδα χρόνου. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι για την αποφυγή συσσώρευσης πελατών στην ουρά, ο μέσος ρυθμός άφιξης των πελατών θα πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος με τον συνολικό ρυθμό εξυπηρέτησης του συστήματος.

$$s\mu > \lambda$$

Παρατηρήθηκε ότι η προσθήκη μιας επιπλέον φαρμακοποιού στην ομάδα που διενεργούσε τα rapid tests είχε ως αποτέλεσμα τη σημαντική επιτάχυνση της διαδικασίας και τη μείωση του χρόνου αναμονής των πελατών. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, παρά την επιπλέον υποστήριξη, η αρχική λήπτρια συνέχιζε ταυτόχρονα να εξυπηρετεί και άλλους πελάτες του φαρμακείου, ανταποκρινόμενη σε ποικίλες φαρμακευτικές ανάγκες.

Ο υπολογισμός λοιπόν με την προσθήκη της μίας φαρμακοποιού έχει ως εξής:

$$\lambda = 45$$

$$\mu = 35$$

$$s = 2 \text{ λήπτριες}$$

$$s\mu = 70$$

Επαναλαμβάνουμε λοιπόν τους υπολογισμούς μας με τα νέα δεδομένα και με βάση τον **πίνακα 4.1** πραγματοποιήσαμε τις πράξεις όπου προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Το ποσοστό χρόνου που απασχολείται το φαρμακείο:

$$\rho = \lambda / s\mu = 0,64 \text{ ή } 64\%$$

Ο μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά είναι:

$$W_q = (P_{(0)}) * \left[\frac{\lambda(\mu)}{s! * (1-\rho)^2 * \lambda} \right] = 0,02$$

$$0,02 * 60 = 1,2 \text{ λεπτά ανά ώρα}$$

Ο αναμενόμενος χρόνος παραμονής στο σύστημα είναι:

$$W = W_q + 1/\mu = 0,49$$

$$0,49 * 60 = 2,9 \text{ λεπτά ανά ώρα}$$

Ο μέσος όρος πελατών που περιμένουν στην ουρά είναι:

$$L_q = \lambda * W_q = 0,90 \text{ άτομα}$$

Ο μέσος όρος πελατών στο φαρμακείο είναι:

$$L = L_q + \lambda/\mu = 2,19 \text{ άτομα}$$

Τέλος, η πιθανότητα η λήπτρια να μην απασχολείται:

$$p_0 = 0,22 \text{ ή } 22\%$$

- **Πρακτική εφαρμογή της θεωρίας ουρών αναμονής σε φαρμακείο για test covid με 3 εξυπηρετητές όταν τα test ήταν απαραίτητα στην χώρα.**

Σε μια τρίτη φάση της έρευνάς μας, διερευνήσαμε τη δυνατότητα περαιτέρω βελτίωσης της διαδικασίας των rapid tests μέσω της δημιουργίας τριών ξεχωριστών σταθμών εξυπηρέτησης. Συγκεκριμένα, αναθέσαμε σε κάθε φαρμακοποιό την αποκλειστική διενέργεια δειγματοληψίας, με στόχο τη μείωση του χρόνου αναμονής των πελατών. Παράλληλα, οι φαρμακοποιοί συνέχιζαν να παρέχουν τις υπόλοιπες φαρμακευτικές υπηρεσίες, διασφαλίζοντας την ομαλή λειτουργία του φαρμακείου.

$$\lambda = 45$$

$$\mu = 38$$

$$s = 3 \text{ λήπτριες}$$

$$s\mu = 114$$

Επαναλαμβάνουμε λοιπόν τους υπολογισμούς μας.

Το ποσοστό χρόνου που απασχολείται το φαρμακείο:

$$\rho = \lambda / s\mu = 0,39 \text{ ή } 39\%$$

Ο μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά είναι:

$$W_q = (P_0) * [(\lambda/\mu)]^2 * \rho / (s! * (1-\rho)^2 * \lambda) = 0,002$$

$$0,002 * 60 = 0,12 \text{ λεπτά ανά ώρα}$$

Ο αναμενόμενος χρόνος παραμονής στο σύστημα είναι:

$$W = W_q + 1/\mu = 0,03$$

$$0,03 * 60 = 1,8 \text{ λεπτά ανά ώρα}$$

Ο μέσος όρος πελατών που περιμένουν στην ουρά είναι:

$$L_q = \lambda * W_q = 0,09 \text{ άτομα}$$

Ο μέσος όρος πελατών στο φαρμακείο είναι:

$$L = L_q + \lambda/\mu = 1,27 \text{ άτομα}$$

$$0,002 * 60 = 1,1 \text{ λεπτά ανά ώρα}$$

Τέλος, η πιθανότητα η λήπτρια να μην απασχολείται:

$$p_0 = 0,29 \text{ ή } 29\%$$

Συνοπτικά:

Χαρακτηριστικά μεγέθη	Με 1 λήπτρια	Με 2 λήπτριες	Με 3 λήπτριες
Χρόνος αναμονής	12 λεπτά	2,9 λεπτά	1,8 λεπτά
Άτομα σε αναμονή	8.1 άτομα	0,9 άτομα	0,09 άτομα
Συνολικός χρόνος αναμονής +15min του τεστ	27 λεπτά	18 λεπτά	16,8 λεπτά
Ποσοστό απασχόλησης	90%	64%	39%

του φαρμακείου			
Πιθανότητα να μην υπάρχει κανένας πελάτης στην ουρά	10%	22%	29%

Όπως αποδεικνύουν τα συγκεντρωτικά μας στοιχεία, η προσθήκη μιας επιπλέον λήπτριας στο προσωπικό που διενεργούσε τα rapid tests είχε ως αποτέλεσμα μια περιορισμένη μείωση του χρόνου αναμονής των πελατών. Παράλληλα, η απόφαση αυτή συνεπάγεται με ένα επιπλέον οικονομικό κόστος για τον ιδιοκτήτη του φαρμακείου, καθώς προϋποθέτει την ταυτόχρονη απασχόληση και των τριών φαρμακοποιών στην διαδικασία δειγματοληψίας.

Παράλληλα, συλλέξαμε δεδομένα για μια περίοδο ενός μήνα κατά την οποία τα rapid tests COVID-19 δεν αποτελούσαν πλέον υποχρεωτική εξέταση στη χώρα μας. Η κατάργηση αυτής της υποχρέωσης είχε ως άμεσο αποτέλεσμα τη δραματική μείωση του αριθμού των ατόμων που προσέρχονταν για τη διενέργεια του τεστ. Στο πλαίσιο αυτής της νέας πραγματικότητας, προχωρήσαμε σε μια σειρά επιπλέον αναλύσεων, οι οποίες μας οδήγησαν σε διαφορετικά συμπεράσματα.

- **Πρακτική εφαρμογή της θεωρίας ουρών αναμονής σε φαρμακείο για test covid με 1 εξυπηρετητή όταν τα test ΔΕΝ ήταν απαραίτητα στην χώρα.**

Ο ρυθμός άφιξης μειώθηκε κατά πολύ ενώ ο ρυθμός εξυπηρέτησης δεν αλλάζει εφόσον μια λήπτρια μπορεί να εξυπηρετήσει περίπου 1 πελάτη το λεπτό. Άρα έχουμε:

$$\lambda = 14 \text{ άτομα}$$

$$\mu = 50 \text{ άτομα}$$

$$s = 1 \text{ λήπτρια}$$

Ο αναμενόμενος χρόνος παραμονής στο σύστημα είναι:

$$W = 1 / \mu - \lambda = 1 / 36 = 0,028$$

$$0,2 * 60 = 1,67 \text{ λεπτά ανά ώρα}$$

Ο μέσος όρος πελατών στο φαρμακείο είναι:

$$L = \lambda * W = 0,39 \text{ άτομα}$$

Ο μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά είναι:

$$W_q = W - (1 / \mu) = 0,008$$

$$0,008 * 60 = 0,47 \text{ λεπτά ανά ώρα}$$

Ο μέσος όρος πελατών που περιμένουν στην ουρά είναι:

$$L_q = \lambda * W_q = 0,11 \text{ άτομα}$$

Το ποσοστό χρόνου που απασχολείται το φαρμακείο:

$$\rho = \lambda / \mu = 0,28 \text{ ή } 28\%$$

Άρα η πιθανότητα η λήπτρια να μην απασχολείται:

$$p_0 = 1 - \rho = 0,72 \text{ ή } 72\%$$

Συνοπτικά,

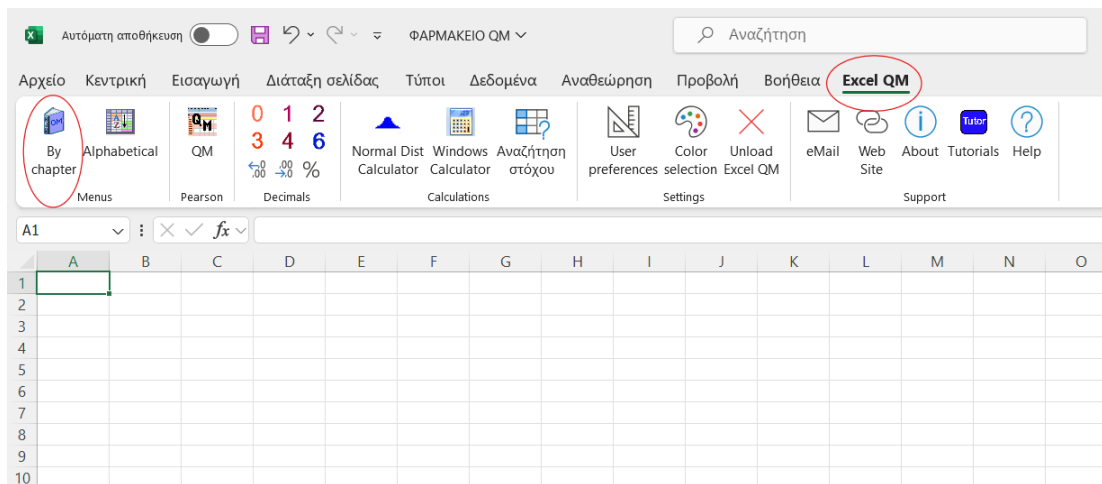
Χαρακτηριστικά μεγέθη	Με 1 λήπτρια	Με 2 λήπτριες	Με 3 λήπτριες	Με 1 λήπτρια μη υποχρεωτικού τεστ
Χρόνος αναμονής	12 λεπτά	2,9 λεπτά	1,8 λεπτά	1,67 λεπτά
Άτομα σε αναμονή	8,1 άτομα	0,9 άτομα	0,09 άτομα	0,39 άτομα
Συνολικός χρόνος αναμονής +15min του τεστ	27 λεπτά	18 λεπτά	16,8 λεπτά	16,67 λεπτά
Ποσοστό απασχόλησης του φαρμακείου	90%	64%	39%	28%
Πιθανότητα να μην υπάρχει	10%	22%	29%	72%

κανένας πελάτης στην ουρά				
------------------------------	--	--	--	--

Από τα αποτελέσματα της τελευταίας μας ανάλυσης προκύπτει ότι μετά την κατάργηση της υποχρεωτικότητας των rapid tests παρατηρήθηκε μια δραματική μείωση του αριθμού των πελατών που προσέρχονταν για τη διενέργεια του τεστ. Συγκεκριμένα, η πιθανότητα να μην υπήρχε κανένας πελάτης σε αναμονή υπερέβη το 70%. Κατόπιν αυτών των ευρημάτων, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι από εκείνον τον μήνα και μετά, η παρουσία μιας μόνο λήπτριας ήταν επαρκής για την εξυπηρέτηση των πελατών, χωρίς να απαιτείται η πρόσληψη επιπλέον προσωπικού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του χρόνου αναμονής των πελατών σε σχέση με την περίοδο κατά την οποία πραγματοποιούνταν τα rapid tests υποχρεωτικά και λειτουργούσαν τρεις σταθμοί εξυπηρέτησης.

4.2 Παράρτημα του παραδείγματος σε excel

Για την επίλυση του προβλήματός μας σε μορφή Excel, αξιοποιήσαμε το λογισμικό Excel QM, το οποίο αποτελεί ένα εξειδικευμένο εργαλείο για την ανάλυση συστημάτων ουράς αναμονής. Το Excel QM ενσωματώνει ένα υπολογιστικό φύλλο με μακροεντολές που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για την ανάλυση και τη μοντελοποίηση των διαφόρων συστημάτων ουράς αναμονής. Το συγκεκριμένο λογισμικό περιλαμβάνει όλα τα γνωστά και καθιερωμένα μοντέλα ουράς αναμονής, και οι μακροεντολές του συμβάλλουν σημαντικά στην ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα των υπολογισμών, δεδομένου ότι πολλοί τύποι είναι ιδιαίτερα περίπλοκοι και δύσκολοι να υπολογιστούν μέσω απλών μαθηματικών πράξεων. Αυτό καταδεικνύεται ξεκάθαρα και στην εικόνα 4.1, που αναφέρεται στο σύστημα M/M/s. Η ανάλυση που πραγματοποιήσαμε βασίζεται στις αρχές και τις μεθόδους που περιγράφονται εκτενώς στο βιβλίο "Εισαγωγή στην Διοικητική Επιστήμη" του Bernard W. Taylor III, το οποίο αποτελεί βασικό έργο αναφοράς στον τομέα της διοικητικής επιστήμης και των επιχειρησιακών ερευνών.



Εικόνα 4.1

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, έχουμε ήδη εγκαταστήσει το απαραίτητο λογισμικό για την ανάλυση και τη διαχείριση του προβλήματός μας. Αρχικά, επιλέγουμε το μενού «By chapter», το οποίο μας δίνει τη δυνατότητα να πλοηγηθούμε μέσα από τα διάφορα κεφάλαια του λογισμικού. Συγκεκριμένα, επιλέγουμε το chapter 12, το οποίο είναι αφιερωμένο στη θεωρία των γραμμών αναμονής και στα μοντέλα ουράς αναμονής (Waiting lines and queuing theory models). Από αυτό το κεφάλαιο, επικεντρωνόμαστε στο μοντέλο single channel (M/M/1), το οποίο είναι το κατάλληλο για την επίλυση του προβλήματός μας, δεδομένου ότι εξετάζουμε μια απλή ουρά αναμονής με μία μόνο λήπτρια. Αυτή η προσέγγιση είναι συνεπής με τις προηγούμενες αναλύσεις μας, όπου εφαρμόσαμε παρόμοια μοντέλα για τη μελέτη των συστημάτων ουράς αναμονής, εξασφαλίζοντας έτσι την ακρίβεια και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων μας.

Waiting Lines		Single Server Model(M/M/1)			
Data				Results	
Arrival rate (λ)	45	customers per hour	Average server utilization(ρ)	0.9	
Service rate (μ)	50	customers per hour	Average number of customers in the queue(L_q)	8.1	customers
Number of servers	1		Average number of customers in the system(L)	9	customers
			Average waiting time in the queue(W_q)	0.18	minutes 10.8
			Average time in the system(W)	0.2	minutes 12
			Probability (% of time) system is empty (P_0)	0.1	

Εικόνα 4.2

Όπως παρατηρούμε, το Excel QM αποτελεί ένα εξαιρετικά ισχυρό εργαλείο για την ανάλυση των δεδομένων μας, ειδικά όσον αφορά τα συστήματα ουράς αναμονής. Το λογισμικό αυτό μας επιτρέπει

να εισάγουμε τους αριθμητικούς υπολογισμούς που έχουμε ήδη διεξάγει και, στη συνέχεια, μας παρέχει τα απαραίτητα δεδομένα για την επίλυση του προβλήματός μας με ακρίβεια και αποτελεσματικότητα. Το Excel QM μπορεί να εκτελέσει ανάλυση ουράς αναμονής λαμβάνοντας υπόψη ρυθμούς αφίξεων που ακολουθούν την κατανομή Poisson, καθώς και χρόνους εξυπηρέτησης που ακολουθούν εκθετική κατανομή. Η χρήση τέτοιων κατανομών θεωρείται θεμελιώδης στη θεωρία των γραμμών αναμονής, καθώς αντανακλούν ρεαλιστικά σενάρια που συναντώνται σε πραγματικά συστήματα. Τα αποτελέσματα που παράγονται από το Excel QM είναι ακριβή και αξιόπιστα, καθιστώντας το ένα ανεκτίμητο εργαλείο για τον σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση συστημάτων ουράς αναμονής σε διάφορα πεδία εφαρμογής, από τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας μέχρι την παροχή υπηρεσιών υγείας.

Συνεχίζοντας κάνουμε τα ίδια βήματα μόνο που θα επιλέξουμε το multiple channel model (M/M/s) καθώς θα προστεθεί ακόμα μία λήπτρια.

Waiting Lines		Multiple server model (M/M/s)					
Data				Results			
Arrival rate (λ)	45	customers per hour	Average server utilization(ρ)	0.6429			
Service rate (μ)	35	customers per hour	Average number of customers in the queue(L_q)	0.9056	customers		
Number of servers(s)	2		Average number of customers in the system(L)	2.1913	customers		
			Average waiting time in the queue(W_q)	0.0201	minutes	1.20745	
			Average time in the system(W)	0.0487	minutes	2.92174	
			Probability (% of time) system is empty (P_0)	0.2174			

Εικόνα 4.3

Και τέλος θα ολοκληρώσουμε την διαδικασία με την προσθήκη μιας ακόμα λήπτριας.

Waiting Lines		Multiple server model (M/M/s)					
Data				Results			
Arrival rate (λ)	45	customers per hour	Average server utilization(ρ)	0.3947			
Service rate (μ)	38	customers per hour	Average number of customers in the queue(L_q)	0.0892	customers		
Number of servers(s)	3		Average number of customers in the system(L)	1.2734	customers		
			Average waiting time in the queue(W_q)	0.002	minutes	0.11896	
			Average time in the system(W)	0.0283	minutes	1.69791	
			Probability (% of time) system is empty (P_0)	0.2992			

Εικόνα 4.4

Στην δεξιά στήλη έχουμε πολλαπλασιάσει το αποτέλεσμα του W_q και του W με το 60 για να βγάλουμε το αποτέλεσμα σε λεπτά της ώρας όπως και στο παραπάνω παράδειγμα.

Επιπροσθέτως, κάνουμε και τους υπολογισμούς μας με μία λήπτρια τον μήνα όπου τα τεστ στην χώρα δεν είναι υποχρεωτικά, πάλι με την βοήθεια του excel QM, έτσι ώστε να παρουσιάσουμε τα δεδομένα που βρήκαμε και στο παραπάνω παράδειγμα.

Waiting Lines		Single Server Model(M/M/1)			
Data		Results			
Arrival rate (λ)	14	customers per hour	Average server utilization(ρ)	0.28	
Service rate (μ)	50	customers per hour	Average number of customers in the queue(L_q)	0.108889	customers
Number of servers	1		Average number of customers in the system(L)	0.388889	customers
			Average waiting time in the queue(W_q)	0.007778	minutes 0.466667
			Average time in the system(W)	0.027778	minutes 1.666667
			Probability (% of time) system is empty (P_0)	0.72	

Εικόνα 4.5

Αξίζει να εστιάσουμε ιδιαίτερα στα αποτελέσματα που αφορούν τον χρόνο αναμονής στην ουρά, και όχι απλώς στον συνολικό αριθμό των ατόμων που βρίσκονται σε αναμονή. Αυτό είναι σημαντικό διότι υπήρχαν πελάτες που δεν παρέμειναν για να λάβουν τα αποτελέσματά τους επιτόπου, καθώς αυτά καταχωρούνταν ηλεκτρονικά στο σύστημα. Ουσιαστικά, ένας πελάτης, είτε πρόκειται για μια εξέταση covid είτε για μια απλή εξέταση αίματος, θα επικεντρωθεί στον χρόνο που απαιτείται για να ολοκληρώσει τη διαδικασία και να εξυπηρετηθεί πλήρως. Η εμπειρία του πελάτη σε αυτές τις περιπτώσεις συνδέεται άμεσα με τον χρόνο που δαπανά περιμένοντας, γεγονός που επηρεάζει την ικανοποίησή του.

Πόσες φορές έχουμε δει μεγάλες ουρές αναμονής για μια εξέταση, όπου οι πελάτες εκφράζουν τον εκνευρισμό τους λόγω της καθυστέρησης; Αυτό το παράδειγμα ισχύει επίσης στην περίπτωση της λήψης δειγμάτων. Σκεφτείτε, για παράδειγμα, την αντίφαση ενός πελάτη που πρέπει να περιμένει 15 με 20 λεπτά στην ουρά για μια εξέταση που διαρκεί μόλις 10 με 15 δευτερόλεπτα. Ο χρόνος αναμονής είναι δυσανάλογα μεγάλος σε σχέση με τη διάρκεια της εξέτασης, κάτι που ενδέχεται να δημιουργήσει αρνητικές εντυπώσεις και να μειώσει την αποτελεσματικότητα του συστήματος εξυπηρέτησης.

Αυτό μας οδηγεί στην ανάγκη να βρούμε λύσεις που θα μειώσουν τον χρόνο αναμονής και ταυτόχρονα θα περιορίσουν το κόστος, όπως για παράδειγμα την ανάγκη πρόσληψης επιπλέον προσωπικού. Μια προσεκτικά σχεδιασμένη και αποτελεσματική διαχείριση της ουράς αναμονής μπορεί να επιτύχει τη βελτίωση της εμπειρίας του πελάτη, να αυξήσει την αποδοτικότητα της εξυπηρέτησης και να μειώσει τις επιχειρησιακές δαπάνες. Η έρευνα που διεξάγουμε έχει ακριβώς αυτόν τον στόχο: να βελτιστοποιήσει το σύστημα, ώστε να μειωθεί ο χρόνος αναμονής και να διασφαλιστεί η ικανοποίηση των πελατών, χωρίς να επιβαρυνθεί οικονομικά η επιχείρηση με την προσθήκη επιπλέον εργατικού δυναμικού.

3.2 Νοσοκομείο -Εφαρμογή θεωρίας ουρών αναμονής σε νοσοκομείο με covid

Οι ουρές αναμονής στα νοσοκομεία λειτουργούν ως ένας τρόπος για τα νοσοκομεία να οργανώσουν την παροχή των ιατρικών υπηρεσιών στους ασθενείς τους. Οι ασθενείς πρέπει να επισκεφθούν το νοσοκομείο και να περιμένουν σε μια ουρά αναμονής για να λάβουν την ιατρική φροντίδα που χρειάζονται.

Η λειτουργία των ουρών αναμονής στα νοσοκομεία διαφέρει ανάλογα με τη χώρα και το σύστημα υγείας. Σε ορισμένες χώρες, οι ασθενείς πρέπει να προσέλθουν στο νοσοκομείο την ημέρα του ραντεβού τους και να περιμένουν σε μια ουρά αναμονής μέχρι να έρθει η σειρά τους. Σε άλλες χώρες, οι ασθενείς μπορούν να κλείσουν ραντεβού εξ' αρχής και να επισκεφθούν το νοσοκομείο στη συγκεκριμένη ημέρα και ώρα που έχει καθοριστεί.

Συνήθως, οι ασθενείς που βρίσκονται στην ουρά αναμονής του νοσοκομείου καταχωρούνται σε ένα σύστημα και καλούνται στη σειρά τους ανάλογα με τη σοβαρότητα της κατάστασής τους.

Οι ουρές αναμονής στα νοσοκομεία Covid λειτουργούν κατά τον ίδιο τρόπο με τις ουρές αναμονής σε κανονικές συνθήκες, ωστόσο, υπάρχουν κάποιες διαφορές λόγω των ειδικών απαιτήσεων που απαιτούνται για την αντιμετώπιση του ιού Covid-19.

Οι ασθενείς που υποπτεύονται ότι έχουν Covid-19 ή έχουν επιβεβαιωμένη νόσηση, συνήθως κλιμακώνονται κατά την είσοδο στο νοσοκομείο, σε ειδικούς χώρους απομόνωσης. Αυτό γίνεται για να αποφευχθεί η μετάδοση του ιού σε άλλους ασθενείς και στο προσωπικό του νοσοκομείου.

Επίσης, υπάρχει μια αυξημένη χρήση τηλεφωνικών ή διαδικτυακών ραντεβού για να μειωθεί ο αριθμός των ασθενών που επισκέπτονται το νοσοκομείο απευθείας. Οι ασθενείς μπορούν να κλείσουν τα ραντεβού τους είτε τηλεφωνικά είτε διαδικτυακά και να λάβουν οδηγίες για το πώς θα επισκεφθούν το νοσοκομείο. Στην περίπτωση που ο ασθενής πρέπει να επισκεφθεί το νοσοκομείο απευθείας, του δίνονται οδηγίες για ορθή προσέλευσή του.

Οι ουρές αναμονής στα νοσοκομεία για ασθενείς με COVID-19 λειτουργούν διαφορετικά από τις κανονικές ουρές αναμονής στα νοσοκομεία. Κατά τη διάρκεια μιας πανδημίας, η παροχή ιατρικής φροντίδας για ασθενείς με COVID-19 γίνεται με προτεραιότητα, και υπάρχουν ειδικές διαδικασίες για να διαχειριστούν τους ασθενείς που υποψιάζονται ότι είναι θετικοί στον ιό.

Συνήθως, οι ασθενείς που υποψιάζονται ότι είναι θετικοί στον ιό COVID-19 καλούνται να επικοινωνήσουν με το νοσοκομείο ή τις υπηρεσίες υγείας που έχουν οριστεί για να διευθετήσουν ένα ραντεβού για τον έλεγχο τους. Κατά την άφιξη τους στο νοσοκομείο, μπορεί να τους ζητηθεί να

συμπληρώσουν ένα ερωτηματολόγιο υγείας και να τους ληφθεί η θερμοκρασία για να διαπιστωθεί αν υπάρχει υποψία για COVID-19.

Αν κριθεί απαραίτητο, οι ασθενείς μπορεί να κληθούν να περιμένουν σε μια ουρά αναμονής έως ότου έχουν τα αποτελέσματα των εξετάσεών τους.

Οι λεπτομέρειες για το πώς λειτουργούν οι ουρές αναμονής για ασθενείς με COVID-19 μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες και τις πρακτικές του συγκεκριμένου νοσοκομείου.

Ωστόσο, κατά γενικό κανόνα, οι ασθενείς με COVID-19 καλούνται να επικοινωνήσουν με το νοσοκομείο ή τις αρμόδιες υπηρεσίες για την παραπομπή τους στο νοσοκομείο. Ανάλογα με την κατάσταση του ασθενούς, μπορεί να γίνει η παραπομπή για άμεση νοσηλεία ή για εξετάσεις. Κατά τη διάρκεια της παραμονής τους στο νοσοκομείο, μπορεί να τους ζητηθεί να περιμένουν σε μια ουρά αναμονής για να δεχθούν την αναγκαία ιατρική φροντίδα.

Ακολουθούνται οδηγίες από τις αρμόδιες αρχές και εφαρμόζονται πρωτόκολλα για τη διαχείριση της πανδημίας COVID-19. Μπορεί να λειτουργεί με συντονισμένο τρόπο με τις αρχές υγείας και τις υπηρεσίες ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε στιγμής.

Αν ένας ασθενής ο οποίος έχει κριθεί από το προσωπικό του νοσοκομείου ότι πρέπει να μπει σε μία κλινική covid, μπορεί να εξυπηρετηθεί από ένα κρεβάτι, τότε του παρέχεται η κατάλληλη φροντίδα και τα αντίστοιχα μηχανήματα αλλά και η φαρμακευτική θεραπεία που απαιτείται.

Τα μοντέλα ουρών M/M/s είναι μοντέλα αναμονής που χρησιμοποιούνται για να αναλύσουν τη λειτουργία ενός συστήματος αναμονής, όπου οι αφίξεις ακολουθούν την κατανομή Poisson και ο χρόνος εξυπηρέτησης ακολουθεί την εκθετική κατανομή.

Η χωρητικότητα ενός συστήματος ουρών αναφέρεται στο μέγιστο αριθμό πελατών που μπορούν να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα από το σύστημα. Αυτό περιορίζεται από τον αριθμό των διαθέσιμων πόρων (όπως οι εργαζόμενοι ή οι μηχανές) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο σύστημα.

Η χωρητικότητα ενός συστήματος ουρών μπορεί να εκτιμηθεί ως προς τους πόρους που απαιτούνται για την εξυπηρέτηση των πελατών. Για παράδειγμα, αν ένα κατάστημα έχει 2 εργαζόμενους στο ταμείο και ο χρόνος εξυπηρέτησης ανά πελάτη είναι 2 λεπτά, τότε η χωρητικότητα του συστήματος είναι 2 πελάτες ανά 2 λεπτά, ή 1 πελάτη ανά λεπτό.

Ωστόσο, η χωρητικότητα μπορεί να είναι διαφορετική ανάλογα με το σενάριο ή τις συνθήκες. Για παράδειγμα, η χωρητικότητα ενός καταστήματος σε περίοδο έντονων εκπτώσεων ή σε περίοδο

καλοκαιριού μπορεί να είναι χαμηλότερη από ό,τι σε άλλους μήνες του έτους.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η επεξεργασία των δειγμάτων μπορεί να αντιμετωπίζει καθυστερήσεις λόγω της αυξημένης ζήτησης κατά τη διάρκεια περιόδων αυξημένης δραστηριότητας του ιού COVID-19 ή λόγω ανθρώπινων λαθών και τεχνικών προβλημάτων. Επιπλέον, ο χρόνος παράδοσης των αποτελεσμάτων στους ασθενείς μπορεί επίσης να διαφέρει ανάλογα με τον αριθμό των δειγμάτων που πρέπει να επεξεργαστεί το νοσοκομείο και τη διαθεσιμότητα του προσωπικού που εκτελεί το τεστ.

Ο ενδιάμεσος χρόνος για τον υπολογισμό ενός covid test, είτε PCR είτε απλό, σε ένα δημόσιο νοσοκομείο μπορεί να διαφέρει ανάλογα με τον αριθμό των δειγμάτων που πρέπει να επεξεργαστούν και την κατάσταση του συστήματος υγείας στη συγκεκριμένη περιοχή. Συνήθως, ο ενδιάμεσος χρόνος για τον υπολογισμό ενός PCR test στο δημόσιο νοσοκομείο κυμαίνεται από μερικές ώρες έως μια μέρα, ανάλογα με τον αριθμό των δειγμάτων που πρέπει να επεξεργαστούν και τον αριθμό των εργαζομένων στο εργαστήριο που εκτελεί τα τεστ. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο ενδιάμεσος χρόνος είναι διαφορετικός από τον συνολικό χρόνο αναμονής, καθώς οι δείκτες αναμονής μπορεί να περιλαμβάνουν και την περίοδο κατανόησης των αποτελεσμάτων από το νοσοκομείο και την επικοινωνία τους στον ασθενή.

Το νοσοκομείο που εξετάσαμε είναι ένα από τα μεγαλύτερα νοσοκομεία στην Ελλάδα και έχει αναλάβει σημαντικό ρόλο στην αντιμετώπιση της πανδημίας COVID-19. Στο νοσοκομείο αυτό λειτουργούν κλινικές COVID-19, δηλαδή τμήματα του νοσοκομείου που είναι ειδικά αφιερωμένα στην παροχή φροντίδας σε ασθενείς με COVID-19.

Οι κλινικές COVID-19 λειτουργούν με συγκεκριμένους τρόπους, ώστε να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος μετάδοσης του ιού σε άλλους ασθενείς και το ιατρικό προσωπικό. Ανάλογα με τον βαθμό σοβαρότητας της κατάστασης του ασθενούς, μπορεί να χορηγηθεί θεραπεία στην κλινική ή μπορεί να μεταφερθεί σε άλλο νοσοκομείο με πιο εξειδικευμένη φροντίδα.

Επιπλέον, οι κλινικές COVID-19 μπορεί να λειτουργούν με προσωρινές μονάδες απομόνωσης, όπου οι ασθενείς που υποπτεύονται ότι έχουν COVID-19 απομονώνονται από τους υπόλοιπους ασθενείς, μέχρι να επιβεβαιωθεί η διάγνωση. Στο σημείο που ο ασθενής έπρεπε να διασωληνοθεί, γινόταν διακομιδή σε νοσοκομείο που ήταν υπεύθυνο για τέτοιες περιπτώσεις.

Χρήση πραγματικών δεδομένων νοσοκομείου

Συνομιλώντας με το προσωπικό του νοσοκομείου, συλλέξαμε πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τις αφίξεις ασθενών κατά τη διάρκεια του έτους 2021. Σύμφωνα με τα δεδομένα, οι συνολικές αφίξεις

ανήλθαν σε 118.750, εκ των οποίων οι 12.580 αφορούσαν αποκλειστικά περιστατικά που σχετίζονταν με τον COVID-19. Από αυτά τα κρούσματα, 2.150 ασθενείς χρειάστηκε να νοσηλευτούν, ενώ 143 ασθενείς παρουσίασαν σοβαρές επιπλοκές και διασωληνώθηκαν, γεγονός που οδήγησε στη μεταφορά τους σε άλλο νοσοκομείο για περαιτέρω εξειδικευμένη φροντίδα.

Στη συνέχεια, αξιοποιώντας τις μεθόδους και τα εργαλεία της επιχειρησιακής έρευνας, θα προχωρήσουμε σε μια διεξοδική ανάλυση του τρόπου με τον οποίο το νοσοκομείο ανταποκρίθηκε σε αυτήν την πρωτοφανή υγειονομική κρίση. Στόχος μας είναι να εξετάσουμε την αποτελεσματικότητα των διαδικασιών διαχείρισης κρίσεων, την κατανομή των πόρων, καθώς και την προσαρμοστικότητα του συστήματος υγείας στις αυξημένες απαιτήσεις που προέκυψαν λόγω της πανδημίας. Η ανάλυση αυτή θα συμβάλει στην κατανόηση των δυνατών σημείων και των αδυναμιών του συστήματος, παρέχοντας πολύτιμες γνώσεις που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της ανταπόκρισης του νοσοκομείου σε μελλοντικές υγειονομικές προκλήσεις. Με την εφαρμογή της επιχειρησιακής έρευνας, θα μπορούσαμε να προσφέρουμε προτάσεις για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας και της αποδοτικότητας του συστήματος υγείας, συμβάλλοντας έτσι στη διασφάλιση καλύτερης προετοιμασίας για παρόμοια φαινόμενα στο μέλλον.

Δημιουργήσαμε, λοιπόν, μια σειρά από σενάρια, παρόμοια με εκείνα που εφαρμόσαμε στο πρόβλημα του φαρμακείου, με σκοπό να αναλύσουμε και να προσδιορίσουμε τον βέλτιστο τρόπο διαχείρισης αυτής της υγειονομικής κρίσης. Σε αυτά τα σενάρια, εξετάζουμε ποιος θα ήταν ο ιδανικός συνδυασμός προσωπικού, λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των επιμελητών και των ειδικευόμενων ιατρών που θα απαιτούνταν, ώστε να διασφαλιστεί η ομαλή και αποδοτική λειτουργία του νοσοκομείου. Μέσω της ανάλυσης αυτής, σκοπεύουμε να εντοπίσουμε τις βέλτιστες πρακτικές για την κατανομή των ανθρώπινων πόρων, οι οποίες θα συμβάλουν όχι μόνο στη βελτίωση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών υγείας, αλλά και στη διαχείριση της κρίσης με τον πλέον αποτελεσματικό τρόπο. Επιπλέον, **η μελέτη αυτή θα μας επιτρέψει να κατανοήσουμε καλύτερα τις ανάγκες του συστήματος υγείας υπό συνθήκες πίεσης, προσφέροντας πολύτιμες γνώσεις που μπορούν να εφαρμοστούν στην ανάπτυξη στρατηγικών για τη βελτίωση της λειτουργίας του νοσοκομείου, τόσο κατά τη διάρκεια κρίσεων όσο και υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας.**

Βάση των δεδομένων που συλλέξαμε, αλλά και όσων αναφέραμε στο προηγούμενο πρόβλημά μας, χρειαζόμαστε το λ και το μ ώστε να μπορέσουμε να το επιλύσουμε, όπως και το s .

Οι εξυπηρετητές στο σύστημα αυτό είναι οι γιατροί ενώ θα δούμε ότι εδώ θα προσθέσουμε και τους ειδικευόμενους ιατρούς αλλά το μ δεν θα αλλάξει δραστικά καθώς δεν μπορούν να ασχοληθούν μόνοι τους μ' έναν ασθενή αλλά θα πρέπει να βοηθούν τον γιατρό.

- Πρακτική εφαρμογή της θεωρίας ουρών αναμονής σε νοσοκομείο με 4 ιατρούς επιμελητές.

Βάση των υπολογισμών μας υπολογίσαμε ότι ο ρυθμός άφιξης είναι 34 άτομα ανά ημέρα και με 4 ιατρούς επιμελητές ο ρυθμός εξυπηρέτησης είναι 40 άτομα ανά ημέρα. Άρα έχουμε:

$$\lambda = 34$$

$$\mu = 10$$

$$s = 4 \text{ ιατροί επιμελητές}$$

$$s\mu = 40$$

Το ποσοστό χρόνου που απασχολούνται οι γιατροί:

$$\rho = \lambda / s\mu = 0,85 \text{ ή } 85\%$$

Ο μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά είναι:

$$W_q = (P_0) * \left[\frac{\lambda^2 \rho}{s!(1-\rho)^2 \lambda} \right] = 0,11$$

$$0,11 * 24 = 2,64 \text{ ώρες}$$

Ο αναμενόμενος χρόνος παραμονής στο νοσοκομείο είναι:

$$W = W_q + 1/\mu = 0,21$$

$$0,21 * 24 = 5,04 \text{ ώρες}$$

Ο μέσος όρος πελατών που περιμένουν στην ουρά είναι:

$$L_q = \lambda * W_q = 3,74 \text{ άτομα}$$

Ο μέσος όρος ασθενών στο νοσοκομείο είναι:

$$L = L_q + \lambda/\mu = 7,14 \text{ άτομα}$$

Τέλος, η πιθανότητα το τμήμα covid να μην απασχολείται:

$$p_0 = 0,02 \text{ ή } 2\%$$

- **Πρακτική εφαρμογή της θεωρίας ουρών αναμονής σε νοσοκομείο με 4 ιατρούς επιμελητές και 4 ειδικευόμενους.**

Εδώ δεν πραγματοποιείται αλλαγή στο s αλλά παρατηρείται αλλαγή ως προς τον ρυθμό εξυπηρέτησης κι έτσι αφού ο κάθε ιατρός έχει κι έναν βοηθό, έχουμε:

$$\lambda = 34$$

$$\mu = 12$$

$$s = 4 \text{ ιατροί επιμελητές}$$

$$s\mu = 48$$

Το ποσοστό χρόνου που απασχολούνται οι γιατροί:

$$\rho = \lambda / s\mu = 0,71 \text{ ή } 71\%$$

Ο μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά είναι:

$$W_q = (P_0) * \left[\frac{\lambda(\mu)}{s!(1-\rho)^2} \right] = 0,03$$

$$0,03 * 24 = 0,72 \text{ ώρες}$$

Ο αναμενόμενος χρόνος παραμονής στο νοσοκομείο είναι:

$$W = W_q + 1/\mu = 0,11$$

$$0,11 * 24 = 2,6 \text{ ώρες}$$

Ο μέσος όρος πελατών που περιμένουν στην ουρά είναι:

$$L_q = \lambda * W_q = 1,02 \text{ άτομα}$$

Ο μέσος όρος ασθενών στο νοσοκομείο είναι:

$$L = L_q + \lambda/\mu = 3,85 \text{ άτομα}$$

Τέλος, η πιθανότητα το τμήμα covid να μην απασχολείται:

$$p_0 = 0,05 \text{ ή } 5\%$$

- **Πρακτική εφαρμογή της θεωρίας ουρών αναμονής σε νοσοκομείο με 4 ιατρούς επιμελητές και 6 ειδικευόμενους.**

Και πάλι δεν πραγματοποιείται αλλαγή στο s αλλά παρατηρείται αλλαγή ως προς τον ρυθμό εξυπηρέτησης, Άρα έχουμε:

$$\lambda = 34$$

$$\mu = 13$$

$$s = 4 \text{ ιατροί επιμελητές}$$

$$s\mu = 52$$

Το ποσοστό χρόνου που απασχολούνται οι γιατροί:

$$\rho = \lambda / s\mu = 0,65 \text{ ή } 65\%$$

Ο μέσος χρόνος αναμονής στην ουρά είναι:

$$W_q = (P_{(0)}) * \left[\frac{(\lambda/\mu)}{s} \right]^2 * \rho / (s * (1-\rho)^2 * \lambda) = 0,02$$

$$0,02 * 24 = 0,48 \text{ ώρες}$$

Ο αναμενόμενος χρόνος παραμονής στο νοσοκομείο είναι:

$$W = W_q + 1/\mu = 0,1$$

$$0,1 * 24 = 2,4 \text{ ώρες}$$

Ο μέσος όρος πελατών που περιμένουν στην ουρά είναι:

$$L_q = \lambda * W_q = 0,68 \text{ άτομα}$$

Ο μέσος όρος ασθενών στο νοσοκομείο είναι:

$$L = L_q + \lambda/\mu = 3,3 \text{ άτομα}$$

Τέλος, η πιθανότητα το τμήμα covid να μην απασχολείται:

$$p_0 = 0,06 \text{ ή } 6\%$$

Συνοπτικά,

Χαρακτηριστικά μεγέθη	Με 4 επιμελητές	Με 4 επιμελητές και 4 ειδικευομένους	Με 4 επιμελητές και 6 ειδικευομένους
Χρόνος αναμονής	5,04 ώρες	2,6 ώρες	2,4 ώρες
Άτομα σε αναμονή	3,9 άτομα	1,02 άτομα	0,68 άτομα
Ποσοστό απασχόλησης των ιατρών του νοσοκομείου	85%	71%	65%
Πιθανότητα να μην υπάρχει κανένας ασθενής στην ουρά	2%	5%	6%

4.2 Παράρτημα του παραδείγματος σε excel

Εδώ και πάλι θα χρησιμοποιήσουμε το εργαλείο μας, όπως και στο φαρμακείο, το excel QM ώστε να βγάλουμε πιο αναλυτικά στοιχεία.

Waiting Lines		Multiple server model (M/M/s)			
Data		Results			
Arrival rate (λ)	34 customers per day	Average server utilization (ρ)	0.85		
Service rate (μ)	10 customers per day	Average number of customers in the queue (L_q)	3.90613	customers	
Number of servers(s)	4	Average number of customers in the system(L)	7.30613	customers	
		Average waiting time in the queue(W_q)	0.11489	hour	2.757265
		Average time in the system(W)	0.21489	hour	5.157265
		Probability (% of time) system is empty (P_0)	0.01857		

Εικόνα 4.6

Δώσαμε στο πρόγραμμά μας ξανά τα στοιχεία που συγκεντρώσαμε για να μας εμφανίσει τα αποτελέσματα. Στην συνέχεια θα προσθέσουμε τους 4 ειδικευόμενους αλλά όπως αναφέραμε και παραπάνω σ' αυτό το παράδειγμα δεν αλλάζει το s αλλά το μ .

Waiting Lines		Multiple server model (M/M/s)					
Data				Results			
Arrival rate (λ)	34	customers per day	Average server utilization(ρ)	0.70833			
Service rate (μ)	12	customers per day	Average number of customers in the queue(L_q)	1.07263	customers		
Number of servers(s)	4		Average number of customers in the system(L)	3.90596	customers		
			Average waiting time in the queue(W_q)	0.03155	hour	0.757151	
			Average time in the system(W)	0.11488	hour	2.757151	
			Probability (% of time) system is empty (P_0)	0.04797			

Εικόνα 4.7

Τέλος, προσθέσαμε άλλους 2 ειδικευόμενους ιατρούς για την καλύτερη εξυπηρέτηση των ασθενών για να δούμε τι αποτελέσματα θα πάρουμε.

Waiting Lines		Multiple server model (M/M/s)					
Data				Results			
Arrival rate (λ)	34	customers per day	Average server utilization(ρ)	0.65385			
Service rate (μ)	13	customers per day	Average number of customers in the queue(L_q)	0.67979	customers		
Number of servers(s)	4		Average number of customers in the system(L)	3.29518	customers		
			Average waiting time in the queue(W_q)	0.01999	hour	0.479855	
			Average time in the system(W)	0.09692	hour	2.326009	
			Probability (% of time) system is empty (P_0)	0.0639			

Εικόνα 4.8

Όπως διαπιστώνουμε, το σύστημα υγείας βρισκόταν υπό συνεχή και τεράστια πίεση καθημερινά, καθώς η πανδημία δημιούργησε πρωτοφανείς ανάγκες και οι διαθέσιμοι γιατροί δεν ήταν επαρκείς για να ανταποκριθούν αποτελεσματικά σε αυτή την υγειονομική κρίση. Παρ' όλα αυτά, προχωρήσαμε στη δημιουργία ρεαλιστικών σεναρίων που αντικατοπτρίζουν τα δεδομένα και τις συνθήκες που επικρατούσαν στη χώρα. Σε πολλά νοσοκομεία, η κρίση αυτή αντιμετωπίστηκε με την πολύτιμη συνεισφορά των ειδικευόμενων ιατρών, οι οποίοι κλήθηκαν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση του αυξημένου φόρτου εργασίας.

Μέσα από την ανάλυση των σεναρίων αυτών, παρατηρήσαμε ότι η συμμετοχή των ειδικευόμενων ιατρών συνέβαλε σημαντικά στη μείωση του αριθμού των ασθενών που περίμεναν στις ουρές μόνο για να εξεταστούν. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της ροής των ασθενών και τη μείωση του χρόνου αναμονής, γεγονός που είναι κρίσιμο, ειδικά όταν πρόκειται για την αντιμετώπιση επειγόντων περιστατικών, όπως αυτά που σχετίζονται με τον COVID-19. Είναι σαφές ότι η αναμονή για ώρες σε ένα νοσοκομείο, ειδικά στα επείγοντα, είναι μια κατάσταση που επιβαρύνει την ψυχολογία των ασθενών και μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ποιότητα της φροντίδας που λαμβάνουν.

Η μείωση του χρόνου αναμονής είναι ζωτικής σημασίας, όχι μόνο για την καλύτερη εξυπηρέτηση των ασθενών, αλλά και για την αποσυμφόρηση των νοσοκομείων, ιδιαίτερα σε περιόδους έντονης πίεσης. Η ανάλυση αυτή υπογραμμίζει την αναγκαιότητα της σωστής διαχείρισης των ανθρώπινων πόρων και

της προσαρμογής του συστήματος υγείας στις ανάγκες μιας κρίσης τέτοιου μεγέθους, προκειμένου να διασφαλιστεί η αποτελεσματική και έγκαιρη παροχή ιατρικών υπηρεσιών σε όσους τις χρειάζονται. Εκτός από την εξυπηρέτηση των ασθενών λοιπόν, δεν πρέπει να ξεχνάμε και την βελτιστοποίηση του Εθνικού Συστήματος Υγείας στις βάρδιες των ιατρών και την πίεση που δέχτηκαν σε συνδυασμό με τον προϋπολογισμό του κράτους. Το σενάριο αυτό έχει την δυνατότητα να βοηθήσει σε βάθος τις διοικητικές αποφάσεις σ' ένα τόσο μείζων ζήτημα, αυτό των επειγόντων περιστατικών ακόμα και υπό κανονικές συνθήκες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η θεωρία των ουρών αναμονής εξακολουθεί να είναι μια θεμελιώδης αρχή των περισσότερων επιχειρήσεων που λειτουργούν, ωστόσο δεν υπάρχει σαφής κατανόηση για τον αντίκτυπο στο περιβάλλον της ουράς για να αυξηθεί ο χρόνος που ένα άτομο είναι πρόθυμο να περιμένει, βελτιώνοντας την εμπειρία του ατόμου στην ουρά, καθώς και μείωση της απογοήτευσης. Για κάποιους η μελέτη της ουράς αναμονής μπορεί να φαίνεται ασήμαντη αλλά η κατανόηση της ανταπόκρισης ενός δυνητικού πελάτη στην αναμονή είναι απαραίτητη. Οι οργανισμοί είναι πρόθυμοι να μην αποκτήσουν τη φήμη για την κακή εξυπηρέτηση που συχνά συνδέεται με τους χρόνους αναμονής. Οι αλλαγές στην τεχνολογία, ειδικά τα μηχανήματα αυτοεξυπηρέτησης που διατίθενται ευρέως πλέον σε σούπερ μάρκετ και ταξιδιωτικά μέρη (αεροδρόμια, σιδηροδρομικοί σταθμοί), έχουν ως αποτέλεσμα οι άνθρωποι να είναι ακόμη λιγότερο ανεκτικοί στις ουρές. Πράγματι, η ανάπτυξη βιοτεχνικών δεικτών έχει καταστήσει ταχύτερη την αναγνώριση, συχνά μειώνοντας σημαντικά την αναμονή στα σύνορα των χωρών. Έτσι, οι προσδοκίες αλλάζουν. Γνωρίζουμε ότι η συμπεριφορά στην ουρά είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων: τι κάνουν οι άνθρωποι στην ουρά και τις διαθέσιμες επιλογές τους, τη διάρκεια της ουράς, τη συμπεριφορά των ατόμων σε αυτήν την ουρά, περισπασμούς που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Τόσο για τους καταναλωτές όσο και για τους παρόχους «ο χρόνος είναι χρήμα» και οι δύο θέλουν να ελαχιστοποιήσουν την αναμονή στις ουρές. Εξ ου και ο πειραματισμός με νέες συσκευές και στρατηγικές που ελαχιστοποιούν τον χρόνο που δαπανάται σε ουρές. Πολλοί άνθρωποι κάνουν τώρα αγορές μέσω Διαδικτύου, τόσο για την αποφυγή ουρών όσο και για λόγους ευκολίας. Αυτό σημαίνει ότι η «φυσική ουρά» με άτομα που στέκονται στην ουρά μειώνεται. Εξ ου και το ενδιαφέρον για το πώς να κάνετε τους ανθρώπους να συνεχίσουν να «κολλάνε» στο τηλέφωνο σε μια ουρά χρησιμοποιώντας μουσική ή μηνύματα. Υπάρχουν, φυσικά, πολλοί τομείς μελλοντικής έρευνας, όπως η εξέταση του τρόπου με τον οποίο οι άνθρωποι μπορούν να αξιολογήσουν διαφορετικά τις ουρές. προσπαθώντας να κατανοήσουμε πότε οι πελάτες υποχωρούν και τον βέλτιστο αριθμό αμειβόμενου προσωπικού για να αποτρέψουν την απώλεια από την αποφυγή της ουράς.

Γενικά τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης είναι σημαντικοί καθοριστικοί παράγοντες της ποιότητας ζωής του ανθρώπου. Η θεωρία της ουράς είναι επομένως ένα πολύ ισχυρό εργαλείο που συχνά παραβλέπεται ειδικά σε νοσοκομειακά περιβάλλοντα για τη διαχείριση της απόδοσης. Η σωστή εφαρμογή αυτού του αποτελεσματικού εργαλείου διαχείρισης μπορεί να αποφέρει εντυπωσιακά αποτελέσματα. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που σχετίζονται με τα σωματικά και ψυχολογικά συναισθήματα που επηρεάζουν την αντίληψη του ασθενούς σχετικά με την εμπειρία αναμονής. Μέσω της καλύτερης κατανόησης των τεχνικών της θεωρίας της ουράς και των διαφόρων μέτρων που

σχετίζονται με τον χρόνο αναμονής των ασθενών, τότε οι διευθυντές των νοσοκομείων μπορούν να λάβουν αποφάσεις που έχουν ευεργετικό αντίκτυπο στην ικανοποίηση όλων των ενδιαφερομένων. Στην πραγματικότητα, η αναμονή στις ουρές θα είναι πάντα διαδεδομένη σε κάθε κοινωνία, συμπεριλαμβανομένων των νοσοκομειακών περιβαλλόντων και καθώς η βιομηχανία υγείας συνεχίζει να αναπτύσσεται, η εφαρμογή της θεωρίας της ουράς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη και τον εντοπισμό άλλων ευκαιριών για βελτίωση των υπηρεσιών. Οι Boulton et al. (2016) υποστηρίζουν ότι η θεωρία της ουράς παρέχει ένα πρόσθετο πλαίσιο για να βοηθήσει τους κλινικούς γιατρούς και τους διευθυντές πιο αποτελεσματικά στα μελλοντικά σχέδια. Οι συγγραφείς συνιστούν ανεπιφύλακτα την εφαρμογή τέτοιων τεχνικών μοντελοποίησης για ευρύτερη χρήση στην υγειονομική περίθαλψη και τον προγραμματισμό. Ως εκ τούτου, συνάγεται το συμπέρασμα ότι παρόλο που η μείωση των χρόνων αναμονής μπορεί να μην είναι πάντα δυνατή (λόγω έλλειψης πόρων ή περιορισμών προσωπικού), εξακολουθεί να είναι δυνατή η βελτίωση ορισμένων πτυχών των υπηρεσιών φροντίδας, οι οποίες μπορούν να μετριάσουν τη δυσαρέσκεια των ασθενών με τις περιόδους αναμονής και επιτρέπουν περισσότερες θετικές αντιλήψεις σχετικά με τις υπηρεσίες που λαμβάνουν.

Ένα δίκτυο ουράς είναι ένα ευέλικτο και αποτελεσματικό εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικά περιστατικά μαζικής αιτιότητας για να επιβεβαιώσει την ισορροπία μεταξύ της ικανότητας υπέρτασης και της ικανότητας απόκρισης υπέρτασης. Μπορεί επίσης να εφαρμοστεί για τη βελτίωση της ισορροπημένης αποτελεσματικότητας κατά την αντιμετώπιση περιστατικών μαζικής αιτιότητας. Η ισορροπημένη απόδοση μπορεί να είναι πιο συμφέρουσα από τα καλύτερα προσαρμοσμένα αποτελέσματα, δηλαδή την πιο αποδοτική απόδοση που υπολογίστηκε από το δίκτυο αναμονής. Η αποτελεσματικότητα και το κατάλληλο ανθρώπινο δυναμικό μπορούν να θεωρηθούν ότι συνυπάρχουν στην πιο ιδανική κατάσταση όταν εφαρμόζεται ένα δίκτυο αναμονής.

Μέσα από τα παραδείγματα και τις μεθοδολογικές προσεγγίσεις που εφαρμόσαμε, καταλήξαμε σε μια σειρά από πολύτιμα αποτελέσματα. Εξετάσαμε τα προβλήματα από κάθε δυνατή οπτική γωνία, διερευνώντας τις πολλαπλές διαστάσεις τους, και διαπιστώσαμε ότι μέσω της επιχειρησιακής έρευνας και της θεωρίας των ουρών αναμονής μπορούμε να διαχειριστούμε αποτελεσματικά κρίσεις που ενδέχεται να προκύψουν στο μέλλον. Δημιουργήσαμε και αναλύσαμε σενάρια που επικεντρώνονται στην βέλτιστη διαχείριση των πόρων, εξασφαλίζοντας τη μείωση των χρόνων αναμονής και βελτιώνοντας τη συνολική εμπειρία εξυπηρέτησης των πελατών.

Αποδείξαμε ότι είναι εφικτό να διαμορφώσουμε ένα πιο αποδοτικό και αποτελεσματικό περιβάλλον εξυπηρέτησης, το οποίο όχι μόνο βελτιώνει την ποιότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών αλλά και εξοικονομεί σημαντικούς πόρους, όπως χρόνο και χρήμα. Μέσω της εφαρμογής των σεναρίων μας,

καταφέραμε να ενισχύσουμε τα συστήματα εξυπηρέτησης, βελτιώνοντας την απόδοσή τους και εξασφαλίζοντας την καλύτερη δυνατή ισορροπία ανάμεσα στο κόστος και την ποιότητα εξυπηρέτησης. Επίσης, καθορίσαμε με σαφήνεια τις προτεραιότητες, εξασφαλίζοντας τη μέγιστη απόδοση των διαθέσιμων πόρων.

Μετά από αυτή την ενδελεχή ανάλυση, καταλήγουμε σε ένα ξεκάθαρο συμπέρασμα: Η μελέτη των ουρών αναμονής και η εφαρμογή της επιχειρησιακής έρευνας έχουν τη δύναμη να επιφέρουν σημαντικές βελτιώσεις στην καθημερινή λειτουργία μιας επιχείρησης, επηρεάζοντας δραστικά τη σχέση ανάμεσα στην επιχείρηση και τον πελάτη. Αυτή η προσέγγιση όχι μόνο βελτιώνει την αποτελεσματικότητα των επιχειρηματικών διαδικασιών, αλλά και ενισχύει την ικανοποίηση των πελατών, δημιουργώντας ένα πιο αρμονικό και αποδοτικό περιβάλλον εξυπηρέτησης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abdellatief, W., & Abdelatey, A. (2022). Analysis of Coronavirus Patients Flow in Hospitals: An Application of Queuing Theory. *IJCI. International Journal of Computers and Information*, 9(1), 46-59.
2. Acemoglu, D., Chernozhukov, V., Werning, I., & Whinston, M. D. (2020). *A multi-risk SIR model with optimally targeted lockdown* (Vol. 2020). Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research.
3. Afolalu, A., Adelakun, O. J., Ongbali, S. O., Abioye, A. A., & Ajayi, O. O. (2019). Queueing theory—a tool for production planning in health care. In *Proceedings of the World Congress on Engineering* (pp. 3-5).
4. Afolalu, S. A., Ikumapayi, O. M., Abdulkareem, A., Emetere, M. E., & Adejumo, O. (2021). A short review on queuing theory as a deterministic tool in sustainable telecommunication system. *Materials Today: Proceedings*, 44, 2884-2888.
5. Ahmed, A. O. I., & Ahmed, M. E. (2021). Applying Waiting Queue Models to Solve Queue Problems During the Corona Pandemic in Khartoum State Hospitals (Al-Hikma Hospital as a Model). *International Journal of Innovation, Creativity and Change*, 15(3), 42-61.
6. Ahsan, M. M., Islam, M. R., & Alam, M. A. (2014). Study of queuing system of a busy restaurant and a proposed facilitate queuing system. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 11(6), 31-35.
7. Alavi-Moghaddam, M., Forouzanfar, R., Alamdari, S., Shahrani, A., Kariman, H., Amini, A., ... & Shirvani, A. (2012). Application of queuing analytic theory to decrease waiting times in emergency department: does it make sense?. *Archives of Trauma Research*, 1(3), 101-107.
8. Alban, A., Chick, S. E., Dongelmans, D. A., Vlaar, A. P., & Sent, D. (2020). ICU capacity management during the COVID-19 pandemic using a process simulation. *Intensive care medicine*, 46(8), 1624-1626.
9. Alexander, M., MacLaren, A., O’Gorman, K., & White, C. (2012). Priority queues: Where social justice and equity collide. *Tourism Management*, 33(4), 875-884.
10. Alipour-Vaezi, M., Aghsami, A., & Jolai, F. (2022). Prioritizing and queueing the emergency departments’ patients using a novel data-driven decision-making methodology, a real case study. *Expert Systems with Applications*, 195, 116568.
11. Alizadehsani, R., Roshanzamir, M., Hussain, S., Khosravi, A., Koohestani, A., Zangoeei, M. H., ... & Acharya, U. R. (2021). Handling of uncertainty in medical data using machine learning and probability theory techniques: A review of 30 years (1991–2020). *Annals of Operations Research*, 1-42.
12. Alnowibet, K. A., & Perros, H. (2006). The nonstationary loss queue: A survey. In *Communication Networks and Computer Systems: A Tribute to Professor Erol Gelenbe* (pp. 105-125).
13. Alvarez, F. E., Argente, D., & Lippi, F. (2020). *A simple planning problem for covid-19 lockdown* (No. w26981). National Bureau of Economic Research.

14. Armony, M., Israelit, S., Mandelbaum, A., Marmor, Y. N., Tseytlin, Y., & Yom-Tov, G. B. (2015). On patient flow in hospitals: A data-based queueing-science perspective. *Stochastic systems*, 5(1), 146-194.
15. Asaduzzaman, M., & Chausalet, T. J. (2014). Capacity planning of a perinatal network with generalised loss network model with overflow. *European Journal of Operational Research*, 232(1), 178-185.
16. Aziati, A. N., & Hamdan, N. S. B. (2018, March). Application of queueing theory model and simulation to patient flow at the outpatient department. In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bandung, Indonesia*.
17. Baas, S., Dijkstra, S., Braaksmā, A., van Rooij, P., Snijders, F. J., Tiemessen, L., & Boucherie, R. J. (2021). Real-time forecasting of COVID-19 bed occupancy in wards and Intensive Care Units. *Health care management science*, 24(2), 402-419.
18. Bai, J., Fügenger, A., Schoenfelder, J., & Brunner, J. O. (2018). Operations research in intensive care unit management: a literature review. *Health care management science*, 21(1), 1-24.
19. Bai, W. H., Xi, J. Q., Zhu, J. X., & Huang, S. W. (2015). Performance analysis of heterogeneous data centers in cloud computing using a complex queueing model. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015.
20. Bailey, C. (2019). Waiting in organisations. *Time & Society*, 28(2), 587-612.
21. Baker, J., & Cameron, M. (1996). The effects of the service environment on affect and consumer perception of waiting time: An integrative review and research propositions. *Journal of the Academy of marketing Science*, 24(4), 338-349.
22. Ball, J. E., Murrells, T., Rafferty, A. M., Morrow, E., & Griffiths, P. (2014). 'Care left undone' during nursing shifts: associations with workload and perceived quality of care. *BMJ quality & safety*, 23(2), 116-125.
23. Bard, J. F., Shu, Z., Morrice, D. J., Wang, D. E., Poursani, R., & Leykum, L. (2016). Improving patient flow at a family health clinic. *Health care management science*, 19(2), 170-191.
24. Baru, R. A., Cudney, E. A., Guardiola, I. G., Warner, D. L., & Phillips, R. E. (2015). Systematic review of operations research and simulation methods for bed management. In *IIE Annual Conference. Proceedings* (p. 298). Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE).
25. Bekker, R., uit het Broek, M., & Koole, G. (2021). Modeling COVID-19 hospital admissions and occupancy in the Netherlands. *European journal of operational research*, 304(1), 207-218.
26. Berhan, E. (2015). Bank service performance improvements using multi-server queue system. *IOSR Journal of Business and Management*, 17(6), 65-69.
27. Blocker, R. C., Heaton, H. A., Forsyth, K. L., Hawthorne, H. J., El-Sherif, N., Bellolio, M. F., ... & Hallbeck, M. S. (2017). Physician, interrupted: workflow interruptions and patient care in the emergency department. *The Journal of emergency medicine*, 53(6), 798-804.
28. Birge, J. R., Candogan, O., & Feng, Y. (2020). Controlling epidemic spread: Reducing economic losses with targeted closures. *University of Chicago, Becker Friedman Institute for Economics Working Paper*,

(2020-57).

29. Bonneuil, N. (2021). Optimal age-and sex-based management of the queue to ventilators during the Covid-19 crisis. *Journal of Mathematical Economics*, 93, 102494.
30. Borges, A., Herter, M. M., & Chebat, J. C. (2015). "It was not that long!": The effects of the in-store TV screen content and consumers emotions on consumer waiting perception. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 22, 96-106.
31. Boulton, J., Akhtar, N., Shuaib, A., & Bourke, P. (2016). Waiting for a stroke bed: planning stroke unit capacity using queuing theory. *International Journal of Healthcare Management*, 9(1), 4-10.
32. Bove, L. L., & Benoit, S. (2020). Restrict, clean and protect: signaling consumer safety during the pandemic and beyond. *Journal of Service Management*.
33. Brandman, D. M., Leck, E., & Christie, S. (2020). Modelling the backlog of COVID-19 cases for a surgical group. *Canadian Journal of Surgery*, 63(5), E391.
34. Broyles, J. R. (2007). Estimating business loss to a hospital emergency department from patient renegeing by queuing-based regression. In *IIE Annual Conference. Proceedings* (p. 613). Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE).
35. Bruner, G. C. (1990). Music, mood, and marketing. *Journal of marketing*, 54(4), 94-104.
36. Burns, A., & Byrne, J. Ballard, c., & Holmes, c.(2002). Sensory Stimulation in Dementia: An Effective Option for Managing Behavioural Problems. *British Medical Journal*, 325(7376), 1312-1313.
37. Cameron, M. A., Baker, J., Peterson, M., & Braunsberger, K. (2003). The effects of music, wait-length evaluation, and mood on a low-cost wait experience. *Journal of Business Research*, 56(6), 421-430.
38. Carmon, Z., & Kahneman, D. (1996). The experienced utility of queuing: real time affect and retrospective evaluations of simulated queues. *Duke University: Durham, NC, USA*.
39. Carmon, Z., Shanthikumar, J. G., & Carmon, T. F. (1995). A psychological perspective on service segmentation models: The significance of accounting for consumers' perceptions of waiting and service. *Management Science*, 41(11), 1806-1815.
40. Cassar, M. R., Borg, D., Camilleri, L., Schembri, A., Anastasi, E. A., Buhagiar, K., ... & Grech, M. (2021). A novel use of telemedicine during the COVID-19 pandemic. *International Journal of Infectious Diseases*, 103, 182-187.
41. Chang, S., Pierson, E., Koh, P. W., Gerardin, J., Redbird, B., Grusky, D., & Leskovec, J. (2021). Mobility network models of COVID-19 explain inequities and inform reopening. *Nature*, 589(7840), 82-87.
42. Cho, K. W., Kim, S. M., Chae, Y. M., & Song, Y. U. (2017). Application of queuing theory to the analysis of changes in outpatients' waiting times in hospitals introducing EMR. *Healthcare Informatics Research*, 23(1), 35-42.
43. Chowdhury, N. M., Riddles, L., & Mackenzie, R. (2018). Using queuing theory to reduce wait, stay in emergency department. *American Association for Physician Leadership [website]*. Διαθέσιμο στο: <https://www.physicianleaders.org/news/queuing-theory-reducing-waitstay>

44. Cooke, M. W., Wilson, S., & Pearson, S. (2002). The effect of a separate stream for minor injuries on accident and emergency department waiting times. *Emergency Medicine Journal*, 19(1), 28-30.
45. Cooper, J. K., & Corcoran, T. M. (1974). Estimating bed needs by means of queuing theory. *New England Journal of Medicine*, 291(8), 404-405.
46. Cowdrey, K. W., de Lange, J., Malekian, R., Wanneburg, J., & Jose, A. C. (2018). Applying queueing theory for the optimization of a banking model. *Journal of Internet Technology*, 19(2), 381-389.
47. Crane, M. D. (2017). *The Definitive Guide to Emergency Department Operational Improvement: Employing Lean Principles with Current ED Best Practices to Create the No Wait Department*. Productivity Press.
48. Creemers, S., & Lambrecht, M. (2007). Modeling a healthcare system as a queueing network: the case of a Belgian hospital. Available at SSRN 1093618.
49. Dagli, R., & Eken, S. (2021). Deploying a smart queuing system on edge with Intel OpenVINO toolkit. *Soft Computing*, 25(15), 10103-10115.
50. Dahm, M., Wentzel, D., Herzog, W., & Wiecek, A. (2018). Breathing down your neck!: The impact of queues on customers using a retail service. *Journal of Retailing*, 94(2), 217-230.
51. Davies, N. G., Kucharski, A. J., Eggo, R. M., Gimma, A., Edmunds, W. J., Jombart, T., ... & Liu, Y. (2020). Effects of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 cases, deaths, and demand for hospital services in the UK: a modelling study. *The Lancet Public Health*, 5(7), e375-e385.
52. De Vries, J., Roy, D., & De Koster, R. (2018). Worth the wait? How restaurant waiting time influences customer behavior and revenue. *Journal of operations Management*, 63, 59-78.
53. Dike, C. O., Zainuddin, Z. M., & Dike, I. J. (2016). Queueing technique for ebola virus disease transmission and control analysis. *Indian Journal of Science and Technology*, 9, 46.
54. Di Pumpo, M., Ianni, A., Miccoli, G. A., Di Mattia, A., Gualandi, R., Pascucci, D., ... & Laurenti, P. (2022). Queueing Theory and COVID-19 Prevention: Model Proposal to Maximize Safety and Performance of Vaccination Sites. *Frontiers in Public Health*, 1978.
55. Drakopoulos, K., Ozdaglar, A., & Tsitsiklis, J. N. (2017). When is a network epidemic hard to eliminate?. *Mathematics of Operations Research*, 42(1), 1-14.
56. Drakopoulos, K., & Zheng, F. (2017). Network effects in contagion processes: Identification and control. *Columbia Business School Research Paper*, (18-8).
57. El Kafhali, S., & Salah, K. (2018). Modeling and analysis of performance and energy consumption in cloud data centers. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(12), 7789-7802.
58. Fenko, A., & Loock, C. (2014). The influence of ambient scent and music on patients' anxiety in a waiting room of a plastic surgeon. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, 7(3), 38-59.
59. Fitzgerald, K., Pelletier, L., & Reznick, M. A. (2017). A queue-based Monte Carlo analysis to support decision making for implementation of an emergency department fast track. *Journal of healthcare engineering*, 2017.

60. Fomundam, S., & Herrmann, J. W. (2007). A survey of queuing theory applications in healthcare.
61. Foster, E. M., Hosking, M. R., & Ziya, S. (2010). A spoonful of math helps the medicine go down: an illustration of how healthcare can benefit from mathematical modeling and analysis. *BMC medical research methodology*, 10(1), 1-11.
62. Fry, A. M., & Willis, F. N. (1971). Invasion of personal space as a function of the age of the invader. *The Psychological Record*, 21(3), 385-389.
63. Furnham, A., Treglown, L., & Horne, G. (2020). The Psychology of Queuing. DOI: [10.4236/psych.2020.113033](https://doi.org/10.4236/psych.2020.113033). Διαθέσιμο στο: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=99238#ref40>
64. Garaus, M., & Wagner, U. (2019). Let me entertain you—Increasing overall store satisfaction through digital signage in retail waiting areas. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 47, 331-338.
65. Garcia-Vicuña, D., Esparza, L., & Mallor, F. (2020). Hospital preparedness in epidemics by using simulation. The case of COVID-19. *MedRxiv*.
66. Gilaninia, S., Rezvani, M., Mousavian, S. J., & Asli, S. A. (2011). Optimizing Production Planning and Environmental Assessment of Conformity with the Inventory Management Methods in Iran. *Journal of Management and Strategy*, 2(4), 75.
67. Girija, A. M., Reddy, D. M., & Sarla, P. (2021). Self-Similar Characteristics of COVID-19 Patient arrival at Healthcare Centre—A Study Using Queuing Models. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 12(3), 4776-4791.
68. Goldstone, S., Lhamon, W. T., & Sechzer, J. (1978). Light intensity and judged duration. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 12(1), 83-84.
69. Gorunescu, F., McClean, S. I., & Millard, P. H. (2002). A queueing model for bed-occupancy management and planning of hospitals. *Journal of the Operational Research Society*, 53(1), 19-24.
70. Green, L. V. (2002). How many hospital beds?. *INQUIRY: The Journal of Health Care Organization, Provision, and Financing*, 39(4), 400-412.
71. Green, L. (2006). Queueing analysis in healthcare. In *Patient flow: reducing delay in healthcare delivery* (pp. 281-307). Springer, Boston, MA.
72. Green, L. V., Kolesar, P. J., & Whitt, W. (2007). Coping with time-varying demand when setting staffing requirements for a service system. *Production and Operations Management*, 16(1), 13-39.
73. Günal, M. M., & Pidd, M. (2010). Discrete event simulation for performance modelling in health care: a review of the literature. *Journal of Simulation*, 4(1), 42-51.
74. Gupta, U. C., Kumar, N., & Barbhuiya, F. P. (2020). A queueing system with batch renewal input and negative arrivals. In *Applied Probability and Stochastic Processes* (pp. 143-157). Springer, Singapore.
75. Hassin, R., & Mendel, S. (2008). Scheduling arrivals to queues: A single-server model with no-shows. *Management science*, 54(3), 565-572.
76. Henderson, D. A., Inglesby Jr, T. V., O'Toole, T., Inglesby, T. V., Grossman, R., & O'Toole, T. (2001). A plague on your city: observations from TOPOFF. *Clinical Infectious Diseases*, 32(3), 436-445.

77. Housni, O. E., Sumida, M., Rusmevichientong, P., Topaloglu, H., & Ziya, S. (2020). Future Evolution of COVID-19 Pandemic in North Carolina: Can We Flatten the Curve?. *arXiv preprint arXiv:2007.04765*.
78. Huang, P. K., Chang, C. S., Cheng, J., & Lee, D. S. (2007). Recursive constructions of parallel FIFO and LIFO queues with switched delay lines. *IEEE Transactions on Information Theory*, 53(5), 1778-1798.
79. Ibanez, M. R., Clark, J. R., Huckman, R. S., & Staats, B. R. (2018). Discretionary task ordering: Queue management in radiological services. *Management Science*, 64(9), 4389-4407.
80. Ingolfsson, A., Campello, F., Wu, X., & Cabral, E. (2010). Combining integer programming and the randomization method to schedule employees. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 153-163.
81. Izady, N., & Worthington, D. (2011). Approximate analysis of non-stationary loss queues and networks of loss queues with general service time distributions. *European Journal of Operational Research*, 213(3), 498-508.
82. Joseph, J. W. (2020). Queuing theory and modeling emergency department resource utilization. *Emergency Medicine Clinics*, 38(3), 563-572.
83. Jun, J. B., Jacobson, S. H., & Swisher, J. R. (1999). Application of discrete-event simulation in health care clinics: A survey. *Journal of the operational research society*, 50(2), 109-123.
84. Kalwar, M. A., Marri, H. B., Khan, M. A., & Khaskheli, S. A. (2021). Applications of Queuing Theory and Discrete Event Simulation in Health Care Units of Pakistan. *International Journal of Science and Engineering Investigations*, 10(109), 6-18.
85. Kaplan, E. H. (2020). OM Forum—COVID-19 scratch models to support local decisions. *Manufacturing & Service Operations Management*, 22(4), 645-655.
86. Karlin, S., & McGregor, J. (1958). Many server queueing processes with Poisson input and exponential service times. *Pacific Journal of Mathematics*, 8(1), 87-118.
87. Kazahaya, G. (2005). Harnessing technology to redesign labor cost management reports: labor costs typically represent over 50 percent of a hospital's total operating expenses. Can the data management process be harnessed to create meaningful labor cost management tools?. *Healthcare Financial Management*, 59(4), 94-101.
88. Kelen, G. D., & McCarthy, M. L. (2006). The science of surge. *Academic Emergency Medicine*, 13(11), 1089-1094.
89. Keller, T. F., & Laughunn, D. J. (1973). An application of queuing theory to a congestion problem in an outpatient clinic. *Decision Sciences*, 4(3), 379-394.
90. Kembe, M. M., Onah, E. S., & Iorkegh, S. (2012). A study of waiting and service costs of a multi-server queueing model in a specialist hospital. *International journal of scientific & technology research*, 1(8), 19-23.
91. Khan, M. A., Khaskheli, S. A., Kalwar, H. A., Kalwar, M. A., Marri, H. B., & Nebhwani, M. (2021).

- Improving the Performance of Reception and OPD by Using Multi-Server Queuing Model in Covid-19 Pandemic. *International Journal of Science and Engineering Investigations*, 10(113), 20-29.
92. Kim, H., Lee, Y. S., & Park, K. S. (2018). The psychology of queuing for self-service: Reciprocity and social pressure. *Administrative Sciences*, 8(4), 75.
 93. Komal, K. G., & Sharma, U. (2021). Improving Service Quality of Dhaba with the Help of Queuing Theory. *Journal of Manufacturing Engineering*, 16(3), 082-086.
 94. Lakshmi, C., & Iyer, S. A. (2013). Application of queueing theory in health care: A literature review. *Operations research for health care*, 2(1-2), 25-39.
 95. Lantz, B., & Rosén, P. (2016). Measuring effective capacity in an emergency department. *Journal of Health Organization and Management*.
 96. Larkin, D. H., Sen, S., & Tarjan, R. E. (2014, May). A back-to-basics empirical study of priority queues. In *2014 Proceedings of the Sixteenth Workshop on Algorithm Engineering and Experiments (ALENEX)* (pp. 61-72). Society for Industrial and Applied Mathematics.
 97. Larson, R. C. (1987). OR forum—perspectives on queues: Social justice and the psychology of queueing. *Operations research*, 35(6), 895-905.
 98. Larson, R. C., Larson, B. M., & Katz, K. L. (1991). Prescription for waiting—in line blues: Entertain, enlighten and engage. *Sloan Management review*, (winter), 32(2), 44-55.
 99. Lee, Y. G., Chen, A. N., & Hess, T. (2017). The online waiting experience: Using temporal information and distractors to make online waits feel shorter. *Journal of the Association for Information Systems*, 18(3), 1.
 100. Leroy, S., Shipp, A. J., Blount, S., & Licht, J. G. (2015). Synchrony preference: Why some people go with the flow and some don't. *Personnel Psychology*, 68(4), 759-809.
 101. Levi, L., & Bregman, D. (2003). Simulation and management games for training command and control in emergencies. In *The New Navigators: from Professionals to Patients* (pp. 783-787). IOS Press.
 102. Li, Q. L., Ma, J. Y., & Chang, Y. X. (2018, December). Blockchain queue theory. In *International Conference on Computational Social Networks* (pp. 25-40). Springer, Cham.
 103. Liang, C. C. (2016). Queueing management and improving customer experience: empirical evidence regarding enjoyable queues. *Journal of Consumer Marketing*.
 104. Liang, C. C. (2019). Enjoyable queueing and waiting time. *Time & Society*, 28(2), 543-566.
 105. Lin, Y. T., Xia, K. N., & Bei, L. T. (2015). Customer's perceived value of waiting time for service events. *Journal of Consumer Behaviour*, 14(1), 28-40.
 106. Lin, C. C., Wu, C. C., Chen, C. D., & Chen, K. F. (2019). Could we employ the queueing theory to improve efficiency during future mass causality incidents?. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine*, 27(1), 1-9.
 107. Liu, X., Li, S., & Tong, W. (2015). A queueing model considering resources sharing for cloud service performance. *The Journal of Supercomputing*, 71(11), 4042-4055.
 108. Lu, Y., Musalem, A., Olivares, M., & Schilkrot, A. (2013). Measuring the effect of queues on customer

- purchases. *Management Science*, 59(8), 1743-1763.
109. Maister, D. H. (1984). *The psychology of waiting lines* (pp. 71-78). Boston: Harvard Business School.
 110. Maiyama, K. M., Kouvatso, D., Mohammed, B., Kiran, M., & Kamala, M. A. (2017, August). Performance modelling and analysis of an OpenStack IaaS cloud computing platform. In *2017 IEEE 5th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)* (pp. 198-205). IEEE.
 111. Majedkan, N. A., Idrees, B. A., Ahmed, O. M., Haji, L. M., & Dino, H. I. (2020, December). Queuing Theory Model of Expected Waiting Time for Fast Diagnosis nCovid-19: A Case Study. In *2020 International Conference on Advanced Science and Engineering (ICOASE)* (pp. 127-132). IEEE.
 112. Mardiah, F. P., & Basri, M. H. (2013). The analysis of appointment system to reduce outpatient waiting time at Indonesia's public hospital. *Human Resource Management Research*, 3(1), 27-33.
 113. Mas, L., Vilaplana, J., Mateo, J., & Solsona, F. (2022). A queuing theory model for fog computing. *The Journal of Supercomputing*, 78(8), 11138-11155.
 114. Mawonike, R., & Mahachi, T. (2018). Queueing models in healthcare with applications to a general hospital in Zimbabwe. *Sch J Phys Math Stat*, 5, 177-86.
 115. McClain, J. O. (1976). Bed planning using queuing theory models of hospital occupancy: a sensitivity analysis. *Inquiry*, 13(2), 167-176.
 116. McDonnell, J. (2007). Music, scent and time preferences for waiting lines. *International Journal of Bank Marketing*.
 117. McManus, M. L., Long, M. C., Cooper, A., & Litvak, E. (2004). Queuing theory accurately models the need for critical care resources. *The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, 100(5), 1271-1276.
 118. McQuarrie, D. G. (1983). Hospitalization utilization levels. The application of queuing. Theory to a controversial medical economic problem. *Minnesota Medicine*, 66(11), 679-686.
 119. Meares, H. D., & Jones, M. P. (2020). When a system breaks: a queuing theory model for the number of intensive care beds needed during the COVID-19 pandemic. *The Medical Journal of Australia*, 1.
 120. Medhi, J. (2002). *Stochastic models in queueing theory*. Elsevier.
 121. Mehandiratta, R. (2011). Applications of queuing theory in health care. *International Journal of Computing and Business Research*, 2(2), 2229-6166.
 122. Mercan, S., Cain, L., Akkaya, K., Cebe, M., Uluagac, S., Alonso, M., & Cobanoglu, C. (2020). Improving the service industry with hyper-connectivity: IoT in hospitality. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*.
 123. Meyer, T. (1994). Subjective importance of goal and reactions to waiting in line. *The Journal of Social Psychology*, 134(6), 819-827.
 124. Moreno-Carrillo, A., Arenas, L. M. Á., Fonseca, J. A., Caicedo, C. A., Tovar, S. V., & Muñoz-Velandia, O. M. (2019). Application of queuing theory to optimize the triage process in a tertiary emergency care ("ER") department. *Journal of emergencies, trauma, and shock*, 12(4), 268.
 125. Mowen, A. J., Vogelsong, H. G., & Graefe, A. R. (2003). Perceived crowding and its relationship to

- crowd management practices at park and recreation events. *Event Management*, 8(2), 63-72.
126. Nawusu, Y. A. W., Danaa, A. A. A., & Ismail, S. (2020). Queue Management during Health Pandemics: A Queuing Theory Perspective. *Asian Journal of Research in Computer Science*, 6(4), 18-26.
 127. Nosek Jr, R. A., & Wilson, J. P. (2001). Queuing theory and customer satisfaction: a Review of terminology, trends, and applications to pharmacy practice. *Hospital pharmacy*, 36(3), 275-279.
 128. Olorunsola, S. A., Adeleke, R. A., & Ogunlade, T. O. (2014). Queueing analysis of patient flow in hospital. *IOSR Journal of Mathematics*, 10(4), 47-53.
 129. Palvannan, R. K., & Teow, K. L. (2012). Queueing for healthcare. *Journal of medical systems*, 36(2), 541-547.
 130. Pandi, V., Perumal, P., Balusamy, B., & Karuppiah, M. (2019). A novel performance enhancing task scheduling algorithm for cloud-based E-health environment. *International Journal of E-Health and Medical Communications (IJEHMC)*, 10(2), 102-117.
 131. Patrick, J., & Puterman, M. L. (2008). Reducing wait times through operations research: optimizing the use of surge capacity. *Healthcare Policy*, 3(3), 75.
 132. Perlman, Y., & Yechiali, U. (2020). Reducing risk of infection–The COVID-19 queueing game. *Safety science*, 132, 104987.
 133. Peter, P. O., & Sivasamy, R. (2019). Queueing theory techniques and its real applications to health care systems–Outpatient visits. *International Journal of Healthcare Management*.
 134. Rashid, R., Hoseini, S. F., Gholamian, M. R., & Feizabadi, M. (2015). Application of queuing theory in production-inventory optimization. *Journal of Industrial Engineering International*, 11(4), 485-494.
 135. Rashidi, S., & Sharifian, S. (2017). A hybrid heuristic queue based algorithm for task assignment in mobile cloud. *Future Generation Computer Systems*, 68, 331-345.
 136. Rathod, D., & Chowdhary, G. (2019). Scalability of M/M/c queue based cloud-fog distributed internet of things middleware. *International Journal of Advanced Networking and Applications*, 11(1), 4162-4170.
 137. Rotich, T. K. (2016). Utility analysis of an emergency medical service model using queuing theory. *British Journal of Mathematics & Computer Science*, 19(1), 1-18.
 138. Rothkopf, M. H., & Oren, S. S. (1979). A closure approximation for the nonstationary M/M/s queue. *Management Science*, 25(6), 522-534.
 139. Said, O., & Tolba, A. (2020). DORS: A data overhead reduction scheme for hybrid networks in smart cities. *International Journal of Communication Systems*, 33(12), e4435.
 140. Salawu, E. Y., Ajayi, O. O., Inegbenebor, A., Afolalu, S. A., & Samson, O. (2018). Pareto Analysis of Product Quality Failures and Cost Effects in Bottling Machines-A Lean Thinking Solution for Alcohol Industry. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9(11), 2018.
 141. Sameer, S. S. (2014). Simulation: Analysis of Single Server Queuing Model. *International Journal on Information Theory*, 3(3), 47-54.
 142. Setiawani, S., & Hidayatni, N. (2020, March). The analysis of queue model on a motorcycle parking

- area. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1490, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.
143. Sharma, A. K., & Sharma, G. K. (2013). QUEUEING THEORY APPROACH WITH QUEUEING MODEL: A STUDY. *International Journal of Engineering Science Invention*, 2(2), 1-11.
 144. Shibasaki, M., & Masataka, N. (2014). The color red distorts time perception for men, but not for women. *Scientific reports*, 4(1), 1-4.
 145. ShivaliShrivastava, M., & SaloniSrivastava, D. V. (2021). Application of Queuing Theory to Patient Satisfaction at Private Hospitals During the Second Wave of Covid 19. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*, 12(12), 4832-4838.
 146. Silva, F. A., Nguyen, T. A., Fé, I., Brito, C., Min, D., & Lee, J. W. (2021). Performance evaluation of an internet of healthcare things for medical monitoring using M/M/c/K queuing models. *IEEE Access*, 9, 55271-55283.
 147. Silva, F., & Serra, D. (2008). Locating emergency services with different priorities: the priority queuing covering location problem. *Journal of the Operational Research Society*, 59(9), 1229-1238.
 148. Singh, R., Preeti, P., & Raina, A. A. (2018). Markovian epidemic queueing model with exposed, infection and vaccination based on treatment. *World Scientific News*, 106, 141-150.
 149. Stakutis, C., & Boyle, T. (2009). Your Health, Your Way: Human enabled Health Care. *CA Emerging Technologies*, 1-10.
 150. Sthapit, S., Thompson, J., Robertson, N. M., & Hopgood, J. R. (2018). Computational load balancing on the edge in absence of cloud and fog. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 18(7), 1499-1512.
 151. Stokols, D., Smith, T. E., & Prostor, J. J. (1975). Partitioning and perceived crowding in a public space. *American Behavioral Scientist*, 18(6), 792-814.
 152. Sundararaj, V. (2019). Optimal task assignment in mobile cloud computing by queue based ant-bee algorithm. *Wireless Personal Communications*, 104(1), 173-197.
 153. Sundararaj, V., Muthukumar, S., & Kumar, R. S. (2018). An optimal cluster formation based energy efficient dynamic scheduling hybrid MAC protocol for heavy traffic load in wireless sensor networks. *Computers & Security*, 77, 277-288.
 154. Sunday, A., Samuel, A., Ikechi, I., Remilekun, E., & Kehinde, O. (2018). ROLE OF RELIABILITY MANAGEMENT TOOLS AND DOCUMENTATIONS-A REVIEW. *Global Journal of Engineering Science and Research Management*, 5(3), 39-42.
 155. Sundnes, K. O., & Task Force on Quality Control of Disaster Management. (1999). Health disaster management: guidelines for evaluation and research in the Utstein style: executive summary. *Prehospital and disaster medicine*, 14(2), 11-20.
 156. Sztrik, J. (2012). Basic queueing theory. *University of Debrecen, Faculty of Informatics*, 193, 60-67.
 157. Tadakamalla, U., & Menascé, D. (2018, December). FogQN: an analytic model for fog/cloud computing. In *2018 IEEE/ACM International Conference on Utility and Cloud Computing Companion (UCC Companion)* (pp. 307-313). IEEE.
 158. Thirupathieswaran, R., Prakash, C. S., Krishnan, R. S., Narayanan, K. L., Kumar, M. A., & Robinson,

- Y. H. (2021, February). Zero queue maintenance system using smart medi care application for Covid-19 pandemic situation. In *2021 Third International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV)* (pp. 1068-1075). IEEE.
159. Ting, C. T., Huang, Y. S., Lin, C. T., & Pan, S. C. (2019). Evaluation of Consumers' WTP for Service Recovery in Restaurants: Waiting Time Perspective. *Administrative Sciences*, 9(3), 63.
160. Tom, G., Burns, M., & Zeng, Y. (1997). Your life on hold: The effect of telephone waiting time on customer perception. *Journal of Direct Marketing*, 11(3), 25-31.
161. Trapman, P., & Bootsma, M. (2008). A useful relationship between epidemiology and queueing theory. *arXiv preprint arXiv:0812.4135*.
162. Vass, H., & Szabo, Z. K. (2015). Application of queueing model to patient flow in emergency department. Case study. *Procedia Economics and Finance*, 32, 479-487.
163. Vilaplana, J., Solsona, F., Teixidó, I., Mateo, J., Abella, F., & Rius, J. (2014). A queueing theory model for cloud computing. *The Journal of Supercomputing*, 69(1), 492-507.
164. Wang, D. (2016, November). Delay prediction with enhanced queueing models and survival analysis. In *2016 3rd International Conference on Systems and Informatics (ICSAI)* (pp. 1101-1105). IEEE.
165. Wang, Y., Yang, J., Chen, Y., Liu, H., Gruteser, M., & Martin, R. P. (2014, June). Tracking human queues using single-point signal monitoring. In *Proceedings of the 12th annual international conference on Mobile systems, applications, and services* (pp. 42-54).
166. Wang, J., & Zhou, Y. P. (2018). Impact of queue configuration on service time: Evidence from a supermarket. *Management Science*, 64(7), 3055-3075.
167. Whitt, W. (2012). Extending the FCLT version of $L = \lambda W$. *Operations research letters*, 40(4), 230-234.
168. Whitt, W. (2007). What you should know about queueing models to set staffing requirements in service systems. *Naval Research Logistics (NRL)*, 54(5), 476-484.
169. Wiler, J. L., Bolandifar, E., Griffey, R. T., Poirier, R. F., & Olsen, T. (2013). An emergency department patient flow model based on queueing theory principles. *Academic Emergency Medicine*, 20(9), 939-946.
170. Wills, T. A. (1981). Downward comparison principles in social psychology. *Psychological bulletin*, 90(2), 245.
171. Wilson, D. T., Hawe, G. I., Coates, G., & Crouch, R. S. (2013). A multi-objective combinatorial model of casualty processing in major incident response. *European Journal of Operational Research*, 230(3), 643-655.
172. Xu, X., Fu, S., Yuan, Y., Luo, Y., Qi, L., Lin, W., & Dou, W. (2019). Multiobjective computation offloading for workflow management in cloudlet-based mobile cloud using NSGA-II. *Computational Intelligence*, 35(3), 476-495.
173. Yadav, S. K., Singh, G., Sarin, N., Singh, S., & Gupta, R. (2021). Optimization of man power deployment for Covid-19 screening in a tertiary care hospital: A study of utility of queueing analysis. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 1-5.

174. Yalch, R. F., & Spangenberg, E. R. (2000). The effects of music in a retail setting on real and perceived shopping times. *Journal of business Research*, 49(2), 139-147.
175. Yang, L., Cui, S., & Wang, Z. (2022). Design of Covid-19 testing queues. *Production and Operations Management*, 1-18.
176. Yankovic, N., & Green, L. V. (2011). Identifying good nursing levels: A queuing approach. *Operations research*, 59(4), 942-955.
177. Yekini, S. E., Okokpuije, I. P., Afolalu, S. A., Ajayi, O. O., & Azeta, J. (2018). Investigation of production output for improvement. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 8(1), 915-922.
178. Yu, M., Tang, Y., Fu, Y., & Pan, L. (2011). An M/Ek/1 queueing system with no damage service interruptions. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(5-6), 1262-1272.
179. Zhang, J., Huang, H., & Wang, X. (2016). Resource provision algorithms in cloud computing: A survey. *Journal of network and computer applications*, 64, 23-42.
180. Zhou, R., & Soman, D. (2003). Looking back: Exploring the psychology of queuing and the effect of the number of people behind. *Journal of Consumer Research*, 29(4), 517-530.
181. Zhu, H., Chen, Y., Leung, E., & Liu, X. (2018). Outpatient appointment scheduling with unpunctual patients. *International Journal of Production Research*, 56(5), 1982-2002.
182. Zimmerman, S. L., Rutherford, A. R., van der Waall, A., Norena, M., & Dodek, P. (2022). A Queuing Model for Ventilator Capacity Management during the COVID-19 Pandemic. *medRxiv*, 2021-03.
183. Υψηλάντης Π. (2015), «Επιχειρησιακή Έρευνα – Μέθοδοι και Τεχνικές Λήψης Αποφάσεων» (5η Έκδοση), Εκδόσεις Προπομπός
184. Bernard W. Taylor III (2018), «Εισαγωγή στην Διοικητική Επιστήμη» (Γενική επιμέλεια έκδοσης Γιώργος Γκωλέτσος, Μιχάλης Δούμπος, Κωνσταντίνος Ζοπουνίδης), Εκδόσεις BROKEN HILL PUBLISHERS LTD.