



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΠΟΛΥΣΤΟΧΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ
ΚΙΝΔΥΝΟΥ – Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΣΤΟΛΟΥ ΤΩΝ ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΩΝ

ΒΑΣΑΛΑΚΗΣ ΣΤΑΜΑΤΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΣΠΥΡΙΔΑΚΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ADMINISTRATION, ECONOMICS AND SOCIAL
SCIENCES
DEPARTMENT OF BUSINESS ADMINISTRATION

DOCTORAL THESIS

MULTI-OBJECTIVE MANAGEMENT OF THE TRANSPORT PROJECT IN RISK
CONDITIONS – THE CASE OF THE AMBULANCE FLEET

VASALAKIS STAMATIOS

SUPERVISOR

Dr. SPYRIDAKOS ATHANASIOS

ATHENS, APRIL 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

**ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

**ΠΟΛΥΣΤΟΧΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ
ΚΙΝΔΥΝΟΥ – Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΣΤΟΛΟΥ ΤΩΝ ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΩΝ**

Μέλη Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

A/A	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Αθανάσιος Σπυριδάκος	Επιβλέπων Καθηγητής / Καθηγητής της σχολής Διοίκησης και Οικονομίας – Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων Πα.Δ.Α.	
2	Γεώργιος Πιερράκος	Μέλος Συμβουλευτικής Επιτροπής / Καθηγητής της σχολής Διοίκησης και Οικονομίας – Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων Πα.Δ.Α.	
3	Ισαάκ Βρυζίδης	Μέλος Συμβουλευτικής Επιτροπής / Επίκουρος Καθηγητής της σχολής Μηχανικών – Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πα.Δ.Α.	



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

**ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

**ΠΟΛΥΣΤΟΧΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ
ΚΙΝΔΥΝΟΥ – Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ ΣΤΟΛΟΥ ΤΩΝ ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΩΝ**

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η Διδακτορική Διατριβή εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/Α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ / ΙΔΙΟΤΗΤΑ / ΤΜΗΜΑ / ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
1	Αθανάσιος Σπυριδάκος	Επιβλέπων Καθηγητής / Καθηγητής της σχολής Διοίκησης και Οικονομίας – Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων Πα.Δ.Α.
2	Γεώργιος Πιερράκος	Μέλος Συμβουλευτικής Επιτροπής / Καθηγητής της σχολής Διοίκησης και Οικονομίας – Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων Πα.Δ.Α.
3	Ισαάκ Βρυζίδης	Μέλος Συμβουλευτικής Επιτροπής / Επίκουρος Καθηγητής της σχολής Μηχανικών – Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Πα.Δ.Α.
4	Νικόλαος Τσότσολας	Μέλος Επιτροπής Υποστήριξης / Αναπληρωτής Καθηγητής της σχολής Διοίκησης και Οικονομίας – Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων Πα.Δ.Α.
5	Παναγιώτης Μανωλιτζάς	Μέλος Επιτροπής Υποστήριξης / Αναπληρωτής Καθηγητής στο Τμήμα Τουρισμού του Ιονίου Πανεπιστημίου
6	Δημήτριος Παπακυριακόπουλος	Μέλος Επιτροπής Υποστήριξης / Επίκουρος Καθηγητής της σχολής Διοίκησης και Οικονομίας – Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων Πα.Δ.Α.
7	Παναγιώτης Αρτίκης	Μέλος Επιτροπής Υποστήριξης / Αναπληρωτής Καθηγητής της σχολής Διοίκησης και Οικονομίας – Τμήμα Λογιστικής και Χρηματοοικονομικής Πα.Δ.Α.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Σταμάτιος Βασαλάκης του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου Δ18669020, υποψήφιος διδάκτορας του Τμήματος Διοίκησης Επιχειρήσεων της Σχολής Διοικητικών Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας και δικαιούχος των πνευματικών δικαιωμάτων επί της διατριβής και δεν προσβάλλω τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων. Για τη συγγραφή της διδακτορικής μου διατριβής δεν χρησιμοποίησα ολόκληρο ή μέρος έργου άλλου δημιουργού ή τις ιδέες και αντιλήψεις άλλου δημιουργού χωρίς να γίνεται αναφορά στην πηγή προέλευσης (βιβλίο, άρθρο από εφημερίδα ή περιοδικό, ιστοσελίδα κ.λπ.). 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 διδακτορικού διπλώματός μου».

Ο/Η ΔΗΛΩΝ/ΟΥΣΑ



Σταμάτιος Βασαλάκης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Οφείλω να δώσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον πρώην κοσμήτορα της σχολής Διοικητικών Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών του Τμήματος Διοίκησης Επιχειρήσεων, Καθηγητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής και επιβλέπον της παρούσας διδακτορικής διατριβής, κ. Αθανάσιου Σπυριδάκου, για την διαρκή αρωγή του κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού, της εκπόνησης, της συγγραφής και της επιμέλειας αυτής. Η μακρόχρονη εμπειρία του πάνω στο συγκεκριμένο αντικείμενο συνέτεινε στην κατανόηση θεωρητικών θεμάτων και ερευνητικών διαδικασιών.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πρώην κοσμήτορα της σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης και αρχικά μέλος της συμβουλευτικής μου επιτροπής, Ευάγγελο Γρηγορούδη, ο οποίος έφυγε τόσο αιφνίδια από κοντά μας και το κενό του θεωρώ πως πολύ δύσκολα θα μπορέσει να καλυφθεί. Καθώς επίσης και τον τωρινό κοσμήτορα της σχολής Διοικητικών Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών του Τμήματος Διοίκησης Επιχειρήσεων, καθηγητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής και επίσης μέλος της συμβουλευτικής μου επιτροπής, κ. Γεωργίου Πιερράκου, για την παράθεση προβληματισμών, που συνετέλεσαν στην ανάπτυξη όλης της διδακτορικής μου διατριβής.

Ακολούθως θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω τον πρώην Πρόεδρο του Τμήματος Διοίκησης Επιχειρήσεων του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής και Καθηγητή Διοίκησης Marketing, κ. Απόστολο Γιοβάνη, τον Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Τουρισμού (Κέρκυρα) στο Ιονίου Πανεπιστημίου κ. Παναγιώτη Μανωλιτζά και τον Επίκουρο Καθηγητή στο Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής με εξειδίκευση στα Διοικητικά Πληροφοριακά Συστήματα, κ. Δημήτριο Παπακυριακόπουλο, για τις συμβουλευτικές και κατευθυντήριες παρεμβάσεις τους που με οδήγησαν στην εύρεση ουσιαστικών λύσεων σε όλα τα προβλήματα που αντιμετώπισα.

Θα ήταν αμέλεια από την πλευρά μου να μην αναφέρω και ευχαριστήσω επίσης τον Καθηγητή & Διευθυντή του Τομέα Διοικητικής Πληροφορικής & Επιστήμης των Αποφάσεων του Τμήματος Διοίκησης Επιχειρήσεων του Πανεπιστημίου Δυτικής

Αττικής, κ. Ιωάννη Ψαρομήλιγκου και τον Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Διοίκησης Επιχειρήσεων του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, κ. Νικόλαου Τσότσολα για τις συμβουλές και προτροπές τους στην περάτωση της συγκεκριμένης διδακτορικής διατριβής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την προϊσταμένη μου στην εταιρεία που εργάζομαι, κα. Σοφία Κωστοπούλου για την στήριξη που μου παρείχε όλο αυτό το διάστημα καθώς επίσης και την οικογένειά μου, η οποία ήταν δίπλα μου σε όλη την διάρκεια αυτού του ταξιδιού, που είχε ως απώτερο σκοπό να υπερδιπλασιάσω τις ήδη υπάρχουσες γνώσεις και δεξιότητες μου και ιδιαίτερα στον αδερφό μου Βασαλάκη Κωνσταντίνο ο οποίος ήταν δίπλα μου οποιαδήποτε στιγμή και αν τον χρειάστηκα.

Η παρούσα έρευνα χρηματοδοτείται από τον Ειδικό Λογαριασμό Κονδυλίων Έρευνας (ΕΛΚΕ) μέσω του προγράμματος "Πρόσκληση για Χορήγηση Ανταποδοτικών Υποτροφιών σε Υποψήφιους Διδάκτορες για Παροχή Επικουρικού Διδακτικού Έργου για το Ακαδημαϊκό Έτος 2023-2024" (Αριθμός Πρωτοκόλλου: 32443/28-9-2023), σύμφωνα με το Απόσπασμα Πρακτικού της Συνεδρίασης της Επιτροπής Ερευνών του ΕΛΚΕ του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής με Αρ. 37/31-10-2023.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
Ειδικός Λογαριασμός Κονδυλίων
Έρευνας (ΕΛΚΕ)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της παρούσας διδακτορικής διατριβής αφορά τη βέλτιστη δρομολόγηση μεταφορικών μέσων για την αντιμετώπιση έκτακτων και ειδικών συνθηκών όπως είναι οι φυσικές καταστροφές. Στο πλαίσιο αυτό επικεντρωθήκαμε στην περίπτωση μεταφοράς ανθρώπων που χρήζουν ιατρικής περίθαλψης και στο πως θα πρέπει να κινηθούν τα μέσα μεταφοράς (πχ. Ασθενοφόρα) έτσι ώστε να μεταφέρουν όσο το δυνατόν πιο σύντομα τους ασθενείς που θα προκύψουν σε νοσοκομεία που διαθέτουν τις κατάλληλες υποδομές και το ανθρώπινο δυναμικό για να παράσχουν τις υπηρεσίες τους. Αυτού του είδους τα προβλήματα δρομολόγησης αναφέρονται συνήθως ως Vehicle Routing Problems (VRP) (Steward & Golden, 1983) (Psaraftis, 1988) (Gelinias, et al., 1995) (Cordeau & Laporte, 2003) (Hasle, et al., 2007) (Ninikas, 2014) (Zhang, et al., 2015), τα οποία συχνά περιλαμβάνουν πολλαπλούς και αντικρουόμενους στόχους, ενώ οι περιορισμοί σχετίζονται με την προσφορά και τη ζήτηση. Τα αντικείμενα που θα μεταφερθούν πρέπει να μετακινηθούν από m πηγές σε n σημεία προορισμού και οι χωρητικότητες των πηγών είναι a_1, a_2, \dots, a_m και οι απαιτήσεις των προορισμών είναι b_1, b_2, \dots, b_n , αντίστοιχα. Το κόστος (που μπορεί να είναι τα έξοδα μεταφοράς, ο χρόνος, το κόστος ζημιάς ή η ασφάλεια παράδοσης κ.λπ.) της μεταφοράς μιας μονάδας από την πηγή i στον προορισμό j σημειώνεται C_{ij} . Μια μεταβλητή X_{ij} αντιπροσωπεύει την άγνωστη ποσότητα που πρέπει να αποσταλεί από την πηγή i στον προορισμό j . Ο στόχος σε αυτή την περίπτωση είναι να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος μεταφοράς, ο χρόνος παράδοσης ή/και το κόστος ζημιάς. Έστω Z_1, Z_2, \dots, Z_k είναι K στόχοι που πρέπει είτε να ελαχιστοποιηθούν είτε να μεγιστοποιηθούν. (Psaraftis, 1980) (Psaraftis, 1983) Επίσης, θεωρείται πάντα ότι η συνθήκη ισορροπίας ισχύει (δηλαδή ότι η συνολική ζήτηση είναι ίση με τη συνολική προσφορά). (Nomani, et al., 2017) Με αυτές τις παραδοχές, ένα Πρόβλημα Γραμμικής Μεταφοράς πολλαπλών στόχων μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

$$\text{Min(Max)} Z_k(X_{ij}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij}^k X_{ij}, \quad k = 1, 2, 3, \dots, K$$

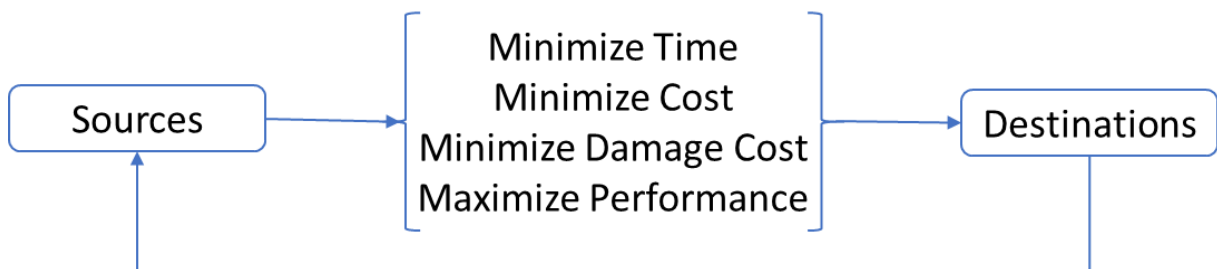
Έχοντας τους ακόλουθους περιορισμούς

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = a_i, \quad j = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = b_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \text{ and } j = 1, 2, 3, \dots, n$$

Επιπλέον, σε περίπτωση διαδοχικών επαναλαμβανόμενων διεργασιών, το σημείο προορισμού μπορεί να θεωρηθεί δευτερεύοντα σημεία πηγής σε κύκλο, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1. Αναπαράσταση πολλαπλών στόχων στο πρόβλημα μεταφοράς

Κάποιες άλλες αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις VRP ή περιπτώσεις logistics που εμπλέκουν διαδοχικές επαναλαμβανόμενες διαδικασίες μπορούν να είναι οι ακόλουθες.

Οι οικονομικά αποδοτικές μέθοδοι μεταφοράς, όπως τα προγραμματισμένα δρομολόγια λεωφορείων ή τρένων, τα οποία και ακολουθούν σταθερές διαδρομές και χρονοδιαγράμματα που οι άνθρωποι πρέπει να προσαρμόσουν ανάλογα τα ταξιδιωτικά τους σχέδια. Ωστόσο, αυτές οι υπηρεσίες δεν παρέχονται συχνά σε αγροτικές κοινότητες λόγω της χαμηλής ζήτησης. Από την άλλη πλευρά, οι υπηρεσίες ταξί προσφέρουν υπηρεσίες από πόρτα σε πόρτα κατόπιν αιτήματος, αλλά είναι ακριβές και έχουν αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον. Δεδομένου ότι δεν έχουν σταθερά δρομολόγια ή χρονοδιαγράμματα, τα άτομα ενδέχεται να μην οδηγούνται κατά μήκος της πιο άμεσης διαδρομής από την προέλευσή τους προς τον προορισμό τους, αλλά μπορεί να μοιράζονται τη χρήση των οχημάτων. (Ho, et al., 2018)

Οι θαλάσσιες μεταφορές είναι ζωτικής σημασίας για το διεθνές εμπόριο και ευθύνονται για σημαντικό μέρος των αποστολών μεγάλων αποστάσεων. Ο σωστός σχεδιασμός των ναυτιλιακών δρομολογίων είναι κρίσιμος για τη μείωση του κόστους,

καθώς τα έξοδα που σχετίζονται με τα πλοία μπορεί να είναι πολύ υψηλά, συμπεριλαμβανομένων των ημερήσιων ναυλώσεων και του κόστους καυσίμων. Ο στόχος της βελτιστοποίησης των διαδρομών αποστολής είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού μεταβλητού κόστους μεταφοράς ενός συνόλου φορτίων. Κάθε φορτίο περιλαμβάνει μια συγκεκριμένη ποσότητα προϊόντος που πρέπει να παραληφθεί στο λιμάνι φόρτωσης, να μεταφερθεί και στη συνέχεια να παραδοθεί στο λιμάνι εκφόρτωσης. (Tirado, et al., 2013) Συνήθως, αυτά τα συγκεκριμένα προβλήματα συνδυάζονται επίσης με το έργο της βελτιστοποίησης της φόρτωσης και εκφόρτωσης των πλοίων, καθώς τα πλοία αυτά αναμένεται να διασχίσουν πολλαπλά λιμάνια και αναπόφευκτα θα απαιτήσουν φόρτωση και εκφόρτωση του φορτίου.

Ένα άλλο σημαντικό πεδίο όπου αντιμετωπίζεται και χαρακτηρίζεται ως πρόβλημα μεταφοράς VRP είναι η παροχή οδικής βοήθειας. Σε αυτήν την εφαρμογή, η χρονική επείγουσα ανάγκη και η συμβατότητα εξοπλισμού είναι σημαντικές. Είναι παρόμοια με τις παραπάνω εφαρμογές. Το αυτοκίνητο και οι άνθρωποι πρέπει να παραληφθούν, να μεταφερθούν και να παραδοθούν στο πλησιέστερο συνεργείο/προορισμό. Ο στόχος τέτοιων προβλημάτων είναι να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος μεταφοράς. Ωστόσο, υπάρχει έλλειψη έρευνας και βιβλιογραφίας για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Η πυρόσβεση είναι ένας ακόμη σημαντικός τομέας εφαρμογής που θέτει περίπλοκες προκλήσεις. Όταν αντιμετωπίζετε καταστροφές όπως πυρκαγιές, μπορεί να υπάρχουν πολλά εμπόδια και φραγμένα μονοπάτια στα οποία πρέπει να ξεπεράσουν τα πυροσβεστικά οχήματα για να φτάσουν στις πληγείσες περιοχές. Οι μπουλντόζες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθαρισμό σωρών από συντρίμια, αλλά δεν είναι απαραίτητο να καθαριστούν όλα. Αντίθετα, θα αρκούσε ο καθαρισμός των μπαζών κατά μήκος των διαδρομών που θα ακολουθήσουν τα πυροσβεστικά οχήματα. Ωστόσο, ο καθορισμός της πιο οικονομικής διαδρομής για τα πυροσβεστικά οχήματα εξαρτάται από το ποιοι σωροί από συντρίμια θα καθαριστούν. Ως εκ τούτου, η λύση σε αυτό το πρόβλημα πρέπει ταυτόχρονα να κατανείμει τις πυρκαγιές στα πυροσβεστικά οχήματα, να προσδιορίσει τις διαδρομές που πρέπει να ακολουθήσουν τα πυροσβεστικά οχήματα και να καθορίσει ποιες μπουλντόζες θα πρέπει να εκχωρηθούν για να καθαρίσουν τα συντρίμια κατά μήκος αυτών των μονοπατιών. (Korsah, et al., 2013)

Μια άλλη γενική εφαρμογή παρόμοιων υπηρεσιών σχετίζεται με τη μεταφορά ηλικιωμένων και ατόμων με ειδικές ανάγκες, οι οποίες συχνά έχουν ως στόχο την

ελαχιστοποίηση του κόστους. Οι λειτουργικοί περιορισμοί περιλαμβάνουν το χρόνο διαδρομής και αναμονής, τα παράθυρα χρόνου παραλαβής/παράδοσης, τη χωρητικότητα του οχήματος και τη διάταξη του εξοπλισμού εντός του οχήματος. (Karabuk, 2009) (Qu & Bard, 2013) (Qu & Bard, 2015) Μερικά από αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούν ετερογενείς στόλους. (Häll & Peterson, 2013) (Häll, et al., 2015) Άλλοι μπορεί να επιτρέπουν μεταφορές από το ένα όχημα στο άλλο, π.χ. για άτομα με νοητική υστέρηση αλλά και για επιβάτες ασθενοφόρων. (Masson, et al., 2014) Με διαφορετικούς ενδιαφερόμενους, τα συστήματα αυτά έχουν συχνά πολλαπλούς (και μερικές φορές αντικρουόμενους) στόχους, που απαιτούν μοντέλα πολλαπλών κριτηρίων.

Ένας άλλος τομέας αφορά τη συλλογή απορριμμάτων, όπου αυτό το οποίο επιχειρούμε είναι η βελτιστοποίηση των οδών συλλογής των απορριμμάτων, μειώνοντας τον αριθμό των οχημάτων συλλογής που χρειάζονται και βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα της διαχείρισης απορριμμάτων. (Ghasemi, et al., 2022)

Επίσης, στο πλαίσιο του ελέγχου των συνόρων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση της μεταφοράς αγαθών και ανθρώπων πέρα από τα σύνορα, μειώνοντας τους χρόνους αναμονής και βελτιώνοντας την ασφάλεια των συνόρων. (Rutner, et al., 2012)

Επιπλέον, το συγκεκριμένο είδος προβλήματος παρουσιάζεται αρκετά συχνά σε εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης, που είναι το πεδίο ενδιαφέροντος αυτής της ερευνητικής εργασίας. Οι εφαρμογές εφοδιαστικής υγειονομικής περίθαλψης είναι πιο περίπλοκες, ενώ υπάρχουν κρίσιμοι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η ταχύτητα αντίδρασης από το ιατρικό προσωπικό σε οργανωμένες ιατρικές δομές είναι απαραίτητη για την επιτυχή θεραπεία ασθενών ή τραυματισμένων ατόμων. Οι φυσικές καταστροφές και οι καταστάσεις έκτακτης ανάγκης με μεγάλο αριθμό θυμάτων απαιτούν άμεση ιατρική υποστήριξη και αποτελεσματική διαχείριση των πόρων για την αντιμετώπιση της αυξημένης ζήτησης για ιατρική βοήθεια. Αντί για τυχαία κατανομή πόρων, είναι σημαντικό να βασίζεστε σε εκ των προτέρων σχέδια διαχείρισης πόρων για να αποφύγετε καθυστερήσεις και να σώσετε ζωές. Η αποτελεσματική διαχείριση των πόρων περιλαμβάνει τον προγραμματισμό, τον προγραμματισμό και την κατανομή ατόμων, οχημάτων και κόστους για τη μείωση των ανεπιθύμητων επιπτώσεων. Η μεταφορά ασθενών ή τραυματισμένων ατόμων κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών περιλαμβάνει τη διαχείριση ασθενοφόρων για την ελαχιστοποίηση του χρόνου απόκρισης και την αντιμετώπιση περιορισμών πόρων

του νοσοκομείου, όπως η διαθεσιμότητα τμημάτων υγειονομικής περίθαλψης έκτακτης ανάγκης, ιατρικού προσωπικού και υποδομής. Η ιεράρχηση των περιπτώσεων είναι επίσης απαραίτητη για την παροχή επείγουσας περίθαλψης σε όσους τη χρειάζονται.

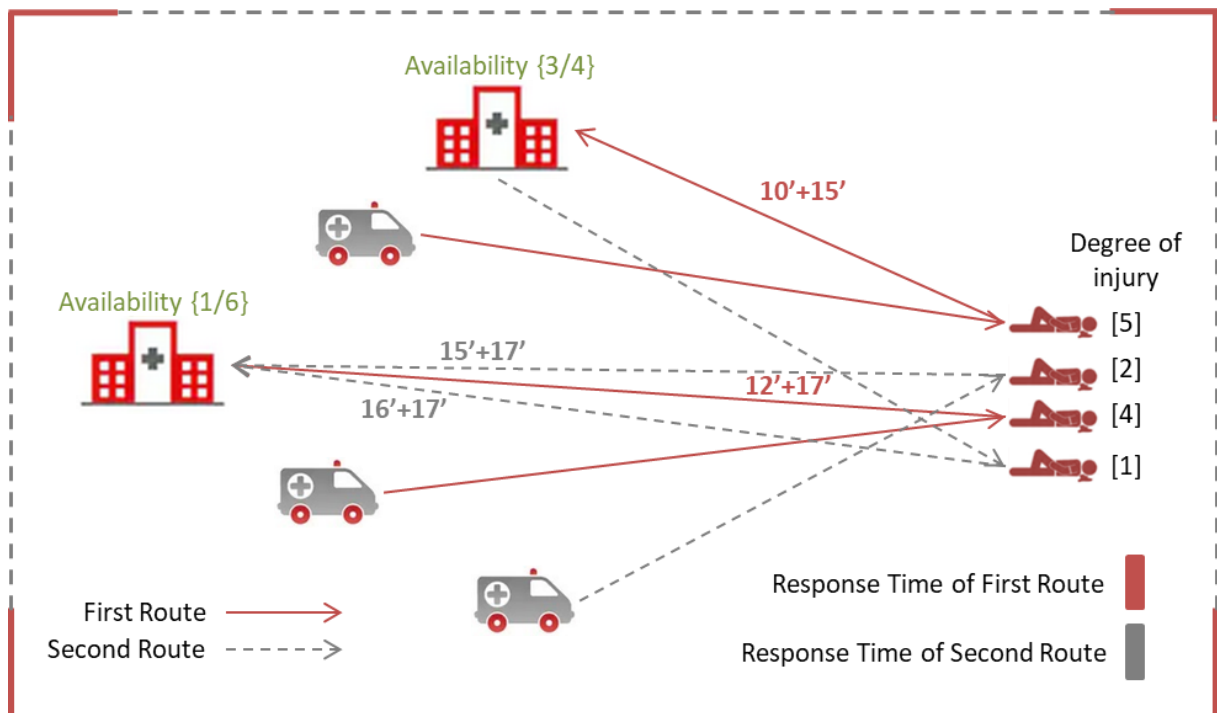
Ειδικά, σε φυσικές καταστροφές, είναι ζωτικής σημασίας να χρησιμοποιηθούν όλα τα διαθέσιμα ασθενοφόρα για τη γρήγορη μεταφορά των τραυματιών σε ιατρικές εγκαταστάσεις που μπορούν να παρέχουν ολοκληρωμένες υπηρεσίες. Η άμεση ανταπόκριση είναι κρίσιμη για τη διάσωση ζωών και την επίτευξη καλύτερων αποτελεσμάτων στη θεραπεία. Αυτά τα προβλήματα εφοδιαστικής καθορίζονται από ειδικές συνθήκες και παραμέτρους, που τα καθιστούν πιο περίπλοκα από τα γενικευμένα προβλήματα εφοδιαστικής.

Τα προβλήματα εφοδιαστικής μεταφορών συνήθως περιλαμβάνουν την παρακολούθηση προκαθορισμένων διαδρομών ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα το κόστος ή τον χρόνο και τη χρήση των διαθέσιμων πόρων. (Bertsimas, et al., 2019) Ωστόσο, η περίπτωση που μελετάται σε αυτή την έρευνα δεν μπορεί να θεωρηθεί τυπικό πρόβλημα εφοδιαστικής για συγκεκριμένους λόγους.

Συνήθως, τα ασθενοφόρα σταθμεύουν σε διάφορες τοποθεσίες, όπως νοσοκομεία ή τοπικούς σταθμούς ασθενοφόρων, και μπορεί να απασχολούνται με άλλες περιπτώσεις. Ως αποτέλεσμα, η διαθεσιμότητα και η θέση του ασθενοφόρου που θα μεταφέρει τους τραυματίες ή τους ασθενείς επηρεάζει το χρόνο που απαιτείται για την ανταπόκριση. Δεδομένου ότι υπάρχει περιορισμένος αριθμός διαθέσιμων ασθενοφόρων σε σχέση με τον αριθμό των τραυματισμένων ασθενών, ενδέχεται να χρειαστεί να ακολουθηθούν πολλαπλές διαδρομές για τη συλλογή όλων των τραυματισμένων ατόμων. Το σημείο εκκίνησης κάθε διαδρομής είναι ο προορισμός της προηγούμενης. Άρα, η δεύτερη διαδρομή ενός ασθενοφόρου επηρεάζεται από την επιλογή της πρώτης διαδρομής. Επιπλέον, ο χρόνος μεταφοράς είναι αβέβαιος λόγω παραγόντων όπως η κυκλοφορία και η κατάσταση του οδικού δικτύου, η οποία μπορεί να αλλάξει με την πάροδο του χρόνου. Η σειρά με την οποία παραλαμβάνονται οι ασθενείς επηρεάζεται επίσης από την ιεράρχηση των ιατρικών τους αναγκών. (Hodge, et al., 2013) Η θεραπεία ξεκινά όταν ο ανταποκρινόμενος φτάσει στη σκηνή, αλλά η πλειοψηφία της ιατρικής περίθαλψης λαμβάνει χώρα σε νοσοκομεία ή εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης. Σε καταστάσεις όπως σεισμός, πλημμύρα, πυρκαγιά, επιδημία, τροχαίο ατύχημα κ.λπ. (Λέκκας, 2000), όπου οι πόροι των νοσοκομείων είναι περιορισμένοι, είναι σημαντικό να

κατανεμηθούν κατάλληλα οι πόροι για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των συνεπειών, ειδάλλως όλο το σύστημα μπορεί να οδηγηθεί σε κατάρρευση.

Κατά τη διάρκεια σοβαρών ατυχημάτων, είναι απαραίτητο να δοθεί προτεραιότητα στην άμεση ανταπόκριση σε έναν μόνο προορισμό και να διαχειριστεί αποτελεσματικά τον στόλο των ασθενοφόρων για την παροχή λύσεων ιατρικής περίθαλψης το συντομότερο δυνατό. Επιπλέον, τα νοσοκομεία και οι στόλοι ασθενοφόρων μπορεί να χρειαστεί να χειριστούν άλλες λιγότερο σοβαρές καταστάσεις που εμφανίζονται ως μέρος της καθημερινότητάς τους. Ο στόλος των ασθενοφόρων μπορεί να μεταφέρει και να παρέχει φροντίδα σε συγκεκριμένο αριθμό τραυματισμένων ατόμων σε κάθε ταξίδι και τα νοσοκομεία μπορούν να περιθάλψουν συγκεκριμένο αριθμό ασθενών τη φορά λόγω περιορισμών πόρων, όπως η διαθεσιμότητα ανθρώπινων πόρων και υποδομής. Ως αποτέλεσμα αυτών των περιορισμών, μόνο ένας περιορισμένος αριθμός τραυματιών μπορεί να λάβει άμεση ιατρική φροντίδα. Το πρόβλημα φαίνεται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα.



Εικόνα 2. Εικονογραφημένο Πρόβλημα.

Επιπλέον, η διαδικασία λήψης αποφάσεων για την κινητικότητα του στόλου των ασθενοφόρων προχωρά σε γύρους, όπου οι επιλογές που γίνονται σε έναν γύρο έχουν αντίκτυπο στους επόμενους γύρους.

Οι στόχοι σε τέτοιες περιπτώσεις είναι να επιτευχθεί τόσο η μέγιστη ποιότητα υπηρεσιών όσο και το ελάχιστο κόστος χρόνου στόλου. Αυτό απαιτεί τον

προσδιορισμό ενός συνόλου διαδρομών και χρονοδιαγραμμάτων που μπορούν να εξισορροπήσουν τους αντικρουόμενους στόχους α) παροχής επείγουσας υποστήριξης/μεταφοράς για τους τραυματίες βάσει της κλίμακας διαλογής τους και β) άμεσης μεταφοράς ασθενών στα νοσοκομεία. (Beaudry, et al., 2010) Το σύστημα διαλογής είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται από επαγγελματίες υγείας για να ιεραρχήσουν τους ασθενείς με βάση τη σοβαρότητα της ιατρικής τους κατάστασης και την επείγουσα ανάγκη τους για ιατρική φροντίδα. Περιλαμβάνει την αξιολόγηση των συμπτωμάτων των ασθενών, των ζωτικών σημείων, του ιατρικού ιστορικού και άλλων σχετικών παραγόντων για τον προσδιορισμό του κατάλληλου επιπέδου φροντίδας και της σειράς με την οποία οι ασθενείς πρέπει να λαμβάνουν θεραπεία. Η διαλογή χρησιμοποιείται συνήθως σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, όπως νοσοκομεία, κλινικές και καταστάσεις αντιμετώπισης καταστροφών, για να διασφαλιστεί ότι οι ασθενείς με τις πιο κρίσιμες ανάγκες λαμβάνουν άμεση και κατάλληλη φροντίδα, ενώ εκείνοι με λιγότερο επείγουσες ανάγκες μπορεί να χρειαστεί να περιμένουν περισσότερο ή να λαμβάνουν χαμηλότερα επίπεδα φροντίδα. (Hodge, et al., 2013)

Η φύση αυτής της έρευνας καθιστά αναγκαία τη χρήση του δυναμικού προγραμματισμού ως μεθοδολογίας έρευνας επειδή: α) παρέχει τα εργαλεία για τον χειρισμό των διαδοχικών επαναλαμβανόμενων διαδικασιών των logistics προβλημάτων. β) παρέχει ένα μεθοδολογικό εργαλείο για το χειρισμό της κινητικότητας ασθενοφόρου σε έναν δεδομένο γύρο με βάση τα αποτελέσματα του προηγούμενου γύρου, με στόχο τη συνολική βελτιστοποίηση του κόστους· και γ) είναι ευκολότερο να αντιμετωπίζονται περιπτώσεις με υψηλό βαθμό αβεβαιότητας όπου οι παράμετροι αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου. Η κύρια συνεισφορά αυτής της έρευνας είναι η πρόταση ενός μεθοδολογικού πλαισίου που μπορεί να εφαρμοστεί σε πραγματικές περιπτώσεις υπό τις προαναφερθείσες συνθήκες, όπως η πολυπλοκότητα, η αβεβαιότητα και τα δυναμικά περιβάλλοντα που είναι κρίσιμα για τον άνθρωπο. Επίσης, πραγματοποιώντας κάποιες περιορισμένες μεταβολές μπορεί να γίνει μια ευρύτατη εφαρμογή και σε άλλες περιπτώσεις (όπως τα Πυροσβεστικά Μέσα, κλπ). Αυτό που επιτυγχάνει είναι η απλούστευση αυτής της πολυπλοκότητας σε σχέση με άλλες παρόμοιες προσεγγίσεις. Τέλος, όσον αφορά το καινοτόμο της συγκεκριμένης μελέτης, έχει να κάνει με την χρήση του Δυναμικού Προγραμματισμού ώστε να διαχωρίσουμε το πρόβλημα σε μικρότερα υποπρόβλήματα και ταυτόχρονα ο έλεγχος που γίνεται με την χρήση μοντέλων προσομοίωσης αλλά και την εισαγωγή

δεικτών και μετρητών που μπορούν να συνεισφέρουν στην διαδικασία λήψης αποφάσεων. Ακόμη, αξίζει να αναφερθούμε πως επειδή βρισκόμαστε σε ένα δυναμικό περιβάλλον και οι συνθήκες μπορούν να αλλάξουν ραγδαία και πολύ άμεσα, ειδικά σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης, το συγκεκριμένο προτεινόμενο μοντέλο μπορεί να προσαρμοστεί στις εκάστοτε αλλαγές καθώς ανά τακτά χρονικά διαστήματα γίνεται έλεγχος α) του χρόνου μεταφοράς και β) των ασθενών που έχουν να μεταφερθούν (είτε πρόκειται για την κατάστασή τους είτε πρόκειται για τον αριθμό των ασθενών).

Λέξεις Κλειδιά / Keywords: Logistics, Risk Management, Resource Management, Linear Programming, Dynamic Programming, Transportation, Vehicle Routing Problems, Dial-a-ride, Emergency Health Care, Simulation.

SUMMARY

The subject of this doctoral dissertation is the optimal routing of transportation vehicles to address emergency and special conditions, such as natural disasters. In this context, our focus was on the transportation of individuals in need of medical care and how transportation vehicles (e.g., ambulances) should be dispatched to transfer patients as quickly as possible to hospitals with suitable facilities and human resources to provide their services. Such routing problems are commonly referred to as Vehicle Routing Problems (VRP), (Steward & Golden, 1983) (Psaraftis, 1988) (Gelinas, et al., 1995) (Cordeau & Laporte, 2003) (Hasle, et al., 2007) (Ninikas, 2014) (Zhang, et al., 2015), which often involve multiple conflicting objectives, while constraints are related to supply and demand. The items to be transported need to be moved from m sources to n destination points, where the capacities of the sources are a_1, a_2, \dots, a_m , and the requirements of the destinations are b_1, b_2, \dots, b_n , respectively. The cost (which may include transportation expenses, time, damage costs, or delivery security, etc.) of transporting one unit from source i to destination j is denoted as C_{ij} . A variable X_{ij} represents the unknown quantity to be sent from source i to destination j . The objective in this case is to minimize the total transportation cost, delivery time, and/or damage costs. Let Z_1, Z_2, \dots, Z_k be K objectives that need to be either minimized or maximized. (Psaraftis, 1980) (Psaraftis, 1983) Furthermore, it is always assumed that the equilibrium condition holds (i.e., total demand is equal to total supply). (Nomani, et al., 2017) Taking into consideration these assumptions, a Multi-Objective Linear Transportation Problem can be formulated as follows:

$$\text{Min(Max)} Z_k(X_{ij}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij}^k X_{ij}, \quad k = 1, 2, 3, \dots, K$$

Subject to the constraints:

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = a_i, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$
$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = b_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \text{ and } j = 1, 2, 3, \dots, n$$

In addition, in the case of successive and repeated processes, the destination point can be considered as secondary source points in a cycle, as shown in the diagram below.

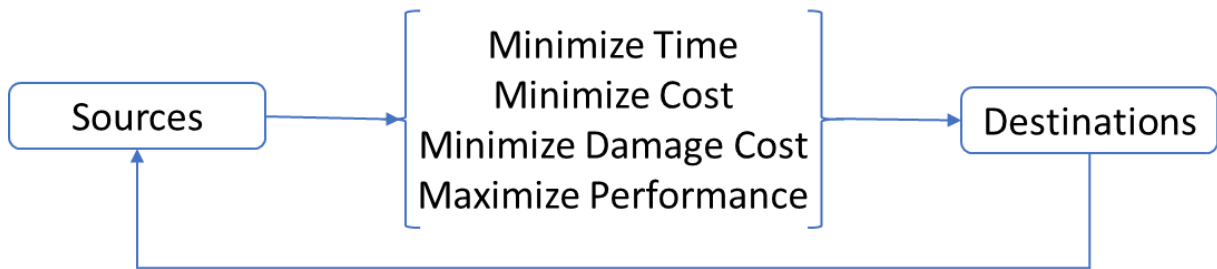


Figure 3. Representation of Multiple Objectives in the Transportation Problem

Some other representative cases of VRP or logistics scenarios involving successive and repetitive processes can be the following.

Economically efficient transportation methods, such as scheduled bus or train routes, which follow fixed paths and timetables that people need to adjust their travel plans to. However, these services are often not provided in rural communities due to low demand. On the other hand, taxi services offer door-to-door services on demand, but they are costly and have a negative impact on the environment. Since they do not have fixed routes or schedules, individuals may not be driven along the most direct route from their origin to their destination but may share the use of vehicles. (Ho, et al., 2018)

Maritime transportation is crucial for international trade and accounts for a significant portion of long-distance shipments. Proper planning of maritime routes is critical for cost reduction, as the expenses related to ships can be very high, including daily charters and fuel costs. The goal of optimizing shipment routes is to minimize the overall variable transportation cost of a set of cargoes. Each cargo includes a specific quantity of products that must be picked up at the loading port, transported, and then delivered to the unloading port. (Tirado, et al., 2013) Typically, these specific problems are also combined with the task of optimizing the loading and unloading of ships, as these ships are expected to cross multiple ports and will inevitably require cargo loading and unloading.

Another important field where the Vehicle Routing Problem (VRP) is addressed and characterized is in the provision of road assistance. In this application, time urgency and equipment compatibility are significant factors. It is similar to the applications mentioned above. Vehicles and individuals need to be picked up, transported, and then delivered to the nearest repair facility or destination. The goal of this type of problem is to minimize the overall transportation cost. However, there is a lack of research and literature on this specific application.

Firefighting is another vital application area that poses complex challenges. When dealing with disasters such as wildfires, there may be multiple obstacles and blocked paths that firefighting vehicles must overcome to reach affected areas. Bulldozers can be used to clear debris piles, but it is not necessary to clear them all. Instead, clearing the debris along the routes that firefighting vehicles will follow would suffice. However, determining the most economical route for firefighting vehicles depends on which debris piles will be cleared. Therefore, the solution to this problem must simultaneously allocate fires to firefighting vehicles, determine the routes that firefighting vehicles should follow, and specify which bulldozers should be assigned to clear debris along these paths. (Korsah, et al., 2013)

Another general application of similar services is related to the transportation of the elderly and individuals with special needs, often aiming to minimize costs. Functional constraints include travel and waiting time, time windows for pickup/delivery, vehicle capacity, and equipment arrangement within the vehicle. (Karabuk, 2009) (Qu & Bard, 2013) (Qu & Bard, 2015) Some of these systems use heterogeneous fleets.. (Häll & Peterson, 2013) (Häll, et al., 2015) Others may allow transfers from one vehicle to another, e.g., for individuals with intellectual disabilities as well as ambulance passengers. (Masson, et al., 2014) With different involvers, these systems often have multiple (and sometimes conflicting) objectives, requiring multi-criteria models.

Another area is waste collection, where what we are trying to do is optimize waste collection routes, reducing the number of collection vehicles needed and improving the efficiency of waste management. (Ghasemi, et al., 2022)

Furthermore, within the context of border control, it can be used to optimize the transportation of goods and people across borders, reducing waiting times and enhancing border security. (Rutner, et al., 2012)

Furthermore, this particular type of problem is quite common in healthcare supply chain applications, which is the focus of this research work. Healthcare supply chain applications are more complex, with critical factors that need to be considered. Rapid response from medical personnel within organized medical facilities is essential for the successful treatment of patients or injured individuals. Natural disasters and emergency situations with a high number of casualties require immediate medical assistance and efficient resource management to address the increased demand for medical aid. Instead of random resource allocation, it is crucial to rely on pre-planned resource management strategies to avoid delays and save lives. Effective resource management includes planning, scheduling, and allocating personnel, vehicles, and costs to minimize adverse consequences. The transportation of patients or injured individuals during natural disasters involves managing ambulances to minimize response time and addressing hospital resource constraints, such as the availability of emergency care departments, medical personnel, and infrastructure. Prioritization of cases is also necessary to provide emergency care to those in need.

In particular, during natural disasters, it is crucial to utilize all available ambulances for the rapid transport of the injured to medical facilities capable of providing comprehensive services. Immediate response is critical for saving lives and achieving better treatment outcomes. These supply chain problems are defined by specific conditions and parameters that make them more complex than generic supply chain issues.

Transportation supply chain problems typically involve monitoring predetermined routes while simultaneously minimizing costs or time and optimizing the use of available resources. (Bertsimas, et al., 2019) However, the case studied in this research cannot be considered a typical supply chain problem for specific reasons.

Typically, ambulances are stationed at various locations, such as hospitals or local ambulance stations, and may be engaged with other cases. As a result, the availability and location of the ambulance that will transport the injured or patients affect the response time. Given the limited number of available ambulances compared to the number of injured patients, multiple routes may need to be followed to collect all injured individuals. The starting point of each route is the destination of the previous one. Therefore, the second route of an ambulance is affected by the choice of the first route. Additionally, the transport time is uncertain due to factors such as traffic and the condition of the road network, which can change over time.

The order in which patients are collected is also influenced by the prioritization of their medical needs. (Hodge, et al., 2013) Treatment begins when the responder arrives at the scene, but the majority of medical care takes place in hospitals or healthcare facilities. In situations such as earthquakes, floods, fires, epidemics, traffic accidents, etc. (Λέκκας, 2000), where hospital resources are limited, it is important to allocate resources appropriately for the effective management of the consequences; otherwise, the entire system may be at risk of collapsing.

During serious accidents, it is essential to prioritize immediate response to a single destination and efficiently manage the ambulance fleet to provide medical solutions as soon as possible. Additionally, hospitals and ambulance fleets may need to handle less severe situations that are part of their daily routine. The ambulance fleet can transport and care for a specific number of injured individuals on each trip, and hospitals can treat a certain number of patients at a time due to resource constraints, such as the availability of human resources and infrastructure. As a result of these limitations, only a limited number of injured individuals can receive immediate medical care. The problem is illustrated in the diagram below.

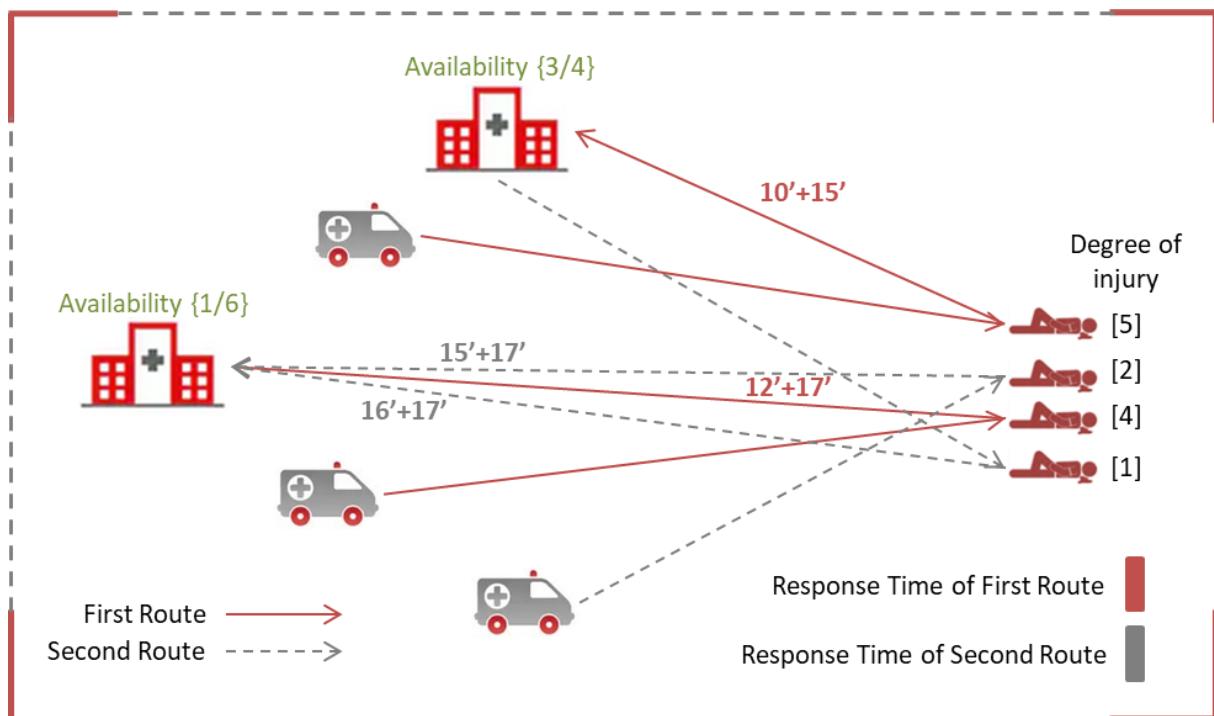


Figure 4. Illustrated Problem.

Furthermore, the decision-making process for the mobility of the ambulance fleet proceeds in rounds, where choices made in one round have an impact on subsequent rounds.

The objectives in such cases are to achieve both the maximum service quality and the minimum fleet time cost. This requires the determination of a set of routes and schedules that can balance the conflicting goals of a) providing urgent support/transportation for the injured based on their severity, and b) immediate patient transport to hospitals. (Beaudry, et al., 2010) The triage system is a method used by healthcare professionals to prioritize patients based on the severity of their medical condition and their urgent need for medical care. It involves assessing patients' symptoms, vital signs, medical history, and other relevant factors to determine the appropriate level of care and the order in which patients should receive treatment. Triage is typically employed in emergency situations, such as hospitals, clinics, and disaster response scenarios, to ensure that patients with the most critical needs receive immediate and appropriate care, while those with less urgent needs may need to wait longer or receive lower levels of care.. (Hodge, et al., 2013)

The nature of this research necessitates the use of dynamic programming as a research methodology because: a) it provides the tools to handle the successive iterations of logistics problems, b) it offers a methodological framework for managing ambulance fleet mobility within a given round based on the results of the previous round, with the aim of overall cost optimization, and c) it is better suited to addressing cases with a high degree of uncertainty where parameters change over time. The primary contribution of this research is the proposal of a methodological framework that can be applied in real-world scenarios under the aforementioned conditions, such as complexity, uncertainty, and critical dynamic environments. Moreover, by making some limited adjustments, it can be applied to other scenarios (such as firefighting services, etc.).

What this achieves is the simplification of this complexity compared to other similar approaches. Finally, in terms of the innovation of this particular study, it is related to the use of Dynamic Programming to break down the problem into smaller sub-problems, concurrently controlling the process through the use of simulation models and introducing indices and metrics that can contribute to the decision-making process. Furthermore, it's worth mentioning that, because we are operating in a dynamic environment where conditions can change rapidly and very abruptly, especially in emergency situations, the proposed model can be adapted to accommodate changes over time, periodically assessing a) transfer time and b) the

number of patients to be transported (whether it pertains to their condition or the number of patients).

Keywords: Logistics, Risk Management, Resource Management, Linear Programming, Dynamic Programming, Transportation, Vehicle Routing Problems, Dial-a-ride, Emergency Health Care, Simulation.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Contents

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ.....	5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
SUMMARY	16
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	23
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	27
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	29
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	32
1. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ – ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ LOGISTICS	34
1.1. LOGISTICS ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ	37
1.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ LOGISTICS.....	37
1.1.2 Η ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ LOGISTICS ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ.....	40
1.1.3 ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	41
1.1.4 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ.....	43
1.2 Η ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΕΙ	45
1.2.1 Η ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	50
1.2.2 Η ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΑΝΡΘΩΠΩΝ	51
1.2.2.1 Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ – ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ (PROBABILITY MODELS)....	56
1.2.2.2 Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ – UPPER & LOWER PROBABILITIES MODELS.....	57
1.2.2.3 Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ – DEMPSTER – SHAFER THEORY.....	59
1.3 ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΝΟΣ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ.....	63
1.4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ (RISK MANAGEMENT).....	69
1.5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΠΟΡΩΝ.....	80
1.6. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ ..	89

2. ΑΛΛΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΠΑΡΟΜΟΙΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ	94
2.1 ΘΕΩΡΙΕΣ ΣΥΝΤΟΜΩΝ ΜΟΝΟΠΑΤΙΩΝ	94
2.1.1 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΕΙΛΗΜΜΕΝΗΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ BELMAN - FORD.....	94
2.1.2 ΑΠΟ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΚΟΜΒΟΥΣ ΠΡΟΣ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΥΠΟΛΟΙΠΟΥΣ: ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ FLOYD WARSHALL.....	95
2.1.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ DIJKTRA	97
2.1.4 ΑΠΟΙΚΙΕΣ ΜΥΡΜΗΓΚΙΩΝ (ANT COLONIES)	98
2.1.5 ΑΠΟΙΚΙΕΣ ΜΕΛΙΣΣΩΝ (BEE COLONIES).....	103
2.2 VEHICLE ROUTING PROBLEMS - VRP	106
2.2.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΟΝΙΚΑ ΠΑΡΑΘΥΡΑ – VRP WITH TIME WINDOWS (VRPTW)	109
2.2.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΑΡΑΛΑΒΗ & ΠΑΡΑΔΟΣΗ (Pickup and Delivery) (PDP).....	113
2.2.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΣΤΟΛΟ – Heterogeneous fleet VRP (HVRP)	120
2.2.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ BACKHAULS – VRP WITH BACKHAULS (VRPB).....	123
2.2.5 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ DIAL-A-RIDE – VRP (DARP).....	133
2.2.5.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ DIAL-A-RIDE – VRP – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ Ή ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	139
2.2.5.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ DIAL-A-RIDE – VRP – TABU ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ	145
2.2.5.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ DIAL-A-RIDE – VRP – ΜΙΜΗΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ – MULTI-TRIP DARP	154
2.3 ΜΟΝΤΕ – CARLO.....	162
2.4 ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΠΟΡΩΝ ΤΡΑΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΑ ΚΑΙ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑ (TRAMAH)	167
2.5 ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΟ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ (SPATIOTEMPORAL STOCHASTIC MODEL).....	170
3. ΤΜΗΜΑ ΕΠΕΙΓΟΝΤΩΝ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ (Τ.Ε.Π.) & ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΝΤΑΤΙΚΗΣ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ (Μ.Ε.Θ.).....	175
3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΕΠΕΙΓΟΝΤΩΝ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ – Τ.Ε.Π.....	175
3.2 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ Τ.Ε.Π.	175
3.3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΘΕΝΗ ΣΤΑ Τ.Ε.Π.	176

3.4 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ Τ.Ε.Π.....	177
3.5 ΤΟ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ Τ.Ε.Π.	178
3.6 ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΕΙΓΟΥΣΑΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΦΡΟΝΤΙΔΑΣ	180
3.7 ΔΙΑΛΟΓΗ (TRiage) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΠΕΙΓΟΝΤΩΝ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ	181
3.7.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΛΙΜΑΚΩΝ ΔΙΑΛΟΓΗΣ	181
3.7.2 ΔΙΕΘΝΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΣΘΕΝΩΝ ΣΤΟ Τ.Ε.Π. ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΚΑ (ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ)	182
3.7.3 Η AUSTRALASIAN TRIAGE ΚΛΙΜΑΚΑ (ATS), (ΣΤΟ ΠΑΡΕΛΘΟΝ Η ΕΘΝΙΚΗ TRIAGE ΚΛΙΜΑΚΑ NTS)	184
3.7.4 ΚΑΝΑΔΙΚΗ TRIAGE ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΚΑ AQUITY (ACTAS)	185
3.7.5 MANCHESTER TRIAGE SCALE (MTS)	186
3.7.6 ΚΛΙΜΑΚΑ ESI –ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΠΕΙΓΟΥΣΑΣ ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑΣ	186
3.7.7 ΟΙ ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑΣ ΠΟΝΟΥ	187
3.7.8 ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΥΝΕΙΔΗΣΗΣ	188
3.8 ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΤΑΤΙΚΗΣ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ & ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΝΤΑΤΙΚΗΣ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ – Μ.Ε.Θ.	189
3.9 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ Μ.Ε.Θ.	190
3.10 ΔΙΑΚΡΙΣΕΙΣ Μ.Ε.Θ.....	193
3.11 ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΑ – Ε.Μ.Σ.	195
3.12 ΕΝΑΕΡΙΑ ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΑΣΘΕΝΩΝ.....	196
3.12.1 ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΑ SUPER PUMA.....	197
3.12.2 ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΑ CHINOOK.....	197
3.13 Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΩΝ Μ.Ε.Θ., ΤΩΝ ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΩΝ & ΤΩΝ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΩΝ ΣΤΗΝ ΑΤΤΙΚΗ.....	198
3.14 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΥΣΤΕΡΑ ΑΠΟ ΜΙΑ ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ.....	200
4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	207
4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ.....	207
4.2 ΤΥΠΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	208
4.3 ΟΙ ΤΡΕΙΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ	211
4.3.1 ΤΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ (SYSTEM DYNAMICS).....	211
4.3.2 Η ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΚΡΙΤΟΥ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ (DISCRETE EVENT MODELING)	213

4.3.3 Η ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ (AGENT-BASED MODELING).....	215
4.4 ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	217
4.5 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	221
4.6 ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΣΤΗ ΡΑΦΗΝΑ – (ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ANALOGIC).....	224
5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	231
5.1 ΟΠΙΣΘΟΔΡΟΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ.....	233
5.2 ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ.....	245
6. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ.....	251
6.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΟΠΙΣΘΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ	251
6.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΦΑΣΕΙΣ	274
6.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΑΛΗΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ.....	287
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....	289
Παραρτήματα.....	291
A. EXCEL FUNCTION ΓΙΑ LIVE ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗΝ GOOGLE	291
B. AUSTRALIAN TRIAGE SCALE (ATS) ΜΕΣΩ ΧΡΗΣΗΣ ΡΥΘΜΩΝ	294
Γ. ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ ΟΠΙΣΘΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΜΕΣΩ ΧΡΗΣΗΣ ΡΥΘΜΩΝ	297
Βιβλιογραφία.....	301

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Ταξινόμηση VRP Προβλημάτων – Εξέλιξη & Παράμετροι των Δεδομένων	109
Πίνακας 2. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Αναλυτικών μοντέλων και Monte Carlo. (Aderibigbe A., 2014).....	165
Πίνακας 3. Προτεινόμενη Κλίμακα Διαλογής επειγόντων με αντίστοιχους χρόνους στόχους για αντιμετώπιση στο Τ.Ε.Π.. Πηγή: Ασκητοπούλου, Ηράκλειο 3/1/2009 ..	183
Πίνακας 4. Australian triage scale (ATS)	184
Πίνακας 5. Καναδική Triage Κλίμακα και Aquity(ACTAS).....	185
Πίνακας 6. Manchester Triage Κλίμακα (MTS)	186
Πίνακας 7. Κλίμακα AVPU αξιολόγησης επιπέδου συνείδησης	188
Πίνακας 8. Glasgow Coma Scale (Νευρολογικής Εκτίμησης).....	189
Πίνακας 9. Είδη Μ.Ε.Θ.	194
Πίνακας 10. Μ.Ε.Θ. Νομού Αττικής και κλίνες αυτών.....	195
Πίνακας 11. Αποτελέσματα προσομοίωσης μεταφοράς ασθενών από τη Ραφήνα στα πλησιέστερα Νοσοκομεία.	230
Πίνακας 12. Ταξινόμηση στα πρότυπα της Australian triage scale (ATS).....	234
Πίνακας 13. Δείκτης Μεταξύ Χρόνου Θεραπείας και Χρόνου Μεταφοράς του Ασθενή	243
Πίνακας 14. Σύγκριση των Multi-Trip DARP Μεθοδολογιών.....	245
Πίνακας 15. Ταξινόμηση στα πρότυπα της Australian triage scale (ATS).....	247
Πίνακας 16. Ταξινόμηση Ασθενών στα πρότυπα της Αυστραλιανής Κλίμακας.....	253
Πίνακας 17. Χρόνοι μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα	254
Πίνακας 18. Συγκεντρωτικός Πίνακας Χρόνων μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα	258
Πίνακας 19. Χρόνοι μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα	259
Πίνακας 20. Συγκεντρωτικός Πίνακας Χρόνων μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα	262
Πίνακας 21. Χρόνοι μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα για την Β' Max Phase.	263
Πίνακας 22. Χρόνοι μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα στο δεύτερο γύρο ..	268
Πίνακας 23. Συγκεντρωτικός Πίνακας Χρόνων μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα στο δεύτερο γύρο.....	271

Πίνακας 24. Χρόνοι μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα για την Γ' Max Phase.	272
Πίνακας 25. Συγκεντρωτικός Πίνακας Χρόνων μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα	273
Πίνακας 26. Ταξινόμηση Ασθενών στα πρότυπα της Αυστραλιανής Κλίμακας.....	276
Πίνακας 27. Χρόνοι μεταφορά των ασθενοφόρων προς τα πλησιέστερα Νοσοκομεία Πρώτης Φάσης	277
Πίνακας 28. Επιλογές 1ης Φάσης.....	281
Πίνακας 29. Χρόνοι μεταφορά των ασθενοφόρων προς τα πλησιέστερα Νοσοκομεία Δεύτερης Φάσης.....	282
Πίνακας 30. Επιλογές 2ης Φάσης.....	285
Πίνακας 31. Χρόνοι μεταφορά των ασθενοφόρων προς τα πλησιέστερα Νοσοκομεία Τρίτης ή Αντίστοιχα n-ιοστής Φάσης.....	286
Πίνακας 32. Επιλογές 3ης ή Αντίστοιχα n-ιοστής Φάσης.....	286
Πίνακας 33. Συγκεντρωτικός Πίνακας Χρόνων μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα	286
Πίνακας 34. Αποτελέσματα μεταφοράς ασθενών από τη Ραφήνα στα πλησιέστερα Νοσοκομεία.	288

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Αναπαράσταση πολλαπλών στόχων στο πρόβλημα μεταφοράς.....	9
Εικόνα 2. Εικονογραφημένο Πρόβλημα.....	13
Figure 3. Representation of Multiple Objectives in the Transportation Problem	17
Figure 4. Illustrated Problem.....	20
Εικόνα 5. Επισκόπηση του Συστήματος Logistics. (Πηγή: (BTRE, 2001)).....	35
Εικόνα 6. Υπηρεσίες Logistics - Μεταφορές	36
Εικόνα 7. Απεικόνιση Γενικευμένης Εφοδιαστικής Αλυσίδας	63
Εικόνα 8. Απεικόνιση Γράφου με Ακμές	68
Εικόνα 9. Απεικόνιση μιας ολοκληρωμένης διαδικασίας Διαχείρισης Κινδύνου	71
Εικόνα 10. Επιλογές Κινδύνου.....	76
Εικόνα 11. Αρχές Διαχείρισης Πόρων.....	84
Εικόνα 12. Βασικές Πτυχές της Διαχείρισης των Πόρων.....	89
Εικόνα 13. Η αλλαγή πορείας των μυρμηγκιών όταν συναντούν ένα εμπόδιο.....	100
Εικόνα 14. Ο χορός “waggle” της μέλισσας.	103
Εικόνα 15. Δρομολόγηση οχημάτων με χρονικά παράθυρα (VRPTW).....	110
Εικόνα 16. Δρομολόγηση οχημάτων με Παραλαβή & Παράδοση (Pickup and Delivery) (PDP).....	116
Εικόνα 17. Δρομολόγηση οχημάτων με ετερογενή στόλο (HVRP).....	120
Εικόνα 18. Δρομολόγηση οχημάτων με Backhauls (VRPB).	125
Εικόνα 19. Δρομολόγηση οχημάτων Dial-A-Ride VRP (DARP).....	136
Εικόνα 20. Δρομολόγηση οχημάτων Dial-A-Ride VRP (DARP) με αλγόριθμο εισαγωγής.....	143
Εικόνα 21. Δρομολόγηση οχημάτων Dial-A-Ride VRP (DARP) – TABU Αλγόριθμος.	147
Εικόνα 22. Δρομολόγηση οχημάτων Dial-A-Ride VRP (DARP) – Μιμητικός Αλγόριθμος – MULTI-TRIP DARP.	156
Εικόνα 23. Μοντέλο κατανομής πόρων τραύματος για ασθενοφόρα και νοσοκομεία (TRAMAH).	169
Εικόνα 24. Wong-Baker FACES Pain Rating Scale.....	187
Εικόνα 25. Χάρτης Νομού Αττικής με Δημόσιες & Ιδιωτικές Μ.Ε.Θ. και με τους σταθμούς των ασθενοφόρων.....	199

Εικόνα 26. Οπτικοποίηση προβλήματος μεταφοράς ασθενών στα πλησιέστερα Νοσοκομεία.	204
Εικόνα 27. Κρίσιμοι Τομείς και Υπηρεσίες του Νομού της Αττικής.....	206
Εικόνα 28. Παραδείγματα Μεθόδων Μοντελοποίησης στην Προσομοίωση.....	211
Εικόνα 29. Διάγραμμα Ροής στην προσομοίωση για την μεταφορά ασθενών από την Ραφήνα προς τα πλησιέστερα Νοσοκομεία.	226
Εικόνα 30. Προσομοίωση μεταφοράς ασθενών από την Ραφήνα προς τα πλησιέστερα Νοσοκομεία.	228
Εικόνα 31. Διάγραμμα ροής κατά την διάρκεια της προσομοίωσης – μεταφοράς ασθενών από την Ραφήνα προς τα πλησιέστερα Νοσοκομεία.	228
Εικόνα 32. Οπτικοποίηση προβλήματος μεταφοράς ασθενών στα πλησιέστερα Νοσοκομεία.	232
Εικόνα 33. Παροχή Επείγουσας Ιατρικής Φροντίδας βάσει του Γάλλο-Γερμανικού μοντέλου.	233
Εικόνα 34. Κλίμακα χρωμάτων στα πρότυπα της Australian triage scale (ATS).	235
Εικόνα 35. Ροή Εργασιών της Μεθοδολογίας του Δυναμικού Προγραμματισμού....	238
Εικόνα 36. Παράδειγμα επιλογής ασθενοφόρου με αντίθετα μικρότερη χρονική μεταφορά σε σχέση με το σύνολο των ασθενοφόρων.	240
Εικόνα 37. Οπτικοποίηση διαγράμματος ροής οπισθοδρομικής τεχνικής δυναμικού προγραμματισμού.....	242
Εικόνα 38. Παροχή Επείγουσας Ιατρικής Φροντίδας βάση του Γάλλο-Γερμανικού μοντέλου.	246
Εικόνα 39. Κλίμακα χρωμάτων στα πρότυπα της Australian triage scale (ATS).	248
Εικόνα 40. Οπτικοποίηση διαγράμματος ροής προτεινόμενης προσέγγισης.....	249
Εικόνα 41. Υπο-φάσεις πρώτου και δεύτερου ασθενοφόρου.	254
Εικόνα 42. Υπο-φάσεις τρίτου και τέταρτου ασθενοφόρου.	255
Εικόνα 43. Υπο-φάσεις πέμπτου και έκτου ασθενοφόρου.	256
Εικόνα 44. Υπο-φάσεις έβδομου και όγδοου ασθενοφόρου.	256
Εικόνα 45. Υπο-φάσεις ένατου και δέκατου ασθενοφόρου.	257
Εικόνα 46. Υπο-φάσεις ενδέκατου και δωδέκατου ασθενοφόρου.	257
Εικόνα 47. Υπο-φάσεις δεύτερου ασθενοφόρου.....	259
Εικόνα 48. Υπο-φάσεις τρίτου και τέταρτου ασθενοφόρου.	260
Εικόνα 49. Υπο-φάσεις πέμπτου και έκτου ασθενοφόρου.	260
Εικόνα 50. Υπο-φάσεις έβδομου και όγδοου ασθενοφόρου.	261

Εικόνα 51. Υπο-φάσεις εντέκατου και δωδέκατου ασθενοφόρου.	261
Εικόνα 52. Αποτελέσματα Α' Max Phase.	262
Εικόνα 53. Υπο-φάσεις πρώτου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.	263
Εικόνα 54. Υπο-φάσεις δεύτερου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.	264
Εικόνα 55. Υπο-φάσεις τρίτου και τέταρτου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.	264
Εικόνα 56. Υπο-φάσεις πέμπτου και έκτου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.	265
Εικόνα 57. Υπο-φάσεις έβδομου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.	265
Εικόνα 58. Υπο-φάσεις όγδοου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.	266
Εικόνα 59. Υπο-φάσεις ένατου και δέκατου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.	266
Εικόνα 60. Υπο-φάσεις εντέκατου και δωδέκατου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.	267
Εικόνα 61. Υπο-φάσεις πρώτου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.	268
Εικόνα 62. Υπο-φάσεις δεύτερου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.	269
Εικόνα 63. Υπο-φάσεις τρίτου και τέταρτου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.	269
Εικόνα 64. Υπο-φάσεις έβδομου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.	270
Εικόνα 65. Υπο-φάσεις ένατου και δέκατου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.	270
Εικόνα 66. Υπο-φάσεις εντέκατου και δωδέκατου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.	271
Εικόνα 67. Αποτελέσματα Β' Max Phase.	272
Εικόνα 68. Αποτελέσματα Γ' Max Phase ή αντίστοιχα στη n-ιοστή.	273
Εικόνα 69. Αρχικό στήσιμο στο Excel.	278
Εικόνα 70. Παράμετροι του Solver στο Excel.	279
Εικόνα 71. Αποτελέσματα του Solver στο Excel σχετικά με τον πρώτο γύρο.	280
Εικόνα 72. Στήσιμο στο Excel για το δεύτερο γύρο.	282
Εικόνα 73. Παράμετροι του Solver στο Excel για το δεύτερο γύρο.	283
Εικόνα 74. Αποτελέσματα του Solver στο Excel σχετικά με τον πρώτο γύρο.	284
Εικόνα 75. Επίπεδα κυκλοφορίας στους δρόμους μέσω Google Maps.	291
Εικόνα 76. Κώδικας υπολογισμού Live δεδομένων μέσω της Google.	292
Εικόνα 77. Διάγραμμα Googlemaps Function.	293
Εικόνα 78. Australian Triage Scale (ATS) – Python.	295
Εικόνα 79. Παραλλαγή Οπισθοδρομικής Μεθόδου Δυναμικού Προγραμματισμού – Python.	299

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαχείριση των εκτάκτων καταστάσεων στον τομέα της υγείας αποτελεί μια πρόκληση υψηλής σημασίας. Σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης, όπως ατυχήματα, φυσικές καταστροφές, ή εκδηλώσεις που προκαλούν μαζικά τραύματα, η ικανότητα να παρασχεθεί άμεση ιατρική φροντίδα στους πληγέντες αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για τη διάσωση ζωών. Ωστόσο, η αντιμετώπιση τέτοιων καταστάσεων είναι πολύπλοκη λόγω πολλών παραγόντων, περιλαμβανομένης της περιορισμένης διαθεσιμότητας πόρων, των επαναλαμβανόμενων διαδικασιών και των δυναμικά μεταβαλλόμενων συνθηκών.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή διαρθρώνεται σε επτά κύρια κεφάλαια. Ειδικότερα: - Στο πρώτο (1) κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή σχετικά με την εφοδιαστική αλυσίδα και τα logistics, καθώς επίσης και αναφορά στην έννοια του κόστους, την εκτίμηση και διαχείριση του κινδύνου και τη διαχείριση των πόρων. Στο τέλος του συγκεκριμένου κεφαλαίου γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στο πρόβλημα διαχείρισης των πόρων που προκύπτει κατά την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών. Στο δεύτερο (2) κεφάλαιο γίνεται μία εκτενή αναφορά στον τρόπο με τον οποίο προσέγγισαν και στις λύσεις που παρέθεσαν άλλοι επιστήμονες, με ιδιαίτερη επικέντρωση στα προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων (Vehicle Routing Problems – VRP). Το τρίτο (3) κεφάλαιο αποτελεί το θεωρητικό μέρος της διατριβής σε ότι αφορά το Τμήμα Επειγόντων Περιστατικών που διαθέτει κάθε νοσοκομείο αλλά και των Μονάδων Εντατικής Θεραπείας. Επίσης, στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται μία ανάλυση σχετικά με την διαλογή (triage) και ταξινόμηση των επειγόντων περιστατικών. Τέλος, γίνεται αναφορά στο τι διαθέτει αυτή την περίοδο η Αττική όσον αφορά τις Μ.Ε.Θ., τα ασθενοφόρα, τους σταθμούς ασθενοφόρων αλλά και όλα τα υπόλοιπα μέσα που μπορούν να αξιοποιηθούν στην μεταφορά ασθενών προς τα πλησιέστερα νοσοκομεία. Στη συνέχεια, στο επόμενο κεφάλαιο (κεφάλαιο τέσσερα (4)) έγινε μια εκτενή αναφορά σε θέματα προσομοίωσης και μια πρώτη απόπειρα επίλυσης του προβλήματος βασισμένοι πάνω στο πρόγραμμα Anylogic για να δούμε τι αποτελέσματα μας βγάζει και πως θα έπρεπε να κινηθούμε. Στο κεφάλαιο πέντε (5), γίνεται μια παράθεση του μεθοδολογικού πλαισίου που ακολουθήσαμε τελικά. Αξίζει να σημειωθεί πως το συγκεκριμένο πρόβλημα το επιλύσαμε αξιοποιώντας τον Δυναμικό Προγραμματισμό και ακολούθως επιλύθηκε και χρησιμοποιώντας τον

Γραμμικό Προγραμματισμό. Στο έκτο (6) κεφάλαιο, παρουσιάζεται η μοντελοποίηση της προτεινόμενης μεθοδολογικής προσέγγισης η οποία συνοδεύεται από μία μελέτη περίπτωσης έτσι ώστε να γίνουν πιο κατανοητά τα αποτελέσματα που βγαίνουν, καθώς επίσης και η παραγωγή ενός δείκτη καλής αντιμετώπισης έτσι ώστε να αξιολογήσουμε τα αποτελέσματα που πήραμε. Τέλος στο έβδομο (7) κεφάλαιο, ολοκληρώνεται η διδακτορική διατριβή με την παράθεση των τελικών συμπερασμάτων που εξαγάγαμε αλλά και των διάφορων προοπτικών που υπάρχουν.

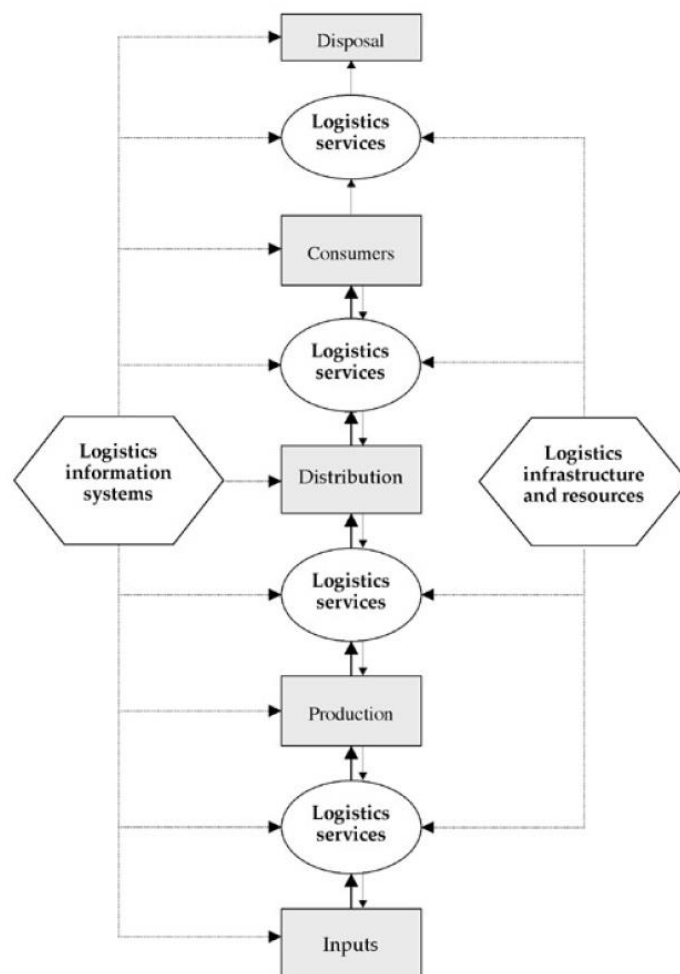
1. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ – ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ LOGISTICS

Τα logistics είναι ένα κρίσιμο στοιχείο της διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας που περιλαμβάνει τον σχεδιασμό, την υλοποίηση και τον έλεγχο της ροής και αποθήκευσης αγαθών, υπηρεσιών και πληροφοριών από το σημείο προέλευσης έως το σημείο κατανάλωσης. (Tulach & Foltin, 2019) Διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο σε διάφορους κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της μεταποίησης, του λιανικού εμπορίου, του ηλεκτρονικού εμπορίου, της υγειονομικής περίθαλψης και άλλων. (Glistau & Coello-Machado, 2019).

Το συμβούλιο του logistics management (1991) ορίζει ότι τα logistics αποτελούν μέρος της διαδικασίας εφοδιαστικής αλυσίδας που σχεδιάζει, εφαρμόζει και ελέγχει την αποτελεσματική και αποτελεσματική εκκίνηση και αντίστροφη ροή και αποθήκευση αγαθών, υπηρεσιών και σχετικών πληροφοριών μεταξύ του σημείου προέλευσης και του σημείου κατανάλωσης προκειμένου να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις των πολιτών. Ο κύριος ορισμός χρησιμοποιεί 'πέντε σημαντικούς όρους', οι οποίοι είναι τα logistics, τα εισερχόμενα logistics, η διαχείριση υλικών, η φυσική διανομή και η διαχείριση της αλυσίδας εφοδιαστικής σε ότι αφορά την ερμηνεία του. Τα logistics περιγράφουν ολόκληρη τη διαδικασία μεταφοράς υλικών και προϊόντων μέσα και έξω από την επιχείρηση. Τα εισερχόμενα logistics καλύπτουν τη μεταφορά υλικού που λαμβάνεται από τους προμηθευτές. Η διαχείριση υλικών περιγράφει τη μετακίνηση υλικών και στοιχείων εντός μιας επιχείρησης. Η φυσική διανομή αναφέρεται στη μετακίνηση αγαθών προς τον πελάτη από το τέλος της γραμμής συναρμολόγησης. Τέλος, η διαχείριση της αλυσίδας εφοδιαστικής είναι κάπως μεγαλύτερη από τα logistics και τα συνδέει πιο άμεσα με το συνολικό δίκτυο επικοινωνίας του χρήστη και με το τεχνικό προσωπικό της επιχείρησης. (Malladi & Sowlati, 2018) Ο πιο επίκαιρος ορισμός είναι ότι τα logistics είναι διαδικασία μετακίνησης και χειρισμού αγαθών και υλικών από την αρχή μέχρι το τέλος της διαδικασίας παραγωγής, πώλησης και απόρριψης, προκειμένου να ικανοποιήσει τους πολίτες και να προσθέσει ανταγωνιστικότητα στον οργανισμό. Είναι "η διαδικασία πρόβλεψης των αναγκών και επιθυμιών του πολίτη, την απόκτηση των κεφαλαίων, των υλικών, του προσωπικού, των τεχνολογιών και των πληροφοριών που απαιτούνται για την ικανοποίηση αυτών των αναγκών και επιθυμιών, την βελτιστοποίηση του δικτύου παραγωγής αγαθών ή υπηρεσιών για την ικανοποίηση

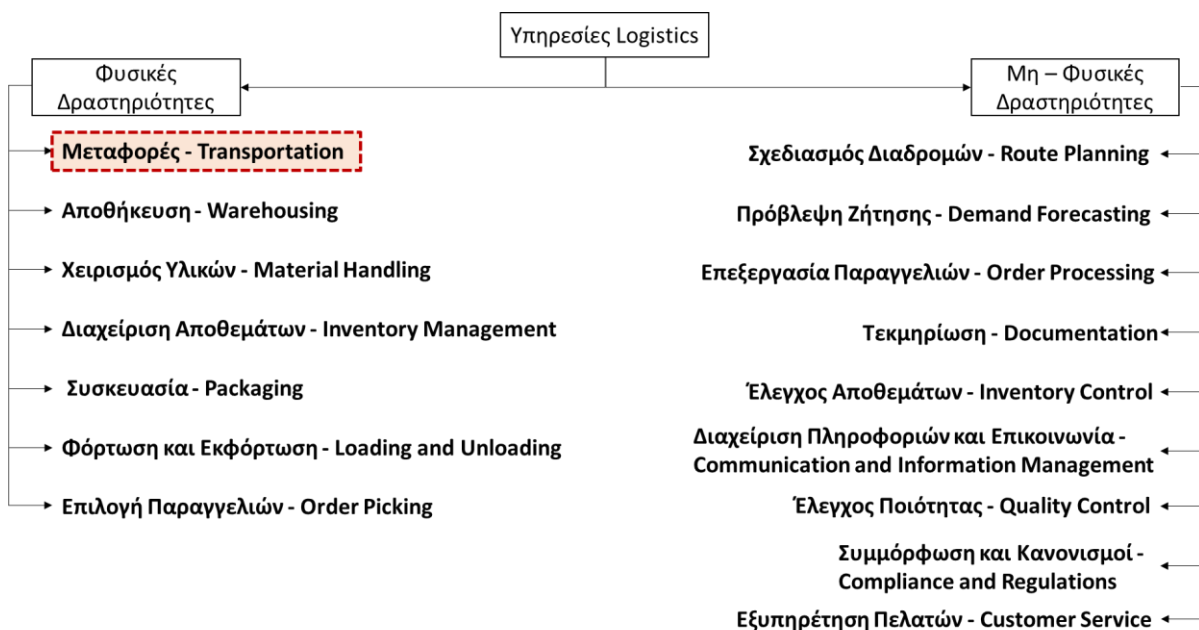
των αιτημάτων των πολιτών και τη χρήση του δικτύου για την ικανοποίηση των αιτημάτων τους με επίκαιρο τρόπο" (Tilanus, 1997). Απλά να πούμε, "τα logistics είναι μια διαχείριση που επικεντρώνεται στον πολίτη".

Η παρακάτω εικόνα παρέχει μια επισκόπηση του συστήματος logistics. Οι υπηρεσίες logistics, τα πληροφοριακά συστήματα και η υποδομή/πόροι αποτελούν τα τρία συστατικά αυτού του συστήματος που είναι στενά συνδεδεμένα. Η αλληλεπίδραση των τριών βασικών συστατικών στο σύστημα logistics ερμηνεύεται ως εξής. Οι υπηρεσίες logistics υποστηρίζουν τη μετακίνηση υλικών και προϊόντων από την είσοδο μέσα από την παραγωγή προς τους καταναλωτές, καθώς και τη σχετική διάθεση όσων βγαίνουν αλλά και των αντίστροφων ροών. Αυτές περιλαμβάνουν δραστηριότητες που πραγματοποιούνται από τους χρήστες των υπηρεσιών (π.χ. αποθήκευση ή έλεγχος αποθεμάτων σε εργοστάσιο κατασκευαστή) καθώς και τις λειτουργίες των εξωτερικών παρόχων υπηρεσιών.



Εικόνα 5. Επισκόπηση του Συστήματος Logistics. (Πηγή: (BTRE, 2001))

Οι υπηρεσίες logistics περιλαμβάνουν φυσικές δραστηριότητες (π.χ. μεταφορές, αποθήκευση, κ.λπ.) καθώς και μη φυσικές δραστηριότητες (π.χ. σχεδιασμός αλυσίδας εφοδιαστικής, έλεγχος αποθεμάτων, κ.λπ.) όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα - εικόνα. Οι περισσότερες δραστηριότητες των υπηρεσιών logistics είναι διπλής κατεύθυνσης. Τα πληροφοριακά συστήματα περιλαμβάνουν τον μοντελισμό και τη διαχείριση της λήψης αποφάσεων, και τα σημαντικότερα θέματα είναι η παρακολούθηση και η ανίχνευση. Παρέχουν τα απαραίτητα δεδομένα και συμβουλές σε κάθε βήμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ των υπηρεσιών logistics και των σταθμών προορισμού. Η υποδομή περιλαμβάνει ανθρώπινους πόρους, οικονομικούς πόρους, υλικά συσκευασίας, αποθήκες, μεταφορές και επικοινωνίες. Αυτές αποτελούν τις υποδομές σε ένα σύστημα logistics, το οποίο λαμβάνει και το μεγαλύτερο μέρος του σταθερού κεφαλαίου.



Εικόνα 6. Υπηρεσίες Logistics - Μεταφορές

Εμείς στην συγκεκριμένη διδακτορική διατριβή μας ενδιαφέρει το κομμάτι των μεταφορών συγκεκριμένα και με αυτό θα ασχοληθούμε πιο αναλυτικά στην πορεία.

1.1. LOGISTICS ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ

1.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ LOGISTICS

Η ιστορία των μεταφορών και των logistics είναι τόσο παλιά όσο και η ιστορία της ανθρωπότητας, αλλά έχει σημαδευθεί από πρόσφατα ορόσημα. Ο σιδηρόδρομος ανακαλύφθηκε στις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα, το αεροπλάνο το 1903. Σήμερα, τα logistics, με την ευρύτερο έννοια της διαχείρισης αλυσίδας εφοδιαστικής, έχει κυρίως τη φιλοδοξία να αποτελεί μια επιχειρηματική λειτουργία που έχει τον σκοπό να διαθέτει τα αγαθά όπου και όταν χρειάζονται και στις απαιτούμενες ποσότητες. Η διαχείριση των μεταφορών μπορεί να θεωρηθεί ως μέρος της λογιστικής, όταν αναφέρεται στις επιχειρηματικές διαδικασίες. Ωστόσο, όχι μόνο τα αγαθά αλλά και οι άνθρωποι χρειάζεται να μεταφέρονται. Στα παλιά χρόνια, οι άνθρωποι συνήθως περπατούσαν ή ταξίδευαν με άλογα, καρότσια ή πλοία. Σήμερα, υπάρχουν διάφοροι τρόποι μεταφοράς με διαφορετικά επίπεδα κόστους και άνεσης. Παραδοσιακά, τα προβλήματα μεταφοράς εμπορευμάτων ήταν ανεξάρτητα από τα προβλήματα μεταφοράς ανθρώπων. Επιπλέον, ενώ η μεταφορά εμπορευμάτων είναι ένα σημαντικό πρόβλημα στον ιδιωτικό τομέα, τα προβλήματα μεταφοράς ανθρώπων έχουν αντιμετωπιστεί κυρίως - εκτός από τις αεροπορικές εταιρίες - από τον δημόσιο τομέα, ο οποίος είναι υπεύθυνος για το δημόσιο σύστημα μαζικής μεταφοράς και για τον σχεδιασμό της υποδομής για την κίνηση ιδιωτικών οχημάτων. Οχήματα όπως λεωφορεία και τρένα έχουν χρειαστεί συντονισμό σε θέματα διαδρομών, προγραμμάτων, πληρώματος και η Επιχειρησιακή Έρευνα έχει προσφέρει βασικές συμβολές στη βελτιστοποίηση αυτών των συστημάτων.

Τα προβλήματα μεταφοράς και logistics έχουν μελετηθεί πριν από πολύ καιρό από ερευνητές και επαγγελματίες. Η πρώτη σημαντική συνεισφορά χρονολογείται από το 1930 και ανήκει στον Τολστόι. (Schrijver, 2002) Πρόκειται για ένα μοντέλο για την επίλυση ενός πρακτικού προβλήματος που σχετίζεται με τη μεταφορά αλατιού, τσιμέντου και άλλων εμπορευμάτων από πηγές σε προορισμούς κατά μήκος του σιδηροδρομικού δικτύου της Σοβιετικής Ένωσης. Ο συγκεκριμένος είχε μελετήσει το πρόβλημα της μεταφοράς και είχε περιγράψει διάφορες προσεγγίσεις λύσης και την πλέον γνωστή σήμερα ιδέα ότι μια βέλτιστη λύση δεν περιλαμβάνει αρνητικού κόστους κύκλο στο γράφημα υπολειπόμενων αξιών. Ο Τολστόι πιθανότατα ήταν ο

Οι εξισώσεις F (F-equations) και οι εξισώσεις C (C-equations) από κοινού αποτελούν ένα σύστημα $m + n$ εξισώσεων που πρέπει να ικανοποιηθούν από τις μη άγνωστες X_i . Ωστόσο, δεδομένου ότι το συνολικό προϊόν που αποστέλλεται από τα εργοστάσια ισούται με το συνολικό προϊόν που καταναλώνεται από τις πόλεις, οι εξισώσεις F, έχουν ως αποτέλεσμα το άθροισμα των εξισώσεων F να ισούται με το άθροισμα των εξισώσεων C, και ως εκ τούτου οι εξισώσεις αυτές δεν είναι ανεξάρτητες. Μπορεί εύκολα ναδειχθεί ότι μια οποιαδήποτε εξίσωση μπορεί να παραληφθεί, και οι υπόλοιπες εξισώσεις μπορούν να λυθούν για ένα καλά επιλεγμένο σύνολο $m + n - 1$ των x 's σε σχέση με τα υπόλοιπα x ως παραμέτρους. Εάν τα αποτελέσματα αντικατασταθούν στην αρχική εξίσωση, και θα έχουμε μια έκφραση για το y θα είναι: $mn - (m + n - 1)$ ως παράμετρος.

Τέλος, λόγω της φύσης του προβλήματος, καμία από τις άγνωστες X_i δεν μπορεί να είναι αρνητική, και καμία X_i δεν μπορεί να υπερβαίνει το μικρότερο από τους δύο αριθμούς f_i και C_j . Έτσι εάν οριστεί αυτή η παράμετρος των x 's με $\sum kx$ τότε η εξίσωση Y θα γίνει ως ακολούθως.

$$y = M + \sum kx$$

Όπου M είναι μια σταθερά που αναπαριστά το απαιτούμενο ελάχιστο κόστος και $\sum kx$ θα είναι ο γραμμικός συνδυασμός της παραμέτρου των x 's. (Hitchcock, 1941)

Η ιστορία των συνεισφορών της επιχειρησιακής έρευνας στον τομέα των μεταφορών και των logistics ακολούθησε την εξέλιξη των προβλημάτων στον τομέα αυτόν και παράλληλα τις εξελίξεις στις τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνίας (ICT). Οι κύριες φάσεις αυτής της ιστορίας μπορούν να περιγραφούν ως εξής:

Δεκαετία του 1960 και 70: Εμφανίστηκε η επιστήμη των μεταφορών (Transportation Science). Οι μεταφορές αφορούσαν την κυκλοφορία και τις δημόσιες μεταφορές, ενώ η λογιστική ήταν ένα νεότερο πεδίο που αναφερόταν στη φυσική διανομή και τη διαχείριση των αποθεμάτων. Κατά την ίδια περίοδο, αναπτύχθηκαν διάφορες γλώσσες προγραμματισμού, όπως η pascal (1970), C (1972). SQL (1978), κ.α.

Δεκαετία του 1980: Πρόκειται για την περίοδο μελέτης των μεταφορών με φορτηγά (κοινές μεταφορικές εταιρείες και ιδιωτικά στόλοι). Κατά τη διάρκεια αυτής της δεκαετίας, αναπτύχθηκαν οι μεταφορές με τρένα και θάλασσα. Επίσης, οι αερομεταφορές αναδείχθηκαν ως ξεχωριστός τομέας έρευνας..

Δεκαετία του 1990: Οι μεταφορές περιλάμβαναν τόσο τις επιβατικές όσο και τις εμπορικές μεταφορές. Τα logistics αναπτύχθηκαν με έμφαση στις λειτουργίες και τους αποστολείς μετατρέποντας τα σε διαχείριση αλυσίδας εφοδιασμού.

2000 έως και το 2010: Οι μεταφορές και τα logistics καλύπτουν συνεχώς αυξανόμενο αριθμό εφαρμογών. Ο παραδοσιακός φράχτης μεταξύ των εμπορικών και επιβατικών μεταφορών φαίνεται να γίνεται ολοένα λεπτότερος. (Grazia Speranza, 2018)

1.1.2 Η ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ LOGISTICS ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ

Τα logistics και οι μεταφορές είναι δύο πολύ σημαντικά μέρη των υπηρεσιών μεταφοράς και διανομής, και είναι διαφορετικά. Οι μεταφορές αφορούν τη μετακίνηση αγαθών, ενώ τα logistics αφορούν τη διαχείριση των εισερχόμενων και εξερχόμενων μεταφορών αγαθών από τον κατασκευαστή στον τελικό χρήστη. Αυτοί οι όροι χρησιμοποιούνται συχνά ανταλλάξιμα, αλλά αποτελούν δύο διακριτικά τμήματα της αλυσίδας εφοδιασμού. Τα logistics και οι μεταφορές ασχολούνται με τη μεταφορά προϊόντων και υπηρεσιών από ένα σημείο σε ένα άλλο. Παρόλο που οι όροι logistics και μεταφορές χρησιμοποιούνται ανταλλάξιμα, οι διαφορές είναι απλά ότι τα logistics ασχολούνται με την ολοκλήρωση της αποθήκευσης, των μεταφορών, του καταλόγου, της χειραγώγησης και της συσκευασίας των αγαθών, ενώ οι μεταφορές ασχολούνται με τη λειτουργία της μεταφοράς προϊόντων από ένα σημείο σε ένα άλλο. Κοινώς τα logistics είναι ένα ευρύτερο πεδίο που περιλαμβάνει τη συνολική διαχείριση και οργάνωση των ροών αγαθών και πληροφοριών σε ένα οργανισμό ενώ οι μεταφορές είναι μια συγκεκριμένη υποκατηγορία των logistics που αφορά τη μετακίνηση αγαθών από ένα σημείο σε ένα άλλο.

Τα logistics περιλαμβάνουν όλες τις δραστηριότητες που αφορούν την προμήθεια, την αποθήκευση, τη διανομή, τη διαχείριση αποθεμάτων, τον σχεδιασμό δικτύου και άλλες σχετικές λειτουργίες, ενώ οι μεταφορές περιλαμβάνουν τη χρήση μέσων μεταφοράς, όπως φορτηγά, πλοία, τρένα, αεροπλάνα, για τη μεταφορά αγαθών από τον τόπο παραγωγής στον τόπο κατανάλωσης ή διανομής.

Επίσης, χωρίς τα καλά αναπτυγμένα συστήματα μεταφορών, τα logistics δεν θα μπορούσαν να αξιοποιήσουν πλήρως τα πλεονεκτήματά τους. Επιπλέον, ένα καλό

σύστημα μεταφορών στις δραστηριότητες logistics μπορεί να παρέχει καλύτερη αποτελεσματικότητα και απόδοση, να μειώνει το κόστος λειτουργίας και να προάγει την ποιότητα των υπηρεσιών. Αντίστοιχα οι μεταφορές εστιάζουν στην ασφάλη και αποτελεσματική μεταφορά αγαθών. Η βελτίωση των συστημάτων μεταφορών απαιτεί προσπάθεια τόσο από τον δημόσιο όσο και από τον ιδιωτικό τομέα. Ένα καλά λειτουργικό σύστημα logistics μπορεί να αυξήσει τόσο τον ανταγωνισμό της κυβέρνησης όσο και των επιχειρήσεων.

Το σύστημα μεταφορών είναι η πιο σημαντική δραστηριότητα μεταξύ των στοιχείων των συστημάτων logistics. Περίπου ένα τρίτο έως δύο τρίτα των δαπανών των οργανισμών δαπανούνται στις μεταφορές. Σύμφωνα μάλιστα με μια έρευνα του Εθνικού Συμβουλίου Διαχείρισης της Φυσικής Διανομής (NCPDM) το 1982 (Chang, 1998), οι δαπάνες για τις μεταφορές αντιστοιχούν, κατά μέσο όρο, στο 6,5% των εσόδων της αγοράς και το 44% των δαπανών για τα logistics.

1.1.3 ΤΟ ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Στο πλαίσιο των logistics, το κόστος αναφέρεται στα έξοδα που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας μετακίνησης αγαθών ή πόρων από τη μια τοποθεσία στην άλλη. Αυτά τα κόστη μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με διάφορους παράγοντες που εμπλέκονται στις λειτουργίες logistics. Παρακάτω μπορούμε να δούμε μία περιεκτική εξήγηση των διαφορετικών στοιχείων κόστους στα logistics:

- 1) Κόστος Μεταφοράς
- 2) Κόστος Αποθέματος
- 3) Κόστος Διεκπεραίωσης Παραγγελιών
- 4) Κόστος Συσκευασίας
- 5) Τελωνεία και Δασμοί
- 6) Κόστος Reverse Logistics
- 7) Γενικά Έξοδα
- 8) Κόστος Διαχείρισης Κινδύνου
- 9) Περιβαλλοντικό Κόστος (Hu, et al., 2002)

Όλα αυτά μπορεί να είναι το κόστος αλλά εξίσου σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι το συγκεκριμένο κόστος και η σημασία τους μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με τη φύση των λειτουργιών εφοδιαστικής, τον κλάδο της βιομηχανίας, τη γεωγραφική θέση και άλλους μοναδικούς παράγοντες. Η αποτελεσματική διαχείριση logistics στοχεύει στη βελτιστοποίηση αυτών των δαπανών διασφαλίζοντας ταυτόχρονα την έγκαιρη παράδοση, την ικανοποίηση των πολιτών και τη συνολική κερδοφορία αν μιλάμε για επιχειρήσεις. (Arvis, et al., 2007) Στη δική μας περίπτωση θα ασχοληθούμε κυρίως με το κόστος μεταφοράς.

Το κόστος μεταφοράς συνδέεται με τη φυσική μετακίνηση των αγαθών από το σημείο προέλευσης στον προορισμό. Περιλαμβάνει δαπάνες όπως καύσιμα, συντήρηση οχημάτων, μισθούς οδηγού, ασφάλιση και χρεώσεις διοδίων. Το κόστος μεταφοράς μπορεί να επηρεαστεί από παράγοντες όπως η απόσταση, ο τρόπος μεταφοράς (οδικός, σιδηρόδρομος, αεροπορικός ή θαλάσσιος), το μέγεθος αποστολής και τυχόν ειδικές απαιτήσεις (εμπορευματοκιβώτια ελεγχόμενης θερμοκρασίας, χειρισμός επικίνδυνων υλικών κ.λπ.). (Yan & Zhang, 2015)

Οι μεταφορικές δαπάνες συνήθως επηρεάζονται από σταθερές και μεταβλητές δαπάνες που συμμετέχουν στη διαδικασία μεταφοράς. Ωστόσο, οι μεταφορικές δαπάνες συνδέονται περισσότερο με τους περιορισμούς των παραθύρων χρόνου, οι οποίοι καθορίζονται από τους χρόνους άφιξης.

Για ότι αφορά το κόστος μεταφοράς ανθρώπων, αξίζει να σημειώσουμε πως αντιπροσωπεύει τα έξοδα που αφορούν τη μετακίνηση ατόμων από ένα σημείο σε ένα άλλο. Είναι ένα σημαντικό ζήτημα που επηρεάζει τις οικονομικές και χρονικές αποφάσεις των ανθρώπων, καθώς και την πρόσβασή τους σε διάφορες υπηρεσίες και δραστηριότητες. Κάποιοι σημαντικοί παράγοντες που έχουν να κάνουν με το κόστος μεταφοράς των ανθρώπων είναι το είδος της μεταφοράς, η απόσταση, η ώρα και η εποχή, επιπλέον υπηρεσίες (lux) κ.α.

Επίσης, για να υπολογιστεί το κόστος και για να γίνουν οι σωστές επιλογές πρέπει να μελετηθεί ο χρόνος, έτσι ώστε οι άνθρωποι που έχουν ανάγκη μεταφοράς να φτάνουν όταν το θέλουν οι ίδιοι, δηλαδή όταν τα έχει ανάγκη και χωρίς καθυστέρηση. (Μαλινδρέτος, 2015) Το κόστος μεταφοράς των ανθρώπων είναι τόσο κρίσιμο που πολλές φορές καθορίζει την επιλογή της τοποθεσίας του οργανισμού (πχ νοσοκομείου). Γενικά οι μεταφορές στα νοσοκομεία αναφέρονται στον σχεδιασμό, την οργάνωση και τη λειτουργία της διαδικασίας μεταφοράς ασθενών προς το νοσοκομείο και από αυτό, καθώς και στην απρόσκοπτη παράδοση αυτών των

ασθενών στον προορισμό τους. Οι εργασίες που διενεργούνται στο πλαίσιο των μεταφορών στα νοσοκομεία είναι ποικίλες και αφορούν την αποτελεσματική οργάνωση των μέσων μεταφοράς, την προετοιμασία του ασθενή για μετακίνηση, την ασφάλεια της μεταφοράς και τη συνεχή παρακολούθηση της κατάστασης των ασθενών κατά τη διάρκεια της μεταφοράς.

Σε γενικές γραμμές το κόστος μεταφοράς είναι ένα θέμα που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Οι άνθρωποι λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά με τη μετακίνησή τους με βάση την οικονομική δυνατότητά τους και την ανάγκη τους. Η καλή κατανόηση αυτών των παραγόντων μπορεί να βοηθήσει στον προγραμματισμό και τη διαχείριση των μετακινήσεων.

1.1.4 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Οι μεταφορές διαδραματίζουν ένα συνδεδετικό ρόλο ανάμεσα στα διάφορα βήματα που οδηγούν στο τελικό όφελος του πολίτη. Είναι ο σχεδιασμός όλων αυτών των λειτουργιών και υπο-λειτουργιών σε ένα σύστημα κίνησης που σκοπό έχει την ελαχιστοποίηση του κόστους και τη μεγιστοποίηση της εξυπηρέτησης των πολιτών. Μόλις το σύστημα τεθεί σε λειτουργία, πρέπει να διαχειρίζεται αποτελεσματικά. (TSENG, et al., 2005)

Οι μεταφορές ανθρώπων συνήθως συνεπάγονται σημαντικά κόστη, όπως είναι οι μισθοί των οδηγών, το κόστος των οχημάτων και τα καύσιμα. Αυτά τα κόστη πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από τους οργανισμούς που εκτελούν μεταφορές ανθρώπων. Επίσης, οι μεταφορές ανθρώπων πρέπει να είναι χρονολογικά συγχρονισμένες και αποτελεσματικές. Η καθυστέρηση στις μεταφορές μπορεί να επηρεάσει την απόδοση των οργανισμών και να αυξήσει το κόστος της αποθήκευσης. Ακόμη, ενέχουν τον κίνδυνο ατυχημάτων και ασφαλιστικών απαιτήσεων. Οι οργανισμοί πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους αυτούς τους κινδύνους. Ένα άλλο γεγονός που θα έπρεπε να λαμβάνουν υπόψη είναι η δυνατότητα για συνεργασία μεταξύ διαφόρων τρόπων μεταφοράς. Οι οργανισμοί μπορεί να χρησιμοποιούν διάφορους τρόπους μεταφοράς, όπως αυτοκίνητα, τρένα, λεωφορεία και αεροπλάνα, για τις μεταφορές ανθρώπων.

Τα logistics από την άλλη πλευρά πρέπει να διαχειρίζονται τη συντονισμένη χρήση αυτών των τρόπων μεταφοράς.

Η σχέση μεταξύ μεταφορών ανθρώπων και logistics διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα των οργανισμών και στην παροχή υπηρεσιών στο κοινό. Η βέλτιστη διαχείριση αυτών των παραγόντων μπορεί να συμβάλει στη μείωση του κόστους, τη βελτίωση της απόδοσης και τη διατήρηση της βιωσιμότητας. Επίσης, οι μεταφορές παίζουν ένα καίριο ρόλο στη βελτίωση της ποιότητας των υπηρεσιών, καθώς επιτρέπουν την αποτελεσματική παροχή υπηρεσιών και την αύξηση της ικανοποίησης των πολιτών μέσω του επηρεασμού της εμπειρίας αυτών. Αν οι μεταφορές διεξάγονται απρόσκοπτα και με ασφάλεια, αυτό βελτιώνει την αντίληψη των πολιτών για την ποιότητα της υπηρεσίας. Είναι σημαντικό να διατηρείται υψηλό επίπεδο ποιότητας σε όλα τα στάδια των μεταφορών, από την αφετηρία έως τον προορισμό. Τέλος, οι καλά οργανωμένες μεταφορές επιτρέπουν στους οργανισμούς να παρέχουν υπηρεσίες που προσαρμόζονται στις ανάγκες του κοινού. Αυτό σημαίνει ότι οι υπηρεσίες μπορούν να παραμένουν ευέλικτες και να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις.

Ιδιαίτερα όταν μιλάμε για ένα σύγχρονο υγειονομικό περιβάλλον, οι μεταφορές στα νοσοκομεία δεν αφορούν μόνο τη μετακίνηση των ασθενών, αλλά επιδιώκουν επίσης την παροχή υψηλής ποιότητας υπηρεσιών μείωσης του κόστους και επιτάχυνσης των διαδικασιών.

Η διαχείριση των μεταφορών στα νοσοκομεία απαιτεί την καλή κατανόηση της διασύνδεσης μεταξύ των διάφορων λειτουργιών και τη συνολικής διαχείρισης του συστήματος μεταφοράς. Οι διαδικασίες μεταφοράς ασθενών εξαρτώνται από πολλές συνεργασίες, συντονισμό και προσαρμογή σε αλλαγές στο περιβάλλον, όπως είναι η επιβράδυνση των μετακινήσεων λόγω κυκλοφοριακής συμφόρησης, η ανάγκη να διατηρηθεί η ασφάλεια και η ομαλή λειτουργία των υγειονομικών υπηρεσιών.

1.2 Η ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΠΟΥ ΥΠΑΡΧΕΙ

Η έννοια της αξιολόγησης κινδύνου και κινδύνου έχει μακρά ιστορία. Πριν από περισσότερα από 2400 χρόνια οι Αθηναίοι πρόσφεραν την ικανότητά τους να αξιολογούν τον κίνδυνο πριν λάβουν αποφάσεις. (Bernstein, 1996) Ωστόσο, η αξιολόγηση κινδύνου ως επιστημονικό πεδίο είναι νεανική, όχι μεγαλύτερη από 30-40 ετών.

Η εκτίμηση κινδύνου (risk assessment) είναι μία συνδυασμένη προσπάθεια:

1. να ταυτοποιήσεις και να αναλύσεις μελλοντικά γεγονότα που ίσως έχουν αρνητικές επιπτώσεις στους ανθρώπους ή και στο περιβάλλον (risk analysis) και
2. το να λαμβάνεις αποφάσεις «σχετικά με την ανοχή του κινδύνου βάσει ανάλυσης αυτού» έχοντας λάβει υπόψη παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν. (risk evaluation). (Rausand, 2013) (Manuele, 2016)

Παλαιότερες αναφορές κάνουν μία διάκριση μεταξύ του όρου ανάλυση κινδύνου και αξιολόγηση κινδύνου. Μια ανάλυση κινδύνου συνήθως περιλαμβάνει τα ακόλουθα 4 βήματα:

Αρχικά, προβαίνουμε στον καθορισμό του πλαισίου, περιορίζοντας το πεδίο εφαρμογής των πιθανών κινδύνων που απαιτεί προσοχή. Επίσης, αναγνωρίζουμε τα ενδεχόμενα τμήματα ή τα στοιχεία που ενδέχεται να επηρεαστούν από την απειλή, καθώς και τις πιθανές επιπτώσεις σε αυτά, αν ο κίνδυνος εκδηλωθεί. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι η απουσία πιθανών αρνητικών επιπτώσεων συνεπάγεται ότι δεν υπάρχει πραγματικός κίνδυνος.

Στη συνέχεια, προχωράμε στην ανάλυση του κινδύνου, αναγνωρίζοντας τόσο τους ορατούς όσο και τους εξαιρετικά δύσκολους αντιληπτούς κινδύνους, καθώς και τη φύση των πιθανών δυσμενών επιπτώσεων που συνδέονται με κάθε κίνδυνο. Είναι σημαντικό να αντιληφθούμε ότι, σε απουσία πιθανών αρνητικών επιπτώσεων, ο κίνδυνος δεν είναι ύπαρξη.

Στη συνέχεια, πραγματοποιούμε μια ανάλυση της συχνότητας, εξετάζοντας το εάν η σοβαρότητα μιας επιπτώσεως εξαρτάται από τη δόση, δηλαδή την ποσότητα της έκθεσης. Επιπλέον, πρέπει να εξετάσουμε τη σχέση μεταξύ της δόσης και της σοβαρότητας της επιπτώσεως, καθώς και τον κίνδυνο που συνδέεται με την πιθανή δόση, η οποία ενδέχεται να εξαρτάται από παράγοντες όπως η συγκέντρωση, το

εύρος και η διάρκεια της έκθεσης. Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα καίρια σε περιπτώσεις πολλαπλών υγειονομικών κινδύνων, όπου ο μηχανισμός κίνδυνου προκύπτει από τοξικότητα ή επαναλαμβανόμενο τραυματισμό, ειδικά όταν το αποτέλεσμα είναι συσσωρευτικό.

Τέλος, προβαίνουμε στην ανάλυση των επιπτώσεων. Για ορισμένους κινδύνους, οι επιπτώσεις ενδέχεται να εμφανιστούν ή να μην εμφανιστούν, ενώ η σοβαρότητά τους μπορεί να παρουσιάσει σημαντική διακύμανση, ακόμα και όταν οι συνθήκες είναι ομοιόμορφες. Γενικά, απαιτείται η εκτίμηση των εύλογα πιθανών επιπτώσεων και της σχετικής πιθανότητας εμφάνισης τους.

Η αξιολόγηση κινδύνου σημαίνει ότι γίνονται κρίσεις σχετικά με την ανεκτικότητα των εντοπισμένων κινδύνων, με αποτέλεσμα την αποδοχή του κινδύνου. Όταν η ανάλυση κινδύνου και η αξιολόγηση κινδύνου γίνονται ταυτόχρονα, ονομάζεται αξιολόγηση κινδύνου. (Rausand, 2013)

Έχοντας στο μυαλό μας τις διάφορες φυσικές καταστροφές (σεισμούς, πλημμύρες, πυρκαγιές) το risk assessment ουσιαστικά αναλύει το τι μπορεί να πάει λάθος, πόσο πιθανό είναι να συμβεί, τι συνέπειες θα έχει για εμάς και πόσο ανεκτός είναι ο κίνδυνος αυτών. (Saaty, 2013) Ως μέρος αυτής της διαδικασίας, το αποτέλεσμα προσδιορισμού του κινδύνου μπορεί να εκφραστεί ποσοτικά ή ποιοτικά. Το risk assessment αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι του risk management, το οποίο προσπαθεί «να εισαγάγει μέτρα ελέγχου για την εξάλειψη ή τη μείωση» τυχόν πιθανών συνεπειών που σχετίζονται με τον κίνδυνο. (Rosenthal & Kouzmin, 1997)

Κατά την εξέλιξη μιας ανάγκης έκτακτης φύσης, η κατάσταση και οι πιθανοί κίνδυνοι είναι συχνά αναμφισβήτητα απρόβλεπτοι, διαφέροντας από τις προγραμματισμένες δραστηριότητες (γραμμικές). Αν για τους προβλέψιμους κινδύνους οι κανονικές διαδικασίες λειτουργίας μπορούν να αντιμετωπίσουν την κατάσταση με αποτελεσματικό τρόπο, σε ορισμένες καταστάσεις έκτακτης ανάγκης αυτό μπορεί να ισχύει επίσης. Οι προετοιμασία και οι εκπαιδευμένες αντιδράσεις ενδέχεται να αρκούν για την διαχείριση της κατάστασης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο υπεύθυνος μπορεί να αντιμετωπίσει τον κίνδυνο χωρίς την ανάγκη εξωτερικής υποστήριξης ή με τη βοήθεια μιας έτοιμης ομάδας ανταπόκρισης που είναι προετοιμασμένη για γρήγορη παρέμβαση.

Άλλες καταστάσεις έκτακτης ανάγκης εκδηλώνονται όταν δεν υπάρχει προηγουμένως καθορισμένο πρωτόκολλο ή όταν μια ομάδα ξένων ατόμων καλείται να αντιμετωπίσει την κατάσταση, χωρίς να έχει ειδική προετοιμασία για το σενάριο

που αντιμετωπίζει. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η συνεχής αξιολόγηση των κινδύνων από το αναγκαίο προσωπικό μπορεί να καθοδηγήσει προς την κατεύθυνση της κατάλληλης δράσης για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων. (Lock, 2017) Για παράδειγμα η Επιθεώρηση Πυροσβεστικών Υπηρεσιών ΗΜ έχει ορίσει τη δυναμική αξιολόγηση κινδύνου (Dynamic Risk Assessment) ως:

Η συνεχής αξιολόγηση του κινδύνου στις ταχέως μεταβαλλόμενες συνθήκες ενός επιχειρησιακού συμβάντος, προκειμένου να εφαρμοστούν τα μέτρα ελέγχου που είναι απαραίτητα για την εξασφάλιση αποδεκτού επιπέδου ασφάλειας. (Lock, 2017)

Η διαδικασία δυναμικής ανάλυσης κινδύνου αποτελεί το τελικό βήμα σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης ασφάλειας. Αυτή η διαδικασία προσφέρει τη δυνατότητα να ανταποκριθούμε αποτελεσματικά σε μεταβαλλόμενες συνθήκες αβεβαιότητας. Οι βάσεις της είναι η εμπειρία, η εκπαίδευση και η συνεχής εκπαίδευση, περιλαμβανομένης της αποτελεσματικής αξιολόγησης ώστε να αναλυθεί όχι μόνο το τι πήγε στραβά, αλλά και το τι πήγε σωστά και για ποιον λόγο. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης μοιράζονται με τα υπόλοιπα μέλη της ομάδας και το προσωπικό που έχει την ευθύνη της αξιολόγησης κινδύνου σε επίπεδο σχεδιασμού.

Μία περιεκτική εξήγηση της δυναμικής αξιολόγησης κινδύνου είναι αρχικά η Αναγνώριση του κινδύνου σε πραγματικό χρόνο. Αυτό γίνεται με την παρακολούθηση και την παρατήρηση του επιχειρησιακού περιβάλλοντος, των διαδικασιών και των δραστηριοτήτων. Τονίζει τη σημασία της επίγνωσης της κατάστασης και της ικανότητας έγκαιρης αναγνώρισης των πιθανών κινδύνων. Στην συνέχεια δίνεται βάση στα συμφραζόμενα όπως είναι η τρέχουσα κατάσταση του περιβάλλοντος, η ικανότητα και η συμπεριφορά των εμπλεκόμενων ατόμων, η κατάσταση του εξοπλισμού ή των περιουσιακών στοιχείων και οποιοσδήποτε άλλους σχετικούς παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τα επίπεδα κινδύνου. Αυτή η κατανόηση των συμφραζομένων βοηθά στην ακριβή αξιολόγηση των κινδύνων και στον προσδιορισμό των κατάλληλων απαντήσεων σε κίνδυνο. Το ίδιο ισχύει και με τη συνεχή παρακολούθηση του περιβάλλοντος έτσι ώστε εντοπιστούν όσο το δυνατόν γρηγορότερα αλλαγές ή αποκλίσεις που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε νέους ή αυξημένους κινδύνους. Αυτή η παρακολούθηση μπορεί να διευκολυνθεί με διάφορα μέσα, όπως η χρήση αισθητήρων με δυνατότητα τεχνολογίας, συστημάτων συλλογής δεδομένων, μηχανισμών αναφοράς σε πραγματικό χρόνο και τακτικών καναλιών

επικοινωνίας. Ο στόχος είναι να εντοπιστούν έγκαιρα τυχόν αποκλίσεις από τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας ή απροσδόκητα συμβάντα.

Όταν εντοπίζεται ένας πιθανός κίνδυνος, διενεργείται άμεση αξιολόγηση για να αξιολογηθεί η σοβαρότητα, η πιθανή επίπτωση και η πιθανότητα εμφάνισής του. Αυτή η αξιολόγηση γίνεται συνήθως με βάση τις διαθέσιμες πληροφορίες, την κρίση των ειδικών και την εξέταση του τρέχοντος λειτουργικού πλαισίου. Μπορεί να περιλαμβάνει την ταχεία ανάλυση των συνεπειών του συμβάντος κινδύνου και των διαθέσιμων μέτρων ελέγχου ή επιλογών μετριασμού.

Μόλις εντοπιστεί και αξιολογηθεί ένας κίνδυνος, εφαρμόζονται ή τροποποιούνται αμέσως τα κατάλληλα μέτρα μετριασμού του κινδύνου για την αντιμετώπιση της συγκεκριμένης κατάστασης κινδύνου. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει προσαρμογή επιχειρησιακών διαδικασιών, ανακατανομή πόρων, παροχή πρόσθετης εκπαίδευσης ή επίβλεψης ή εφαρμογή σχεδίων έκτακτης ανάγκης ως απάντηση στο εξελισσόμενο σενάριο κινδύνου.

Κάτι πολύ σημαντικό σε όλο αυτό είναι το να υπάρχει αποτελεσματική επικοινωνία. Όπου αυτό περιλαμβάνει εργαζόμενους πρώτης γραμμής, επόπτες, διευθυντές και άλλο προσωπικό που εμπλέκεται στις δραστηριότητες. Η σαφής και έγκαιρη επικοινωνία διασφαλίζει ότι όλοι γνωρίζουν τους κινδύνους, κατανοούν τις ευθύνες τους και μπορούν να συμβάλουν στις προσπάθειες μετριασμού του κινδύνου.

Τέλος, αλλά εξίσου σημαντικό είναι να προωθείται μια κουλτούρα μάθησης όπου οι οργανισμοί αναλύουν περιστατικά, παρ' ολίγον ατυχήματα και ανατροφοδότηση για να εντοπίσουν τομείς προς βελτίωση. Τα διδάγματα από προηγούμενες εμπειρίες χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των διαδικασιών αξιολόγησης κινδύνου, την ανάπτυξη καλύτερων στρατηγικών διαχείρισης κινδύνου και τη βελτίωση της συνολικής λειτουργικής ασφάλειας και αποτελεσματικότητας.

Η αξιολόγηση δυναμικού κινδύνου είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιβάλλοντα υψηλού κινδύνου και δυναμικά, όπως είναι τα παρακάτω:

Λειτουργίες Αντιμετώπισης Έκτακτης Ανάγκης: Κατά τη διάρκεια καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, όπως η πυρόσβεση, οι επιχειρήσεις έρευνας και διάσωσης ή η διαχείριση καταστροφών, οι κίνδυνοι μπορεί να εξελιχθούν γρήγορα. Η αξιολόγηση του δυναμικού κινδύνου βοηθά τους ανταποκριτές έκτακτης ανάγκης να αξιολογήσουν τις μεταβαλλόμενες συνθήκες, να προσαρμόσουν τις στρατηγικές τους και να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο. Διασφαλίζει ότι οι

προσπάθειες αντίδρασης ευθυγραμμίζονται με τις δυναμικές συνθήκες, μετριάζοντας τους κινδύνους και μεγιστοποιώντας την αποτελεσματικότητα των επιχειρήσεων έκτακτης ανάγκης.

Μεταφορές και Logistics: Ο τομέας των μεταφορών, συμπεριλαμβανομένων των οδικών, σιδηροδρομικών, αεροπορικών και θαλάσσιων επιχειρήσεων, λειτουργεί σε δυναμικά και απρόβλεπτα περιβάλλοντα. Η αξιολόγηση του δυναμικού κινδύνου μπορεί να εφαρμοστεί για την αξιολόγηση κινδύνων που σχετίζονται με τη συμπεριφορά του οδηγού, τις δυσμενείς καιρικές συνθήκες, τις αλλαγές διαδρομής, τη διαχείριση φορτίου και τις απειλές για την ασφάλεια. Με τη διεξαγωγή αξιολογήσεων κινδύνου σε πραγματικό χρόνο, οι εταιρείες μεταφορών μπορούν να εφαρμόσουν μέτρα για τη μείωση των ατυχημάτων, των διακοπών και των καθυστερήσεων, διασφαλίζοντας παράλληλα την ασφάλεια των επιβατών, του πληρώματος και του φορτίου.

Υγειονομική περίθαλψη και ασφάλεια ασθενών: Σε περιβάλλοντα υγειονομικής περίθαλψης, η αξιολόγηση του δυναμικού κινδύνου που σχετίζονται με τη φροντίδα των ασθενών, τον έλεγχο των λοιμώξεων, τη χορήγηση φαρμάκων και τις ιατρικές διαδικασίες. Επιτρέπει στους επαγγελματίες υγείας να προσαρμόσουν τις πρακτικές τους στις μεταβαλλόμενες συνθήκες, να εφαρμόσουν κατάλληλα μέτρα ασφαλείας και να μειώσουν την πιθανότητα ιατρικών λαθών ή ανεπιθύμητων συμβάντων.

Αυτά είναι μόνο μερικά παραδείγματα του ποικίλου φάσματος βιομηχανιών και τομέων όπου βρίσκει εφαρμογή η δυναμική αξιολόγηση κινδύνου. Η ικανότητα προσαρμογής στις μεταβαλλόμενες συνθήκες, αξιολόγησης των κινδύνων σε πραγματικό χρόνο και λήψης τεκμηριωμένων αποφάσεων είναι πολύτιμη σε κάθε περιβάλλον που περιλαμβάνει εγγενείς κινδύνους και αβεβαιότητες.

1.2.1 Η ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Η μετασχηματιστική ευελιξία και οι συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες που καταγράφονται ως τάσεις οφείλονται στη διαρκή ροή αλλαγής των δεδομένων σχετικά με τους πελάτες, τις αγορές, τις παραδόσεις, τις τοποθεσίες και τα αποθέματα. Αυτό, αντίστροφα, καθιστά τα προβλήματα ουσιαστικά πολύ πιο δυναμικά από ό,τι συνήθως ήταν. Τα συστήματα πρέπει να γίνουν πιο αντιδραστικά στις αλλαγές και να παρέχουν πιο αποτελεσματικές απαντήσεις στους πολίτες, οι οποίοι απαιτούν όλο και περισσότερο μεταβλητές υπηρεσίες. Αυτή η τάση καθιστά επίσης δυσκολότερη την πρόβλεψη της ζήτησης. Καθώς οι δραστηριότητες σχεδιασμού των μεταφορών βασίζονται στις προβλέψεις πρέπει να λαμβάνει υπόψη όλες τις πιθανές, αβέβαιες πληροφορίες που είναι διαθέσιμες σχετικά με μελλοντικά αποτελέσματα. (Simchi-Levi, et al., 2004) Τα περισσότερα κλασικά μοντέλα βελτιστοποίησης υποθέτουν ότι όλες οι σχετικές πληροφορίες είναι διαθέσιμες στη στιγμή που κατασκευάζεται ένα μοντέλο, το οποίο στη συνέχεια εκτελείται και υλοποιείται πλήρως. Αυτή ήταν μια ρεαλιστική υπόθεση σε έναν κόσμο όπου ήταν πολύ χρονοβόρο και δαπανηρό να συγκεντρώνονται δεδομένα και όπου οι πληροφορίες ενημερώνονταν σπάνια. Αυτή η υπόθεση γίνεται όλο και λιγότερο αποδεκτή, διότι οι λύσεις πρέπει να αναθεωρούνται σύντομα πριν υλοποιηθούν πλήρως. Παρόλο που τα δυναμικά προβλήματα στις μεταφορές συζητούνται εδώ και πολύ καιρό, (Psaraftis, 1995) η έρευνα σχετικά με δυναμικά και στοχαστικά προβλήματα δρομολόγησης οχημάτων έχει λάβει αυξανόμενο ενδιαφέρον μόνο την τελευταία δεκαετία. (Ritzinger, et al., 2015) Μάλιστα συχνά υπογραμμίζεται η σημασία των κατάλληλων μοντελοποιημένων δυναμικών γεγονότων και της ταυτόχρονης ενσωμάτωσης πληροφοριών σχετικά με την αβεβαιότητα των μελλοντικών γεγονότων. (Ritzinger, et al., 2015)

Επιπλέον, τα δεδομένα αλλάζουν συνεχώς, και οι μακροχρόνιοι υπολογιστικοί χρόνοι γίνονται ολοένα και λιγότερο αποδεκτοί. (Waller & Fawcett, 2013) Πόση υπολογιστική προσπάθεια αξίζει να επενδυθεί σε ένα μοντέλο, τη λύση του οποίου θα υλοποιηθεί μόνο εν μέρει; Πότε μια αλλαγή στα δεδομένα πρέπει να σημαίνει ότι το μοντέλο πρέπει να εκτελεστεί ξανά; Ή ποιες αλλαγές στα δεδομένα δικαιολογούν το να ξανατρέξουμε ένα μοντέλο;

Για αυτό και στη δική μας την προσέγγιση αξιοποιείται η χρήση του δυναμικού προγραμματισμού ως μεθοδολογίας έρευνας επειδή: α) παρέχει τα εργαλεία για τον χειρισμό των διαδοχικών επαναλαμβανόμενων διαδικασιών των logistics

προβλημάτων. β) παρέχει ένα μεθοδολογικό εργαλείο για το χειρισμό της κινητικότητας ασθενοφόρου σε έναν δεδομένο γύρο με βάση τα αποτελέσματα του προηγούμενου γύρου, με στόχο τη συνολική βελτιστοποίηση του κόστους· και γ) είναι ευκολότερο να αντιμετωπίζονται περιπτώσεις με υψηλό βαθμό αβεβαιότητας όπου οι παράμετροι αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου. Ακόμη, αξίζει να αναφερθούμε πως επειδή βρισκόμαστε σε ένα δυναμικό περιβάλλον και οι συνθήκες μπορούν να αλλάξουν ραγδαία και πολύ άμεσα, ειδικά σε συνθήκες έκτακτης ανάγκης, το συγκεκριμένο προτεινόμενο μοντέλο μπορεί να προσαρμοστεί στις εκάστοτε αλλαγές καθώς ανά τακτά χρονικά διαστήματα γίνεται έλεγχος λαμβάνοντας online δεδομένα α) του χρόνου μεταφοράς, β) των ασθενών που έχουν να μεταφερθούν (είτε πρόκειται για την κατάστασή τους είτε πρόκειται για τον αριθμό των ασθενών) γ) καθώς επίσης και των δρόμων που μπορεί να έχουν κλείσει και να πρέπει να βρεθεί κάποιος εναλλακτικός.

1.2.2 Η ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΛΛΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΑΝΘΡΩΠΩΝ

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που υπάρχουν στα προβλήματα μεταφοράς είναι το θέμα της αβεβαιότητας που υπάρχει. Η αβεβαιότητα προκύπτει όταν χρειάζεται να ληφθεί μια απόφαση βασισμένη σε πληροφορίες που δεν είναι γνωστές. Γνωρίζουμε τρία σενάρια κάτω από τις οποίες αυτό μπορεί να προκύψει:

1. Η πληροφορία δεν είναι ακόμη γνωστή, αλλά θα γίνει γνωστή κάποια στιγμή στο μέλλον. Αυτό είναι το τυπικό μοντέλο της αβεβαιότητας.
2. Η πληροφορία είναι γνωστή σε κάποιον (ή κάτι), αλλά δεν είναι γνωστή στον λήπτη της απόφασης. Γενικά θα λέγαμε ότι αυτή η πληροφορία είναι γνωστή, αλλά για διάφορους λόγους (συνηθέστερα, είναι απλώς πολύ ακριβή) δεν έχει μεταφερθεί σωστά εκεί όπου χρειάζεται για μια απόφαση.
3. Η πληροφορία δεν θα γίνει ποτέ γνωστή (βελτιστοποίηση κάτω από ατελή πληροφορία). Είτε για οποιονδήποτε οικονομικό ή τεχνικό λόγο, μια άγνωστη μεταβλητή δεν μετρείται ποτέ, παρόλο που θα βοηθούσε στη βελτίωση των αποφάσεων.

Στα δύο τελευταία σενάρια πρέπει να ληφθούν αποφάσεις χωρίς πληροφορίες, αλλά υποθέτουμε ότι το τρίτο αντιπροσωπεύει πληροφορίες που ποτέ δεν γίνονται γνωστές ρητά, ενώ το δεύτερο την περίπτωση όπου κάποιος γνωρίζει τις πληροφορίες, με το ενδεχόμενο να μοιράζεται τις πληροφορίες με κάποιο κόστος.

Επίσης, κατά την διάρκεια λήψης μιας απόφασης υπάρχει πάντα η αβεβαιότητα για το τι θα μπορούσε να είχε συμβεί εάν είχαμε επιλέξει μία άλλη δυνατή επιλογή. Υπάρχουν πιθανά σενάρια και επιλογές που θα μπορούσαν να εξελίξουν τα πράγματα με διαφορετικό τρόπο, αλλά λόγω του ότι έχει γίνει μία δυσχερέστερη πρόβλεψη για αυτές, στο τέλος δεν επιλέχθηκαν. (Johnson & Busemeyer, 2010)

Η κλασική αβεβαιότητα προκύπτει επειδή οι πληροφορίες έρχονται με τον χρόνο. Είναι δυνατόν να διαιρέσουμε τα διάφορα είδη δυναμικών διαδικασιών πληροφορίας σε τρεις βασικές κατηγορίες: οι "πόροι" που διαχειρίζονται (συμπεριλαμβανομένων των απαιτήσεων των πολιτών), οι φυσικές διαδικασίες που διέπουν την εξέλιξη του συστήματος με τον χρόνο και οι αποφάσεις που εφαρμόζονται πραγματικά για να οδηγήσουν το σύστημα.

Κάτω από την κατηγορία "πόροι" συμπεριλαμβάνονται όλες οι κατηγορίες πληροφοριών που διαχειριζόμαστε ενεργά. Συγκεκριμένα, αυτές είναι "ελεγχόμενες κατηγορίες πληροφοριών που περιορίζουν το σύστημα", και περιλαμβάνει τα φορτηγά, τα τρένα και τα αεροπλάνα που σκεφτόμαστε κανονικά ως πόρους, αλλά και πολλά ακόμα. Δυναμικές διαδικασίες πληροφοριών για πόρους μπορεί να περιλαμβάνουν:

1. Πληροφορίες σχετικά με τους πόρους που εγκαταλείπουν το σύστημα. Όπως για παράδειγμα ότι οι οδηγοί μπορεί να παραιτηθούν, ή τα ασθενοφόρα ενδέχεται να αποσυρθούν από την υπηρεσία.
2. Πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση ενός πόρου - Ένα αεροσκάφος μπορεί να έχει βλάβη ή ένας οδηγός μπορεί να αναφέρει ασθένεια.

Στην δεύτερη κατηγορία (φυσικές διαδικασίες που διέπουν την εξέλιξη του συστήματος με τον χρόνο), συμπεριλαμβάνουμε πληροφορίες σχετικές με τις παραμέτρους που διέπουν την εξέλιξη του συστήματος με την πάροδο του χρόνου όπου συμπεριλαμβάνουν τα ακόλουθα:

1. Ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση μιας απόφασης - Σε πολλούς τομείς των μεταφορών, οι χρόνοι ταξιδιού είναι αβέβαιοι, και μερικές φορές ακόμα και υψηλά αβέβαιοι έτσι ώστε να εξασφαλίσουν ότι η πρόβλεψη προσέγγισε την πραγματικότητα για το πότε θα γίνει κάτι. Π.χ. Στα μέσα

μεταφοράς, δεν είναι ασυνήθιστο ο χρόνος ταξιδιού μεταξύ δύο σημείων να δίνεται μία τάξη μεγέθους ή ένα εύρος τιμών.

2. Οι δαπάνες μιας απόφασης είναι συνήθως η λιγότερο αβέβαιη παράμετρος, αλλά υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους ενδέχεται να μην γνωρίζουμε το κόστος μιας απόφασης πριν την υλοποιήσουμε. Δαπάνες που συνήθως δεν είναι πλήρως γνωστές εκ των προτέρων περιλαμβάνουν διόδους, ατυχήματα μεταφοράς και δαπάνες επεξεργασίας που δεν είναι πάντα εύκολο να κατανεμηθούν σε μια συγκεκριμένη δραστηριότητα.
3. Παράμετροι που καθορίζουν τα χαρακτηριστικά ενός πόρου μετά από μια απόφαση όπως η σημασία καθαρισμού ενός ασθενοφόρου ύστερα από το τέλος μιας διαδρομής.

Στη τρίτη και τελευταία κατηγορία (αποφάσεις που εφαρμόζονται πραγματικά) η ροή των πραγματικών αποφάσεων αποτελεί μια σημαντική εξωγενή διαδικασία πληροφοριών. Υπάρχουν αρκετοί λόγοι για τους οποίους ένα φυσικό σύστημα δεν εξελίσσεται όπως έχει σχεδιαστεί. Κάποιοι από αυτούς είναι οι ακόλουθοι:

1. Οι αποφάσεις που λαμβάνονται από ένα μοντέλο δεν είναι τόσο λεπτομερείς όσο αυτό που απαιτείται πραγματικά στη λειτουργία.
2. Ο αποφασίζων διαθέτει πληροφορίες που δεν είναι διαθέσιμες στο μοντέλο.
3. Ο αποφασίζων απλώς προτιμά να χρησιμοποιήσει διαφορετική προσέγγιση στην επίλυση προβλημάτων.
4. Όταν υπάρχει διαφορά μεταξύ του τι προτείνει ένα μοντέλο και των αποφάσεων που πραγματικά λαμβάνονται, αντιμετωπίζουμε ένα παράδειγμα του προβλήματος μη συμμόρφωσης του χρήστη. Αυτό αποτελεί μια πηγή αβεβαιότητας που συχνά παραμελείται.

Οι μεταφορές, όπως είπαμε και πιο πάνω, είναι η διαδικασία της μετακίνησης των ανθρώπων ή και των πραγμάτων έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι ανάγκες. Εάν υπάρχει ένας πόρος σε μια τοποθεσία i , μπορεί να είναι πιο χρήσιμος σε μια άλλη τοποθεσία j . Εντός αυτού του απλού πλαισίου, υπάρχουν ποικίλα προβλήματα που θέτουν ειδικά θέματα μοντελοποίησης και αλγοριθμικά ζητήματα. Παρακάτω υπάρχει μια ενδεικτική λίστα προβλημάτων που βοηθά στην ανάδειξη θεμάτων που απαιτείται να αντιμετωπιστούν.

Διαχείριση Στόλου – Ο «στόλος» αντιπροσωπεύει τα οχήματα διάφορων μορφών που μεταφέρουν τα άτομα. Αυτά μπορεί να είναι λεωφορεία, ταξί, ασθενοφόρα, κ.α.

Ο στόλος αντιπροσωπεύει έναν ανακυκλώσιμο πόρο όπου η πράξη ικανοποίησης της απαίτησης του πολίτη (μεταφορά φορτίου από το i στο j) έχει επίσης ως αποτέλεσμα την αλλαγή της κατάστασης του συστήματος (μετακίνηση του στόλου από το i στο j). Σημαντικές παραλλαγές προβλημάτων περιλαμβάνουν:

α) Προβλήματα μονού επιβατικού εμπορεύματος - Αυτά προκύπτουν όταν όλοι οι επιβάτες χρησιμοποιούν τα ίδια μέσα μεταφοράς, ή όταν υπάρχουν διάφοροι τύποι μέσων μεταφοράς χωρίς αντικατάσταση μεταξύ διαφορετικών τύπων αιτημάτων. Όταν δεν υπάρχει αντικατάσταση, το πρόβλημα αναλύεται σε μια σειρά από προβλήματα μονού επιβατικού εμπορεύματος για κάθε τύπο μέσου μεταφοράς.

β) Προβλήματα πολυεπιβατικού εμπορεύματος - Ενδέχεται να υπάρχουν διάφοροι τύποι μέσων μεταφοράς, και οι επιβάτες ενδέχεται να είναι διατεθειμένοι να αντικαταστήσουν μεταξύ τους. Για παράδειγμα, ενδέχεται να δεχτούν ένα μεγαλύτερο μέσο μεταφοράς

γ) Μεταφορά και σημεία αναμετάδοσης - Τα απλούστερα μοντέλα αναπαριστούν μια απαίτηση ως την ανάγκη για μετακίνηση από το i στο j, όπου η μετακίνηση αναπαρίσταται ως μια μοναδική απόφαση. Οι πιο πολύπλοκες λειτουργίες πρέπει να μοντελοποιούν τμήματα μεταφοράς (κινήσεις στον ωκεανό ή τον σιδηροδρομικό τρόπο) με αναμεταδόσεις ή σημεία αναμετάδοσης (λιμάνια, σιδηροδρομικές αυλές) όπου τα μέσα μεταφοράς μετακινούνται από έναν τόπο στον επόμενο. Ένα κύριο στοιχείο πολυπλοκότητας είναι όταν επιβάλλονται περιορισμοί χωρητικότητας στα τμήματα μεταφοράς.

Άνθρωποι και πληρώματα: - Τα φορτηγά, οι σιδηροδρομικές γραμμές και τα αεροπλάνα κινούνται επειδή τα χειρίζονται άνθρωποι. Επομένως δεν προκαλεί κάποια έκπληξη στο ότι η μοντελοποίηση των ανθρώπων είναι σημαντική, διότι διαθέτουν ένα σύνολο χαρακτηριστικών που καθιστούν τον πολύπλοκο εξοπλισμό απλό. Για παράδειγμα, εάν σε ένα νοσοκομείο έχουμε 10 κλίνες αλλά μόλις έναν γιατρό ικανό να αντιμετωπίσει μία κατάσταση, τότε δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί αποτελεσματικά ο υψηλός φόρτος ασθενών. Επίσης, ένας οδηγός ασθενοφόρου μπορεί να χαρακτηριστεί από την τρέχουσα τοποθεσία του, το επίπεδο εμπειρίας, την εξοικείωση και τις δεξιότητες του. Εάν έχει εμπειρία στην οδήγηση στην Αθήνα ή στην

επαρχειά, πόσες ώρες έχει οδηγήσει τις τελευταίες 8 ημέρες, ακόμη και από την κόπωση που έχει από την υπερφόρτωση εργασίας. Τα λογισμικά παραγωγής πρέπει να καλύπτουν αυτά και πολλά άλλα ζητήματα.

Αυτά τα προβλήματα είναι παραδείγματα προβλημάτων ανακατανομής πόρων, όπου, με ελάχιστες εξαιρέσεις, ένας μόνο "πόρος" εξυπηρετεί ένα μόνο "αίτημα". Το "δεσμευτικό" προκύπτει, όταν, για παράδειγμα, χρειαζόμαστε δύο οδηγούς για να λειτουργήσετε ένα ασθενοφόρο. (Powell & Toralloglu, 2003)

Ένα άλλο εξίσου σημαντικό πρόβλημα είναι ο φόρτος του οδικού δικτύου που μπορεί να επηρεάσει τους χρόνους μεταφοράς. Ο φόρτος του οδικού δικτύου αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό πρόβλημα, ιδίως στις αστικές περιοχές, με σοβαρές επιπτώσεις στην οικονομία, τον χρόνο και την κοινωνία. Η έλλειψη ευελιξίας στα μέσα μαζικής μεταφοράς και η ανάγκη για γρήγορη ανταπόκριση σε περιστάσεις όπως φυσικές καταστροφές προτρέπουν τους ανθρώπους να χρησιμοποιούν τα προσωπικά τους οχήματα.

Ο φόρτος αυτός δεν οφείλεται αποκλειστικά στον αριθμό των οχημάτων, αλλά και στα μονοπάτια και τον χρόνο των ταξιδιών. Συμβαίνει όταν πολλά οχήματα κινούνται στον ίδιο δρόμο ταυτόχρονα. Η σύγχρονη τεχνολογία επιτρέπει τον συντονισμό των μονοπατιών και των χρόνων των ταξιδιών για τα οχήματα, με βάση τους προορισμούς τους.

Επίσης, υπάρχουν διάφορες συσκευές πλοήγησης που χρησιμοποιούν ψηφιοποιημένους χάρτες και GPS για να προτείνουν βέλτιστες διαδρομές με βάση την απόσταση ή τον χρόνο ταξιδιού. Ορισμένες συσκευές προσφέρουν πληροφορίες κίνησης σε πραγματικό χρόνο και προτείνουν εναλλακτικές διαδρομές για αποφυγή της συμφόρησης. Ωστόσο, αυτές οι συσκευές συχνά δεν λαμβάνουν υπόψη τον συστημικό αντίκτυπο των οδηγιών που παρέχουν, καθώς μπορεί να μετακινούν τη συμφόρηση από έναν δρόμο σε έναν άλλο. Όπως επίσης, δίνοντας την διαδρομή με το λιγότερο φόρτο στο οδικό δίκτυο δεν σημαίνει ότι θα είναι και η συντομότερη τις περισσότερες φορές. (Grazia Speranza, 2018) Αντίστοιχα αυτός ο φόρτος του δικτύου μπορεί να οδηγήσει και σε συνθήκες bottleneck όπου ένας συγκεκριμένος δρόμος, γέφυρα, σιδηροδρομική γραμμή, αερολιμένας ή λιμάνι περιορίζει τη ροή της κυκλοφορίας και κατά συνέπεια μειώνεται η απόδοση και η αποτελεσματικότητα των συστημάτων, διαδικασιών ή δικτύων. (Li & Liu, 2021)

Γενικά βέβαια, σύμφωνα με την θεωρία ισορροπιών του Nash (John Forbes Nash Jr), τα συστήματα έχουν την τάση να επιτυγχάνουν μια κατάσταση ισορροπίας, όπου οι διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν ο ένας τον άλλον και επιτυγχάνουν μια σχετική σταθερότητα. (Watson, 2021) Βέβαια υπάρχει και η άλλη άποψη όπου το σύστημα μπορεί να καταρρεύσει αντί να έρθει σε ισορροπία κυρίως όταν διέρχεται από ανεπαρκείς πόρους, αστάθεια, διακυμάνσεις ή αντιφάσεις που δεν επιτρέπουν την επίτευξη μιας σταθερής ισορροπίας. (Daskalakis & Paradimitriou, 2005) Συνολικά, αυτό τονίζει το γεγονός ότι η ισορροπία σε ένα σύστημα δεν είναι πάντα δεδομένη.

Όλα αυτά αποτελούν επιπλέον λόγους έτσι ώστε να χρησιμοποιήσουμε τον δυναμικό προγραμματισμό για την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος αλλά και το να πάρουμε τα δεδομένα μας online και σε συχνά διαστήματα ώστε να μπορούμε να προσαρμοζόμαστε στις εκάστοτε αλλαγές που μπορεί να προκύπτουν.

1.2.2.1 Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ – ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ (PROBABILITY MODELS)

Η διαχείριση της αβεβαιότητας είναι ένα σημαντικό θέμα στον τομέα της στατιστικής και της λήψης αποφάσεων. Αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο μελετούμε, προσεγγίζουμε και αντιμετωπίζουμε την αβεβαιότητα που σχετίζεται με δεδομένα, προβλέψεις και αποφάσεις. Η αβεβαιότητα πολλές φορές προκύπτει από μία τυχαία διαδικασία (στην περίπτωση της αντικειμενικής πιθανότητας), και άλλες φορές προκύπτει απλά από έλλειψη πληροφοριών που προκαλεί κάποια "πεποίθηση" (αντί για "γνώση"). Οι πιθανότητες αποτελούν ένα κύριο εργαλείο για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας και τον υπολογισμό της πιθανότητας ενός γεγονότος. (Olkin, et al., 1980)

Ένα στοχαστικό μοντέλο πιθανοτήτων (Probability Model) αναπαριστά μαθηματικά την πιθανότητα ενός γεγονότος ή μιας σειράς γεγονότων. Τα στοχαστικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για να αναλύσουμε τον τρόπο με τον οποίο διάφορα γεγονότα δεν δίνουν μια τιμή με βεβαιότητα αλλά κάθε εναλλακτική τιμή συνοδεύεται από την πιθανότητά της. Αυτά τα μοντέλα εφαρμόζονται ευρέως σε πολλούς τομείς, όπως η μηχανική, η ιατρική, η οικονομία, η κοινωνική επιστήμη και πολλούς άλλους.

Τα στοχαστικά μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναλύσουμε την αβεβαιότητα και να προβλέψουμε αποτελέσματα με βάση τις πιθανότητες. Μπορούν να περιλαμβάνουν τόσο απλά μοντέλα, όπως η κανονική κατανομή, όσο και πιο σύνθετα, όπως τα δίκτυα Bayes. Οι μέθοδοι αναλυτικής στατιστικής, οι μέθοδοι της μηχανικής μάθησης και η προσομοίωση με πιθανότητες είναι μερικές από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία και τη χρήση στοχαστικών μοντέλων. (Haigh & Haigh, 2002)

Τα στοχαστικά μοντέλα βασίζονται πάνω στα μοντέλα πεπτοίησης. Κάθε μοντέλο πεπτοίησης έχει, τουλάχιστον, δύο συστατικά: ένα στατικό, που περιγράφει την κατάσταση της πεπτοίησής μας, και ένα δυναμικό, που εξηγεί πώς ενημερώνουμε την πεπτοίησή μας δεδομένων νέων πληροφοριών. Έτσι και στη θεωρία πιθανοτήτων, το στατικό συστατικό αποτελείται από την αξιολόγηση μιας πυκνότητας πιθανότητας p στα στοιχεία του χώρου δειγματικών σημείων Ω , ώστε:

$$p: \Omega \rightarrow [0,1], \sum_{\omega \in \Omega} p(\omega) = 1$$

Οι βαθμοί πεπτοίησης για υποσύνολα του χώρου δειγματικών σημείων Ω ποσοτικοποιούνται μέσω μιας κατανομής πιθανότητας $P: 2^\Omega \rightarrow [0,1]$ έτσι ώστε $\forall \omega \in \Omega$, $P(\{\omega\})=p(\omega)$ και $\forall A, B \subseteq \Omega$ με $A \cap B = \emptyset$, $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$ και $P(A) = \sum_{\omega \in A} p(\omega)$.

Το μόνο δυναμικό συστατικό είναι ο κανόνας συνθήκης: όταν μάθουμε ότι το $B \subseteq \Omega$ είναι αληθές (και αν η $P(B) \neq 0$), τότε η P ενημερώνεται σε μια συνθήκη κατανομής πιθανοτήτων $P(\cdot|B)$, που ορίζεται στο χώρο 2^Ω έτσι ώστε η $P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$. (Smets, 1994)

1.2.2.2 Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ – UPPER & LOWER PROBABILITIES MODELS

Τα μοντέλα των ανώτερων και κατώτερων πιθανοτήτων είναι παρόμοια με τα στοχαστικά μοντέλα, με τη διαφορά ότι αναγνωρίζουν ότι ορισμένες πιθανότητες ενδέχεται να είναι άγνωστες. Έστω ότι έχουμε ένα σύνολο Π που είναι όλες οι πιθανότητες που είναι συμβατές με τις διαθέσιμες πληροφορίες. Αντί να δημιουργηθεί

μετά μια μετα-πιθανότητα στο Π , όπως θα συνέστηναν οι αυστηροί bayesians, εξετάζουμε τις κρίσιμες τιμές – συνήθως τα άκρα – των διαφόρων πιθανοτήτων που μας ενδιαφέρουν. Μπορεί να περιγραφούν διάφορες μορφές μοντέλων μερικών γνωστών πιθανοτήτων. Καμιά φορά, το Π καθορίζεται μοναδικά μέσω των λεγόμενων συναρτήσεων ανώτερων και κατώτερων πιθανοτήτων του P^* και του P_* ; όπου

$$\forall A \subseteq \Omega \quad P^*(A) = \sup_{P \in \Pi} P(A) \quad P_*(A) = \inf_{P \in \Pi} P(A)$$

Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις, το Π μπορεί να είναι ένα κυρτό σύνολο πιθανοτήτων (Kyburg, 1987). Το κυρτό σύνολο πιθανοτήτων αναφέρεται σε ένα σύνολο πιθανοτήτων που πληροί συγκεκριμένες μαθηματικές ιδιότητες γνωστές ως κυρτότητα. Σε αυτό το πλαίσιο, η κυρτότητα αφορά τη μορφή και τη δομή του συνόλου των πιθανοτήτων. Ένα σύνολο πιθανοτήτων θεωρείται κυρτό όταν οι ακόλουθες συνθήκες ικανότητας είναι αληθείς:

1. Εάν οποιοδήποτε σημείο στο σύνολο πιθανοτήτων P_1 και P_2 βρίσκεται μέσα στο σύνολο, τότε οποιαδήποτε γραμμική συνδυαστική τους μεταξύ αυτών των σημείων, δηλαδή αναφορική συνάρτηση του τύπου $\alpha P_1 + \beta P_2$ όπου α και β είναι μη αρνητικοί αριθμοί που αθροίζονται σε 1, βρίσκεται επίσης μέσα στο σύνολο.
2. Εάν οποιοδήποτε σημείο P στο σύνολο πιθανοτήτων βρίσκεται μέσα στο σύνολο, τότε η συνολική πιθανότητα στο σημείο P , δηλαδή η πιθανότητα $P(P)$, είναι μη αρνητική και ίση με 1.

Επίσης κάποιες φορές, το Π απλώς αποτελείται από ένα σύνολο πιθανοτήτων και ιδιαίτερα όταν το Π περιέχει μόνο ένα στοιχείο, το μοντέλο μειώνεται στο κλασικό μοντέλο πιθανοτήτων.

Στο σύννηθες μοντέλο των ανώτερων και κατώτερων πιθανοτήτων, το στατικό μέρος αποτελείται από τον καθορισμό της ανώτερης κατανομής πιθανότητας P^* ή της κατώτερης κατανομής πιθανότητας P_* , και οι δύο καθορίζονται από τον χώρο 2^Ω στο διάστημα μεταξύ $[0, 1]$. Τώρα για κάθε P στο Π , ισχύει ότι:

$$\forall A \subseteq \Omega, \quad P_*(A) \leq P(A) \leq P^*(A)$$

Γνωρίζοντας ότι $P^*(A) = 1 - P_*(\bar{A})$

Η συνθήκη στο $B \subseteq \Omega$ επιτυγχάνεται λαμβάνοντας υπόψη κάθε κατανομή πιθανοτήτων P στο Π και ενσωματώνει στο B . Έτσι, δημιουργείται το σύνολο των κατανομών πιθανοτήτων Π_B όπου:

$$\Pi_B = \{P_B: \forall A \subseteq \Omega P_B(A) = P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}, P \in \Pi\}$$

Οι συναρτήσεις ανώτερων και κατώτερων πιθανοτήτων είναι τα ανώτερα και κατώτερα όρια αυτών των πιθανοτήτων.

Έτσι για κάθε $\forall A \subseteq \Omega$,

$$P_*(A|B) = \inf_{P_B \in \Pi_B} P_B(A) = \inf_{P \in \Pi} P(A|B)$$

$$P^*(A|B) = \sup_{P_B \in \Pi_B} P_B(A) = \sup_{P \in \Pi} P(A|B)$$

1.2.2.3 Η ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΗΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ – DEMPSTER – SHAFER THEORY

Η θεωρία Dempster-Shafer, είναι ένα προχωρημένο μοντέλο για την αντιμετώπιση και τη διαχείριση της αβεβαιότητας. Αυτή η θεωρία παρέχει ένα πλαίσιο για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας και τη λήψη αποφάσεων σε συνθήκες όπου οι διαθέσιμες πληροφορίες είναι ανεπαρκείς ή ασαφείς.

Η Θεωρία Dempster-Shafer, ονομάζεται επίσης Θεωρία Διαχείρισης Αβεβαιότητας Dempster-Shafer (DST) ή Θεωρία Πιθανοτήτων Dempster-Shafer, αναπτύχθηκε από τον Glenn Shafer και τον Arthur Dempster τη δεκαετία του 1970. (Dempster, 1967) (Dempster, 1968) (Shafer, 1976) Η DST προσφέρει ένα ευρύ πλαίσιο για την αναπαράσταση και τη διαχείριση της αβεβαιότητας με τρόπο που διαφέρει από τις παραδοσιακές μεθόδους πιθανοτήτων και είναι κάτι το οποίο αποτελεί μια προοπτική για να ασχοληθούμε σε μεταδιδακτορική έρευνα πάνω σε αυτό. (Foucher, et al., 2002) (Hongwei, et al., 2002)

Ο βασικός άξονας της DST είναι η χρήση των συνόλων Dempster-Shafer (DS sets) ή πινάκων εκχώρησης (mass assignment). Αντί να χρησιμοποιεί τις πιθανότητες, όπως στην θεωρία πιθανοτήτων, η DST χρησιμοποιεί αυτά τα σύνολα για να αναπαραστήσει την αβεβαιότητα. Κάθε σύνολο DS περιέχει πληροφορίες σχετικά με την πιθανότητα ενός γεγονότος και τη μη ενιαία κατανομή πιθανοτήτων.

Ένα βασικό στοιχείο της DST είναι η διαχείριση της αβεβαιότητας μέσω της ενημέρωσης και της συνδυαστικής εκχώρησης. (Smets, 1994)

Η DST χρησιμοποιείται συχνά σε περιβάλλοντα όπου οι πληροφορίες είναι ασαφείς, ανεπαρκείς ή ασυμβίβαστες και είναι ειδικά χρήσιμη για συστήματα λήψης αποφάσεων σε περίπλοκα περιβάλλοντα. Επιτρέπει την αναπαράσταση της αβεβαιότητας σε πολλές διαφορετικές μορφές και την αντιμετώπισή της με ακρίβεια. (Altieri, et al., 2017)

Για ότι αφορά το σχεδιασμό της μεταφοράς, η διαχείριση της αβεβαιότητας μπορεί να αντιμετωπιστεί με την βοήθεια της θεωρίας Dempster-Shafer.

Θα έχουμε ένα σύνολο $\Omega = \{H_1, \dots, H_n\}$ πιθανών καταστάσεων του συστήματος, όπου H_1, \dots, H_n είναι αμοιβαίως αποκλειόμενα μεταξύ τους.

Με $P(\Omega)$ συμβολίζουμε το σύνολο 2^Ω , και με A ένα στοιχείο του $P(\Omega)$.

$$P(\Omega) = 2^\Omega = \{ \emptyset, \{H_1\}, \{H_2\}, \{H_3\}, \dots, \{H_1, H_2\}, \dots, \Omega \}$$

Η θεωρία DS ορίζει m συναρτήσεις που ονομάζονται βασική εκχώρηση πεποιθήσεων (Basic Belief Assignment)(BBA) στο $P(\Omega)$.

$$m: 2^\Omega \rightarrow [0,1]$$

$$A \rightarrow m(A)$$

Αυτό επιτρέπει να δουλέψουμε με κομμάτια πληροφορίας που δεν είναι αμοιβαίως αποκλειόμενα, όπου αντιπροσωπεύονται από το δυναμικό σύνολο $P(\Omega)$. Μια βασική συνάρτηση ανάθεσης πεποιθήσεων m πρέπει να πληροί τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

$$m(\emptyset) = 0$$
$$\sum_{A \in P(\Omega)} m(A) = 1$$

Έστω A όπου $m(A) \neq 0$ ονομάζονται τα εστιακά στοιχεία. Το $m(A)$ μπορεί να ερμηνευθεί ως ο βαθμός πεποίθησης που αποδίδεται στο A και σε κανένα από τα υποσύνολά του. Με άλλα λόγια, το $m(A)$ αντιπροσωπεύει το ποσοστό της πληροφορίας που υποδηλώνει ότι η πραγματική κατάσταση ανήκει στο A , αλλά δεν

υπάρχει γνώση για την πληροφορία των υποσυνόλων του A. Χρησιμοποιώντας τη θεωρία του Dempster-Shafer, μπορούμε να ορίσουμε ένα κάτω και ένα πάνω όριο για την $prob(A)$, η οποία και θα είναι η πραγματική πιθανότητα της πληροφορίας.

Η συνάρτηση πεποίθησης $Bel(A)$ για ένα σύνολο A ορίζεται ως το άθροισμα όλων των BBA των υποσυνόλων του A, δηλώνοντας ότι ένα μέρος της πεποίθησης που ανατίθεται στο B πρέπει να ανατεθεί και σε άλλες υποθέσεις που την συμπεριλαμβάνει.

$$Bel(A) = \sum_{B|B \subseteq A} m(B)$$

Η θεωρία DS ορίζει επίσης την εφικτότητα $Pl(A)$ ως το άθροισμα όλων των BBA των συνόλων B που τέμνονται με το σύνολο A:

$$Pl(A) = \sum_{B|B \cap A \neq \emptyset} m(B)$$

Έτσι, οι μετρήσεις σχετίζονται μεταξύ τους ως εξής:

$$Bel(A) \leq prob(A) \leq Pl(A)$$

Και η σχέση μεταξύ εφικτότητας του συνόλου A και της πεποίθησης του συνόλου A είναι η ακόλουθη: (Smets, 1994)

$$Pl(A) = 1 - Bel(\bar{A})$$

Στον τομέα των μεταφορών, η πιο σημαντική πληροφορία για τη δρομολόγηση είναι η κυκλοφορία στους δρόμους. Θα μπορούσαμε να απλοποιήσουμε αυτό σε δύο καταστάσεις: συμφόρηση ή όχι συμφόρηση. Συνεπώς, οι δύο εξεταζόμενες καταστάσεις (υποθέσεις) στη θεωρία DS είναι η Συμφόρηση (CO) και η Απουσία Συμφόρησης (NC), δηλαδή: $\Omega = \{CO, NC\}$ και $P(\Omega) = \{\emptyset, \{CO\}, \{NC\}, \{CO, NC\} = \Omega\}$ χαρακτηρίζονται από τις τιμές των BBA των εστιακών στοιχείων, $m(CO)$, $m(NC)$, $m(\Omega)$, όπου το $m(\Omega)$ εκφράζει την αβεβαιότητα.

Στην περίπτωση της συμφόρησης σε έναν συγκεκριμένο δρόμο, το κόστος θεωρείται διπλάσιο του προκαθορισμένου κόστους (το κόστος αντιπροσωπεύει το

χρόνο μεταφοράς σε έναν δρόμο), διαφορετικά το κόστος παραμένει το προκαθορισμένο κόστος.

Η εξελισσόμενη κυκλοφοριακή συμφόρηση μπορεί να προκαλείται από διάφορους παράγοντες όπως είναι οι παρακάτω:

- Καιρικές συνθήκες
- Πυκνότητα οχημάτων
- Κλειστή λωρίδα

Αυτοί οι παράγοντες εάν βρίσκονται στην πιο απλοποιημένη κατάσταση, θα είναι δυαδικές μεταβλητές: οι τιμές των καιρικών συνθηκών θα είναι κακές ή καλές, οι τιμές της πυκνότητας των οχημάτων θα είναι χαμηλές ή υψηλές και οι τιμές της κλειστής λωρίδας θα είναι ναι ή όχι. Έτσι, οι βασικές συναρτήσεις ανάθεσης πεποιθήσεων (BBA) θα είναι m_1, m_2, \dots, m_n αντίστοιχα για τους διάφορους αυτούς παράγοντες.

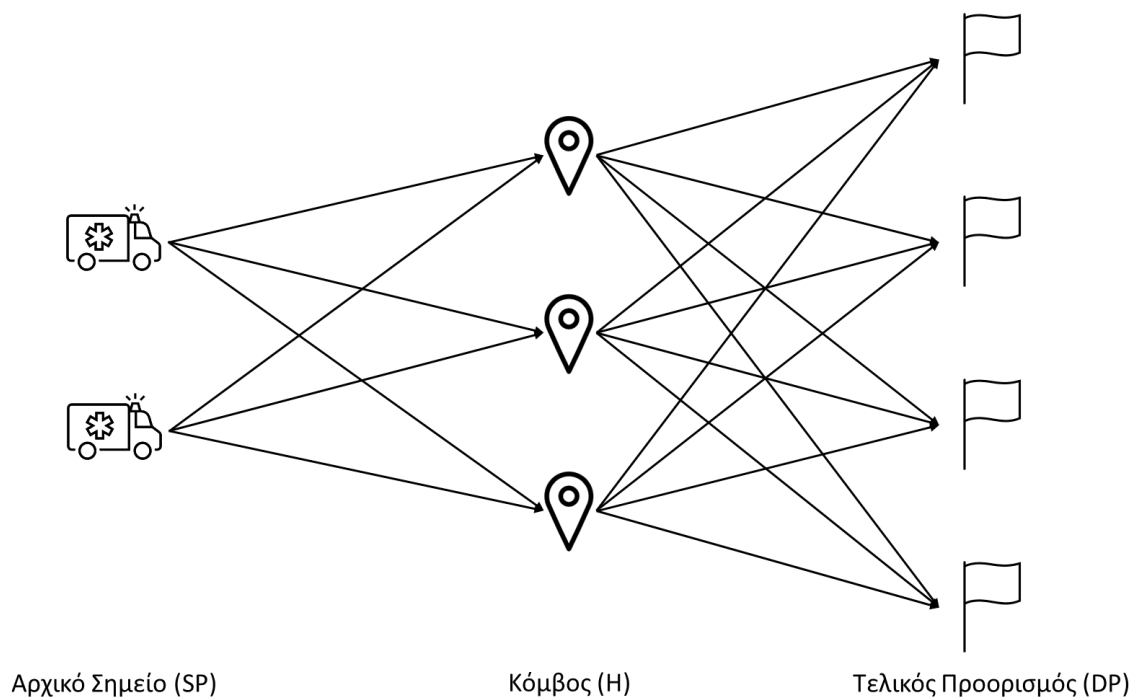
Οι τιμές που μπορούν να πάρουν είναι η πιθανότητα να είναι αληθινή η συγκεκριμένη υπόθεση. Αν έχουμε περισσότερους από έναν παράγοντες να εμφανίζονται σε μια ακμή, τότε μπορούμε να τα αθροίσουμε με βάση τον παρακάτω τύπο, όπου το A είναι το εξεταζόμενο σύνολο, και τα B, C είναι στοιχεία του $P(\Omega)$.

$$m_{i,j}(A) = \frac{\sum_{B \cap C = A} m_i(B) * m_j(C)}{1 - \sum_{B \cap C = 0} m_i(B) * m_j(C)}$$

Το κόστος μιας ακμής θα είναι το άθροισμα του προκαθορισμένου σταθερού κόστους (που αντιπροσωπεύει τον χρόνο μεταφοράς σε έναν κενό δρόμο) και του κόστους αβεβαιότητας από τον υπολογισμό του DS. Η θεωρία DS παρέχει ένα DS διάστημα για κάθε σύνολο: Bel και Pl, το κάτω και το άνω όριο (όρια του DS) της πιθανότητας της πληροφορίας στο αντίστοιχο σύνολο. Το κόστος αβεβαιότητας υπολογίζεται με το γινόμενο του σταθερού κόστους και των ορίων του DS. (Szucs & Sallai, 2009)

1.3 ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΕΝΟΣ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Το δίκτυο ενός γενικευμένου προβλήματος μεταφοράς ανθρώπων περιλαμβάνει την αφετηρία (start point) που είναι το αρχικό σημείο όπου τα μέσα ξεκινούν το ταξίδι τους, ο κόμβος ή οι κόμβοι (hub) που περιγράφουν τα ενδιάμεσα σημεία στη διαδρομή των μεταφορών και τέλος ο τελικός προορισμός (destination point) όπου τα μέσα φτάνουν στον τελικό προορισμό τους όπως παρατίθεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 7. Απεικόνιση Γενικευμένης Εφοδιαστικής Αλυσίδας

Ο κόμβος (H) αντιπροσωπεύει περιγράφει τα ενδιάμεσα σημεία στη διαδρομή των μεταφορών, και μπορεί να έχει διαφορετικό ρόλο ανάλογα την μελέτη περίπτωσης που έχουμε κάθε φορά. Το ζητούμενο σε ένα γενικό μοντέλο είναι να προσδιοριστεί η βέλτιστη θέση του κόμβου (H) καθώς και η ιδιότητα που αυτός θα έχει, ελαχιστοποιώντας το κόστος λειτουργίας του δικτύου και επιτυγχάνοντας μικρότερους χρόνους. Η ύπαρξη προεπιλεγμένων σημείων θέτει τον περιορισμό της επιλογής, η οποία θα γίνει μεταξύ των υποψήφιων τοποθεσιών. Οι κόμβοι (H) μπορεί να παράγουν ένα ή περισσότερα άτομα που πρέπει να μεταφερθούν, χρησιμοποιώντας έναν ή περισσότερους παραγωγικούς πόρους (π.χ. ασθενοφόρα κλπ). Επίσης, υπάρχει η διατήρηση αποθέματος σε όλο το μήκος του δικτύου. Στη δική μας

περίπτωση α λέγαμε για ιατρικό απόθεμα και δηλαδή κλίνες στα νοσοκομεία. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της είναι η δυνατότητα του κόμβου (H) να παραλαμβάνει οποιοδήποτε μεταφορικό μέσο από οποιαδήποτε σημείο εκκίνησης αλλά και από κάθε άλλο αντίστοιχο κόμβο. Υπάρχει μία δυνατότητα συνεργασίας μεταξύ των κόμβων. Δηλαδή παραλαβή και διανομή μεταξύ τους. Τέλος, οι κόμβοι (H) μπορούν να διανείμουν τους ανθρώπους σε κάθε ένα από τα τελικά σημεία προορισμού και όχι απαραίτητα σε μια αποκλειστικά εξ αυτών.

Εδώ αξίζει να σημειώσουμε πως σε μία γενική εφοδιαστική αλυσίδα η λειτουργία του κόμβου (H) δεν προσδιορίζεται από την αρχή αλλά καθορίζεται από τη βελτιστοποίηση του προβλήματος μέσω των τιθέμενων περιορισμών του σχεδιασμού.

Έτσι τα μέσα μεταφοράς που βρίσκονται στο σημείο εκκίνησης (start point) αποτελούν το πρώτο επίπεδο. Μέσω του μοντέλου γίνεται η επιλογή των βέλτιστων διαδρομών και άρα των σημείων εκκίνησης που θα έχουμε και μεταφέρονται στους κόμβους (H) για να παραλάβουν ή να μεταφέρουν προς τα εκεί αγαθά, άνθρωποι, κ.λπ.. Σε μία γενική εφοδιαστική αλυσίδα δεν επιτρέπεται η άμεση επαφή του αρχικού σημείου εκκίνησης και του τελικού που είναι ο προορισμός που θα καταλήξουν τα αγαθά, οι άνθρωποι, κ.λπ.. Η επαφή γίνεται πάντα μέσω του περάσματος από τους κόμβους (H).

Από το παραπάνω σχήμα μπορούμε να διακρίνουμε τις βέλτιστες ροές για οτιδήποτε θέλουμε να μεταφερθεί (προϊόν, άνθρωποι, κ.λπ.). Το σύνολο των κόμβων συμβολίζεται με N , και περιλαμβάνει τα μέσα που βρίσκονται στα σημεία εκκίνησης (start point), τους κόμβους (H) και τους τελικούς προορισμούς (destination point). Τα σημεία εκκίνησης που βρίσκονται τα μέσα μεταφοράς αποτελούν το κατώτερο στρώμα της εφοδιαστικής αλυσίδας και συμβολίζεται με SP , όπου $SP \subset N$. Το κάθε μέσο μεταφοράς μπορεί να μεταφέρει συνήθως συγκεκριμένες ποσότητες. Το ανώτερο στρώμα, ο τελικός προορισμός, είναι το τμήμα που καθορίζει έναν από τους βασικότερους παράγοντες που προκαλούν αβεβαιότητα, τη ζήτηση, όπου συμβολίζεται με DP . Εάν θεωρήσουμε ότι οι απαιτήσεις δεν μεταβάλλονται με το πέρασμα του χρόνου και ότι οι τρεις αυτές ζώνες αποτελούν ένα υποσύνολο των κόμβων του δικτύου τότε θα ισχύει το ακόλουθο που θα αντιπροσωπεύει μία γενική εφοδιαστική αλυσίδα:

$$N = SP \cup H \cup DP$$

Ένα γενικό μαθηματικό μοντέλο για ένα δίκτυο μεταφορών ανθρώπων μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση γράφων (δικτύων) και γραφικών μοντέλων για την αναπαράσταση των διαδρομών μεταφορών. Ένα από τα βασικά μαθηματικά μοντέλα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι το "Μοντέλο Ακολουθίας Κόμβων" (Node Sequence Model). Αυτό το μοντέλο περιλαμβάνει τα εξής βασικά στοιχεία:

1. Κόμβοι (Nodes): Οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τα σημεία του δικτύου μεταφορών, όπως αφετηρίες, κόμβοι μεταφορών (σταθμοί, αεροδρόμια, στάσεις), και προορισμοί.
2. Ακμές (Edges): Οι ακμές αντιπροσωπεύουν τις συνδέσεις μεταξύ των κόμβων. Κάθε ακμή έχει ένα κόστος ή χρόνο μεταφοράς που απαιτείται για τη μετακίνηση από έναν κόμβο στον άλλον.
3. Περιορισμοί (Constraints): Οι περιορισμοί μπορούν να περιλαμβάνουν το μέγιστο χρόνο μετακίνησης, τον περιορισμό της χωρητικότητας των μέσων μεταφοράς, τον περιορισμό των συνδέσεων (π.χ., αν πρέπει να αλλάξετε μέσο μεταφοράς σε έναν συγκεκριμένο κόμβο), και άλλους περιορισμούς που εξαρτώνται από το πρόβλημα μεταφορών.
4. Στόχος (Objective): Ο στόχος είναι να βρείτε τη βέλτιστη διαδρομή ή ακολουθία κόμβων που ικανοποιεί τους περιορισμούς και ελαχιστοποιεί το κόστος μεταφοράς ή τον χρόνο.

Αυτό το μοντέλο μπορεί να επιλύεται με βοήθεια μαθηματικών τεχνικών όπως οι αλγόριθμοι δυναμικού προγραμματισμού, οι αλγόριθμοι αναζήτησης (όπως ο αλγόριθμος A*), ή οι γραμμικοί προγραμματισμοί, ανάλογα με την πολυπλοκότητα του προβλήματος.

Ένα παράδειγμα όπου κάποια οχήματα ξεκινούν από διάφορες αφετηρίες, παίρνουν άτομα από διάφορους κόμβους και τους μεταφέρουν σε διάφορους προορισμούς θα μπορούσε να είναι το ακόλουθο.

Έστω ότι:

- Υπάρχουν n οχήματα (1, 2, 3, ..., n) που ξεκινούν από διάφορες αφετηρίες (Α, Β, Γ).
- Υπάρχουν m άτομα (1, 2, ..., m) που πρέπει να μεταφερθούν σε διαφορετικούς προορισμούς (Δ, Ε, Ζ).

Μεταβλητές αποφάσεων:

Διαδικές μεταβλητές αποφάσεων X_{ij} ($i=1,2,3, \dots, n$ για τα οχήματα, $j=1,2,3,\dots, m$ για τα άτομα):

$X_{ij} = 1$, αν το όχημα i μεταφέρει το άτομο j .

$X_{ij} = 0$, διαφορετικά.

Συνάρτηση κόστους:

Ο στόχος είναι να ελαχιστοποιήσουμε το συνολικό κόστος μεταφοράς, που μπορεί να οριστεί ως:

$$Z = \sum \sum (C_{ij} * X_{ij})$$

Όπου:

Z είναι το συνολικό κόστος.

C_{ij} είναι το κόστος για τη μεταφορά του ατόμου j από το όχημα i .

Το διπλό "ΣΣ" αναφέρεται στο άθροισμα για όλα τα άτομα και όλα τα οχήματα.

Ο στόχος είναι να βρούμε τις τιμές των μεταβλητών " x_{ij} " που ελαχιστοποιούν τη συνάρτηση κόστους Z , με την τήρηση όλων των ακόλουθων περιορισμών.

Περιορισμοί:

1. Κάθε άτομο πρέπει να μεταφερθεί από ένα μόνο όχημα για να πάει στον τελικό προορισμό του:

$$\sum_i X_{ij} = 1, \text{ για κάθε } j$$

Όπου το σύνολο ΣΥΝΟΛΟ(i) αντιπροσωπεύει το άθροισμα για όλα τα οχήματα.

2. Κάθε όχημα δεν μπορεί να μεταφέρει περισσότερα άτομα από όσα μπορεί να χωρέσει:

$$\sum_j X_{ij} \leq \text{Χωρητικότητα}(\text{όχημα } i), \text{ για κάθε } i$$

Όπου Χωρητικότητα(όχημα i) είναι η χωρητικότητα του οχήματος i και όπου το ΣΥΝΟΛΟ(j) αντιπροσωπεύει το άθροισμα για όλα τα άτομα.

3. Καμία αντίφαση: Κάθε ζεύγος όχημα-άτομο πρέπει να είναι είτε 0 είτε 1. Αυτός ο περιορισμός εξασφαλίζει ότι η μεταβλητή X_{ij} παίρνει μόνο τις τιμές 0 ή 1, όπου 1 σημαίνει ότι το συγκεκριμένο όχημα μεταφέρει το συγκεκριμένο άτομο, ενώ 0 σημαίνει το αντίθετο. Με αυτόν τον περιορισμό, αποφεύγουμε την αντίφαση όπου το ίδιο άτομο μεταφέρεται από δύο διαφορετικά οχήματα.

Κάθε ζεύγος όχημα-άτομο: $0 \leq X_{ij} \leq 1$, για όλα τα i και j .

Με αυτό το μαθηματικό μοντέλο, μπορούμε να ελαχιστοποιήσετε το συνολικό κόστος μεταφοράς ενώ ταυτόχρονα να διασφαλίσουμε ότι όλοι οι άνθρωποι μεταφέρονται στους τελικούς προορισμούς τους με σεβασμό στους περιορισμούς χωρητικότητας και άλλους περιορισμούς. (Psaraftis, 1980) (Psaraftis, 1983)

Στην περίπτωση τώρα που θελήσουμε να συμπεριλάβουμε την αβεβαιότητα σε όλο αυτό σε ότι αφορά το χρόνο μεταφοράς αλλά και την κυκλοφοριακή συμφόρηση, θα πρέπει να εισάγουμε έναν όρο καθυστέρησης στη συνάρτηση κόστους. Ορίζουμε τη συνάρτηση κόστους ως εξής:

$$Z = \sum \sum (c_{ij} * x_{ij}) + \sum \sum (D_{ij} * \delta_{ij})$$

Όπου,

Z είναι το συνολικό κόστος.

C_{ij} είναι το βασικό κόστος για τη μεταφορά του ατόμου j από το όχημα i , όπως προηγουμένως.

D_{ij} είναι ένας επιπλέον όρος κόστους που αντιπροσωπεύει την καθυστέρηση λόγω αβεβαιότητας στο χρόνο και την κυκλοφοριακή συμφόρηση.

δ_{ij} είναι μια μεταβλητή που αντιπροσωπεύει την καθυστέρηση για το άτομο j που μεταφέρεται από το όχημα i .

Οι περιορισμοί για τους πελάτες, τις χωρητικότητες των οχημάτων και την αποφυγή της αντίφασης παραμένουν όπως προηγουμένως περιεγράφηκαν.

Επιπλέον, θα πρέπει να εισαχθεί ένας περιορισμός που θα διαχωρίζει τη μεταβλητή δ_{ij} :

$$0 \leq \delta_{ij} \leq M * (1 - x_{ij})$$

Όπου, η μεταβλητή M είναι ένα μεγάλο θετικό αριθμό που υποδηλώνει το μέγιστο δυνατό κόστος καθυστέρησης. Με αυτόν τον περιορισμό, η μεταβλητή δ_{ij} είναι μηδενική όταν το άτομο j δεν μεταφέρεται από το όχημα i , και μπορεί να πάρει τιμές μέχρι το M όταν το άτομο μεταφέρεται. (Nomani, et al., 2017)

Το συγκεκριμένο πρόβλημα θα μπορούσε να αναπαρασταθεί και με την μορφή γράφων. Σε αυτή την περίπτωση κάθε κόμβος στον γράφο αντιπροσωπεύει είτε ένα άτομο που πρέπει να μεταφερθεί είτε ένα όχημα που μπορεί να το μεταφέρει. Οι ακμές στον γράφο αντιπροσωπεύουν τις δυνητικές μεταφορικές διαδρομές ανάμεσα σε οχήματα και άτομα. Κάθε ακμή έχει κόστος, το οποίο αντιστοιχεί στο κόστος μεταφοράς από ένα όχημα σε ένα άτομο.

Έστω ότι έχουμε m άτομα (A, B, C, \dots, m) και 2 διαθέσιμα οχήματα ($1, 2, \dots, n$). Ο γράφος μπορεί να αναπαρασταθεί ως εξής:

Κόμβοι:

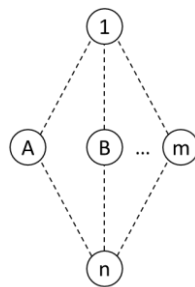
A, B, C, \dots, m : Οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τους πελάτες (άτομα) που πρέπει να μεταφερθούν.

$1, 2, \dots, n$: Οι κόμβοι αντιπροσωπεύουν τα διαθέσιμα οχήματα που μπορούν να πραγματοποιήσουν τις μεταφορές.

Ακμές:

Κάθε ακμή συνδέει ένα όχημα με ένα άτομο και αντιπροσωπεύει τη δυνητική μεταφορική διαδρομή. Κάθε ακμή έχει ένα κόστος που αντιπροσωπεύει το κόστος μεταφοράς από το όχημα στο άτομο.

Ένας απλός γράφος με τις αντίστοιχες ακμές θα μπορούσε να έχει την ακόλουθη μορφή:



Εικόνα 8. Απεικόνιση Γράφου με Ακμές

Στην περίπτωση της αβεβαιότητας στο χρόνο ή του φόρτου του οδικού δικτύου, υπάρχει η δυνατότητα να ενσωματωθεί η πρόσθετη αυτή πληροφορία σε κάθε ακμή του γράφου. (Paschos & Murat, 2010)

1.4. ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ (RISK MANAGEMENT)

Η διαχείριση κινδύνου (risk management) αναφέρεται στη διαδικασία του προσδιορισμού, της αξιολόγησης και της κατάταξης πιθανών απειλών (όπως περιγράφονται στο ISO 31000 ως αποτέλεσμα της αβεβαιότητας όσον αφορά τους στόχους). Η διαδικασία αυτή ακολουθείται με συντονισμό και βέλτιστη διαχείριση των διαθέσιμων πόρων με στόχο την ελαχιστοποίηση, την παρακολούθηση και τον έλεγχο της πιθανότητας ή των επιπτώσεων πιθανών γεγονότων. (Hubbard, 2009)

Οι πηγές κινδύνου μπορεί να είναι ποικίλες, συμπεριλαμβάνοντας την αβεβαιότητα και τις απειλές από αποτυχίες έργων (σε οποιαδήποτε φάση του σχεδιασμού, της ανάπτυξης, της παραγωγής ή της συντήρησης του κύκλου ζωής), ατυχήματα, φυσικές καταστροφές, γεγονότα αβέβαιης ή απρόβλεπτης προέλευσης.

Αυτά τα γεγονότα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, δηλαδή αρνητικά γεγονότα που μπορούν να χαρακτηριστούν ως κίνδυνοι και θετικά γεγονότα που αντιμετωπίζονται ως ευκαιρίες. Υπάρχουν διάφορα πρότυπα διαχείρισης κινδύνου που έχουν αναπτυχθεί από διάφορους φορείς, όπως το Project Management Institute, το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας, αναλογιστικές εταιρείες και πρότυπα ISO (πρότυπα διαχείρισης ποιότητας που βοηθούν στην βελτιωμένη απόδοση της εργασίας και τη μείωση των αστοχιών στα προϊόντα).

Οι μέθοδοι, οι ορισμοί και οι στόχοι διαχείρισης κινδύνου ποικίλλουν ανάλογα με τον τομέα εφαρμογής. Είτε αφορά τη διαχείριση έργων, την ασφάλεια, τη μηχανική, τις βιομηχανικές διαδικασίες, τα χρηματοοικονομικά χαρτοφυλάκια, τις αναλογιστικές αξιολογήσεις ή τη δημόσια υγεία και ασφάλεια. (Hubbard, 2009)

Οι στρατηγικές για τη διαχείριση απειλών (αβεβαιότητες με αρνητικές συνέπειες) συνήθως περιλαμβάνουν τις εξής προσεγγίσεις:

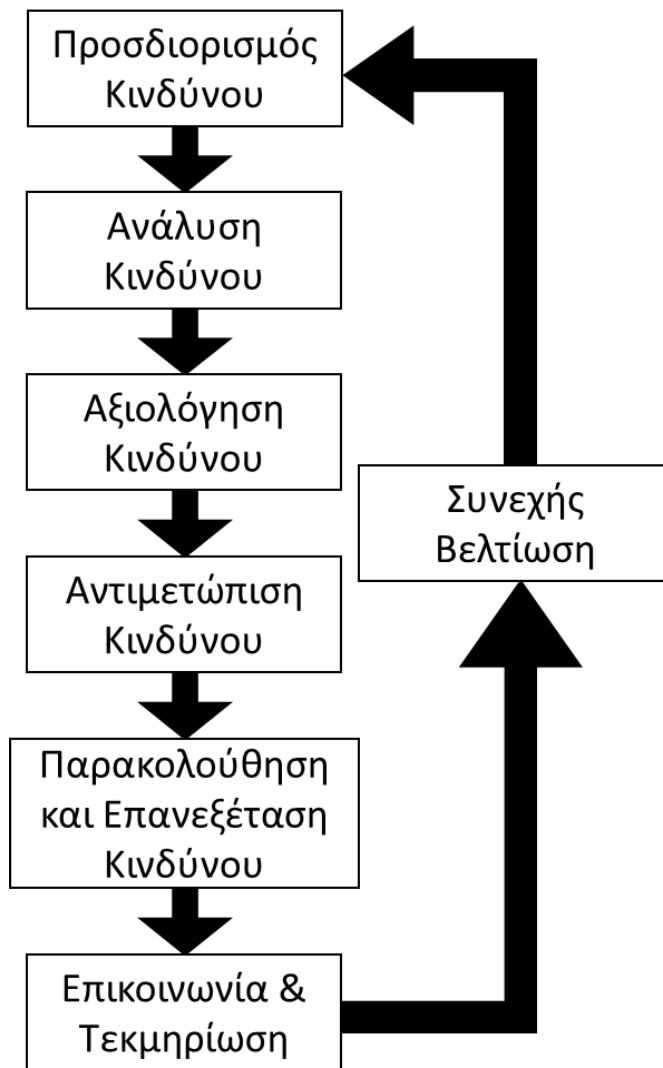
- Αποφυγή της απειλής κινδύνου: Στηρίζεται στην αποφυγή των δραστηριοτήτων που θα μπορούσαν να εκθέσουν στον κίνδυνο ή να δημιουργήσουν αρνητικές συνέπειες.

- Μείωση του αρνητικού αποτελέσματος ή της πιθανότητας εκδήλωσης του κινδύνου: Περιλαμβάνει μέτρα που στοχεύουν στη μείωση του αντίκτυπου ή της πιθανότητας εκδήλωσης του κινδύνου.
- Μεταφορά του κινδύνου: Απαιτεί τη μεταφορά ολόκληρου ή μέρους του κινδύνου σε άλλους φορείς ή πόρους, που μπορεί να τον διαχειριστούν καλύτερα.
- Διατήρηση των πιθανών ή πραγματικών συνεπειών: Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι εφικτό να διατηρηθούν ορισμένες ή όλες τις πιθανές ή πραγματικές συνέπειες της απειλής, ώστε να ανταποκριθούμε σε αυτήν με αποτελεσματικότητα.

Ειδικά στα νοσοκομεία που διαθέτουν Μονάδες Εντατικής Θεραπείας (Μ.Ε.Θ.), ο επιχειρησιακός σχεδιασμός αποτελεί απαραίτητο μέτρο. Ο εν λόγω σχεδιασμός αναλύει την εξέλιξη των παραγόντων που επηρεάζουν το περιβάλλον, εξετάζει την ιστορική πορεία και παρέχει κατευθυντήριες γραμμές προκειμένου να αντιμετωπιστούν με αποτελεσματικότητα όλοι οι πιθανοί κίνδυνοι που προκύπτουν. (Pinson, 2008)

Ως επαγγελματικός ρόλος, ένας διαχειριστής κινδύνου «θα επιβλέπει το ολοκληρωμένο πρόγραμμα ασφάλισης και διαχείρισης κινδύνου του οργανισμού, αξιολογώντας και εντοπίζοντας κινδύνους που θα μπορούσαν να εμποδίσουν την ασφάλεια στην μεταφορά των ασθενών» και στη συνέχεια θα αναπτύξει σχέδια για την ελαχιστοποίηση και/ ή να μετριάσει τυχόν αρνητικά αποτελέσματα. Οι αναλυτές κινδύνου υποστηρίζουν την τεχνική πλευρά της προσέγγισης διαχείρισης κινδύνου του οργανισμού: μόλις συγκεντρωθούν και αξιολογηθούν τα δεδομένα κινδύνου, οι αναλυτές μοιράζονται τα ευρήματά τους με τους διευθυντές τους, οι οποίοι χρησιμοποιούν αυτές τις γνώσεις για να αποφασίσουν μεταξύ των πιθανών λύσεων. (Dionne, 2013)

Η διαχείριση κινδύνου είναι μια ολοκληρωμένη διαδικασία που περιλαμβάνει τον εντοπισμό, την ανάλυση, την αξιολόγηση, τη θεραπεία και την παρακολούθηση των κινδύνων για την ελαχιστοποίηση των πιθανών αρνητικών επιπτώσεων και τη μεγιστοποίηση των ευκαιριών. (Harrington & Niehaus, 2003) Μια διαγραμματική παρουσίαση της διαδικασίας αυτής θα μπορούσε να είναι η ακόλουθη:



Εικόνα 9. Απεικόνιση μιας ολοκληρωμένης διαδικασίας Διαχείρισης Κινδύνου

Προσδιορισμός κινδύνου: Το πρώτο βήμα στη διαχείριση κινδύνου είναι ο εντοπισμός κινδύνων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν έναν οργανισμό, έργο ή δραστηριότητα. Αυτό περιλαμβάνει συστηματικό εντοπισμό πιθανών κινδύνων λαμβάνοντας υπόψη εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες, ιστορικά δεδομένα, βέλτιστες πρακτικές του κλάδου και τη συμβολή των ενδιαφερομένων. Διάφορες τεχνικές, όπως καταιγισμός ιδεών, λίστες ελέγχου, συνεντεύξεις και ανασκόπηση τεκμηρίωσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό των κινδύνων. Ο στόχος είναι να δημιουργηθεί μια ολοκληρωμένη απογραφή κινδύνων που θα μπορούσαν να έχουν αντίκτυπο στους στόχους. (Blanchard & Dionne, 2004)

Ανάλυση κινδύνου: Μόλις εντοπιστούν οι κίνδυνοι, πρέπει να αναλυθούν για να κατανοήσουμε τη φύση, τις αιτίες και τις πιθανές συνέπειές τους. Η ανάλυση κινδύνου

περιλαμβάνει την αξιολόγηση της πιθανότητας εμφάνισης κινδύνων και του πιθανού αντίκτυπου που μπορεί να έχουν στον οργανισμό ή το έργο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τεχνικές ποσοτικής και ποιοτικής ανάλυσης, όπως η εκτίμηση πιθανοτήτων κινδύνου και επιπτώσεων, η ανάλυση σεναρίων και η ανάλυση ευαισθησίας. Αυτό το βήμα βοηθά στην ιεράρχηση των κινδύνων με βάση τη σημασία τους, επιτρέποντας την αποτελεσματική κατανομή των πόρων για τον μετριασμό του κινδύνου.

Αξιολόγηση κινδύνου: Σε αυτό το βήμα, οι κίνδυνοι αξιολογούνται για να προσδιοριστεί η συνολική τους σημασία και να ιεραρχηθούν για περαιτέρω δράση. Η αξιολόγηση λαμβάνει υπόψη τόσο την πιθανότητα όσο και τον πιθανό αντίκτυπο των κινδύνων, λαμβάνοντας υπόψη τις ανοχές κινδύνου, τους οργανωτικούς στόχους, τις νομικές και κανονιστικές απαιτήσεις και τις προτιμήσεις των ενδιαφερομένων. Οι κίνδυνοι ταξινομούνται ως αποδεκτοί, ανεκτοί ή μη αποδεκτοί με βάση προκαθορισμένα κριτήρια. Το αποτέλεσμα της αξιολόγησης κινδύνου βοηθά τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να καθορίσουν το κατάλληλο επίπεδο προσοχής και πόρων που απαιτούνται για την αντιμετώπιση του κινδύνου.

Αντιμετώπιση κινδύνου: Η θεραπεία κινδύνου περιλαμβάνει την ανάπτυξη και την εφαρμογή στρατηγικών για την αντιμετώπιση των εντοπισμένων κινδύνων. Στόχος του είναι να μειώσει την πιθανότητα εμφάνισης κινδύνων, να ελαχιστοποιήσει τον πιθανό αντίκτυπό τους, να μεταφέρει τους κινδύνους σε άλλα μέρη ή να αποδεχτεί ορισμένους κινδύνους βάσει τεκμηριωμένης λήψης αποφάσεων. Οι επιλογές θεραπείας κινδύνου περιλαμβάνουν την αποφυγή κινδύνου, τον μετριασμό του κινδύνου μέσω μέτρων ελέγχου, τη μεταφορά κινδύνου μέσω ασφάλισης ή συμβολαίων και την αποδοχή κινδύνου με σχέδια έκτακτης ανάγκης. Οι επιλεγμένες στρατηγικές θεραπείας θα πρέπει να ευθυγραμμίζονται με την όρεξη για κινδύνους, τις εκτιμήσεις κόστους-οφέλους και τις νομικές και ηθικές υποχρεώσεις του οργανισμού.

Παρακολούθηση και επανεξέταση κινδύνου: Αφού αντιμετωπιστούν οι κίνδυνοι, απαιτείται συνεχής παρακολούθηση και επανεξέταση για να διασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα των μέτρων διαχείρισης κινδύνου και να εντοπιστούν τυχόν αναδυόμενοι κίνδυνοι ή αλλαγές στα επίπεδα κινδύνου. Η τακτική παρακολούθηση

περιλαμβάνει την παρακολούθηση της εφαρμογής των ενεργειών αντιμετώπισης του κινδύνου, την αξιολόγηση των υπολειπόμενων επιπέδων κινδύνου και την ενημέρωση των πληροφοριών κινδύνου καθώς γίνονται διαθέσιμα νέα δεδομένα. Οι αναθεωρήσεις μπορούν να πραγματοποιούνται περιοδικά ή να προκαλούνται από σημαντικές αλλαγές στο λειτουργικό περιβάλλον ή το πεδίο εφαρμογής του έργου. Η παρακολούθηση και η αναθεώρηση κινδύνου διασφαλίζουν ότι η διαχείριση κινδύνου παραμένει μια δυναμική και προσαρμοστική διαδικασία.

Επικοινωνία και τεκμηρίωση: Η αποτελεσματική επικοινωνία και τεκμηρίωση είναι ζωτικής σημασίας σε όλη τη διαδικασία διαχείρισης κινδύνου. Η σαφής και διαφανής επικοινωνία διασφαλίζει ότι οι ενδιαφερόμενοι γνωρίζουν τους κινδύνους, κατανοούν τις ευθύνες τους και μπορούν να συμβάλουν στις προσπάθειες διαχείρισης κινδύνου. Η τεκμηρίωση περιλαμβάνει μητρώα κινδύνου, εκθέσεις αξιολόγησης κινδύνου, σχέδια θεραπείας και αρχεία επικοινωνίας. Η κατάλληλη τεκμηρίωση επιτρέπει την ιχνηλασιμότητα, διευκολύνει τη μεταφορά γνώσης και παρέχει αναφορά για μελλοντικές δραστηριότητες διαχείρισης κινδύνου.

Συνεχής βελτίωση: Η διαχείριση κινδύνου είναι μια επαναληπτική διαδικασία που επωφελείται από τη συνεχή βελτίωση. Τα διδάγματα που αντλήθηκαν από προηγούμενες εμπειρίες, περιστατικά ή παρ' ολίγον ατυχήματα θα πρέπει να συλληφθούν, να αναλυθούν και να ενσωματωθούν σε μελλοντικές πρακτικές διαχείρισης κινδύνου. Οι βρόχοι ανατροφοδότησης και οι μηχανισμοί ανάδρασης δημιουργούνται για να ενθαρρύνουν την αναφορά κινδύνων και να προωθήσουν μια κουλτούρα μάθησης εντός του οργανισμού. Διενεργούνται τακτικές αξιολογήσεις της ίδιας της διαδικασίας διαχείρισης κινδύνου για τον εντοπισμό τομέων προς βελτίωση και τη διασφάλιση της ευθυγράμμισής της με τους εξελισσόμενους οργανωτικούς στόχους και τους εξωτερικούς παράγοντες.

Ακολουθώντας μια συστηματική και δομημένη διαδικασία διαχείρισης κινδύνου, οι οργανισμοί μπορούν να εντοπίζουν, να αναλύουν, να αξιολογούν, να αντιμετωπίζουν και να παρακολουθούν αποτελεσματικά τους κινδύνους. Αυτό τους δίνει τη δυνατότητα να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις, να προστατεύουν περιουσιακά στοιχεία και πόρους, να εκμεταλλεύονται ευκαιρίες και να βελτιώνουν τη συνολική απόδοση και ανθεκτικότητα.

Αξίζει να σημειωθεί πως η διαδικασία διαχείρισης κινδύνου μπορεί να διαφέρει ελαφρώς ανάλογα με τις συγκεκριμένες μεθοδολογίες, πλαίσια ή πρακτικές του κλάδου που χρησιμοποιούνται από διαφορετικούς οργανισμούς.

Επίσης είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε ότι η ασφάλεια των μεταφορών και η παραδοσιακή διαχείριση κινδύνου έχουν ένα κοινό στόχο: να μειώσουν την πιθανότητα και τις συνέπειες των καταστροφών προκειμένου να προστατεύσουν την ανθρώπινη υγεία, την ποιότητα ζωής και το περιβάλλον. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει η δυνατότητα να ενσωματωθούν οι πτυχές ασφάλειας σε ένα συνολικό πλαίσιο λήψης αποφάσεων που καθοδηγεί τον τρόπο αξιολόγησης των κινδύνων και τον τρόπο κατανομής πόρων, προκειμένου να παραχθεί η καλύτερη "απόδοση επενδύσεων". (Abkowitz, 2002)

Η διαχείριση κινδύνου έχει επικεντρωθεί σε δύο κύριες ανησυχίες, τις φυσικές και τις ανθρωπογενείς καταστροφές. Οι φυσικές καταστροφές περιλαμβάνουν μια ευρεία γκάμα συμβάντων, όπως πλημμύρες, σεισμούς, πυρκαγιές δασών, τυφώνες και κατολισθήσεις. (Λέκκας, 2000) Η κυρίαρχη στάση ήταν ότι αυτά τα γεγονότα είναι "ενέργειες του Θεού" και υπάρχουν περιορισμοί στο τι μπορεί να γίνει για να αποτραπεί η εμφάνισή τους. Συνεπώς, η πλειονότητα της προσοχής της διαχείρισης του κινδύνου σε αυτές τις περιπτώσεις έχει επικεντρωθεί στον περιορισμό των συνεπειών αυτών των περιστατικών όταν συμβούν.

Οι ανθρωπογενείς καταστροφές προκαλούν διαφορετικό πρόβλημα, τόσο ως προς την ανοχή στον κίνδυνο όσο και ως προς την προσοχή της διαχείρισης του κινδύνου. Είτε οφείλονται σε ανθρώπινο λάθος, κακό σχεδιασμό ή ελαττωματική τεχνολογία, οι ανθρωπογενείς καταστροφές σχετίζονται με την αποτυχία ενός ατόμου ή μιας οργάνωσης να λάβει τις κατάλληλες αποφάσεις που προστατεύουν επαρκώς την ανθρώπινη υγεία, την περιουσία και το περιβάλλον. Συνεπώς, η κοινωνική ανοχή στα γεγονότα ανθρωπογενών καταστροφών είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή για τις φυσικές καταστροφές και υπάρχει μεγαλύτερη δημόσια εποπτεία όσον αφορά τον τρόπο διαχείρισης αυτών των κινδύνων. Επιπλέον, δεδομένου ότι το γεγονός είναι ανθρωπογενές, η προσοχή και οι πόροι διαχείρισης κινδύνου αφιερώνονται τόσο στην πρόληψη του περιστατικού όσο και στην περίπτωση που συμβεί. (Abkowitz, 2002)

Οτιδήποτε και αν κάνουμε δυστυχώς πάντα θα έχουμε να αντιμετωπίσουμε το θέμα με τον περιορισμό των πόρων (π.χ., άνθρωποι, χρόνος, χρήμα) και θα εμποδίζουν την επίτευξη του στόχου μας για μία ασφαλή και έγκαιρη μεταφορά.

Επομένως, η διαδικασία διαχείρισης κινδύνου πρέπει να επικεντρωθεί στην προτεραιοποίηση των κινδύνων, καθιστώντας εκείνους που αποτελούν τη μεγαλύτερη ανησυχία το επίκεντρο βελτιωμένου ελέγχου.

Η προτεραιοποίηση και η υλοποίηση των κινδύνων είναι μια διαδικασία προσανατολισμένη στη διαδικασία, περιλαμβάνοντας τα εξής βήματα: 1) αναγνώριση κρίσιμων μεταφορικών εγκαταστάσεων, 2) πραγματοποίηση αξιολογήσεων κινδύνου, 3) ανάπτυξη στρατηγικών ελέγχου κινδύνου (πρόληψη και αποτροπή, προετοιμασία, ανταπόκριση, ανάκαμψη), 4) εφαρμογή στρατηγικών ελέγχου και 5) παρακολούθηση της απόδοσης.

Ενώ μπορεί να φαίνεται απλό στη θεωρία, η επιτυχής εφαρμογή αυτής της διαδικασίας στον τομέα των μεταφορών αποτελεί φιλόδοξο έργο. Η υποδομή μεταφορών της χώρας μας είναι μεγάλη και ποικίλη.

Αυτή η υποδομή, που υποστηρίζει τόσο τη μεταφορά επιβατών όσο και την εμπορευματική μεταφορά, περιλαμβάνει:

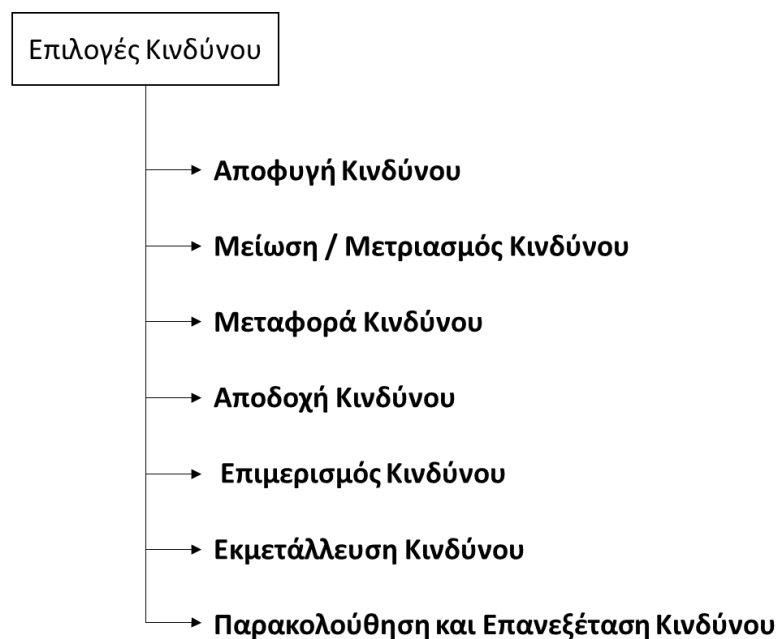
- Αυτοκινητόδρομους
- Αγωγούς
- Σιδηροδρόμους
- Ενδοπλοϊκά υδάτινα μονοπάτια
- Δίκτυα αεροπορικής μεταφοράς
- Σταθερές εγκαταστάσεις (κέντρα διαχείρισης κυκλοφορίας, τερματικοί σταθμοί, χώροι μεταφοράς και αποθήκευσης, περιοχές ανάπαυσης)
- "Οχήματα" που χρησιμοποιούν αυτές τις εγκαταστάσεις

Είτε πραγματοποιείται σε τοπικό, περιφερειακό ή εθνικό επίπεδο, θα είναι σημαντικό η διαδικασία προτεραιοποίησης του κινδύνου να είναι συμπερασματική, με τη συμμετοχή όλων των σχετικών μερών στην περιοχή ενδιαφέροντος. Αυτό θα βοηθήσει να διασφαλιστεί ότι όλα τα πιθανά σημεία ευπάθειας στις μεταφορές έχουν αναγνωριστεί και αξιολογηθεί στο προσωπικό της διαδικασίας.

Επίσης, η αυξανόμενη αβεβαιότητα απαιτεί από τους οργανισμούς να δαπανούν περισσότερους πόρους για να προβλέπουν τη ζήτηση, την προσφορά, καθώς και τις εσωτερικές αβεβαιότητες για την καλύτερη βιωσιμότητα της αλυσίδας εφοδιαστικής τους. Επομένως, πρέπει να αναπτυχθούν αποτελεσματικές στρατηγικές διαχείρισης κινδύνου για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων. (Pfohl, et al., 2010)

Αν το σκεφτούμε καλύτερα ακόμα και κατά την διάρκεια στρατιωτικών επιχειρήσεων, είναι αναγκαία η σχεδίαση βέλτιστων στρατηγικών για την ευέλικτη αντιμετώπιση του κινδύνου, όπως η σχεδίαση της βέλτιστης διαδρομής των όπλων ή των πολεμοφόδιων ως το πιο τυπικό παράδειγμα, όπως στον Πόλεμο του Κόλπου. (Shin, et al., 2012)

Κάτι άλλο που αξίζει να αναφερθεί στη διαχείριση του κινδύνου είναι οι επιλογές του κινδύνου που μπορούν να υιοθετηθούν από τους οργανισμούς για την αντιμετώπιση των εντοπισμένων κινδύνων. Σύμφωνα και με το παρακάτω σχήμα είναι οι ακόλουθες.



Εικόνα 10. Επιλογές Κινδύνου

Αποφυγή κινδύνου: Η αποφυγή κινδύνου περιλαμβάνει την εξάλειψη ή την αποφυγή δραστηριοτήτων ή καταστάσεων που δημιουργούν κινδύνους. Οι οργανισμοί μπορούν να επιλέξουν να αποφύγουν ορισμένους κινδύνους εντελώς, μη εμπλεκόμενοι σε δραστηριότητες που αποτελούν σημαντικές απειλές ή διακόπτοντας υπάρχουσες δραστηριότητες που συνδέονται με υψηλούς κινδύνους. Ενώ η αποφυγή κινδύνου μπορεί να είναι μια αποτελεσματική στρατηγική για κινδύνους υψηλού αντίκτυπου με σοβαρές συνέπειες, μπορεί επίσης να περιλαμβάνει προηγούμενες πιθανές ευκαιρίες.

Μείωση/Μετριασμός Κινδύνου: Η μείωση ή ο μετριασμός του κινδύνου στοχεύει στη μείωση της πιθανότητας ή του αντίκτυπου των εντοπισμένων κινδύνων. Οι οργανισμοί εφαρμόζουν μέτρα ελέγχου, διασφαλίσεις ή στρατηγικές μετριασμού για να ελαχιστοποιήσουν την πιθανότητα εμφάνισης κινδύνων ή να μειώσουν τις πιθανές συνέπειές τους. Οι στρατηγικές μείωσης του κινδύνου μπορεί να περιλαμβάνουν την εφαρμογή πρωτοκόλλων ασφαλείας, τη βελτίωση των μέτρων ασφαλείας, τη βελτίωση των επιχειρησιακών διαδικασιών, τη διεξαγωγή εκπαιδευτικών προγραμμάτων ή την εφαρμογή συστημάτων απολύσεων. Η μείωση του κινδύνου επιτρέπει στους οργανισμούς να διατηρήσουν τις δραστηριότητές τους μειώνοντας ταυτόχρονα τους σχετικούς κινδύνους σε ένα αποδεκτό επίπεδο. (Shashi, et al., 2019)

Μεταφορά κινδύνου: Η μεταφορά κινδύνου περιλαμβάνει τη μετατόπιση του οικονομικού ή λειτουργικού βάρους των κινδύνων σε άλλο μέρος. Οι οργανισμοί μπορούν να μεταφέρουν κινδύνους μέσω ασφαλιστηρίων συμβολαίων, συμβάσεων ή συμφωνιών με εξωτερικές οντότητες. Με τη μεταφορά κινδύνων, οι οργανισμοί μεταβιβάζουν την ευθύνη για τη διαχείριση των κινδύνων και των πιθανών οικονομικών ζημιών σε άλλο μέρος, όπως μια ασφαλιστική εταιρεία ή έναν συμβατικό εταίρο. Η μεταφορά κινδύνου μπορεί να προσφέρει οικονομική προστασία και τεχνογνωσία στη διαχείριση συγκεκριμένων κινδύνων, αλλά οι οργανισμοί πρέπει να αξιολογήσουν τη βιωσιμότητα και τη σχέση κόστους-αποτελεσματικότητας τέτοιων μεταφορών.

Αποδοχή κινδύνου: Η αποδοχή κινδύνου αναφέρεται στην αναγνώριση και συνειδητή απόφαση για ανοχή των κινδύνων χωρίς τη λήψη συγκεκριμένων μέτρων για τον μετριασμό ή τη μεταφορά τους. Οι οργανισμοί μπορούν να επιλέξουν να αποδεχτούν ορισμένους κινδύνους όταν το σχετικό κόστος ή οι προσπάθειες που απαιτούνται για τον μετριασμό ή τη μεταφορά υπερβαίνουν τα πιθανά οφέλη. Η αποδοχή κινδύνου χρησιμοποιείται συχνά για κινδύνους με χαμηλό αντίκτυπο ή πιθανότητα, κινδύνους που είναι εγγενείς στον κλάδο ή τη φύση του οργανισμού ή κινδύνους που είναι πέρα από τον έλεγχο του οργανισμού. (McGivern & Fischer, 2012)

Επιμερισμός κινδύνου: Ο επιμερισμός κινδύνου περιλαμβάνει τη συνεργασία με άλλα μέρη για την από κοινού διαχείριση και κατανομή των κινδύνων. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω συνεργασιών, συμμαχιών, κοινοπραξιών ή συμφωνιών επιμερισμού κινδύνου. Οι οργανισμοί συγκεντρώνουν τους πόρους, την τεχνογνωσία και τις δυνατότητές τους για να αντιμετωπίσουν τους κινδύνους συλλογικά, μειώνοντας την ατομική έκθεση και μοιράζοντας το κόστος και τις ευθύνες της διαχείρισης κινδύνου. Ο επιμερισμός κινδύνου μπορεί να είναι επωφελής σε καταστάσεις όπου οι κίνδυνοι είναι περίπλοκοι, διαδεδομένοι ή πέρα από τον έλεγχο ενός μεμονωμένου οργανισμού. (Cagliano, et al., 2011)

Εκμετάλλευση κινδύνου: Η εκμετάλλευση του κινδύνου περιλαμβάνει την ενεργό αναζήτηση και εκμετάλλευση ευκαιριών που ενσωματώνονται στους κινδύνους. Αντί να επικεντρώνονται αποκλειστικά στον μετριασμό του κινδύνου, οι οργανισμοί εντοπίζουν και εκμεταλλεύονται κινδύνους που προσφέρουν πιθανά οφέλη ή ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα. Η εκμετάλλευση του κινδύνου απαιτεί μια προορατική και καινοτόμο νοοτροπία για την αξιοποίηση ευνοϊκών αποτελεσμάτων ή μοναδικών περιστάσεων που σχετίζονται με συγκεκριμένους κινδύνους. Οι οργανισμοί αξιολογούν και βελτιστοποιούν τους κινδύνους για να επιτύχουν θετικά αποτελέσματα, όπως η επέκταση της αγοράς, η αυξημένη κερδοφορία ή τα στρατηγικά πλεονεκτήματα. (Shashi, et al., 2019)

Παρακολούθηση και επανεξέταση κινδύνων: Η παρακολούθηση και η αναθεώρηση κινδύνων περιλαμβάνουν συνεχή επιτήρηση και αξιολόγηση των εντοπισμένων κινδύνων για να διασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα και η συνάφειά τους με την πάροδο του χρόνου. Οι οργανισμοί καθιερώνουν συστήματα και διαδικασίες παρακολούθησης για την παρακολούθηση των αλλαγών στα επίπεδα κινδύνου, των αναδυόμενων κινδύνων και της αποτελεσματικότητας των μέτρων διαχείρισης κινδύνου. Οι τακτικές αναθεωρήσεις επιτρέπουν στους οργανισμούς να προσαρμόζουν και να προσαρμόζουν τις στρατηγικές διαχείρισης κινδύνου, διασφαλίζοντας ότι παραμένουν ευθυγραμμισμένες με τις εξελισσόμενες συνθήκες, στόχους και εξωτερικούς παράγοντες.

Εξετάζοντας και εφαρμόζοντας αυτές τις επιλογές κινδύνου, οι οργανισμοί μπορούν να αναπτύξουν μια ολοκληρωμένη στρατηγική διαχείρισης κινδύνου που

ευθυγραμμίζεται με τους στόχους και τις συγκεκριμένες περιστάσεις. Επιτρέπει στους οργανισμούς να αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά τους κινδύνους, να εκμεταλλεύονται ευκαιρίες και να ενισχύουν την ανθεκτικότητά τους απέναντι στην αβεβαιότητα. (Snedaker, 2014)

Η διαχείριση κινδύνου περιλαμβάνει διάφορους τομείς σε έναν οργανισμό όπου οι κίνδυνοι πρέπει να εντοπιστούν, να αξιολογηθούν και να διαχειριστούν αποτελεσματικά. Αυτός που μας ενδιαφέρει εμάς είναι η Διαχείριση Κινδύνου έργου.

Η διαχείριση κινδύνων έργου αφορά τον εντοπισμό, την αξιολόγηση και τη διαχείριση κινδύνων ειδικά για μεμονωμένα έργα. Αυτό περιλαμβάνει κινδύνους που σχετίζονται με το εύρος του έργου, το χρονοδιάγραμμα, τον προϋπολογισμό, τη διαθεσιμότητα πόρων, τις προσδοκίες των ενδιαφερόμενων μερών και τις τεχνικές αβεβαιότητες. Η διαχείριση κινδύνου έργου περιλαμβάνει τη διεξαγωγή αξιολογήσεων κινδύνου, την ανάπτυξη στρατηγικών μετριασμού του κινδύνου, την παρακολούθηση των κινδύνων του έργου και την εφαρμογή σχεδίων έκτακτης ανάγκης για τη διασφάλιση της επιτυχούς εκτέλεσης του έργου. Η αποτελεσματική διαχείριση κινδύνων έργου βοηθά τους οργανισμούς να παραδίδουν έργα εγκαίρως, εντός του προϋπολογισμού και σύμφωνα με τις προσδοκίες των ενδιαφερομένων. (Kanchu & Kumar, 2013)

Αυτοί οι τομείς διαχείρισης κινδύνου αντιπροσωπεύουν βασικούς τομείς όπου οι οργανισμοί πρέπει να εντοπίζουν, να αξιολογούν και να διαχειρίζονται προληπτικά τους κινδύνους για να προστατεύσουν τα συμφέροντά τους, να επιτύχουν τους στόχους τους και να βελτιώσουν τη συνολική απόδοση. Αντιμετωπίζοντας τους κινδύνους σε αυτούς τους τομείς, οι οργανισμοί μπορούν να βελτιώσουν την ανθεκτικότητά τους, να βελτιστοποιήσουν τη λήψη αποφάσεων και να εκμεταλλευτούν ευκαιρίες ενώ παράλληλα αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά τις αβεβαιότητες.

Για ότι αφορά τώρα την διαχείριση κινδύνου στον τομέα της υγείας, θα μπορούσαμε να πούμε πως έχουμε κάποια βασικά στοιχεία και διαδικασίες αλλά εμείς θα επικεντρωθούμε κυρίως στη διαχείριση λειτουργικού κινδύνου.

Η διαχείριση λειτουργικού κινδύνου στον τομέα της υγείας περιλαμβάνει τον εντοπισμό και τη διαχείριση κινδύνων που σχετίζονται με λειτουργικές διαδικασίες και συστήματα. Περιλαμβάνει την αξιολόγηση κινδύνων που σχετίζονται με τη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας, την αστοχία εξοπλισμού, τις τεχνολογικές διακοπές, τους ανθρώπινους πόρους και την ετοιμότητα έκτακτης ανάγκης. Η διαχείριση

λειτουργικού κινδύνου στοχεύει στη διασφάλιση αποτελεσματικών λειτουργιών, στην ελαχιστοποίηση των διαταραχών και στη διατήρηση της συνέχειας της παροχής φροντίδας. (Bracci, et al., 2021) (Oakman, et al., 2014) (World Health Organization, 2007).

Αυτοί οι τομείς διαχείρισης κινδύνου στον τομέα της υγείας είναι αλληλένδετοι και απαιτούν μια ολοκληρωμένη προσέγγιση για τον αποτελεσματικό εντοπισμό, αξιολόγηση και διαχείριση των κινδύνων. Αντιμετωπίζοντας τους κινδύνους, οι οργανισμοί υγειονομικής περίθαλψης μπορούν να δρουν αποτελεσματικότερα στο θέμα διαχείρισης των πόρων τους. (Cagliano, et al., 2011)

1.5 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

Η διαχείριση πόρων διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην επιτυχία και τη βιωσιμότητα των οργανισμών σε διάφορους κλάδους. Περιλαμβάνει την αποτελεσματική κατανομή, τη χρήση και τη βελτιστοποίηση μη ανθρώπινων πόρων, οι οποίοι είναι κρίσιμοι για την επίτευξη λειτουργικής αποτελεσματικότητας, τη μείωση του κόστους και τη μεγιστοποίηση της παραγωγικότητας. Ενώ οι ανθρώπινοι πόροι είναι αναμφίβολα σημαντικοί, αυτή η ανάλυση εστιάζει κυρίως στη διαχείριση του χρηματοοικονομικού κεφαλαίου, των φυσικών περιουσιακών στοιχείων, της τεχνολογίας και των φυσικών πόρων. (Gadgil & Berkes, 1991)

Η διαχείριση των πόρων ορίζεται ως η συστηματική προσέγγιση για τον σχεδιασμό, την οργάνωση και τον έλεγχο των μη ανθρώπινων πόρων με σκοπό την επίτευξη των οργανωτικών στόχων. Περιλαμβάνει τη στρατηγική καθορισμό, την απόκτηση, τη διανομή και τη χρήση των πόρων με σκοπό τη διασφάλιση της βέλτιστης ανάπτυξής τους σε όλο τον οργανισμό. Μέσω της αποτελεσματικής διαχείρισης αυτών των πόρων, οι οργανισμοί μπορούν να αποκτήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, να ενισχύσουν τις δυνατότητές τους και να οδηγήσουν σε βιώσιμη ανάπτυξη. (Wood, 1999)

Η σημασία της διαχείρισης των πόρων δεν μπορεί να υπερεκτιμηθεί. Στο σημερινό δυναμικό και γρήγορο επιχειρηματικό περιβάλλον, οι οργανισμοί αντιμετωπίζουν πολλές προκλήσεις, όπως η έλλειψη πόρων, ο αυξημένος ανταγωνισμός και οι

εξελισσόμενες απαιτήσεις των πελατών. Για την επιτυχή πλοήγηση σε αυτές τις προκλήσεις, η διαχείριση πόρων γίνεται μια κρίσιμη ικανότητα. Επιτρέπει στους οργανισμούς να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τη χρήση των πόρων, να μετριάζουν τους κινδύνους και να εκμεταλλεύονται ευκαιρίες.

Είναι απαραίτητο να γίνει διάκριση μεταξύ ανθρώπινων και μη ανθρώπινων πόρων. Ενώ οι ανθρώπινοι πόροι είναι τα άτομα που συνεισφέρουν τις δεξιότητες, τις γνώσεις και την τεχνογνωσία τους σε έναν οργανισμό, οι μη ανθρώπινοι πόροι αναφέρονται σε υλικά και άυλα περιουσιακά στοιχεία που επιτρέπουν τις λειτουργίες. Οι μη ανθρώπινοι πόροι περιλαμβάνουν χρηματοοικονομικό κεφάλαιο, φυσικά περιουσιακά στοιχεία όπως κτίρια, μηχανήματα και υποδομές, τεχνολογικούς πόρους όπως λογισμικό και υλικό, φυσικούς πόρους όπως γη, νερό και πρώτες ύλες και πνευματική ιδιοκτησία. (Czajkowski, et al., 1998)

Η διαχείριση πόρων περιλαμβάνει ένα σύνολο αρχών που καθοδηγούν την αποτελεσματική διαχείριση των μη ανθρώπινων πόρων. Αυτές οι αρχές περιλαμβάνουν σχεδιασμό και πρόβλεψη για την πρόβλεψη των αναγκών πόρων, απόκτηση και προμήθεια για την απόκτηση των απαραίτητων πόρων, κατανομή και χρήση για να διασφαλιστεί ότι οι πόροι χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά, παρακολούθηση και αξιολόγηση για την παρακολούθηση της απόδοσης των πόρων και βελτιστοποίηση και αποτελεσματικότητα για τη μεγιστοποίηση της χρήσης των πόρων.

Για να επιτευχθεί αποτελεσματική διαχείριση των πόρων, οι οργανισμοί πρέπει να αναπτύξουν και να εφαρμόσουν κατάλληλες στρατηγικές. Αυτές οι στρατηγικές περιλαμβάνουν διαχείριση κινδύνου και σχεδιασμό έκτακτης ανάγκης για τον μετριασμό πιθανών διαταραχών, διαχείριση κύκλου ζωής περιουσιακών στοιχείων για βελτιστοποίηση της διάρκειας ζωής των πόρων, εξωτερική ανάθεση και συνεργασία για τη μόχλευση εξωτερικής τεχνογνωσίας και πόρων, ενοποίηση τεχνολογίας και αυτοματοποίηση για τον εξορθολογισμό των διαδικασιών και βιώσιμη διαχείριση πόρων για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και υποστήριξη της μακροπρόθεσμης βιωσιμότητας. (Czajkowski, et al., 1998)

Ωστόσο, η διαχείριση των πόρων παρουσιάζει επίσης αρκετές προκλήσεις. Οι οργανισμοί συχνά αντιμετωπίζουν περιορισμένη διαθεσιμότητα πόρων λόγω της αυξανόμενης ζήτησης και της σπανιότητας. Η αβεβαιότητα και η αστάθεια στις αγορές και τις βιομηχανίες μπορεί να περιπλέξουν περαιτέρω τις προσπάθειες διαχείρισης πόρων. Οι ανταγωνιστικές απαιτήσεις πόρων από διαφορετικά τμήματα ή

έργα ενδέχεται να απαιτούν προσεκτική ιεράρχηση προτεραιοτήτων και εξισορρόπηση. Η αναποτελεσματική χρήση των πόρων μπορεί να οδηγήσει σε σπατάλη και περιττό κόστος. Επιπλέον, οι κανονιστικοί και περιβαλλοντικοί περιορισμοί απαιτούν συμμόρφωση και βιώσιμες πρακτικές. (Gadgil & Berkes, 1991)

Η διαχείριση των πόρων διασταυρώνεται επίσης με την ευρύτερη έννοια της βιωσιμότητας. Οι οργανισμοί αναγνωρίζουν όλο και περισσότερο την ανάγκη να ενσωματώσουν βιώσιμες πρακτικές στις στρατηγικές διαχείρισης πόρων τους. Αυτό περιλαμβάνει υπεύθυνη εξόρυξη και κατανάλωση πόρων, υιοθέτηση ανανεώσιμων και καθαρών πηγών ενέργειας, αποτελεσματική διαχείριση και ανακύκλωση απορριμμάτων, διενέργεια αξιολογήσεων περιβαλλοντικών επιπτώσεων και υιοθέτηση πρωτοβουλιών εταιρικής κοινωνικής ευθύνης. (Wood, 1999)

Οι τεχνολογικές εξελίξεις διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στη διαχείριση των πόρων. Διάφορα εργαλεία και τεχνολογίες έχουν προκύψει για να βοηθήσουν τους οργανισμούς να διαχειρίζονται αποτελεσματικά τους μη ανθρώπινους πόρους τους. Αυτά περιλαμβάνουν συστήματα Enterprise Resource Planning (ERP), λογισμικό Supply Chain Management (SCM), συστήματα παρακολούθησης και συντήρησης περιουσιακών στοιχείων, εργαλεία βελτιστοποίησης και προγραμματισμού πόρων, καθώς και πλατφόρμες ανάλυσης δεδομένων και προγνωστικής μοντελοποίησης. Η αξιοποίηση αυτών των εργαλείων μπορεί να βελτιώσει τη λήψη αποφάσεων, να εξορθολογήσει τις διαδικασίες και να βελτιώσει τη χρήση των πόρων. (Stone & Deadrick, 2015)

Η διαχείριση πόρων περιλαμβάνει την αποτελεσματική διαχείριση διαφόρων τύπων μη ανθρώπινων πόρων που είναι ζωτικής σημασίας για τις λειτουργίες του οργανισμού. Η κατανόηση των διαφορετικών κατηγοριών μη ανθρώπινων πόρων είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη κατάλληλων στρατηγικών διαχείρισης και τη βελτιστοποίηση της αξιοποίησής τους. Οι βασικοί τύποι μη ανθρώπινου δυναμικού είναι οι χρηματοοικονομικοί πόροι, οι τεχνολογικοί πόροι, οι φυσικοί πόροι, η πνευματική ιδιοκτησία και τέλος τα φυσικά περιουσιακά στοιχεία (Sohail, et al., 2021),

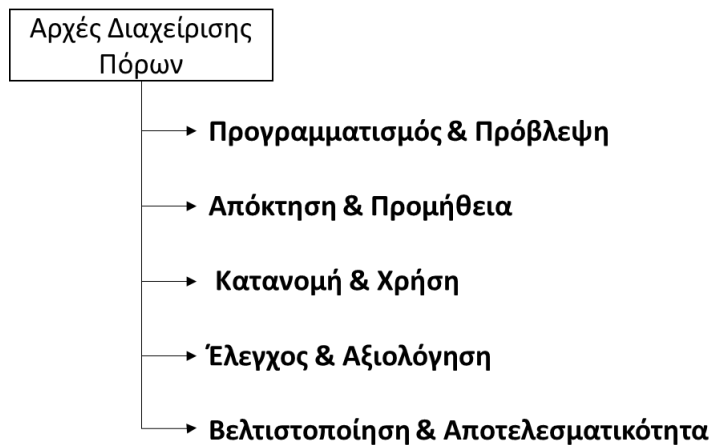
Τα φυσικά περιουσιακά στοιχεία είναι αυτά που μας ενδιαφέρουν πιο πολύ και αναφέρονται σε υλικούς πόρους που κατέχουν ή χρησιμοποιούν οι οργανισμοί για να πραγματοποιήσουν τις δραστηριότητές τους. Αυτά περιλαμβάνουν κτίρια, μηχανήματα, εξοπλισμό, οχήματα, γη και άλλες φυσικές υποδομές. Η διαχείριση των φυσικών περιουσιακών στοιχείων περιλαμβάνει την απόκτηση, τη συντήρηση, την απόσβεση και τη διάθεση περιουσιακών στοιχείων. Η αποτελεσματική διαχείριση

περιουσιακών στοιχείων διασφαλίζει τη διαθεσιμότητα, την αξιοπιστία και τη μακροζωία αυτών των πόρων, ελαχιστοποιώντας το χρόνο διακοπής λειτουργίας, μεγιστοποιώντας την παραγωγικότητα και βελτιστοποιώντας το κόστος του κύκλου ζωής τους. (Gabriel, 2014) (Mantello, et al., 2021)

Κάθε τύπος μη ανθρώπινου δυναμικού παρουσιάζει μοναδικές προκλήσεις και ευκαιρίες για τη διαχείριση των πόρων. Οι οργανισμοί πρέπει να αξιολογούν τις ανάγκες τους σε πόρους, να δίνουν προτεραιότητα στις επενδύσεις, να κατανέμουν αποτελεσματικά τους πόρους και να παρακολουθούν τη χρήση τους για να επιτύχουν τα βέλτιστα αποτελέσματα. Οι ολοκληρωμένες στρατηγικές διαχείρισης πόρων που λαμβάνουν υπόψη τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ διαφορετικών τύπων πόρων μπορούν να οδηγήσουν σε βελτιωμένη λειτουργική αποτελεσματικότητα, μείωση κόστους και βιώσιμη ανάπτυξη.

Με την κατανόηση και την αποτελεσματική διαχείριση των διαφορετικών τύπων μη ανθρώπινων πόρων που διατίθενται σε οργανισμούς, οι διαχειριστές πόρων μπορούν να ευθυγραμμίσουν την κατανομή των πόρων με στρατηγικούς στόχους, να βελτιστοποιήσουν τη χρήση των πόρων, να μετριάσουν τους κινδύνους και να καλλιεργήσουν μια κουλτούρα βιωσιμότητας και καινοτομίας. (Gadgil & Berkes, 1991)

Η διαχείριση των πόρων καθοδηγείται από ένα σύνολο αρχών που χρησιμεύουν ως θεμελιώδεις κατευθυντήριες γραμμές για την αποτελεσματική διαχείριση των μη ανθρώπινων πόρων. Αυτές οι αρχές παρέχουν ένα πλαίσιο για τους οργανισμούς να σχεδιάζουν, να αποκτούν, να κατανέμουν, να παρακολουθούν και να βελτιστοποιούν τους πόρους τους. Η κατανόηση και η εφαρμογή αυτών των αρχών μπορεί να βοηθήσει τους οργανισμούς να μεγιστοποιήσουν τη χρήση των πόρων, να ελαχιστοποιήσουν το κόστος και να επιτύχουν τους στρατηγικούς τους στόχους. (Snell & Bohlander, 2010) Οι βασικές αρχές της διαχείρισης πόρων είναι σύμφωνα και με το παρακάτω σχήμα οι ακόλουθες.



Εικόνα 11. Αρχές Διαχείρισης Πόρων

Προγραμματισμός και πρόβλεψη: Οι οργανισμοί πρέπει να αξιολογούν τις τρέχουσες και μελλοντικές τους ανάγκες σε πόρους με βάση τους στρατηγικούς τους στόχους και τις επιχειρησιακές τους απαιτήσεις. Αυτό περιλαμβάνει την ανάλυση ιστορικών δεδομένων, τάσεων της αγοράς και προβλέψεων ζήτησης για την πρόβλεψη των απαιτήσεων πόρων. Με τον προληπτικό σχεδιασμό και την πρόβλεψη, οι οργανισμοί μπορούν να αποφύγουν τις ελλείψεις πόρων, να λάβουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να βελτιστοποιήσουν την κατανομή των πόρων τους. (Branine & Pollard, 2010)

Απόκτηση και προμήθεια: Η απόκτηση των απαραίτητων πόρων με έγκαιρο και οικονομικά αποδοτικό τρόπο είναι απαραίτητη για τη διαχείριση των πόρων. Αυτή η αρχή περιλαμβάνει την επιλογή κατάλληλων προμηθευτών, τη διαπραγμάτευση συμβάσεων και τη διασφάλιση της ποιότητας και της αξιοπιστίας των αποκτηθέντων πόρων. Οι οργανισμοί πρέπει να λάβουν υπόψη παράγοντες όπως η τιμολόγηση, τα χρονοδιαγράμματα παράδοσης, η αξιοπιστία του προμηθευτή και οι συμβατικοί όροι για να βελτιστοποιήσουν την απόκτηση πόρων. Οι αποτελεσματικές στρατηγικές προμηθειών μπορούν να βοηθήσουν τους οργανισμούς να εξασφαλίσουν τους σωστούς πόρους τη σωστή στιγμή, να ελαχιστοποιήσουν το κόστος προμήθειας και να δημιουργήσουν ισχυρές σχέσεις με τους προμηθευτές. (Sterrer, 1993)

Κατανομή και χρήση: Η κατανομή πόρων περιλαμβάνει την ανάθεση πόρων σε διαφορετικές δραστηριότητες, τμήματα ή έργα με βάση την προτεραιότητα και τη ζήτηση. Απαιτεί την εξισορρόπηση της διαθεσιμότητας πόρων με τη ζήτηση πόρων για να διασφαλιστεί η αποτελεσματική χρήση. Η αποτελεσματική κατανομή περιλαμβάνει την εξέταση παραγόντων όπως η ικανότητα πόρων, οι απαιτήσεις

δεξιοτήτων και τα χρονοδιαγράμματα του έργου. Η παρακολούθηση της χρήσης των πόρων καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους είναι ζωτικής σημασίας για τον εντοπισμό σημείων συμφόρησης, τη βελτιστοποίηση της παραγωγικότητας και την ανακατανομή των πόρων όταν είναι απαραίτητο. Οι οργανισμοί θα πρέπει να επιδιώκουν τη βέλτιστη χρήση των πόρων για την ελαχιστοποίηση της σπατάλης, τη μεγιστοποίηση της απόδοσης και την επίτευξη επιχειρησιακών στόχων. (Snell & Bohlander, 2010)

Έλεγχος και αξιολόγηση: Η συνεχής παρακολούθηση και αξιολόγηση της απόδοσης των πόρων είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική διαχείριση των πόρων. Αυτή η αρχή περιλαμβάνει την παρακολούθηση της χρήσης πόρων, του κόστους και των μετρήσεων απόδοσης. Με την εφαρμογή συστημάτων παρακολούθησης και δεικτών απόδοσης, οι οργανισμοί μπορούν να εντοπίσουν αναποτελεσματικότητα, να εντοπίσουν πιθανά ζητήματα και να λάβουν αποφάσεις βάσει δεδομένων. Η τακτική αξιολόγηση βοηθά στον εντοπισμό περιοχών για βελτίωση, στη βελτιστοποίηση της κατανομής των πόρων και στην ευθυγράμμιση των πόρων με τις στρατηγικές προτεραιότητες. Επιτρέπει στους οργανισμούς να διαχειρίζονται προληπτικά τους κινδύνους που σχετίζονται με τους πόρους και να προσαρμόζουν τις στρατηγικές διαχείρισης πόρων τους όπως απαιτείται. (Vlad, 2016)

Βελτιστοποίηση και αποτελεσματικότητα: Η βελτιστοποίηση και η αποδοτικότητα των πόρων στοχεύουν στην επίτευξη της μέγιστης απόδοσης με την ελάχιστη είσοδο. Αυτή η αρχή περιλαμβάνει τον εντοπισμό ευκαιριών για τον εξορθολογισμό των διαδικασιών, την εξάλειψη των αποβλήτων και την ενίσχυση της παραγωγικότητας των πόρων. Οι οργανισμοί μπορούν να χρησιμοποιήσουν τεχνικές όπως η αυτοματοποίηση διαδικασιών, οι λιτές αρχές και οι μεθοδολογίες συνεχούς βελτίωσης για τη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων. Βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα, οι οργανισμοί μπορούν να μειώσουν το κόστος, να βελτιώσουν την ποιότητα και να αυξήσουν την παραγωγικότητα, μεγιστοποιώντας έτσι την αξία που προκύπτει από τους πόρους τους. (Sterrer, 1993)

Η εφαρμογή αυτών των αρχών απαιτεί μια συστηματική και στρατηγική προσέγγιση στη διαχείριση των πόρων. Οι οργανισμοί θα πρέπει να θεσπίσουν σαφείς πολιτικές διαχείρισης πόρων, διαδικασίες και πλαίσια διακυβέρνησης για να διασφαλίζουν τη συνέπεια και τη λογοδοσία. Επιπλέον, η αξιοποίηση τεχνολογικών

λύσεων όπως το λογισμικό διαχείρισης πόρων, τα εργαλεία ανάλυσης και η λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων μπορεί να βελτιώσει την εφαρμογή αυτών των αρχών.

Με την τήρηση των αρχών της διαχείρισης πόρων, οι οργανισμοί μπορούν αποτελεσματικά να σχεδιάζουν, να αποκτούν, να κατανέμουν, να παρακολουθούν και να βελτιστοποιούν τους μη ανθρώπινους πόρους τους. Αυτό ενισχύει τη λειτουργική αποτελεσματικότητα, τη μείωση του κόστους και επιτρέπει στους οργανισμούς να επιτύχουν τους στρατηγικούς τους στόχους. Η εφαρμογή αυτών των αρχών υποστηρίζει την τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων, μετριάξει τους κινδύνους που σχετίζονται με τους πόρους και προωθεί πρακτικές βιώσιμης διαχείρισης πόρων. (Snell & Bohlander, 2010)

Η αποτελεσματική διαχείριση πόρων απαιτεί την εφαρμογή καλά καθορισμένων στρατηγικών που ευθυγραμμίζονται με τους στόχους ενός οργανισμού και βελτιστοποιούν τη χρήση των μη ανθρώπινων πόρων. Αυτές οι στρατηγικές περιλαμβάνουν διάφορες προσεγγίσεις για τον μετριασμό των κινδύνων, τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας και τη μεγιστοποίηση της αξίας που προκύπτει από τους πόρους. Χρησιμοποιώντας αυτές τις στρατηγικές, οι οργανισμοί μπορούν να βελτιώσουν την κατανομή των πόρων, να εξορθολογήσουν τις διαδικασίες και να οδηγήσουν σε βιώσιμη ανάπτυξη. Οι βασικές στρατηγικές για την αποτελεσματική διαχείριση των πόρων είναι η διαχείριση κύκλου ζωής των περιουσιακών στοιχείων, η εξωτερική ανάθεση και συνεργασία, η τεχνολογική ολοκλήρωση και αυτοματισμός, η βιώσιμη διαχείριση πόρων και η διαχείριση κινδύνων και σχεδιασμός έκτακτης ανάγκης (Sterrer, 1993) (Branine & Pollard, 2010)

Εμάς μας ενδιαφέρει πιο πολύ η διαχείριση κινδύνων και σχεδιασμός έκτακτης ανάγκης αφού μιλάμε για φυσικές καταστροφές. Η διαχείριση κινδύνου είναι μια κρίσιμη στρατηγική για τη διαχείριση των πόρων. Περιλαμβάνει τον εντοπισμό πιθανών κινδύνων και την ανάπτυξη προληπτικών μέτρων για τον μετριασμό των επιπτώσεών τους στους πόρους. Οι οργανισμοί θα πρέπει να διενεργούν αξιολογήσεις κινδύνου για τον εντοπισμό τρωτών σημείων, την εφαρμογή μέτρων ελέγχου κινδύνου και την κατάρτιση σχεδίων έκτακτης ανάγκης. Με την πρόβλεψη και τη διαχείριση των κινδύνων, οι οργανισμοί μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τις διακοπές, να προστατεύσουν τους πόρους και να εξασφαλίσουν τη συνέχεια της επιχείρησης. (Czajkowski, et al., 1998) (Snell & Bohlander, 2010)

Οι αποτελεσματικές στρατηγικές διαχείρισης πόρων απαιτούν μια ολιστική και ολοκληρωμένη προσέγγιση. Οι οργανισμοί θα πρέπει να αξιολογούν τις

συγκεκριμένες ανάγκες τους, να ευθυγραμμίζουν τις στρατηγικές διαχείρισης πόρων με τους γενικούς επιχειρηματικούς στόχους και να αξιολογούν και να προσαρμόζουν συνεχώς αυτές τις στρατηγικές στις μεταβαλλόμενες συνθήκες. Η υιοθέτηση μιας κουλτούρας καινοτομίας, συνεργασίας και συνεχούς βελτίωσης υποστηρίζει την εφαρμογή στρατηγικών διαχείρισης πόρων. (Lee, et al., 2010)

Αξίζει να σημειωθεί ότι καμία στρατηγική δεν ταιριάζει σε όλους τους οργανισμούς και μπορεί να απαιτείται συνδυασμός στρατηγικών με βάση τη βιομηχανία, το μέγεθος του οργανισμού και τα χαρακτηριστικά των πόρων. Οι οργανισμοί θα πρέπει να παρακολουθούν και να αξιολογούν τακτικά την αποτελεσματικότητα των επιλεγμένων στρατηγικών τους, κάνοντας προσαρμογές όπως απαιτείται για τη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων, τον μετριασμό των κινδύνων και τη βελτίωση της λειτουργικής αποτελεσματικότητας. (Lee, et al., 2010)

Με την εφαρμογή αυτών των στρατηγικών, οι οργανισμοί μπορούν να επιτύχουν καλύτερη κατανομή πόρων, να βελτιστοποιήσουν τις διαδικασίες, να μειώσουν το κόστος και να αποκτήσουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα στην αγορά. Οι αποτελεσματικές στρατηγικές διαχείρισης πόρων συμβάλλουν στην οργανωτική ανθεκτικότητα, την κερδοφορία και τη βιωσιμότητα σε ένα ταχέως εξελισσόμενο επιχειρηματικό τοπίο. (Snell & Bohlander, 2010) (Buller & McEnoy, 2012)

Ενώ η αποτελεσματική διαχείριση πόρων προσφέρει πολυάριθμα οφέλη, οι οργανισμοί συχνά αντιμετωπίζουν αρκετές προκλήσεις που μπορεί να εμποδίσουν την ικανότητά τους να βελτιστοποιήσουν τη χρήση μη ανθρώπινων πόρων. Η κατανόηση αυτών των προκλήσεων είναι ζωτικής σημασίας για τους διαχειριστές πόρων να αναπτύξουν στρατηγικές και να ξεπεράσουν τα εμπόδια. (Stone & Deadrick, 2015) Οι βασικές προκλήσεις στη διαχείριση πόρων είναι η δίκαιη κατανομή των πόρων, οι ρυθμιστικοί και περιβαλλοντικοί περιορισμοί, η περιορισμένη ορατότητα και ο συντονισμός μεταξύ των τμημάτων, η αντίσταση στην αλλαγή, οι τεχνολογικές πολυπλοκότητες, κ.α. (Litke, et al., 2004)

Στην δική μας περίπτωση όμως οι μεγαλύτερες προκλήσεις που θα μπορούσαμε να συναντήσουμε είναι η έλλειψη πόρων, η αβεβαιότητα και αστάθεια και τέλος η πιθανή αναποτελεσματική χρήση των διαθέσιμων πόρων. (Stone & Deadrick, 2015) Για να αναλύσουμε λίγο αυτά τα τρία θα μπορούσαμε να πούμε τα ακόλουθα.

- Έλλειψη πόρων και ανταγωνισμός: Οι οργανισμοί ενδέχεται να αντιμετωπίσουν περιορισμένη διαθεσιμότητα ή αυξανόμενο κόστος κρίσιμων πόρων, όπως πρώτες ύλες, ενέργεια ή εξειδικευμένο εργατικό

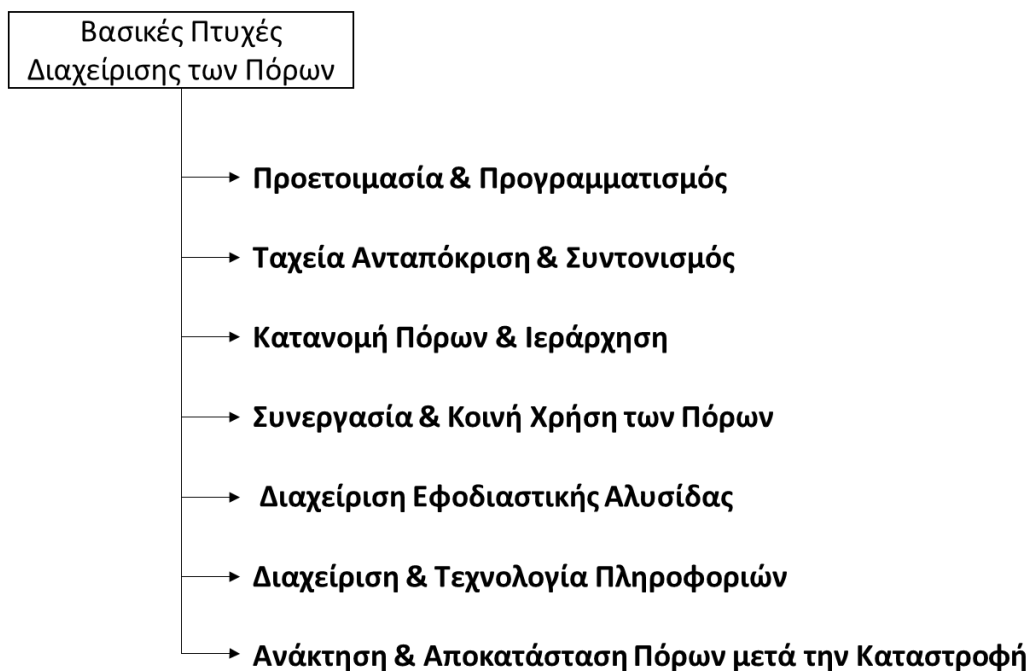
δυναμικό. Ο ανταγωνισμός για πόρους μεταξύ διαφορετικών έργων ή τμημάτων ενός οργανισμού μπορεί να επιδεινώσει περαιτέρω την πρόκληση της σπανιότητας. Οι διαχειριστές πόρων πρέπει να αντιμετωπίσουν αυτούς τους περιορισμούς δίνοντας προτεραιότητα στην κατανομή πόρων, διερευνώντας εναλλακτικές επιλογές προμήθειας και ενισχύοντας τη συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερομένων. (Litke, et al., 2004)

- Αβεβαιότητα και αστάθεια: Τα γρήγορα μεταβαλλόμενα περιβάλλοντα και οι εξελισσόμενες απαιτήσεις των πολιτών καθιστούν δύσκολη την ακριβή πρόβλεψη των αναγκών σε πόρους. Οι διαχειριστές πόρων πρέπει να προσαρμόζονται στις δυναμικές συνθήκες, να παρακολουθούν συνεχώς τις τάσεις της αγοράς και να χρησιμοποιούν τεχνικές σχεδιασμού σεναρίων για να μετριάσουν τους κινδύνους που συνδέονται με την αβεβαιότητα και την αστάθεια. (Brewster, et al., 2016)
- Αναποτελεσματική χρήση πόρων: Η αναποτελεσματική χρήση των πόρων μπορεί να οδηγήσει σε σπατάλη, αυξημένο κόστος και μειωμένη παραγωγικότητα. Ο κακός σχεδιασμός, οι ανεπαρκείς μηχανισμοί παρακολούθησης και η μη βέλτιστη κατανομή πόρων μπορούν να συμβάλουν σε αναποτελεσματικότητα. Οι διαχειριστές πόρων πρέπει να παρακολουθούν τη χρήση των πόρων, να εντοπίζουν ανεπάρκειες και να εφαρμόζουν στρατηγικές για τη βελτίωση της παραγωγικότητας, όπως βελτιστοποίηση διαδικασιών, προγράμματα κατάρτισης και υιοθέτηση τεχνολογίας. (Jennings & Stadler, 2015)

Η υπέρβαση αυτών των προκλήσεων απαιτεί μια προορατική και στρατηγική προσέγγιση στη διαχείριση των πόρων. Με την αποτελεσματική αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, οι οργανισμοί μπορούν να βελτιστοποιήσουν τη χρήση των πόρων και να μειώσουν το κόστος (είτε χρονικό είτε οικονομικό). (Stone & Deadrick, 2015)

1.6. ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΠΟΡΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ

Οι φυσικές καταστροφές όπως οι σεισμοί, οι τυφώνες, οι πλημμύρες, οι πυρκαγιές και τα τσουνάμι παρουσιάζουν μοναδικές προκλήσεις για τη διαχείριση των πόρων. Αυτά τα καταστροφικά γεγονότα μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικές ζημιές, διαταραχές και απώλεια ζωών, απαιτώντας αποτελεσματική και στρατηγική κατανομή μη ανθρωπίνων πόρων. (Λέκκας, 2000) Η αποτελεσματική διαχείριση των πόρων για την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών περιλαμβάνει πολλές βασικές εκτιμήσεις και στρατηγικές. Η ακόλουθη ανάλυση υπογραμμίζει τις βασικές πτυχές της διαχείρισης των πόρων στο πλαίσιο των φυσικών καταστροφών σύμφωνα και με το ακόλουθο σχήμα.



Εικόνα 12. Βασικές Πτυχές της Διαχείρισης των Πόρων

Προετοιμασία και προγραμματισμός:

Η ετοιμότητα είναι ζωτικής σημασίας για τον μετριασμό των επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών. Οι στρατηγικές διαχείρισης πόρων θα πρέπει να περιλαμβάνουν ολοκληρωμένα σχέδια ετοιμότητας για καταστροφές που περιγράφουν τις απαιτήσεις πόρων, τις διαδικασίες εκκένωσης και τα πρωτόκολλα απόκρισης. Αυτό περιλαμβάνει τη διεξαγωγή αξιολογήσεων κινδύνου, τον εντοπισμό

κρίσιμων πόρων και τη δημιουργία αποθεμάτων βασικών προμηθειών όπως τρόφιμα, νερό, ιατρικός εξοπλισμός και καταφύγια έκτακτης ανάγκης. Ο επαρκής σχεδιασμός διασφαλίζει την έγκαιρη πρόσβαση σε πόρους κατά τη διάρκεια και μετά από μια καταστροφή, ενισχύοντας τις δυνατότητες αντίδρασης και ελαχιστοποιώντας τις επιπτώσεις στις πληγείσες κοινότητες. (Raikes & McBean, 2016)

Ταχεία ανταπόκριση και συντονισμός:

Οι φυσικές καταστροφές απαιτούν άμεση απόκριση και αποτελεσματικό συντονισμό μεταξύ των διαφόρων ενδιαφερομένων, συμπεριλαμβανομένων των ομάδων αντιμετώπισης καταστάσεων έκτακτης ανάγκης, των κυβερνητικών φορέων, των ΜΚΟ και των εθελοντών. Οι διαχειριστές πόρων διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στον συντονισμό της ανάπτυξης των πόρων, στη διασφάλιση της διαθεσιμότητας τους στις πληγείσες περιοχές και στη διευκόλυνση της αποτελεσματικής επικοινωνίας μεταξύ των ομάδων απόκρισης. Η ταχεία δράση και ο συντονισμός είναι απαραίτητοι για την αντιμετώπιση άμεσων αναγκών, την παροχή ανακούφισης στους πληγέντες πληθυσμούς και την αποκατάσταση βασικών υπηρεσιών. (Pelling, 2001)

Κατανομή πόρων και ιεράρχηση:

Οι διαχειριστές πόρων πρέπει να δώσουν προτεραιότητα στην κατανομή των πόρων με βάση τη σοβαρότητα και τον επείγοντα χαρακτήρα των αναγκών κατά τη διάρκεια μιας φυσικής καταστροφής. Αυτό περιλαμβάνει την αξιολόγηση της κλίμακας της καταστροφής, τον εντοπισμό των πιο κρίσιμων περιοχών και πληθυσμών και την ανάλογη κατανομή πόρων. Η αποτελεσματική κατανομή πόρων διασφαλίζει ότι οι βασικοί πόροι, όπως ιατρικές προμήθειες, προσωπικό έκτακτης ανάγκης και εξοπλισμός διάσωσης, κατευθύνονται εκεί όπου χρειάζονται περισσότερο. Οι διαχειριστές πόρων πρέπει να αξιολογούν συνεχώς τη χρήση των πόρων, να κάνουν προσαρμογές με βάση τις εξελισσόμενες συνθήκες και να διατηρούν την ευελιξία να προσαρμόζονται στις μεταβαλλόμενες προτεραιότητες. (Kusumasari, et al., 2010)

Συνεργασία και κοινή χρήση πόρων:

Η συνεργασία μεταξύ διαφόρων οργανισμών, δημόσιων και ιδιωτικών, είναι ζωτικής σημασίας για τη διαχείριση των πόρων κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών. Οι διαχειριστές πόρων πρέπει να δημιουργήσουν συνεργασίες και δίκτυα για να διευκολύνουν την κοινή χρήση πόρων και την αμοιβαία βοήθεια. Αυτό

μπορεί να περιλαμβάνει την κοινή χρήση εξοπλισμού, προσωπικού και τεχνογνωσίας μεταξύ διαφορετικών φορέων και οργανισμών για τη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων και την αποφυγή διπλών προσπαθειών. Η συνεργατική διαχείριση πόρων ενισχύει την αποτελεσματικότητα, μειώνει το κόστος και επιτρέπει μια πιο συντονισμένη απόκριση στην καταστροφή. (Pelling, 2001)

Διαχείριση εφοδιαστικής αλυσίδας:

Η αποτελεσματική διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας είναι απαραίτητη κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών. Οι διαχειριστές πόρων πρέπει να διασφαλίζουν τη διαθεσιμότητα και την έγκαιρη παράδοση των πόρων στις πληγείσες περιοχές. Αυτό περιλαμβάνει τον συντονισμό της μεταφοράς, της αποθήκευσης και της διανομής των πόρων, την υπέρβαση υλικοτεχνικών προκλήσεων όπως η κατεστραμμένη υποδομή, η περιορισμένη πρόσβαση και οι διαταραγμένες αλυσίδες εφοδιασμού. Η αποτελεσματική διαχείριση logistics βοηθά στην επίτευξη των προσπαθειών απόκρισης, αποτρέπει την έλλειψη πόρων και ενισχύει τη συνολική αποτελεσματικότητα της κατανομής των πόρων. (Szlafsztein, 2015)

Διαχείριση και τεχνολογία πληροφοριών:

Η διαχείριση πληροφοριών διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διαχείριση των πόρων κατά τη διάρκεια φυσικών καταστροφών. Οι διαχειριστές πόρων πρέπει να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την κατάσταση των περιοχών που επηρεάζονται, τη διαθεσιμότητα των πόρων και τις εξελισσόμενες ανάγκες. Η χρήση τεχνολογίας όπως τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), οι δορυφορικές εικόνες και η ανάλυση δεδομένων μπορεί να βοηθήσει στον προγραμματισμό των πόρων, στην επίγνωση της κατάστασης και στη λήψη αποφάσεων. Τα ολοκληρωμένα πληροφοριακά συστήματα διευκολύνουν την αποτελεσματική επικοινωνία, τον συντονισμό και την παρακολούθηση των πόρων, επιτρέποντας στους διαχειριστές πόρων να ανταποκρίνονται άμεσα και αποτελεσματικά. (Kusumasari, et al., 2010)

Ανάκτηση και αποκατάσταση πόρων μετά την καταστροφή:

Η διαχείριση των πόρων εκτείνεται πέρα από τη φάση της άμεσης απόκρισης για να περιλαμβάνει μακροπρόθεσμες προσπάθειες ανάκαμψης και αποκατάστασης. Οι διαχειριστές πόρων πρέπει να αναπτύξουν στρατηγικές για την αποκατάσταση των

πόρων μετά την καταστροφή, η οποία περιλαμβάνει την ανοικοδόμηση υποδομών, την αποκατάσταση βασικών υπηρεσιών και την αντιμετώπιση των αναγκών των πληττόμενων κοινοτήτων. Αυτό απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό, κατανομή και παρακολούθηση πόρων για να διασφαλιστεί μια βιώσιμη διαδικασία ανάκτησης.

Συμπερασματικά, η διαχείριση των πόρων για την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών απαιτεί προληπτική ετοιμότητα, ταχεία απόκριση, αποτελεσματικό συντονισμό και αποτελεσματική κατανομή των πόρων. Εφαρμόζοντας ολοκληρωμένες στρατηγικές διαχείρισης πόρων, οι οργανισμοί μπορούν να ενισχύσουν την ικανότητά τους να μετριάσουν τις επιπτώσεις των καταστροφών, να προστατεύουν ζωές και να υποστηρίζουν τις πληγείσες κοινότητες κατά τη διαδικασία ανάκαμψης. (Raikes & McBean, 2016)

Όταν πρόκειται για φυσικές καταστροφές, τα νοσοκομεία και οι Μονάδες Εντατικής Θεραπείας (ΜΕΘ) διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην παροχή ιατρικής περίθαλψης στον πληγέν πληθυσμό. Η διαχείριση των πόρων γίνεται ακόμη πιο κρίσιμη σε αυτό το πλαίσιο, καθώς τα νοσοκομεία και οι ΜΕΘ απαιτούν συγκεκριμένους πόρους για να εξασφαλίσουν την παροχή βασικών υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης κατά τη διάρκεια και μετά από μια καταστροφή.

Ο αντικειμενικός σκοπός ύπαρξης των Μ.Ε.Θ. είναι η παρακολούθηση, ο έλεγχος και η θεραπεία των ανθρώπων όταν έχουν αντιμετωπίσει κάποιο συμβάν (είτε αυτό είναι μία πυρκαγιά είτε μία επιδημία). Για να μπορέσει ο σκοπός αυτός να γίνεται πραγματικότητα και να απολαμβάνουν αυτή την υπηρεσία όλοι οι πολίτες χρειάζεται η ύπαρξη των κατάλληλων πόρων. (Yates, et al., 1990)

Δυστυχώς, οι κατάλληλοι πόροι για την αντιμετώπιση των διάφορων κινδύνων που έχουν να αντιμετωπιστούν στα νοσοκομεία είναι συνήθως ανεπαρκείς και για αυτό πρέπει να διαχειρίζονται αποτελεσματικά. (Sirmon & Hitt, 2013) Επίσης θα πρέπει να γίνεται μία σωστή εκτίμηση και διαχείριση των ανθρώπινων και μη πόρων των νοσοκομείων έτσι ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν σε κάθε δοκιμασία. Και τα δύο είναι βασικά συστατικά ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης πόρων για την εκτέλεση και την παρακολούθηση τους με επιτυχία. (Ferrari, 2011)

Σημαντικές λεπτομέρειες κατά τη λήψη απόφασης στην αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών είναι η γνώση, η εμπειρία και οι διαθέσιμες πληροφορίες που έχει ένας οργανισμός. Ειδικά η παροχή κατάλληλης πληροφόρησης αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη λήψη επιτυχημένων αποφάσεων, όταν πρέπει να παρθούν υπό την πίεση του χρόνου. (Irving, 1989) (Κύρκος, 2015)

Τα τελευταία χρόνια, υπάρχει μια παγκόσμια ανησυχία για τον περιορισμό των φυσικών καταστροφών και γενικώς όλων των κινδύνων που αντιμετωπίζουν τα νοσοκομεία. Για αυτόν τον λόγο, πολλοί επιστήμονες διεξάγουν έρευνες με σκοπό την πρόβλεψη και την πρόληψη αυτών των φαινομένων, με στόχο την ελαχιστοποίηση των απωλειών τόσο σε ανθρώπινες ζωές όσο και στην υλική καταστροφή. Παρόλο που έχουν διεξαχθεί πολλές έρευνες, δεν έχουμε ακόμα φτάσει σε ένα σημείο ασφαλούς πρόβλεψης. Παρ' όλα αυτά, είναι ζωτικής σημασίας να είμαστε προσεκτικοί στις ενέργειές μας, ώστε να μπορέσει ο άνθρωπος να επιβιώσει αντιμετωπίζοντας αυτά τα γεγονότα, όποτε κι αν εμφανιστούν. (Σαρίδης, et al., 2010)

Συνοπτικά, η αποτελεσματική διαχείριση των πόρων στο πλαίσιο των φυσικών καταστροφών συνεπάγεται ισχυρή σύνδεση με νοσοκομεία και ΜΕΘ. Οι διαχειριστές πόρων κατανέμουν και ιεραρχούν πόρους, υποστηρίζουν τον σχεδιασμό ετοιμότητας έκτακτης ανάγκης, διαχειρίζονται αλυσίδες εφοδιαστικής, ενθαρρύνουν τη συνεργασία και την κοινή χρήση πόρων, χρησιμοποιούν συστήματα διαχείρισης πληροφοριών και τεχνολογία και διευκολύνουν τις προσπάθειες ανάκαμψης μετά την καταστροφή για να διασφαλίσουν ότι τα νοσοκομεία και οι ΜΕΘ μπορούν να παρέχουν βασικές υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης σε αυτούς που επλήγησαν από την καταστροφή. (Yates, et al., 1990)

2. ΑΛΛΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΠΑΡΟΜΟΙΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Σύμφωνα με όσα έχουμε αναφέρει μέχρι τώρα από το πρώτο κίολας Κεφάλαιο, και ύστερα από έρευνα που έγινε σε αρκετούς τομείς που μας απασχόλησαν διαπιστώσαμε κάποιες προσπάθειες επίλυσης του συγκεκριμένου προβλήματος ή παραπλήσιων προβλημάτων. Ακόμα και κομματιών που αφορούσαν το δικό μας πρόβλημα. Πιο συγκεκριμένα θα μπορούσαμε να πούμε πως το πρόβλημά μας εντάσσεται σε μία κατηγορία προβλημάτων δρομολόγησης των οχημάτων όπου στην αγγλική ορολογία αναφέρονται ως “Vehicle Routing Problems” (VRP). Αφού δούμε μία ανάλυση για τις θεωρίες εύρεσης σύντομων μονοπατιών που υπάρχουν καθώς επίσης και το πώς γίνεται ο άμεσος και γρήγορος υπολογισμός του χρόνου όταν κάτι μπορεί να αλλάξει κατά την διάρκεια που τρέχει το πρόγραμμά μας. Τέτοιες μεθοδολογίες ήταν οι αποικίες μυρμηγκιών αλλά και οι αποικίες μελισσών που θα δούμε παρακάτω. Στη συνέχεια θα αναλύσουμε τα VRP προβλήματα για το πώς διαχωρίζονται. Στη συνέχεια παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες προσπάθειες επίλυσης του προβλήματος από διάφορους επιστήμονες με την μέθοδο Monte-Carlo αλλά και την δημιουργία ενός μοντέλου το οποίο ονομάζεται TRAMAH.

2.1 ΘΕΩΡΙΕΣ ΣΥΝΤΟΜΩΝ ΜΟΝΟΠΑΤΙΩΝ

2.1.1 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΠΑΝΕΙΛΗΜΜΕΝΗΣ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗΣ BELMAN - FORD

Ο Συγκεκριμένος αλγόριθμος στηρίζεται στην αποτίμηση συναρτησιακών εξισώσεων, βάση των οποίων παράγεται ένας αλγόριθμος ο οποίος λειτουργεί ορθολογικά μόνο στην περίπτωση που δεν έχουμε αρνητικούς κατευθυνόμενους κύκλους. Για κάθε επανάληψη της αναζήτησης (t) υπολογίζεται η τιμή τη συναρτησιακής εξάρτησης $v[k]$, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της προηγούμενης επανάληψης. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος φτάνει στο τέλος του αμέσως μόλις διαπιστωθεί πως δεν μεταβάλλεται κάποιο αποτέλεσμα.

Ο αλγόριθμος των Belman και Ford διαχωρίζει τις τιμές αναζήτησης σε κάθε επανάληψη χρησιμοποιώντας εκθέτες. Δηλαδή:

$v^{(t)}[k]$ = τιμή του μήκους $v[k]$ που προκύπτει στην t -οστή επανάληψη

Υπάρχει η πιθανότητα όταν ολοκληρωθεί ο αλγόριθμος να θέλουμε να γνωρίζουμε όχι μόνο τα μήκη $v[k]$ των συντομότερων διαδρομών, αλλά και τις διαδρομές που έχουν τις βέλτιστες τιμές. Για αυτό αξιοποιούμε το $d[k]$ ως label που θα επιτρέψει να βρούμε αυτές τις διαδρομές.

$d[k]$ = ο κόμβος που προηγείται του k στην καλύτερη γνωστή διαδρομή από τον κόμβο προέλευσης s προς τον k

Τα βήματα του συγκεκριμένου αλγόριθμου είναι τα ακόλουθα:

- 1) **Αρχικοποίηση.** Με τον κόμβο s ως τον κόμβο προέλευσης, αρχικοποιούμε τα μήκη των βέλτιστων διαδρομών ως εξής:

$$v^{(0)}[k] \leftarrow \begin{cases} 0 & \text{αν } k = s \\ +\infty & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

και θέτουμε $t \leftarrow 1$ για τον μετρητή επαναλήψεων.

- 2) **Αποτίμηση.** 🌀 Για κάθε k υπολογίζουμε την τιμή

$$v^{(t)}[k] \leftarrow \min \{v^{(t-1)}[j] + c_{i,k} : (i, k) \text{ υπάρχει}\}$$

Αν $v^{(t)}[k] < v^{(t-1)}[k]$, θέτουμε επίσης $d[k] \leftarrow$ η αρίθμηση ενός γειτονικού κόμβου i ο οποίος επιτυγχάνει την ελάχιστη τιμή $v^{(t)}[k]$.

- 3) **Τερματισμός.** Φτάνουμε στον τερματισμό εάν $v^{(t)}[k] = v^{(t-1)}[k]$ για κάθε k , ή εάν $t = \text{πλήθος των κόμβων του γράφου}$. Τότε οι τιμές $v^{(t)}[k]$ ισούνται με τα απαιτούμενα μήκη των συντομότερων διαδρομών, εκτός και εάν κάποια τιμή $v^{(t)}[k]$ άλλαξε στην τελευταία επανάληψη t . Σε μία τέτοια περίπτωση, ο γράφος περιέχει έναν αρνητικό κατευθυνόμενο κύκλο.
- 4) **Συνέχιση.** Αν κάποια τιμή $v[k]$ άλλαξε και όντως ισχύει $t < \text{πλήθος των κόμβων}$, θέτουμε $t \leftarrow t+1$ και επιστρέφουμε στο βήμα της αποτίμησης. (Rardin, 2022)

2.1.2 ΑΠΟ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΚΟΜΒΟΥΣ ΠΡΟΣ ΟΛΟΥΣ ΤΟΥΣ ΥΠΟΛΟΙΠΟΥΣ: ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ FLOYD WARSHALL

Στη περίπτωση όπου αναζητούμε σύντομες διαδρομές μεταξύ όλων των ζευγών των κόμβων σε ένα γράφο με μη αρνητικούς κατευθυνόμενους κύκλους, το ζητούμενο είναι να υπολογίσουμε τα labels $v[k,l]$ με αποδοτικό τρόπο ικανοποιώντας τις συναρτησιακές εξισώσεις

$$v[k, k] = 0 \text{ για κάθε } k$$

$$v[k, l] = \min \{c_{k,l}, \{v[k, i] + v[i, l] : i \neq k, l\}\} \text{ για κάθε } k \neq l$$

για τις διαδρομές από όλους προς όλους τους κόμβους.

Σε αυτές ακριβώς τις περιπτώσεις έρχεται και μας βοηθάει αρκετά ο αλγόριθμος των Floyd και Warshall. Οι ποσότητες

$v^{(t)}[k,l]$ = μήκος συντομότερης διαδρομής από τον κόμβο k προς τον κόμβο l με χρήση μόνο ενδιάμεσων κόμβων με αριθμηση μικρότερη ή ίση με t

της αναζήτησης συγκλίνουν στα απαραίτητα μήκη $v[k,l]$ των συντομότερων διαδρομών. Τα αντίστοιχα label

$d[k,l]$ = κόμβος που προηγείται του κόμβου l στην τρέχουσα διαδρομή από τον k προς τον l καταγράφουν τις συσχετισμένες διαδρομές.

Το κλειδί της αποτελεσματικότητας είναι η σωστή ακολουθία των βημάτων που περιγράφουμε ακολούθως.

- 1) **Αρχικοποίηση.** Όλοι οι κόμβοι πρέπει να έχουν συνεχόμενους θετικούς αριθμούς ξεκινώντας από το 1. Για όλα τα τόξα και τις ακμές (k,l) του γράφου αρχικοποιούμε ως εξής:

$$\begin{aligned}v^{(0)}[k,l] &\leftarrow c_{k,l} \\d[k,l] &\leftarrow k\end{aligned}$$

Για ζεύγη k,l που δεν έχουν τόξο/ακμή (k,l) καθορίζουμε την τιμή

$$v^{(0)}[k,l] \leftarrow \begin{cases} 0 & \text{αν } k = l \\ +\infty & \text{διαφορετικά} \end{cases}$$

Θέτουμε $t \leftarrow 1$ για τον μετρητή επαναλήψεων.

- 2) **Αποτίμηση.** 🌀 Για όλους τους κόμβους $k,l \neq t$ ανανεώνουμε ως εξής:

$$v^{(t)}[k,l] \leftarrow \min \{v^{(t-1)}[k,l], v^{(t-1)}[k,t] + v^{(t-1)}[t,l]\}$$

Αν $v^{(t)}[k,l] < v^{(t-1)}[k,l]$, θέτουμε $d[k,l] \leftarrow d[t,l]$.

- 3) **Τερματισμός.** Φτάνουμε στον τερματισμό εάν $t =$ πλήθος των κόμβων του γράφου, ή εάν $v^{(t)}[k,k] < 0$ για οποιοδήποτε κόμβο k . Τότε οι τιμές $v^{(t)}[k,l]$ ισούνται με τα απαιτούμενα μήκη συντομότερων διαδρομών, εκτός και αν κάποια τιμή $v^{(t)}[k,k]$ είναι αρνητική. Σε αυτή την περίπτωση τότε ο γράφος περιέχει έναν αρνητικό κατευθυνόμενο κύκλο που διέρχεται από τον κόμβο k .

- 4) **Συνέχιση.** Αν $t <$ πλήθος των κόμβων και όλες οι τιμές $v^{(t)}[k,k] \geq 0$, τότε θέτουμε $t \leftarrow t + 1$ και επιστρέφουμε στο βήμα της αποτίμησης. (Rardin, 2022)

2.1.3 ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ DIJKTRA

Στις περιπτώσεις όπου έχουμε μη προσανατολισμένα δίκτυα τα οποία έχουν έναν κόμβο που αποτελεί την αφετηρία και έναν άλλο κόμβο που αποτελεί τον τερματισμό συχνά χρησιμοποιείται ένας συγκεκριμένος αλγόριθμος ο οποίος ονομάζεται αλγόριθμος Dijkstra. (Hillier & Liebermann, 2014)

Με βάση αυτό τον αλγόριθμο μπορούμε να εντοπίσουμε το μήκος (σε χρονική διάρκεια ή και απόσταση) κάθε διαδρομής που έχει το δίκτυο και να υποδείξει ποια είναι η βέλτιστη. Ο αλγόριθμος αυτός υπολογίζει τις ελάχιστες διαδρομές από τον αρχικό κόμβο ενώ προχωράει στους υπόλοιπους, κι έτσι η διαδικασία συνεχίζει χωρίζοντας τους κόμβους σε λυμένους και άλυτους. Ο αλγόριθμος σταματάει και έτσι ολοκληρώνεται όταν δεν υπάρχει άλλος διαθέσιμος κόμβος στο δίκτυό μας. Όταν ξεκινάμε θεωρούμε όλους τους κόμβους άλυτους εκτός από της αφετηρίας. Με άλλα λόγια δεν γνωρίζουμε για τους υπόλοιπους ποια είναι η ελάχιστη διαδρομή που πρέπει να διανύσουμε έτσι ώστε να πάμε εκεί από τον κόμβο αφετηρίας.

Έτσι εάν υποθέσουμε ότι έχουμε ένα γράφημα-δίκτυο $G=\{V,E\}$ όπου στόχος είναι να βρεθεί για τη δεδομένη πηγή s το πιο σύντομο μονοπάτι για κάθε κόμβο στο γράφημα. Μόλις υπολογιστεί ποια είναι η ελάχιστη απόσταση που χωρίζει τον s από τον τυχαίο κόμβο B , θεωρούμε ότι ο B έχει λυθεί ή αλλιώς ότι έχουμε πάει εκεί με βέλτιστο τρόπο. Στην πορεία αγνοούμε κάθε λυμένο κόμβο και εστιάζουμε στους υπόλοιπους άλυτους.

Η ουσιαστική μεθοδολογία του αλγόριθμου είναι η ακόλουθη:

- Απαριθμούμε τους κόμβους που διαθέτουμε.
- Δίνουμε μία τιμή – βάρος σε κάθε απόσταση που υπάρχει μεταξύ των κόμβων.
- Θεωρούμε ότι το σύνολο των κόμβων N έχει ως στοιχεία λυμένους και άλυτους κόμβους. Ουσιαστικά ξεχωρίζουμε το N σε δύο υποσύνολα $\{S - Solved \& U - Unsolved\}$.
- Ο αρχικός κόμβος θεωρείται λυμένος επειδή η ελάχιστη απόσταση από αυτόν είναι μηδέν.
- Βρίσκουμε όλες τις δυνατές συνδέσεις του αρχικού κόμβου με τους άλυτους που είναι οι αμέσως επόμενοι κόμβοι που συνδέονται με αυτόν.

- Προχωράμε στην καταγραφή των αποτελεσμάτων σε μία άλλη στήλη ενός πίνακα όπου και εντοπίζουμε την ελάχιστη τιμή. Ο κόμβος που έχει την μικρότερη απόσταση από τον αρχικό μας κόμβο θεωρείται λυμένος και προστίθεται στο σύνολό μας.

Η κύρια ιδέα όλου του αλγόριθμου βασίζεται πάνω σε δύο σημεία.

Το **πρώτο σημείο** είναι ότι κάθε υπο-μονοπάτι για οποιοδήποτε σύντομο μονοπάτι έχουμε είναι και αυτό σύντομο μονοπάτι. Ουσιαστικά σε κάθε υπο-μονοπάτι θεωρούμε ότι έχουμε μία μερική βέλτιστη λύση για μέχρι εκείνο τον κόμβο, όπου συνολικά όταν δούμε όλους τους κόμβους μαζί θα έχουμε το βέλτιστο και συντομότερο μονοπάτι για όλο το πρόβλημά μας.

Το **δεύτερο σημείο** είναι ότι εάν $d(i,j)$ η αριθμητική τιμή του σύντομου μονοπατιού από τον κόμβο i προς τον κόμβο j τότε θα ισχύει ότι $d(i,j) \leq d(i,k) + d(k,j)$ όπου $i, j, k \in N$.

Τηρείται η αρχή της προτεραιότητας στην επιλογή των κόμβων και η διαδικασία ολοκληρώνεται μόλις θεωρηθούν όλοι οι κόμβοι λυμένοι. Όταν δεν έχουμε κάποια άμεση σύνδεση μεταξύ δύο κόμβων τότε θεωρούμε ότι η απόστασή τους είναι ίση με το άπειρο. (Hillier & Liebermann, 2014)

Στην περίπτωση μας όμως υπάρχει ένας πολύ καλύτερος και γρήγορος τρόπος ώστε να βρεθεί η βέλτιστη και συντομότερη διαδρομή σε συνδυασμό πάντα με live δεδομένα για το τι ισχύει είναι η χρήση του Google Maps έχοντας ενεργοποιημένη την επιλογή «κυκλοφορία» έτσι ώστε να βλέπουμε ζωντανά το που υπάρχει συνωστισμός. Επίσης το ίδιο το Google Maps σε περίπτωση που υπάρξει κάποιος κυκλοφοριακός συνωστισμός είτε λόγω τροχαίου είτε λόγω έργων είτε και για άλλους λόγους προτείνει αυτόματα την αμέσως επόμενη βέλτιστη και συντομότερη διαδρομή.

2.1.4 ΑΠΟΙΚΙΕΣ ΜΥΡΜΗΓΚΙΩΝ (ANT COLONIES)

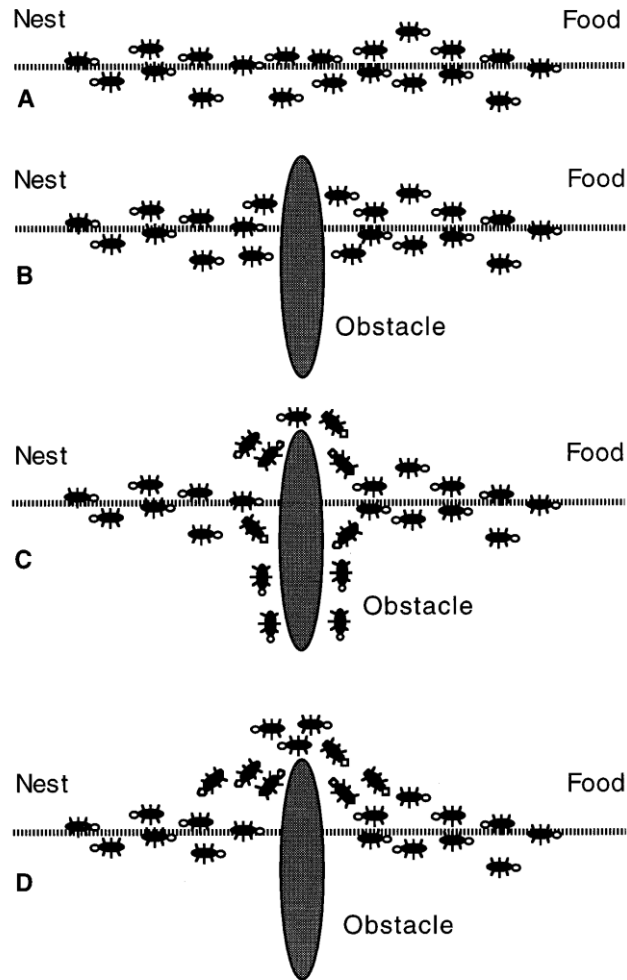
Τα πραγματικά μυρμήγκια είναι σε θέση να βρουν το συντομότερο μονοπάτι από μια πηγή τροφής προς τη φωλιά χωρίς να χρησιμοποιούν οπτικά στοιχεία. Επίσης, είναι σε θέση να προσαρμοστούν σε αλλαγές στο περιβάλλον, π.χ. Η εύρεση ενός νέου συντομότερου μονοπατιού όταν η παλιά δεν είναι πλέον εφικτή λόγω ενός νέου εμποδίου. Θεωρούμαι ότι τα μυρμήγκια κινούνται σε ευθεία γραμμή που συνδέει μια πηγή τροφής με τη φωλιά τους. Είναι επίσης γνωστό ότι το κύριο μέσο για τα

μυρμήγκια έτσι ώστε να σχηματίζουν και να διατηρούν τη γραμμή είναι η εκπομπή μίας ουσίας που ονομάζεται φερομόνη. Τα μυρμήγκια εναποθέτουν μια ορισμένη ποσότητα φερομόνης ενώ περπατούν και κάθε μυρμήγκι προτιμά να ακολουθεί μια κατεύθυνση πλούσια σε φερομόνη. Αυτή η στοιχειώδης συμπεριφορά των πραγματικών μυρμηγκιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξηγήσει πώς μπορούν να βρουν το συντομότερο μονοπάτι που επανασυνδέει μια σπασμένη γραμμή αφού η ξαφνική εμφάνιση ενός απροσδόκητου εμποδίου διέκοψε την αρχική διαδρομή. (Dorigo & Gambardella, 1997)

Στην πραγματικότητα, όταν ένα εμπόδιο εμφανίζεται μπροστά στα μυρμήγκια που ακολουθούν το μονοπάτι της φερομόνης, αντιμετωπίζουν μια επιλογή. Δεν μπορούν να συνεχίσουν απευθείας, και έτσι πρέπει να επιλέξουν να στρίψουν είτε δεξιά είτε αριστερά. Σε αυτήν την περίπτωση, τα μισά μυρμήγκια πιθανότατα θα διαλέξουν να στρίψουν δεξιά, ενώ τα άλλα μισά θα προτιμήσουν να στρίψουν αριστερά. Παρόμοια κατάσταση επικρατεί και στην αντίθετη πλευρά του εμποδίου. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι τα μυρμήγκια που, τυχαία, επιλέγουν τη μικρότερη διαδρομή γύρω από το εμπόδιο θα ανακατασκευάσουν το διακεκομμένο μονοπάτι φερομόνης πιο γρήγορα σε σύγκριση με εκείνους που επιλέγουν την μεγαλύτερη διαδρομή. Έτσι, το μικρότερο μονοπάτι θα λάβει μεγαλύτερη ποσότητα φερομόνης ανά μονάδα χρόνου, και, συνεπώς, ένας μεγαλύτερος αριθμός μυρμηγκιών θα επιλέξει το μικρότερο μονοπάτι. Μέσω αυτής της θετικής ανάδρασης, όλα τα μυρμήγκια θα επιλέξουν γρήγορα το μικρότερο μονοπάτι. (Dorigo & Gambardella, 1997)

Η πιο συναρπαστική πτυχή αυτής της αυτό-οργανούμενης διαδικασίας είναι ότι η εύρεση της συντομότερης διαδρομής γύρω από το εμπόδιο φαίνεται να προκύπτει ως μια αναδυόμενη ιδιότητα της αλληλεπίδρασης μεταξύ του σχήματος του εμποδίου και της συμπεριφοράς των κατανεμημένων μυρμηγκιών. Παρότι όλα τα μυρμήγκια κινούνται περίπου με την ίδια ταχύτητα και αφήνουν μια φερομόνη πίσω τους σχεδόν με τον ίδιο ρυθμό, είναι εμφανές ότι χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να διασχίσουν τα εμπόδια στην μακρύτερη πλευρά τους σε σχέση με την μικρότερη. Αυτό το γεγονός επιτρέπει στη φερομόνη να επικεντρωθεί γρηγορότερα στη μικρότερη πλευρά. (Dorigo & Gambardella, 1997)

Όλο αυτό σαν γεγονός μπορούμε να το δούμε στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 13. Η αλλαγή πορείας των μυρμηγκιών όταν συναντούν ένα εμπόδιο.

Πάνω στην παρατήρηση λοιπόν των μυρμηγκιών και στο πως αντιδρούν όταν βρίσκουν ένα εμπόδιο βασίζεται η όλη θεωρία που ονομάζεται Ant Colony Optimization (ACO). Πρόκειται για μία τεχνική πιθανοτήτων για την επίλυση υπολογιστικών προβλημάτων που μπορεί να εντοπίσει της συντομότερες διαδρομές μέσω γραφημάτων. Τα τεχνητά μυρμήγκια αντιπροσωπεύουν μεθόδους πολλαπλών παραγόντων. (Monmarché, et al., 2010)

Οι συνδυασμοί τεχνητών μυρμηγκιών και τοπικών αλγορίθμων αναζήτησης αποτελούν μία μέθοδος επιλογής για πολλά προβλήματα βελτιστοποίησης που περιλαμβάνουν κάποιο είδος γραφήματος, π.χ., δρομολόγιο οχήματος και δρομολόγηση διαδικτύου.

Τα τεχνητά "μυρμήγκια" (π.χ. παράγοντες προσομοίωσης) εντοπίζουν τις βέλτιστες λύσεις μετακινούμενα σε έναν πεδίο παραμέτρων που καλύπτει όλες τις

πιθανές λύσεις. Κρατούν εγγραφές των θέσεών τους και την ποιότητα των εκάστοτε λύσεών τους. Στη συνέχεια, σε διαδοχικές προσομοιώσεις, επαναλαμβάνουν την αναζήτηση για να εντοπίσουν ακόμα καλύτερες λύσεις. (Dorigo & Stützle, 2004)

Στο πλαίσιο των αλγορίθμων βελτιστοποίησης με αποικία μυρμηγκιών, ένα τεχνητό "μυρμήγκι" αντιπροσωπεύει έναν υπολογιστικό παράγοντα που αναζητά αποτελεσματικές λύσεις για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα βελτιστοποίησης. Για την εφαρμογή ενός αλγορίθμου με αποικία μυρμηγκιών, το πρόβλημα βελτιστοποίησης πρέπει να μετασχηματιστεί σε ένα πρόβλημα εύρεσης της συντομότερης διαδρομής σε έναν γράφο με ζυγίσματα. Κάθε επανάληψη ξεκινά με την τυχαία κατασκευή μιας λύσης, που αντιστοιχεί στη σειρά με την οποία πρέπει να ακολουθηθούν οι ακμές του γράφου. Στη συνέχεια, συγκρίνονται τα μονοπάτια που ανακάλυψαν τα διάφορα τεχνητά "μυρμήγκια". Το τελευταίο βήμα αποτελείται από την ενημέρωση των επιπέδων φερομόνης σε κάθε ακμή.

Σε κάθε βήμα του αλγορίθμου, κάθε μυρμήγκι μετακινείται από ένα σημείο x σε ένα άλλο σημείο y που αντιστοιχεί σε μια πιο ολοκληρωμένη ενδιάμεση λύση. Έτσι, κάθε μυρμήγκι k υπολογίζει ένα σύνολο $A_k(x)$ εφικτών επεκτάσεων στην τρέχουσα κατάστασή του σε κάθε επανάληψη και μετακινείται σε ένα από αυτά. Για k μυρμήγκια, η πιθανότητα p_{xy}^k της μετακίνησης από την κατάσταση x στην κατάσταση y εξαρτάται από τον συνδυασμό δύο τιμών, της ελκυστικότητας η_{xy} της κίνησης, όπως υπολογίζεται από κάποιο ευρετικό που δείχνει την *a priori* επιθυμία αυτής της κίνησης και το επίπεδο ίχνους της διαδρομής (trail level) r_{xy} της κίνησης, υποδεικνύοντας πόσο ικανός ήταν στο παρελθόν να κάνει τη συγκεκριμένη κίνηση. Το επίπεδο του ίχνους της διαδρομής αντιπροσωπεύει *a posteriori* ένδειξη της επιθυμίας αυτής της κίνησης.

Γενικά τα k μυρμήγκια μετακινούνται από το ένα σημείο x στο σημείο y με πιθανότητα

$$p_{xy}^k = \frac{(t_{xy}^a)(\eta_{xy}^\beta)}{\sum_{z \in allowed_x} (t_{xz}^a)(\eta_{xz}^\beta)}$$

Όπου t_{xy} είναι η ποσότητα της φερομόνης που κατατίθεται για μετάβαση από το σημείο x στο σημείο y , $0 \leq a$ είναι η παράμετρος για τον έλεγχο της επιρροής του t_{xy} , η_{xy} είναι η επιθυμία της μετάβασης κατάστασης xy (*a priori* γνώση, τυπικά $\frac{1}{d_{xy}}$, όπου d η απόσταση), και $\beta \geq 1$ είναι η παράμετρος για τον έλεγχο της επιρροής του $\eta_{xy} \cdot t_{xz}$

και η_{xz} αντιπροσωπεύουν το επίπεδο του ίχνους της διαδρομής και την ελκυστικότητα της διαδρομής για κάθε πιθανή κατάσταση μετακίνησης.

Για ότι αφορά τώρα τα επίπεδα της φερομόνης και πως αυτά ενημερώνονται αξίζει να σημειώσουμε πως τα μονοπάτια συνήθως ενημερώνονται όταν όλα τα μυρμηγκια έχουν ολοκληρώσει τη λύση τους, αυξάνοντας ή μειώνοντας το επίπεδο των μονοπατιών που αντιστοιχούν σε κινήσεις που ήταν μέρος των "καλών" ή "κακών" λύσεων, αντίστοιχα. Ένα παράδειγμα ενός παγκόσμιου κανόνα ενημέρωσης φερομόνης είναι

$$t_{xy} \leftarrow (1 - \rho)t_{xy} + \sum_k^m \Delta t_{xy}^k$$

Όπου t_{xy} είναι η ποσότητα της φερομόνης που εκτίθεται για μία κατάσταση μετακίνησης xy , ρ είναι η ο συντελεστής εξάτμισης φερομόνης, m είναι ο αριθμός των μυρμηγκιών, Δt_{xy}^k είναι το ποσό της φερομόνης που εκτίθεται από k μυρμηγκια. Τυπικά για ένα πρόβλημα TSP δίνεται ότι

$$\Delta t_{xy}^k = \begin{cases} Q/L_k & \text{αν το } k \text{ μυρμηγκι χρησιμοποιεί την διαδρομή } xy \\ 0 & \text{Αλλιώς} \end{cases}$$

Όπου L_k είναι το κόστος της μετακίνησης του k μυρμηγκιού και Q είναι μία σταθερά.

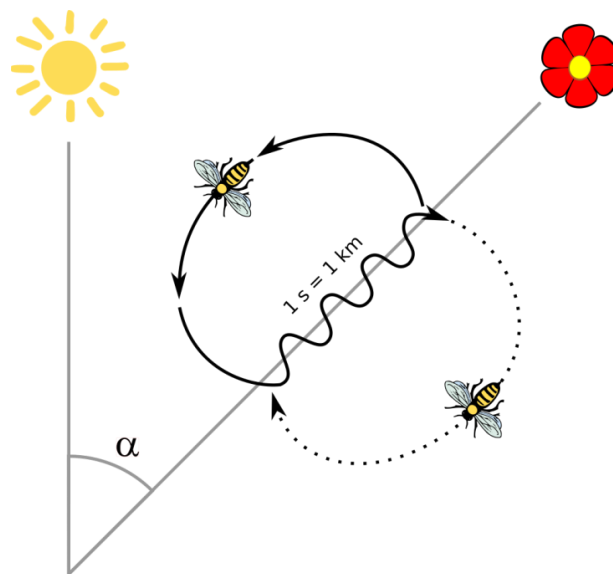
Βασισμένοι πάνω σε αυτή την θεωρία οι Zhiguang Cao, Siwei Jiang, Jie Zhang, και Hongliang Guo το 2016 και οι Mun Chon Ho, Joanne Mun-Yee Lim, Kian Lun Soon, Chun Yong Chong το 2019 προσπάθησαν να λύσουν το πρόβλημα του να υπάρχει ένας έκτακτος κυκλοφοριακός συνωστισμός και να μπορέσουν τα οχήματα βρουν τη βέλτιστη διαδρομή στον ελάχιστο δυνατό χρόνο χρησιμοποιώντας τις πιθανότητες που στη συγκεκριμένη μεθοδολογία αντιστοιχούν στη φερομόνη. (Zhiguang, et al., 2016) (Mun Chon, et al., 2019) Πλέον όμως ένας πολύ καλύτερος και αξιόπιστος τρόπος ώστε να βρεθεί η βέλτιστη και συντομότερη διαδρομή σε συνδυασμό πάντα με live δεδομένα για το τι ισχύει είναι η χρήση του Google Maps έχοντας ενεργοποιημένη την επιλογή «κυκλοφορία» έτσι ώστε να βλέπουμε ζωντανά το που υπάρχει συνωστισμός. Επίσης το ίδιο το Google Maps σε περίπτωση που υπάρξει κάποιος κυκλοφοριακός συνωστισμός είτε λόγω τροχαίου είτε λόγω έργων είτε και για άλλους λόγους προτείνει αυτόματα την αμέσως επόμενη βέλτιστη και συντομότερη διαδρομή.

2.1.5 ΑΠΟΙΚΙΕΣ ΜΕΛΙΣΣΩΝ (BEE COLONIES)

Αντίστοιχες προσπάθειες όπως αυτές με τις αποικίες μυρμηγκιών δημιούργησαν και την θεωρία περί αποικιών των μελισσών. ο αλγόριθμος μελισσών είναι ένας αλγόριθμος αναζήτησης βάσει πληθυσμού που αναπτύχθηκε από τους Pham, Ghanbarzadeh et al. το 2005. (Pham, et al., 2005)

Μια αποικία μελισσών μπορεί να εκτείνεται σε μεγάλες αποστάσεις (πάνω από 14 χλμ.) και σε πολλαπλές κατευθύνσεις ταυτόχρονα να συλλέγει νέκταρ ή γύρη από πολλές πηγές τροφίμων (μπαλώματα λουλουδιών). Ένα μικρό κλάσμα της αποικίας ψάχνει συνεχώς το περιβάλλον αναζητώντας νέα μπαλώματα λουλουδιών. Αυτές οι μέλισσες προσκόπων κινούνται τυχαία στην περιοχή που περιβάλλει την κυψέλη, αξιολογώντας την κερδοφορία (καθαρή ενεργειακή απόδοση) των πηγών τροφίμων που αντιμετωπίστηκαν. Όταν επιστρέψουν στην κυψέλη, οι πρόσκοποι καταθέτουν τα τρόφιμα που συλλέγονται. Τα άτομα που βρήκαν μια εξαιρετικά κερδοφόρα πηγή τροφίμων πηγαίνουν σε μια περιοχή στην κυψέλη που ονομάζεται «πίστα χορού», και εκτελούν ένα τελετουργικό γνωστό ως χορός κουνουπιέρας. (Tereshko & Loengarov, 2005)

Μέσω του χορού «waggle», μια μέλισσα επικοινωνεί τη θέση της ανακάλυψής της σε αδρανείς θεατές, οι οποίοι συμμετέχουν στην εκμετάλλευση του λουλουδιού. Τον τρόπο του συγκεκριμένου χορού μπορούμε να τον δούμε στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 14. Ο χορός “waggle” της μέλισσας.

Μετά το χορό, ο ανιχνευτής επιστρέφει στην πηγή τροφίμων που ανακάλυψε για να συλλέξει περισσότερα τρόφιμα. Εφόσον αξιολογούνται ως επικερδείς, πλούσιες πηγές τροφίμων θα διαφημίζονται από τους ανιχνευτές όταν επιστρέψουν στην κυψέλη. Χάρη σε αυτήν την αυτοκαταλυτική διαδικασία, η αποικία μελισσών μπορεί να αλλάξει γρήγορα το επίκεντρο της προσπάθειας τροφής στα πιο κερδοφόρα λουλούδια. (Von Frisch, 1967)

Έτσι λοιπόν και ο συγκεκριμένος αλγόριθμος μιμείται τη διατροφική συμπεριφορά των αποικιών μελισσών. Στη βασική του έκδοση, ο αλγόριθμος εκτελεί ένα είδος αναζήτησης γειτονιάς σε συνδυασμό με την καθολική αναζήτηση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για συνδυαστική βελτιστοποίηση όσο και για συνεχή βελτιστοποίηση. Η μόνη προϋπόθεση για την εφαρμογή του αλγορίθμου των μελισσών είναι ότι καθορίζεται κάποιο μέτρο απόστασης μεταξύ των διαλυμάτων. Κάθε υποψήφια λύση θεωρείται ως πηγή τροφής (λουλούδι) και χρησιμοποιείται ένας πληθυσμός (αποικία) ή παράγοντες (μέλισσες) για την αναζήτηση του χώρου λύσης. Κάθε φορά που μια τεχνητή μέλισσα επισκέπτεται ένα λουλούδι (προσγειώνεται σε μια λύση), αξιολογεί την αποδοτικότητά του.

Για να περάσουμε σιγά σιγά και στο μαθηματικό μοντέλο αξίζει να σημειώσουμε πως ο συγκεκριμένος αλγόριθμος έχει τρία είδη μελισσών: τις εργάτριες μέλισσες, τις μέλισσες παρατηρητές και τις μέλισσες ανιχνευτές. Οι εργάτριες μέλισσες αναζητούν τροφή και μοιράζονται πληροφορίες της πηγής της τροφής με τις μέλισσες παρατηρητές. Οι μέλισσες παρατηρητές τείνουν να επιλέγουν καλές πηγές τροφής από αυτές που βρήκαν οι εργάτριες μέλισσες. Η πηγή τροφής που έχει υψηλότερη ποιότητα (γυμναστική) θα έχει μεγάλες πιθανότητες να επιλεγεί από τις μέλισσες παρατηρητές από αυτή της χαμηλότερης ποιότητας. Οι μέλισσες ανιχνευτές είναι εργάτριες μέλισσες, οι οποίες εγκαταλείπουν τις πηγές τροφής τους και αναζητούν νέες. Στο αλγόριθμο το πρώτο μισό του σμήνους αποτελείται από εργάτριες μέλισσες και το δεύτερο μισό αποτελείται από μέλισσες παρατηρητές.

Ο αριθμός των εργατριών μελισσών ή των μελισσών παρατηρητών είναι ίσος με τον αριθμό των λύσεων σε ένα σμήνος. Ο αλγόριθμος δημιουργεί ένα τυχαία κατανομημένο πληθυσμό λύσεων SN, όπου το SN δηλώνει τον αριθμό μεγέθους του σμήνους.

Έστω ότι $X_i = \{x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,n}\}$ αναπαριστά την i λύση του σμήνους, όπου n είναι το μέγεθος των διαστάσεων. Κάθε εργάτρια μέλισσα X_i δημιουργεί μία νέα υποψήφια

λύση V_i στη γειτονιά που βρέθηκε και η οποία αναπαρίσταται από την παρακάτω εξίσωση:

$$v_{i,k} = x_{i,k} + \Phi_{i,k} * (x_{i,k} - x_{j,k})$$

Όπου X_j είναι μία τυχαία επιλεγμένη υποψήφια λύση ($i \neq j$), k είναι ένας τυχαίος δείκτης διάστασης επιλεγμένος από το σύνολο $\{1, 2, \dots, n\}$, $\Phi_{i,k}$ είναι ένας τυχαίος αριθμός που ανήκει μεταξύ $[-1, 1]$. Μόλις δημιουργηθεί η νέα υποψήφια λύση V_i , γίνεται μία επιλογή. Εάν η τιμή καταλληλότητας του V_i από την παροντική X_i , τότε ενημερώνεται το X_i με το V_i . Εναλλακτικά κρατάμε το X_i αμετάβλητο. Όταν όλες οι εργάτριες μέλισσες ολοκληρώνουν τη διαδικασία αναζήτησης, μοιράζονται τις πληροφορίες των πηγών τροφής τους με τις μέλισσες παρατηρητές μέσω χορών waggle. Μια μέλισσα παρατηρητής αξιολογεί τις πληροφορίες για το νέκταρ που συλλέγεται από όλες τις εργάτριες μέλισσες και επιλέγει μια πηγή τροφής με μια πιθανότητα που σχετίζεται με την ποσότητα νέκταρ που εντοπίστηκε. Αυτή η πιθανολογική επιλογή είναι πραγματικά ένας μηχανισμός επιλογής τροχού ρουλέτας που περιγράφεται ως εξίσωση παρακάτω:

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_j fit_j}$$

Όπου fit_i είναι η τιμή καταλληλότητας της i λύσης του σμήνους. Όσο καλύτερη είναι η λύση i τόσο μεγαλύτερη πιθανότητα έχει η επιλογή αυτής. Εάν μία θέση δεν μπορεί να βελτιωθεί σε ένα προκαθορισμένο αριθμό κύκλων (όριο), τότε αυτή η πηγή τροφής εγκαταλείπεται. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι η εγκαταλελειμμένη πηγή τροφής είναι η X_i και στην συνέχεια η μέλισσα ανιχνευτής ανακαλύπτει μία νέα πηγή τροφής που θα αντικαταστήσει την i σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$x_{i,k} = lb_k + \Phi_{i,k} * (ub_k - lb_k)$$

Όπου $\Phi_{i,k} = rand(0,1)$ είναι ένας τυχαίος αριθμός μεταξύ $[0, 1]$ βασισμένο σε μία κανονική κατανομή, και ub_k, lb_k είναι τα κάτω και τα άνω όρια των διαστάσεων του k αντίστοιχα.

Βασισμένοι πάνω σε αυτή την θεωρία οι Lee, Zhang, et al το 2017 προσπάθησαν να λύσουν το πρόβλημα του να υπάρχει ένας έκτακτος κυκλοφοριακός συνωστισμός και να μπορέσουν τα οχήματα βρουν τη βέλτιστη διαδρομή στον ελάχιστο δυνατό χρόνο. (Lee, et al., 2017) Πλέον όμως ένας πολύ καλύτερος και αξιόπιστος τρόπος ώστε να βρεθεί η βέλτιστη και συντομότερη διαδρομή σε συνδυασμό πάντα με live δεδομένα για το τι ισχύει είναι η χρήση του Google Maps έχοντας ενεργοποιημένη

την επιλογή «κυκλοφορία» έτσι ώστε να βλέπουμε ζωντανά το που υπάρχει συνωστισμός. Επίσης το ίδιο το Google Maps σε περίπτωση που υπάρξει κάποιος κυκλοφοριακός συνωστισμός είτε λόγω τροχαίου είτε λόγω έργων είτε και για άλλους λόγους προτείνει αυτόματα την αμέσως επόμενη βέλτιστη και συντομότερη διαδρομή.

2.2 VEHICLE ROUTING PROBLEMS - VRP

Το Πρόβλημα Δρομολόγησης Οχημάτων (ή VRP) είναι το πρόβλημα του προσδιορισμού μιας βέλτιστης διαδρομής από ένα σημείο εκκίνησης (σημείο A) σε ένα διαφορετικό σύνολο προορισμών (σημεία X, Y, Z) ενώ υπολογίζονται οι ειδικοί περιορισμοί της επιχείρησης, όπως περιορισμοί οχημάτων και πόρων. χρονικά παράθυρα κ.λπ. για κάθε διαδρομή.

Η τεχνική που χρησιμοποιείται συνήθως είναι μέσω μίας συνδυαστικής βελτιστοποίησης και προγραμματισμού ακέραιων αριθμών που ρωτά "Ποιο είναι το βέλτιστο σύνολο διαδρομών που πρέπει να διασχίσει ένας στόλος οχημάτων προκειμένου να φτάσουν σε ένα δεδομένο σύνολο πελατών;". Αυτό μπορεί να γενικευτεί με το γνωστό σε όλους μας πρόβλημα του ταξιδιωτικού πωλητή (Travel Salesman Problem – TSP) το οποίο και πρωτοεμφανίστηκε το 1959 από τους George Dantzig και John Ramser. (Dantzig & Ramser, 1959). Το όλο σκεπτικό πίσω από αυτά είναι η παράδοση αγαθών που βρίσκονται σε μία κεντρική αποθήκη προς διάφορους πελάτες που έχουν κάνει παραγγελίες για τα συγκεκριμένα αγαθά. Ο στόχος του VRP είναι να ελαχιστοποιήσει το συνολικό κόστος διαδρομής. Το 1964, οι Clarke και Wright βελτίωσαν την προσέγγιση των Dantzig και Ramser χρησιμοποιώντας μια διαφορετική αποτελεσματική προσέγγιση που ονομάζεται αλγόριθμος αποταμίευσης.

Το VRP έχει πολλές και άμεσες εφαρμογές σε διάφορους τομείς όπως είναι η βιομηχανία ή ακόμα και το κράτος. Η χρήση προγραμμάτων βελτιστοποίησης μπορεί να αποφέρει μία μείωση του κόστους της τάξεως του 5-10%. Βέβαια οποιαδήποτε εξοικονόμηση πόρων μπορεί να επιτευχθεί από την χρήση του VRP είναι αρκετά σημαντική. (Hasle, et al., 2007).

Σε ένα τυπικό VRP πρόβλημα, οι πελάτες αντιπροσωπεύονται από κόμβους ενός δικτύου, γνωρίζουμε ακριβώς την ζήτηση και ο καθένας πρέπει να εξυπηρετείται μία φορά από ένα και μόνο όχημα. Κάθε τόξο (i,j) του δικτύου (όπου i και j είναι οι κόμβοι

του δικτύου) σχετίζεται με ένα C_{ij} που αντιπροσωπεύει το κόστος του ταξιδιού από το i στο j . Κάθε όχημα έχει μια συγκεκριμένη χωρητικότητα και η διαδρομή του πρέπει να ξεκινά και να τελειώνει σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Η συνολική ζήτηση των πελατών που εξυπηρετούνται από ένα όχημα δεν μπορεί να υπερβαίνει τη χωρητικότητα του οχήματος. Ο στόχος του προβλήματος είναι να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος που διανύουν όλα τα οχήματα.

Η μαθηματική διατύπωση ενός VRP προβλήματος θα μπορούσε να είναι η ακόλουθη (Steward & Golden, 1983):

$$\text{Minimize } \sum_k \sum_{i,j} C_{i,j} X_{i,j,k}$$

Όπου,

$$\sum_{i,j} \mu_i X_{i,j,k} \leq Q \quad k = 1, 2, \dots, m$$

$$X = [X_{i,j,k}] \in S_m$$

Όπου:

c_{ij} = Το κόστος ταξιδιού από το i στο j

$x_{ijk} = 1$ αν το όχημα k ταξιδέψει από το i στο j αλλιώς 0 $\{0, 1\}$

m = ο αριθμός των διαθέσιμων οχημάτων

S_m = Το σύνολο των m εφικτών λύσεων - traveling salesman problem (m-TSP)

μ_i = Η ζήτηση στις τοποθεσίες i

Q = Η χωρητικότητα των οχημάτων

Παρόλα αυτά σε περιπτώσεις που έχουμε πραγματικά μεγάλα προβλήματα, τότε δεν μπορούν να επιλυθούν με βέλτιστο τρόπο μέσα σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα. Ως αποτέλεσμα, χρησιμοποιούνται μέθοδοι ακριβούς λύσης για περιπτώσεις προβλημάτων περιορισμένου μεγέθους, ενώ ευρετικές και μεταευρετικές χρησιμοποιούνται συνήθως για πιο πρακτικές περιπτώσεις.

Πέρα από τα σύνηθες VRP προβλήματα, έχει μελετηθεί ένας αριθμός παραλλαγών προβλημάτων, ανάλογα με τους περιορισμούς του κάθε προβλήματος. Μεταξύ των πιο βασικών κατηγοριών είναι και οι ακόλουθες:

- 1) Το VRP με χρονικά παράθυρα (Time Windows) (VRPTW), στο οποίο κάθε πελάτης πρέπει να επισκέπτεται ένα συγκεκριμένο σημείο, σε κάποιο προκαθορισμένο χρονικό διάστημα.
- 2) Το VRP με Παραλαβή και Παράδοση (Pickup and Delivery) (PDP), στο οποίο κάθε πελάτης συνδέεται με δύο τοποθεσίες εξυπηρέτησης, μία για την παραλαβή και μία για την παράδοση των αγαθών.
- 3) Τον ετερογενή στόλο VRP (HVRP), στον οποίο τα εμπλεκόμενα οχήματα έχουν διαφορετική χωρητικότητα.
- 4) Το VRP με Backhauls (VRPB), στο οποίο ένα σύνολο πελατών απαιτεί την παράδοση των αγαθών στις τοποθεσίες τους, ενώ ένα άλλο σύνολο απαιτεί την παραλαβή των αγαθών από τις τοποθεσίες τους και την επιστροφή τους πίσω στην αποθήκη.
- 5) Τέλος τα VRP που σχετίζονται με τη μεταφορά ατόμων μεταξύ τοποθεσιών αναφέρονται ως Προβλήματα Dial-a-Ride (DARP)

Τα VRP συνήθως περιλαμβάνουν 2 επιπλέον διαστάσεις.

- την εξέλιξη των δεδομένων, η οποία σχετίζεται με το γεγονός ότι οι πληροφορίες που είναι διαθέσιμες ενδέχεται να αλλάξουν κατά την εκτέλεση των προγραμματισμένων δρομολογίων (π.χ. άφιξη νέων πελατών)
- οι παράμετροι, δηλαδή την πιθανή αβεβαιότητα για τα διαθέσιμα δεδομένα. Πιο απλά η ποιότητα των δεδομένων (π.χ. η ζήτηση ενός πελάτη είναι μόνο μια εκτίμηση της πραγματικής ζήτησης). (Psaraftis, 1988)

Η εξέλιξη της δεδομένων είναι αυτή που διακρίνει ένα στατικό VRP πρόβλημα από ένα δυναμικό. Στα στατικά VRP προβλήματα όλα τα δεδομένα εισόδου είναι γνωστά εκ των προτέρων και οι αρχικές διαδρομές του οχήματος δεν αλλάζουν κατά την εκτέλεση. Σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στα δυναμικά VRP προβλήματα, όπου ένα μέρος της εισόδου είναι άγνωστο και σταδιακά αποκαλύπτεται κατά την εκτέλεση. Από εκεί και πέρα, επιπλέον, οι παράμετροι που υπάρχουν διακρίνουν ένα ντετερμινιστικό VRP από ένα στοχαστικό.

Επίσης, αξίζει να σημειωθεί πως ορισμένα δεδομένα κρύβουν μέσα τους μία πιθανότητα. Είναι δηλαδή πιθανολογικά. Αυτά τα δεδομένα είναι που σχετίζονται με

τους πελάτες, τους χρόνους ταξιδιού ή εξυπηρέτησης και τη ζήτηση των πελατών. Με βάση όλα αυτά τα VRP προβλήματα ταξινομούνται σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα σε μία από αυτές τις 4 κατηγορίες. (Ninikas, 2014)

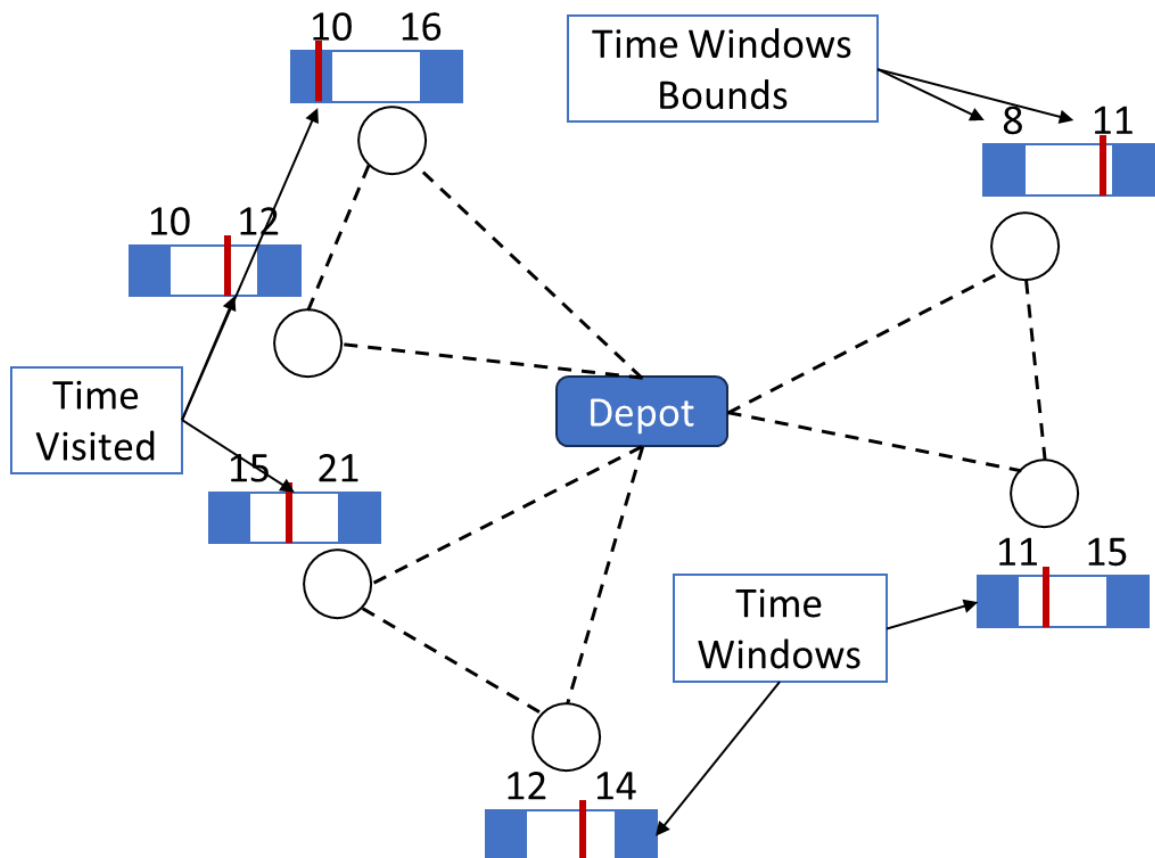
Παράμετροι των Δεδομένων			
		Ντετερμινιστικό	Στοχαστικό
Εξέλιξη της Δεδομένων	Στατικό (Οι Εισαγωγές είναι γνωστές – a priori)	Στατικό & Ντετερμινιστικό	Στατικό & Στοχαστικό
	Δυναμικό (Οι Εισαγωγές αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου) (Υπάρχει αβεβαιότητα και ρευστότητα)	Δυναμικό & Ντετερμινιστικό (online or real-time)	Δυναμικό & Στοχαστικό

Πίνακας 1. Ταξινόμηση VRP Προβλημάτων – Εξέλιξη & Παράμετροι των Δεδομένων

2.2.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΟΝΙΚΑ ΠΑΡΑΘΥΡΑ – VRP WITH TIME WINDOWS (VRPTW)

Τα προβλήματα οχημάτων με χρονικά παράθυρα είναι μία γενίκευση των VRP όπου η υπηρεσία σε οποιονδήποτε πελάτη ξεκινά μέσα σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα, που ονομάζεται χρονικό παράθυρο. Τα χρονικά παράθυρα ονομάζονται soft όταν μπορούν να παραβιαστούν και να μην υπάρχει κάποιο κόστος ποινής. Ενώ αντίθετα ονομάζονται hard όταν δεν μπορούν να παραβιαστούν, δηλαδή, εάν ένα όχημα φτάσει πολύ νωρίς σε έναν πελάτη, πρέπει να περιμένει μέχρι να ανοίξει το παράθυρο χρόνου και δεν επιτρέπεται να φτάσει αργά. Η χωρητικότητα των οχημάτων δεν μπορεί να είναι περισσότερη από αυτή που μπορούν τα ίδια τα οχήματα να μεταφέρουν και ο σκοπός αυτών των προβλημάτων είναι να ελαχιστοποιηθεί ο συνολικός χρόνος εργασίας (Το σύνολο του χρόνου ταξιδιού και αναμονής).

Μια πρώτη προσπάθεια αντιμετώπισης τέτοιων προβλημάτων έγινε από τον Solomon το 1987, όπου προσπάθησε να αξιολογήσει τα χρονικά παράθυρα όταν ένας νέος πελάτης εισάγεται σε μια διαδρομή προκειμένου να αυξηθεί η απόδοση. Πρότεινε επίσης ευρετικούς μεθόδους λύσης των VRPTW που αποτελούν μέχρι και σήμερα σημεία αναφοράς. (Solomon, 1987)



Εικόνα 15. Δρομολόγηση οχημάτων με χρονικά παράθυρα (VRPTW).

Όσον αφορά την μαθηματική μορφοποίηση των συγκεκριμένων προβλημάτων ισχύουν τα ακόλουθα, όπως προτάθηκαν από τον Cordeau το 2006. (Cordeau, 2006)

Έστω n ο αριθμός των χρηστών (ή των αιτημάτων) που θα εξυπηρετηθούν. Το DARP μπορεί να οριστεί σε ένα πλήρες κατευθυνόμενο γράφημα $G=(N,A)$, όπου $N=P \cup D \cup \{0, 2n+1\}$, $P=\{1, \dots, n\}$ και $D=\{n+1, \dots, 2n\}$. Τα υποσύνολα P και D περιέχουν κόμβους παραλαβής και αποβίβασης, αντίστοιχα, ενώ οι κόμβοι 0 και $2n+1$ αντιπροσωπεύουν τις αποθήκες προέλευσης και προορισμού. Με κάθε χρήστη i συσχετίζονται έτσι ένας κόμβος προέλευσης i και ένας κόμβος προορισμού $n+i$.

Έστω K το σύνολο των οχημάτων. Κάθε όχημα $k \in K$ έχει χωρητικότητα Q_k και η συνολική διάρκεια της διαδρομής του δεν μπορεί να υπερβαίνει την T_k . Με κάθε κόμβο $i \in N$ συνδέονται ένα φορτίο q_i και μια μη αρνητική διάρκεια υπηρεσίας d_i έτσι ώστε $q_0=q_{2n+1}=0$, $q_i=-q_{n+i}$ ($i=1, \dots, n$) και $d_0=d_{2n+1}=0$. Ένα χρονικό παράθυρο $[e_i, l_i]$ σχετίζεται επίσης με τον κόμβο $i \in N$, όπου το e_i και το l_i αντιπροσωπεύουν τον παλαιότερο και τον τελευταίο χρόνο, αντίστοιχα, στον οποίο η υπηρεσία μπορεί να ξεκινήσει στον κόμβο i . Με κάθε τόξο $(i,j) \in A$ συσχετίζονται ένα κόστος δρομολόγησης c_{ij} και ένας χρόνος ταξιδιού t_{ij} . Τέλος, συμβολίστε με L τον μέγιστο χρόνο διαδρομής ενός χρήστη.

Υπάρχει επίσης μια υπόθεση ότι ένα χρονικό παράθυρο καθορίζεται είτε για τον κόμβο προέλευσης είτε για τον κόμβο προορισμού ενός αιτήματος, αλλά όχι και για τα δύο. Ωστόσο, ένα έγκυρο χρονικό παράθυρο μπορεί πάντα να καθοριστεί για τον άλλο κόμβο λαμβάνοντας υπόψη τον άμεσο και τον μέγιστο χρόνο διαδρομής.

Για κάθε τόξο $(i,j) \in A$ και κάθε όχημα $k \in K$ έστω $x_{ij}^k = 1$ αν το όχημα k ταξιδεύει από τον κόμβο i στον j . Για κάθε κόμβο $i \in N$ και κάθε όχημα $k \in K$, έστω B_i^k η ώρα κατά την οποία το όχημα k ξεκινά την υπηρεσία στον κόμβο i και Q_i^k είναι το φορτίο του οχήματος k μετά την επίσκεψη στον κόμβο i . Τέλος, για κάθε χρήστη i , ας L_i^k be ο χρόνος διαδρομής του χρήστη i στο όχημα k .

Το DARP μπορεί να διαμορφωθεί ως το ακόλουθο πρόγραμμα μεικτού ακέραιου αριθμού:

$$\text{Min} \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij}^k x_{ij}^k$$

Έχοντας τους ακόλουθους περιορισμούς

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N} x_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in P,$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij}^k - \sum_{j \in N} x_{n+i,j}^k = 0 \quad \forall i \in P, k \in K,$$

$$\sum_{j \in N} x_{0j}^k = 1 \quad \forall k \in K,$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij}^k - \sum_{j \in N} x_{i,j}^k = 0 \quad \forall i \in P \cup D, k \in K,$$

$$\sum_{i \in N} x_{i,2n+1}^k = 1 \quad \forall k \in K,$$

$$\begin{aligned}
B_j^k &\geq (B_i^k + d_i + t_{ij})x_{ij}^k \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K, \\
Q_j^k &\geq (Q_i^k + q_j)x_{ij}^k \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K, \\
L_i^k &= B_{n+i}^k - (B_i^k + d_i) \quad \forall i \in P, k \in K, \\
t_{i,n+i} &\leq L_i^k \leq L \quad \forall i \in P, k \in K, \\
B_{2n+1}^k - B_0^k &\leq T_k \quad \forall k \in K, \\
e_i &\leq B_i^k \leq l_i \quad \forall i \in N, k \in K, \\
\max(0, q_i) &\leq Q_i^k \leq \min\{Q_k, Q_k + q_i\} \quad \forall i \in N, k \in K, \\
x_{ij}^k &\in \{0,1\} \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K.
\end{aligned}$$

Η αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος δρομολόγησης. Οι δύο πρώτοι περιορισμοί διασφαλίζουν ότι κάθε αίτημα εξυπηρετείται ακριβώς μία φορά και οι κόμβοι προέλευσης και προορισμού επισκέπτονται το ίδιο όχημα. Οι επόμενοι τρεις περιορισμοί εγγυώνται ότι η διαδρομή κάθε οχήματος k ξεκινά από την αποθήκη προέλευσης και τελειώνει στην αποθήκη προορισμού. Η συνέπεια των μεταβλητών χρόνου και φορτίου εξασφαλίζεται από τους επόμενους δύο περιορισμούς. Ο επόμενος περιορισμός ορίζει τον χρόνο διαδρομής κάθε χρήστη, ο οποίος περιορίζεται από τον ακόλουθο περιορισμό. Αξίζει να αναφέρουμε ότι οι τελευταίοι λειτουργούν και ως περιορισμοί προτεραιότητας επειδή η μη αρνητικότητα των L_i^k variables διασφαλίζει ότι ο κόμβος i θα επισκέπτεται πριν από τον κόμβο $n + i$ για κάθε χρήστη i . Τέλος, οι ανισότητες όρισαν τη διάρκεια κάθε διαδρομής, ενώ οι τελευταίοι περιορισμοί επιβάλλουν χρονικά παράθυρα και περιορισμούς χωρητικότητας, αντίστοιχα.

Αυτή η διατύπωση είναι μη γραμμική λόγω των περιορισμών ανισότητας B_j^k και Q_j^k . Εισάγοντας τις σταθερές M_{ij}^k και W_{ij}^k , αυτοί οι περιορισμοί μπορούν, ωστόσο, να γραμμικοποιηθούν ως εξής:

$$\begin{aligned}
B_j^k &\geq B_i^k + d_i + t_{ij} - M_{ij}^k(1 - x_{ij}^k) \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K, \\
Q_j^k &\geq Q_i^k + q_j - W_{ij}^k(1 - x_{ij}^k) \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K.
\end{aligned}$$

Η εγκυρότητα αυτών των περιορισμών διασφαλίζεται ορίζοντας $M_{ij}^k \geq \max\{0, l_i + d_i + t_{ij} - e_j\}$ και $W_{ij}^k \geq \min\{Q_k, Q_k + q_i\}$. Το πρώτο μπορεί να μειώσει τον αριθμό των μεταβλητών και των περιορισμών χρησιμοποιώντας συγκεντρωτικές μεταβλητές χρόνου B_i σε κάθε κόμβο εκτός από την αποθήκη προέλευσης 0 και την αποθήκη

προορισμού $2n+1$. Σε αυτήν την περίπτωση, ο περιορισμός ανισότητας του B_j^k και η εξίσωση του L_j^k θα αντικατασταθούν από τους ακόλουθους περιορισμούς:

$$B_j \geq (B_0^k + d_0 + t_{0j})x_{0j}^k \quad \forall j \in N, k \in K,$$

$$B_j \geq (B_i + d_i + t_{ij}) \sum_{k \in K} x_{ij}^k \quad \forall j \in N, j \in N,$$

$$B_{2n+1}^k \geq (B_i + d_i + t_{i,2n+1})x_{i,2n+1}^k \quad \forall i \in N, k \in K,$$

$$L_i = B_{n+i} - (B_i + d_i) \quad \forall i \in P$$

Στην ίδια γραμμή, εάν ο στόλος των οχημάτων είναι ομοιογενής με την έννοια ότι $Q_k=Q$ για κάθε $k \in K$, ο περιορισμός ανισότητας του Q_j^k θα αντικατασταθεί από τους ακόλουθους περιορισμούς:

$$Q_j \geq (Q_0^k + q_j)x_{0j}^k \quad \forall j \in N, k \in K,$$

$$Q_j \geq (Q_i + q_j) \sum_{k \in K} x_{ij}^k \quad \forall i \in N, j \in N,$$

$$Q_{2n+1}^k \geq (Q_i + q_{2n+1})x_{i,2n+1}^k \quad \forall j \in N, k \in K.$$

Τέλος, όπως φαίνεται από τους Desrochers και Laporte (1991), (Desrochers & Laporte, 1991) η γραμμική μορφή των περιορισμών μπορεί να αρθεί ως εξής λαμβάνοντας υπόψη το αντίστροφο τόξο (j, i):

$$Q_j \geq Q_i + q_j - W_{ij} \left(1 - \sum_{k \in K} x_{ij}^k \right) + (W_{ij} - q_i - q_j) \sum_{k \in K} x_{ij}^k \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K.$$

2.2.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΑΡΑΛΑΒΗ & ΠΑΡΑΔΟΣΗ (Pickup and Delivery) (PDP)

Τα προβλήματα παραλαβής και παράδοσης (PDP) αποτελούν μια κατηγορία προβλημάτων δρομολόγησης οχημάτων στα οποία μεταφέρονται αγαθά ή επιβάτες μεταξύ μιας προέλευσης και ενός προορισμού. Επομένως, κάθε αίτημα μεταφοράς i σχετίζεται με δύο κορυφές, p_i και d_i , και τα εμπορεύματα (ή οι επιβάτες) θα πρέπει να παραλαμβάνονται από το p_i και να παραδίδονται στο d_i . Για να είναι εφικτή μια λύση σε αυτήν τη ρύθμιση, τα p_i και d_i θα πρέπει να περιλαμβάνονται στην ίδια διαδρομή και το p_i θα πρέπει να γίνεται επίσκεψη πριν από το d_i .

Συνήθως, λαμβάνονται υπόψη οι περιορισμοί χωρητικότητας και ένα χρονικό παράθυρο συσχετίζεται με κάθε κορυφή. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χρονικού

παραθύρου και περιορισμών χωρητικότητας μπορεί να βρεθεί σε εφαρμογές που σχετίζονται με τη «Μεταφορά κατ' απαίτηση» (Berbeglia, et al., 2007), που περιλαμβάνουν τη μεταφορά ατόμων με ειδικές ανάγκες (Dial-a-Ride Problem, DARP).

Εκείνο το διάστημα μάλιστα εισήγαγε ένα σύστημα ταξινόμησης των PDP με βάση τον αριθμό των εμπλεκόμενων προελεύσεων και προορισμών. Με βάση αυτό υπάρχουν 3 διαφορετικές κατηγορίες.

- 1) **Many to Many (M-M)**. Προβλήματα πολλά προς πολλά, όπου οποιαδήποτε κορυφή μπορεί να χρησιμεύσει ως πηγή ή προορισμός.
- 2) **One to Many to One (1-M-1)**. Προβλήματα ένα προς πολλά προς ένα, στα οποία τα αγαθά/επιβάτες που είναι αρχικά διαθέσιμα σε μια αποθήκη πρέπει να μεταφερθούν σε πολλαπλές τοποθεσίες, ενώ άλλα αγαθά/επιβάτες που είναι διαθέσιμα σε αυτές ή άλλες τοποθεσίες χρειάζονται να μεταφερθούν πίσω στην αποθήκη.
- 3) **One to One (1-1)**. Ένα προς ένα πρόβλημα, όπου κάθε είδος/επιβάτης συνδέεται με συγκεκριμένη προέλευση και συγκεκριμένο προορισμό.

Μία προσέγγιση για τέτοιου είδους προβλήματα με ετερογενή οχήματα έγινε από τους Lu και Dessousky το 2004. (Lu & Dessouky, 2004) Στην συγκεκριμένη περίπτωση κάθε όχημα μπορεί να έχει τη δική του χωρητικότητα, αποθήκη αναχώρησης και αποθήκη επιστροφής. Ο στόχος είναι να βρεθεί μια συλλογή το πολύ m απλών κυκλωμάτων (m είναι ο αριθμός των οχημάτων του στόλου) με ελάχιστο συνολικό κόστος, που ορίζεται ως το άθροισμα των εξόδων ταξιδιού και σταθερό λειτουργικό κόστος για κάθε όχημα που αξιοποιήθηκε.

Θεωρούμε πως υπάρχουν n πελάτες. Κάθε πελάτης έχει μια παραλαβή και ένα αίτημα παράδοσης. Ο κόμβος i αντιπροσωπεύει τον κόμβο παραλαβής για τον πελάτη i και ο κόμβος $n + i$ αντιπροσωπεύει τον κόμβο παράδοσης για τον πελάτη i . Σημειώνουμε ακόμη ότι $N_r^+ = \{1, 2, \dots, n\}$ είναι το σύνολο κόμβων για όλα τα αιτήματα παραλαβής και $N_r^- = \{n + 1, n + 2, \dots, 2n\}$ είναι το σύνολο κόμβων για όλη την παράδοση αιτήσεων. Για παράδειγμα, ο κόμβος 1 και ο κόμβος $n+1$ αντιπροσωπεύουν τις τοποθεσίες παραλαβής και παράδοσης για τον Πελάτη 1, αντίστοιχα. Επίσης, το $N_r = N_r^+ \cup N_r^- = \{1, 2, \dots, 2n\}$ αντιπροσωπεύει το σύνολο κόμβων για όλες τις στάσεις υπηρεσίας.

Επίσης, υπάρχουν m οχήματα προς δρομολόγηση και προγραμματισμό. Στο δίκτυό μας αντιπροσωπεύουμε τις αποθήκες αναχώρησης και επιστροφής για όλα τα

οχήματα κατά $m+1$ κόμβους. Ακόμη υπάρχει ένα σύνολο κόμβων $N_q = \{2n + 1, 2n + 2, \dots, 2n + m + 1\}$. Ο κόμβος $2n+1$ αντιπροσωπεύει τον κόμβο αναχώρησης για το πρώτο όχημα. Ο κόμβος $2n + v$, $v = 2, 3, \dots, m$ αντιπροσωπεύει τον κόμβο επιστροφής για το $v-1$ όχημα καθώς και τον κόμβο αναχώρησης για το v όχημα. Ο κόμβος $2n+m+1$ αντιπροσωπεύει τον κόμβο επιστροφής για το m όχημα.

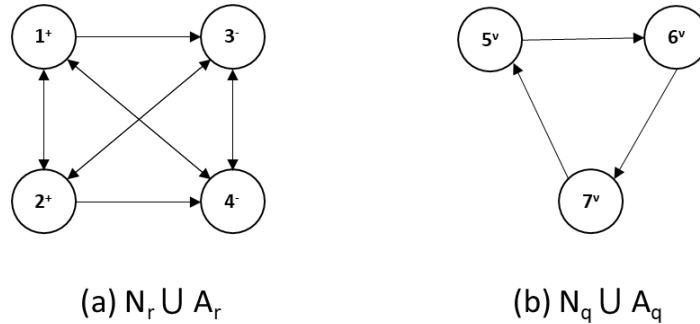
Παρατηρούμε ότι η επέκταση του δικτύου από ένα μεμονωμένο όχημα σε μια πολλαπλή θήκη για ένα VRP είναι απλή, επειδή δεν υπάρχει περιορισμός σύζευξης που να απαιτεί την αντιστοίχιση της παραλαβής με την παράδοση στο ίδιο όχημα. Δηλαδή, στο PDP οι δύο κόμβοι που αντιπροσωπεύουν τα σημεία παραλαβής και παράδοσης ενός αιτήματος πρέπει να βρίσκονται στην ίδια διαδρομή για ένα δεδομένο όχημα. Ο σχεδιασμός του δικτύου μας λαμβάνει υπόψη αυτόν τον περιορισμό σύζευξης, ενώ προσπαθεί να διατηρήσει τον αριθμό των μεταβλητών ροής τόξου στο ελάχιστο.

Το δίκτυο για το πρόβλημα μπορεί να κατασκευαστεί ως εξής: $G(N,A)$ όπου ορίζεται ο κόμβος $N = N_r \cup N_q$ και A είναι το τόξο. Έστω ότι $A = A_r \cup A_q \cup A_{r,q}$, όπου το A_r αντιπροσωπεύει το σύνολο των τόξων μεταξύ των κόμβων του N_r , το A_q αντιπροσωπεύει το σύνολο των τόξων μεταξύ των κόμβων του N_q , το $A_{r,q}$ αντιπροσωπεύει το σύνολο των τόξων των κόμβων που συνδέουν το N_r και το N_q . Στο A_r εξαιρούμε όλα τα τόξα $(i + n, i)$, $1 \leq i \leq n$ γιατί παραβιάζουν την απαίτηση παραλαβής πριν από την παράδοση. Επίσης, έστω ότι $A_{r,q} = A_{r-,q} \cup A_{q,r+}$.

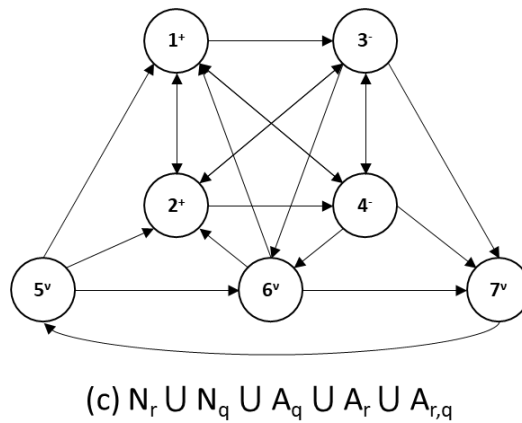
Στο παρακάτω σχήμα α, θα μπορούσαμε να πούμε ότι οι κόμβοι 1 και 2 αντιπροσωπεύουν τους κόμβους παραλαβής και οι κόμβοι 3 και 4 αντιπροσωπεύουν τους κόμβους παράδοσης των πελατών 1 και 2, αντίστοιχα. Το σύνολο τόξων A_q έχει ακριβώς $m+1$ τόξα που διατυπώνουν έναν βρόχο. Στο σχήμα b, θα είχαμε τα τόξα για μια υπόθεση δύο οχημάτων. Σε αυτό, ο κόμβος 5 αντιπροσωπεύει τον κόμβο αναχώρησης του οχήματος 1, ο κόμβος 6 αντιπροσωπεύει τον κόμβο επιστροφής του οχήματος 1 και ο κόμβος αναχώρησης του οχήματος 2 και ο κόμβος 7 αντιπροσωπεύει τον κόμβο επιστροφής του οχήματος 2. Τέλος, οι κόμβοι στο N_q μπορούν να αντιπροσωπεύουν δύο διαφορετικές φυσικές τοποθεσίες.

Έστω τώρα ένα σύνολο τόξου $A_{r,q} = A_{r-,q} \cup A_{q,r+}$. Το τόξο $A_{r-,q}$ αντιπροσωπεύουν όλα τα τόξα από το N_r^- προς το $N_q/\{2n + 1\}$. Το τόξο $A_{q,r+}$ αντιπροσωπεύουν όλα τα τόξα από το $N_q/\{2n + m + 1\}$ προς το N_r^+ . Έτσι ένα πλήρες γράφημα για $n=2$ και $m=2$ θα μπορούσε να είναι το c του παρακάτω σχήματος. Αξίζει να σημειώσουμε

πως το γράφημα δεν είναι πλήρες γράφημα. Αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να ελαχιστοποιήσουμε τον αριθμό των τόξων που θα είναι οι ακέραιες μεταβλητές στη διατύπωση.



+ Κόμβοι Παραλαβής
 - Κόμβοι Παράδοσης
 v Κόμβοι Οχημάτων



Εικόνα 16. Δρομολόγηση οχημάτων με Παραλαβή & Παράδοση (Pickup and Delivery) (PDP).

Έστω $\rho_{i,j}$ το κόστος ταξιδιού για το τόξο (i, j) στο σύνολο τόξων A . Ορίζονται τα ακόλουθα:

- $\rho_{i,j} =$ {
- απόσταση μεταξύ των κόμβων i και j $(i, j) \in A_r$
 - απόσταση μεταξύ αποθήκης αναχώρησης του οχήματος $i-2n$ και κόμβου παραλαβής j $(i, j) \in A_{q,r+}$
 - απόσταση μεταξύ του κόμβου παράδοσης i και της αποθήκης επιστροφής του οχήματος $j-2n-1$ $(i, j) \in A_{r-,q}$
 - 0 $(i, j) \in A_q$.

Έστω U_v το σταθερό κόστος που προκύπτει από τη χρήση του οχήματος v , $v = 1, 2, \dots, m$. Ορίζουμε το κόστος $c_{i,j}$ σε κάθε κόμβο σύνδεσης κατευθυνόμενου τόξου i με j στο σύνολο τόξων A ως εξής:

$$c_{i,j} = \begin{cases} \rho_{i,j} & (i,j) \in A_r \cup A_q \cup A_{r-,q} \\ U_{i-2n} + \rho_{i,j} & \in A_{q,r+} \end{cases}$$

Από τον ορισμό του παραπάνω δικτύου, είναι εύκολο να διαπιστωθεί ότι οποιαδήποτε εφικτή λύση στο πρόβλημα παραλαβής και παράδοσης μπορεί να αναπαρασταθεί ως μια περιήγηση σε αυτό το δίκτυο. Ως εκ τούτου, το πρόβλημα μπορεί να οριστεί για τον προσδιορισμό του ελάχιστου κόστους περιήγησης που ικανοποιεί όλους τους περιορισμούς παραλαβής και παράδοσης σε αυτό το νέο γράφημα.

Υποδηλώνουμε τη χωρητικότητα κάθε οχήματος με D_v , $v = 1, 2, \dots, m$ και d_i τη ζήτηση παραλαβής σε κάθε κόμβο παραλαβής $i = 1, 2, \dots, n$. Για να αναπαραστήσουμε τους περιορισμούς χωρητικότητας του οχήματος στη διατύπωσή μας, δύο πρόσθετες μεταβλητές f_i και g_i ορίζονται ως εξής:

$$f_i = \begin{cases} D_1 & i=2n+1, \\ D_{i-2n} - D_{i-2n-1} & i=2n+2, 2n+3, \dots, 2n+m, \\ 0 & \text{Αλλιώς.} \end{cases}$$

$$g_i = \begin{cases} d_i & i \in N_r^+, \\ -d_{i-n} & i \in N_r^-, \\ 0 & \text{Αλλιώς.} \end{cases}$$

Αυτό το πρόβλημα διατυπώνεται ως πρόβλημα προγραμματισμού ακέραιου αριθμού. Ορίζουμε δύο δυαδικές μεταβλητές απόφασης:

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{εάν ένα όχημα ταξιδεύει από τον κόμβο } i \text{ στον κόμβο } j, \\ 0 & \text{Αλλιώς.} \end{cases}$$

$$b_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{εάν ο κόμβος } i \text{ βρίσκεται πριν από τον κόμβο } j \text{ στην περιήγηση,} \\ 0 & \text{Αλλιώς.} \end{cases}$$

Σε αυτό το σημείο να σημειώσουμε ότι για να ορίσουμε τη σειρά των κόμβων σε μια περιήγηση, υποθέτουμε ότι η περιήγηση ξεκινά από τον κόμβο $2n+1$, που είναι η αποθήκη αναχώρησης για το πρώτο όχημα, και τελειώνει στον κόμβο $2n + m + 1$, που είναι η αποθήκη επιστροφής για το τελευταίο όχημα.

Για ότι αφορά τώρα την μαθηματική μορφοποίηση του μοντέλου PDP με πολλά οχήματα Multi-Vehicle Pickup and Delivery Problem (MVPDP) δεν απαιτείται κάποιος επιπλέον δείκτης για τον αριθμό του οχήματος στις μεταβλητές ροής τόξου για την επιβολή της σύζευξης των αιτημάτων παραλαβής και παράδοσης.

$$\text{Min} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{i,j} x_{i,j}$$

Με τους ακόλουθους περιορισμούς

$$\sum_{j \in N} x_{i,j} = 1 \text{ για όλα τα } i \in N, \quad (1)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i,j} = 1 \text{ για όλα τα } j \in N, \quad (2)$$

$$b_{k,i} \leq b_{k,j} + (1 - x_{i,j}) \text{ για όλα τα τόξα } (i,j) \in A \setminus \{\text{τόξο}(2n + m + 1, 2n + 1)\} \text{ και } k \in N \setminus \{i\} \quad (3)$$

$$b_{k,j} \leq b_{k,i} + (1 - x_{i,j}) \text{ για όλα τα τόξα } (i,j) \in A \setminus \{\text{τόξο}(2n + m + 1, 2n + 1)\} \text{ και } k \in N \setminus \{i\} \quad (4)$$

$$x_{i,j} \leq b_{i,j} \text{ για όλα τα τόξα } (i,j) \in A \quad (5)$$

$$b_{i,i} = 0 \text{ για όλα τα } i \in N, \quad (6)$$

$$b_{n+i,i} = 0 \text{ για όλα τα } i \in N_r^+, \quad (7)$$

$$b_{i,n+i} = 1 \text{ για όλα τα } i \in N_r^+, \quad (8)$$

$$b_{i,2n+j} = b_{n+i,2n+j} \text{ για όλα τα } i \in N_r^+ \text{ και } 2n + j \in N_q, \quad (9)$$

$$g_j + \sum_{i \in N} b_{i,j} g_i \leq \sum_{k \in N_q} f_k b_{k,j} \text{ για όλα τα } j \in N_r^+, \quad (10)$$

$$b_{i,2n+1} = 0 \text{ για όλα τα } i \in N, \quad (11)$$

$$b_{2n+k,2n+j} = 1 \text{ για όλα τα } k < j, 2n + k \in N_q \text{ και } 2n + j \in N_q, \quad (12)$$

$$b_{2n+j,2n+k} = 0 \text{ για όλα τα } k < j, 2n + k \in N_q \text{ και } 2n + j \in N_q, \quad (13)$$

$$b_{i,2n+m+1} = 1 \text{ για όλα τα } i \in N \{2n + m + 1\}, \quad (14)$$

$$x_{i,j} = \{0,1\}, \quad (15)$$

$$b_{i,j} = \{0,1\}, \quad (16)$$

Οι περιορισμοί (1) και (2) είναι οι βασικοί περιορισμοί δικτύου, οι οποίοι επιβάλλουν ότι ακριβώς ένα όχημα εισέρχεται και εξέρχεται από κάθε κορυφή εξυπηρέτησης. Οι περιορισμοί (3) και (4) είναι περιορισμοί αντιγραφής, επειδή η λειτουργία τους είναι να αντιγράψουν όλες τις τιμές του $b_{k,i}$ στο $b_{k,j}$, όπου $k \in N$ και $k = i$. Δηλαδή, αν $x_{i,j} = 1$, που σημαίνει ο κόμβος i είναι αμέσως πριν από τον κόμβο j , οι περιορισμοί (3) και (4) ισχύουν $b_{k,i} = b_{k,j}$ για όλα τα $k \in N$ και $k = i$. Τότε οι περιορισμοί (5) επιβάλλουν $b_{i,j} = 1$ και η συνθήκη (6) ορίζει $b_{i,i} = 0$. Όταν $x_{i,j} = 0$, οι περιορισμοί (3) έως (5) είναι περιττοί.

Οι περιορισμοί (7) και (8) είναι προηγούμενοι περιορισμοί, οι οποίοι αναγκάζουν τον κόμβο παραλαβής να γίνει επίσκεψη πριν από τον αντίστοιχο κόμβο παράδοσης.

Ο περιορισμός (9) είναι ο περιορισμός σύζευξης, ο οποίος διασφαλίζει ότι τα αιτήματα παραλαβής και παράδοσης για κάθε πελάτη πρέπει να ικανοποιούνται από το ίδιο όχημα.

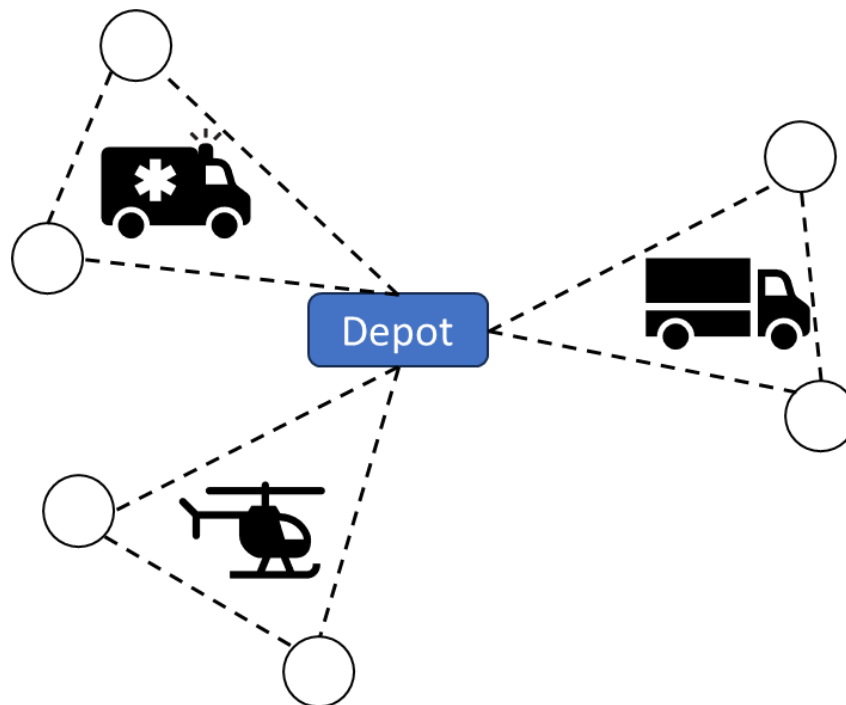
Ο περιορισμός (10) είναι ο περιορισμός χωρητικότητας του οχήματος, ο οποίος επιβάλλει ότι ανά πάσα στιγμή το φορτίο στο όχημα είναι κάτω από τη χωρητικότητα του οχήματος. Επειδή η χωρητικότητα του οχήματος μπορεί να παραβιαστεί μόνο στα σημεία παραλαβής, το φορτίο του οχήματος ελέγχεται μόνο σε κάθε φορτίο παραλαβής. Σε κάθε κόμβο παραλαβής j , η χωρητικότητα του οχήματος που θα επισκεφθεί τον κόμβο j είναι $\sum_{k \in N_q} f_k b_{k,j}$. Το τρέχον φορτίο του οχήματος πριν από την επίσκεψη στον κόμβο j είναι $\sum_{i \in N} b_{i,j} g_i$.

Ο περιορισμός (11) ορίζει τον κόμβο $2n + 1$ ως τον πρώτο κόμβο στην περιήγηση. Οι περιορισμοί (12) και (13) επιβάλλουν ότι οι αποθήκες αναχώρησης του οχήματος $1, \dots, m$, επισκέπτονται με αυτήν τη σειρά στην περιήγηση. Επίσης θυμόμαστε ότι οι κόμβοι $2n+v$, $v = 2, 3, \dots, m$ αντιπροσωπεύουν τον κόμβο επιστροφής για το $(v-1)$ όχημα καθώς και τον κόμβο αναχώρησης για το v^o όχημα. Αυτοί οι δύο περιορισμοί επιβάλλουν κάθε όχημα να επιστρέφει στη δική του αποθήκη. Τέλος, ο περιορισμός (14) ορίζει τον κόμβο $2n+m+1$ ως τον τελευταίο κόμβο στην περιήγηση.

Χαρακτηριστικό της φόρμουλας είναι ότι η εξάλειψη υποπεριήγησης έχει συμπεριληφθεί σιωπηρά στη σύνθεση. Με άλλα λόγια, οποιαδήποτε ακέραια λύση της παραπάνω διατύπωσης πρέπει να αντιπροσωπεύει μια περιήγηση στο δίκτυο.

2.2.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΕΤΕΡΟΓΕΝΗ ΣΤΟΛΟ - Heterogeneous fleet VRP (HVRP)

Το πρόβλημα δρομολόγησης ετερογενούς στόλου οχημάτων (HVRP) είναι ένα πρόβλημα ταυτόχρονου προσδιορισμού της σύνθεσης και της δρομολόγησης ενός ετερογενούς στόλου οχημάτων προκειμένου να εξυπηρετηθεί ένα προκαθορισμένο σύνολο πελατών με γνωστές απαιτήσεις παράδοσης από μια κεντρική αποθήκη. Ο αριθμός των οχημάτων κάθε τύπου θεωρείται απεριόριστος. Το HVRP αποτελείται από το σχεδιασμό ενός συνόλου διαδρομών οχημάτων, καθεμία από τις οποίες ξεκινά και καταλήγει στο αμαξοστάσιο, έτσι ώστε κάθε πελάτης να επισκέπτεται ακριβώς μία φορά. Η συνολική ζήτηση μιας διαδρομής δεν υπερβαίνει τη χωρητικότητα του οχήματος που της έχει ανατεθεί και το συνολικό κόστος ελαχιστοποιείται. (Lima, et al., 2014)



Εικόνα 17. Δρομολόγηση οχημάτων με ετερογενή στόλο (HVRP).

Η προσέγγιση που έκανε ο Lima το 2014 είναι η ακόλουθη. Έστω $G = (V, A)$ ένα κατευθυνόμενο γράφημα όπου $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ είναι το σύνολο κορυφής και $A = \{(v_i, v_j)\}$, $v_i, v_j \in V$, $i \neq j$, είναι το σύνολο τόξου. Το v_0 αντιπροσωπεύει μια αποθήκη στην οποία εδρεύει ένας στόλος οχημάτων, ενώ οι υπόλοιπες κορυφές αντιστοιχούν σε πόλεις ή πελάτες. Κάθε πελάτης v_i έχει ένα μη αρνητικό q_i ζήτησης.

f_t θεωρούμαι το σταθερό κόστος ενός οχήματος τύπου t , με g_t το μεταβλητό κόστος ανά μονάδα απόστασης και με Q_t τη χωρητικότητά του. Με κάθε τόξο (v_i, v_j) συνδέεται μια απόσταση c_{ij} . Οι εξελικτικοί αλγόριθμοι έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία σε διάφορους τομείς της συνδυαστικής βελτιστοποίησης, δείχνοντας ότι η αύξηση των εξελικτικών αλγορίθμων με ευρετικές μεθόδους για συγκεκριμένο πρόβλημα μπορεί να οδηγήσει σε εξαιρετικά αποτελεσματικές προσεγγίσεις. Μια μορφή υβριδοποίησης εξελικτικών αλγορίθμων είναι η συμπερίληψη διαδικασιών τοπικής αναζήτησης. Αυτοί οι αλγόριθμοι ανήκουν στην κατηγορία των μιμητικών αλγορίθμων. Οι μιμητικοί αλγόριθμοι είναι προσεγγίσεις που βασίζονται στον πληθυσμό παρόμοιες με τους γενετικούς αλγόριθμους. (Moscato & Norman, 1992)

Παρακάτω δίνεται ο ψευδοκώδικας του μιμητικού αλγορίθμου που εφαρμόζεται σε αυτή την εργασία:

```
initialize population P;
for i := 1 to |P| do
    assign_vehicle(pi);
    genius(pi);
best := best_chromosome(P);
repeat
    select p1, p2 with binary tournament;
    child := crossover_erx(p1, p2);
    assign_vehicle(child);
    genius(child);
    repeat
        fit_aux := fitness(child);
        child :=  $\lambda$ _interchange(child);
        child := genius(child);
        if fitness(child) < fitness(best)
            then best := child;
```

```
until (fit_aux ≤ fitness(child));  
replace_P(p1, p2, child);  
until stop_criterion be satisfied;
```

Ο συγκεκριμένος μιμητικός αλγόριθμος χρησιμοποιεί δύο τεχνικές τοπικής αναζήτησης: τον αλγόριθμο GENIUS (Gendreau, et al., 1992) και την λ-ανταλλαγή (Wassan & Osman, 2002). Για τη δημιουργία ενός χρωμοσώματος, δημιουργείται μια λίστα πελατών. Ο πρώτος πελάτης, ο c_1 , επιλέγεται τυχαία. Στη συνέχεια, το $i^{\text{οστο}}$ πελάτη c_i επιλέγεται τυχαία σε μια λίστα με τα τρία πλησιέστερα χρωμοσώματα στο c_{i-1} . Μόλις δημιουργηθεί η λίστα με όλους τους πελάτες, τα οχήματα εκχωρούνται σε αυτούς (διαδικασία assign_vehicle()). Έστω m τύποι οχημάτων έτσι ώστε $Q_1 \leq Q_2 \leq \dots \leq Q_m$ και $f_1 \leq f_2 \leq \dots \leq f_m$, όπου Q_j και f_j είναι η χωρητικότητα και το σταθερό κόστος του οχήματος τύπου j . Η απόφαση για το ποιο όχημα εκχωρείται σε έναν δεδομένο πελάτη βασίζεται στη ελάχιστη τιμή του $(Q_i - D_i) * f_i$, όπου D_i είναι η συνολική ζήτηση των πελατών που εξυπηρετούνται από έναν δεδομένο τύπο οχήματος i . Η καταλληλότητα δίνεται από το άθροισμα του κόστους κάθε μεμονωμένης διαδρομής. Ο πληθυσμός έχει πεντακόσια χρωμοσώματα. Ο αλγόριθμος GENIUS, που υλοποιείται στη διαδικασία geniuss() εφαρμόζεται σε κάθε χρωμοσώμα του αρχικού πληθυσμού προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η περιήγηση σε κάθε όχημα. Το καλύτερο χρωμοσώμα διατηρείται στο μεταβλητό καλύτερο.

Δύο γονείς επιλέγονται με τη μέθοδο δυαδικού τουρνουά, όπου σχηματίζονται δύο ξεχωριστές ομάδες με δύο χρωμοσώματα σε καθένα από αυτά και ο πιο κατάλληλος γονέας κάθε ομάδας επιλέγεται για ανασυνδυασμό. Μια έκδοση του τελεστή διασταύρωσης ERX για το Πρόβλημα του Ταξιδιώτη Πωλητή εφαρμόζεται στους γονείς προκειμένου να δημιουργηθεί μια ακολουθία πελατών για το παιδί. Σε αυτή την έκδοση, δεδομένων των στοιχείων της πρώτης διαδρομής των δύο γονέων, σχηματίζεται ένα σύνολο με τους τρεις πελάτες που βρίσκονται πιο κοντά στο αμαξοστάσιο. Ο πρώτος πελάτης της λίστας του παιδιού επιλέγεται τυχαία σε αυτό το σετ. Στη συνέχεια, τα οχήματα εκχωρούνται στους πελάτες στη διαδικασία assign_vehicle() και εφαρμόζεται η ευρετική ιδιοφυΐα για τη βελτιστοποίηση των διαδρομών. Η διαδικασία τοπικής αναζήτησης (λ-εναλλαγή εφαρμόζεται στο παιδί. Έστω $Sol = \{R_1, \dots, R_p, \dots, R_n\}$ μια δεδομένη λύση HVRP όπου n είναι ο συσχετισμένος συνολικός αριθμός οχημάτων όλων των τύπων. Μια γειτονιά καθορίζει το σύνολο των τελεστών που μπορούν να εφαρμοστούν στο Sol για να

δημιουργήσουν κινήσεις σε μια άλλη λύση Sol' στη γειτονιά του Sol , $N(Sol)$. Δεδομένου ενός ζεύγους διαδρομών (R_p, R_q) στο Sol , μια κίνηση λ -εναλλαγής εναλλάσσει ένα υποσύνολο S_p μεγέθους $|S_p| \leq \lambda$ από R_p με άλλο υποσύνολο S_q μεγέθους $|S_q| \leq \lambda$ από R_q . Δημιουργούνται δύο νέες διαδρομές με τις μορφές $R_p - S_p \cup S_q$ και $R_q - S_q \cup S_p$. Οι τρόποι για την επιλογή των υποσυνόλων S_p και S_q και η επανασύνδεση των διακεκομμένων τμημάτων των συσχετισμένων διαδρομών παράγουν διαφορετικές κινήσεις. Οι διακριτές διεργασίες εξαρτώνται από το μέγεθος των S_p και S_q . Πρώτον, εάν οποιαδήποτε από τις ιδιαιτερότητες των S_p , S_q είναι μηδέν, τότε λαμβάνει χώρα μια διαδικασία μετατόπισης. Σε αυτή τη διαδικασία ένα μη κενό υποσύνολο από τη μια διαδρομή μετατοπίζεται στην άλλη. Δεύτερον, εάν και τα δύο υποσύνολα δεν είναι άδεια, τα δύο υποσύνολα ανταλλάσσονται στοίχημα στις διαδρομές. Η διαδικασία ανταλλαγής συνδυάζει δύο ταυτόχρονες διεργασίες μετατόπισης για να δημιουργήσει σύνθετες κινήσεις που δεν μπορούν να δημιουργηθούν με τη διαδοχική εφαρμογή οποιασδήποτε από τις διαδικασίες μετατόπισης μόνο λόγω περιορισμών χωρητικότητας/χρόνου. Το μέγεθος της γειτονιάς εναλλαγής λ είναι συνάρτηση της τιμής του λ , το λ είναι ένας ακέραιος αριθμός. Καθορίζεται από το σύνολο όλων των πιθανών λύσεων που παράγονται διαδοχικά εξετάζοντας όλους τους πιθανούς συνδυασμούς $n(n-1)/2$ ζευγών διαδρομών, δηλαδή $(R_1, R_2), \dots, (R_{n-1}, R_n)$. Στη συγκεκριμένη προσέγγιση χρησιμοποιήθηκαν δύο τιμές για το λ , $\lambda = 1, 2$. Το καλύτερο αποτέλεσμα αποθηκεύεται στο παιδί. Στη συνέχεια, η ευρετική διαδικασία εφαρμόζεται στο παιδί. Εάν το παιδί είναι καλύτερο από τουλάχιστον έναν από τους γονείς του, αντικαθιστά τον χειρότερο γονέα στο P (διαδικασία αντικατάσταση $_P$). Το κριτήριο διακοπής είναι πεντακόσιες επαναλήψεις του αλγορίθμου.

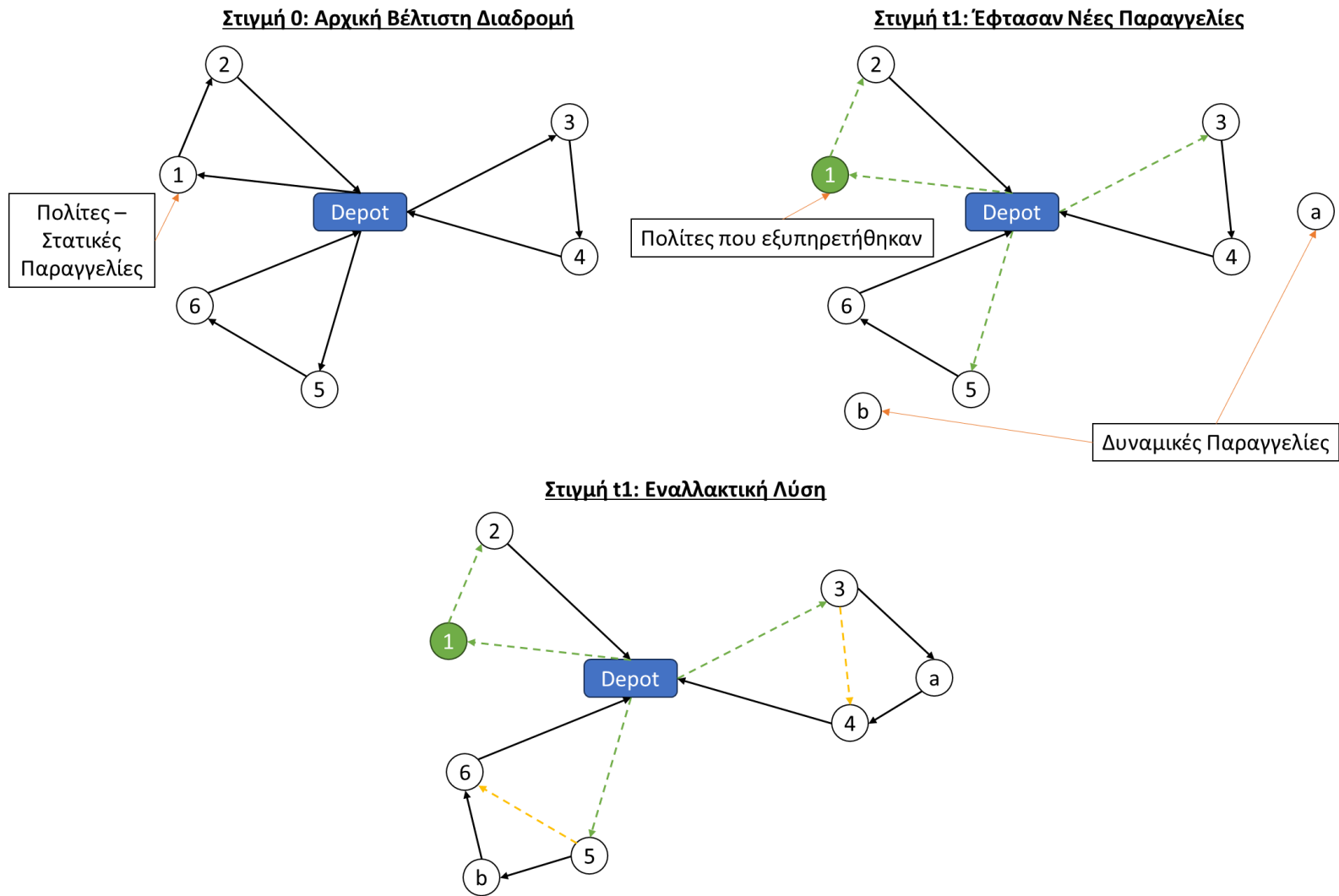
2.2.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ BACKHAULS - VRP WITH BACKHAULS (VRPB)

Στο VRP με Backhauls (VRPB), η ζήτηση κάθε πελάτη αντιστοιχεί είτε σε παράδοση (linehaul) είτε σε παραλαβή (backhaul), στην οποία τα σχετικά είδη πρέπει να επιστραφούν στην αποθήκη. Συνήθως, το VRPB επεκτείνεται για να ληφθούν υπόψη τα χρονικά παράθυρα (VRPBTW). Ο στόχος του VRPB είναι να

ελαχιστοποιήσει τη συνολική απόσταση ταξιδιού προκειμένου να ικανοποιήσει όλες τις απαιτήσεις παράδοσης και παραλαβής. Αυτό συνήθως συνδυάζεται με την ελαχιστοποίηση του συνολικού αριθμού των χρησιμοποιούμενων οχημάτων. Το VRPB μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως ειδική περίπτωση του Προβλήματος Παραλαβής και Παράδοσης.

Υπάρχουν δύο κύριες στρατηγικές backhauling. Η πρώτη είναι το Πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με ομαδοποιημένα backhauls και χρονικά παράθυρα (VRPCBTW; (Gelinas, et al., 1995)) και η δεύτερη είναι το πρόβλημα δρομολόγησης οχημάτων με μικτά backhauls και χρονικά παράθυρα (VRPMBTW; (Kontoravdis & Bard, 1995)). Το πρώτο (VRPCBTW) επιβάλλει περιορισμούς στη σειρά επισκέψεων, όπου όλοι οι πελάτες γραμμής μεταφοράς μιας διαδρομής πρέπει να εξυπηρετούνται πριν από τους πελάτες backhaul. Πρακτικά, αυτός ο περιορισμός χρησιμοποιείται για την εξάλειψη των αναδιατάξεων του φορτίου εντός του οχήματος, καθώς συνήθως τα οχήματα φορτώνονται σύμφωνα με τη σειρά παράδοσης που ακολουθούν. Σε περίπτωση που η αλληλουχία δεν επιβάλλει προτεραιότητες, τότε οι πελάτες linehaul και backhaul μπορούν να επισκέπτονται αυθαίρετα. Για την αντιμετώπιση τέτοιων προβλημάτων έχουν προταθεί αρκετοί ευρετικοί και ακριβείς αλγόριθμοι. Για παράδειγμα ο Gelinas το 1995 ανέπτυξε έναν Branch and Bound (B&B) αλγόριθμο με βάση τη δημιουργία στηλών χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο διαχωρισμού συνόλου για το VRPCBTW. Επίσης, αρκετοί χρησιμοποίησαν διακλάδωση σε μεταβλητές πόρων (χρόνος και χωρητικότητα) αντί για μεταβλητές ροής δικτύου, κάτι που τους επέτρεψε να λύσουν με βέλτιστο τρόπο μια σειρά προβλημάτων που βασίζονταν στον Solomon (1987) έως και 100 πελατών. Επίσης, μια αποτελεσματική διατύπωση γραμμικού προγραμματισμού ακέραιων αριθμών με βάση την κατανομή συνόλων για το VRPCB, ικανή να επιλύει περιπτώσεις βέλτιστης με έως και 100 πελατών και 12 οχημάτων δόθηκε από τον Mingozzi το 1999. (Mingozzi, et al., 1999).

Παρακάτω μπορούμε να δούμε πως παρουσιάστηκε το πρόβλημα από τον Νινίκα το 2014. (Νινίκας, 2014)



Εικόνα 18. Δρομολόγηση οχημάτων με Backhauls (VRPB).

Αρχικά έχουμε ένα δίκτυο μεταφοράς σε ένα ευκλείδειο αεροπλάνο. Ένας επαρκής αριθμός ομοιογενών οχημάτων (σετ V) με περιορισμένη χωρητικότητα \bar{Q} βρίσκεται σε μία μόνο αποθήκη πριν από την έναρξη των εργασιών. Τη στιγμή 0, στην αρχή του ορίζοντα σχεδιασμού $[0, T_{max}]$, ένα σύνολο οχημάτων $K \subset V$ ξεκινά την εκτέλεση των προγραμματισμένων διαδρομών τους για να εξυπηρετήσει ένα σύνολο αιτημάτων εκτός σύνδεσης γνωστά εκ των προτέρων (που συνήθως απαιτούν υπηρεσίες παράδοσης), ενώ $K^c = V - K$ είναι το σύνολο των οχημάτων που είναι διαθέσιμα στο αμαξοστάσιο. Ένα όχημα, αφού αποσταλεί, απαιτείται να επιστρέψει στην αποθήκη μέχρι $t = T_{max}$. Οι παραγγελίες που είναι γνωστές εκ των προτέρων ενδέχεται να απαιτούν εξυπηρέτηση εντός ενός συγκεκριμένου χρονικού παραθύρου και όλες οι πληροφορίες σχετικά με αυτές τις παραγγελίες είναι γνωστές πριν από την εκτέλεση των προγραμματισμένων δρομολογίων. Αναφερόμαστε σε παραγγελίες όπως Στατικές Παραγγελίες (Static Orders), SO.

Κατά την εκτέλεση του σχεδίου διανομής, νέοι πελάτες καλούν, ζητώντας (παραλαβή) υπηρεσίες. Αυτά τα αιτήματα που φθάνουν (εφεξής θα αναφέρονται ως Δυναμικές Παραγγελίες, DO) πρέπει να συλλεχθούν και να επιστραφούν πίσω στην αποθήκη. Πρέπει να εξυπηρετούνται μόνο οι DO που φτάνουν κατά τη διάρκεια μιας προκαθορισμένης αποδεκτής περιόδου $[0, T_{max} - \tau]$, όπου το τ υποδηλώνει ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα (π.χ. την τελευταία ώρα της διαθέσιμης περιόδου εργασίας). Οι παραγγελίες που φτάνουν την ώρα $t \geq T - \tau$ αναβάλλονται για την επόμενη μέρα. Οι στατικές παραγγελίες που είχαν αρχικά ανατεθεί σε οχήματα στο K δεν μπορούν να ανακατανεμηθούν σε άλλα οχήματα, ενώ το DO μπορεί να εξυπηρετηθεί από οποιοδήποτε όχημα $V = K \cup K^c$ όπως απαιτείται. Γενικά, οι παραγγελίες πελατών στο τρέχον πλαίσιο έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: i) οι στατικές παραγγελίες (SO) μπορεί να είναι παραδόσεις ή παραλαβές, ii) όλες οι δυναμικές παραγγελίες (DO) σχετίζονται με λειτουργίες παραλαβής και iii) όλες οι DO επιστρέφονται στην αποθήκη για περαιτέρω επεξεργασία.

Το εύρος του προβλήματος είναι να εξυπηρετήσει όλα τα SO και να καταλείψει το DO στα οχήματα του σετ V όσο το δυνατόν καλύτερα. Αυτό το πεδίο εφαρμογής μπορεί να επισημοποιηθεί ανάλογα με τη διαθεσιμότητα του στόλου. Στο πλαίσιο αυτό, υπάρχουν δύο περιπτώσεις που πρέπει να εξεταστούν:

- i) Απεριόριστος στόλος οχημάτων: Εξυπηρέτηση όλων των στατικών παραγγελιών και όλων των DO που φτάνουν εντός της αποδεκτής

περιόδου $[0, T_{max}-\tau]$, ώστε να ελαχιστοποιηθεί το άθροισμα της συνολικής απόστασης που διανύουν τα οχήματα που αποστέλλονται.

- ii) Περιορισμένος στόλος οχημάτων: Εξυπηρετεί όλες τις στατικές παραγγελίες και μεγιστοποιήστε τον αριθμό των εξυπηρετούμενων DO σε όλη τη διαθέσιμη βάρδια.

Για την περίπτωση (i) παραπάνω, επαρκής αριθμός ομοιογενών οχημάτων βρίσκεται σε μια ενιαία αποθήκη στην αρχή του ορίζοντα σχεδιασμού, προκειμένου ο στόλος να εξυπηρετεί όλες τις παραγγελίες. Επομένως, νέα οχήματα μπορούν να αποσταλούν για να εξυπηρετήσουν κάποια DO που δεν μπορούν να εξυπηρετηθούν από οχήματα καθ' οδόν. Για την περίπτωση (ii), ο στόλος επαρκεί για την εξυπηρέτηση στατικών παραγγελιών, αλλά μπορεί να μην επαρκεί για την εξυπηρέτηση όλων των DO. Αυτοί οι στόχοι εξετάζονται υπό τους ακόλουθους επιχειρησιακούς περιορισμούς:

- Όλα τα SO πρέπει να εξυπηρετηθούν
- Κάθε παραγγελία μπορεί να εξυπηρετηθεί το πολύ μία φορά, με ένα (μονό) όχημα
- Το SO δεν μπορεί να αντιστοιχιστεί εκ νέου μεταξύ των οχημάτων, δηλαδή οι στατικές εντολές που είχαν αρχικά εκχωρηθεί σε ένα όχημα, πρέπει να εξυπηρετούνται μόνο από αυτό το όχημα. Φυσικά, η σειρά συντήρησης SO από ένα συγκεκριμένο όχημα μπορεί να αλλάξει, εάν αυτό ευνοεί την αντικειμενική λειτουργία.
- Η επίδοση μιας παραγγελίας πρέπει να ξεκινήσει εντός ενός προκαθορισμένου χρονικού παραθύρου, δηλαδή η επίδοση μιας παραγγελίας δεν μπορεί να ξεκινήσει πριν από το άνοιγμα αυτού του χρονικού παραθύρου και μετά το κλείσιμό του.
- Όλα τα οχήματα θα πρέπει να επιστρέψουν στην αποθήκη εντός $[0, T_{max}]$, δηλαδή εντός της επιτρεπόμενης περιόδου εργασίας (π.χ. βάρδια οδηγού).
- Το συνολικό φορτίο του οχήματος ανά πάσα στιγμή δεν μπορεί να υπερβαίνει τη χωρητικότητα του οχήματος.

Σε ότι αφορά την μαθηματική μορφοποίηση προτάθηκε η παρακάτω προσέγγιση. (Νινίκας, 2014)

Υποθέτουμε ότι στον συνολικό ορίζοντα σχεδιασμού $[0, T_{max}]$, θα υπάρχουν κύκλοι L επανα-βελτιστοποίησης, καθένας από τους οποίους αντιστοιχεί σε ένα

κατάλληλο «στατικό» πρόβλημα $\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_L$, με την εκ νέου βελτιστοποίηση να εμφανίζεται σε χρονικές περιπτώσεις T_ℓ , $\ell = 1, 2, \dots, L$ όπου $T_0=0 < T_1 < \dots < T_L < T_{max-t}$. Οι κύκλοι εκ νέου βελτιστοποίησης ($[T_{\ell-1}, T_\ell], \ell \geq 1$) μπορεί να μην είναι απαραίτητα ίσης διάρκειας και μπορεί να μην είναι καν γνωστοί εκ των προτέρων (π.χ. όταν η εκ νέου βελτιστοποίηση εξαρτάται από τον αριθμό των DO που λαμβάνονται). Το «στατικό» πρόβλημα που επιλύεται σε κάθε χρόνο επανα-βελτιστοποίησης T_ℓ , που συμβολίζεται ως DVRPMB(ℓ), λαμβάνει υπόψη όλες τις πληροφορίες γνωστές μέχρι το σχετικό χρονικό σημείο. Υποτίθεται ότι αυτό το πρόβλημα (Γ_ℓ) λύνεται ακαριαία.

Στην αρχή του ορίζοντα σχεδιασμού (T_0), υπάρχει ένα σύνολο γνωστών (στατικών) παραγγελιών και επαρκής αριθμός οχημάτων που βρίσκονται στο αμαξοστάσιο που μπορεί να εξυπηρετούν όλες αυτές τις παραγγελίες (ακόμη και στην περίπτωση περιορισμένου στόλου). Με βάση αυτές τις πληροφορίες, έχει αναπτυχθεί ένα σύνολο αρχικών διαδρομών $R_s = \{r_1, r_2, \dots, r_k\}$ για την εξυπηρέτηση των σχετικών παραγγελιών. Αυτή η αρχική λύση s_0 που λαμβάνεται στο $t=0$ ορίζεται στον ορίζοντα προγραμματισμού $[0, T_{max}]$.

Ένα πρόβλημα εκ νέου βελτιστοποίησης $\Gamma_\ell, \ell \in \{1, \dots, L\}$ λαμβάνει υπόψη δύο σεντ παραγγελιών που δεν έχουν ακόμη εξυπηρετηθεί: i) τις δεσμευμένες εντολές που περιλαμβάνουν όλες τις παραγγελίες που είχαν εκχωρηθεί σε ένα όχημα αρχικά ή κατά τη διάρκεια προηγούμενων κύκλων εκ νέου βελτιστοποίησης, οι οποίες δεν έχουν εξυπηρετηθεί και δεν μπορούν να ανακατανομηθούν σε άλλα οχήματα, και ii) οι ευέλικτες παραγγελίες, που αντιστοιχούν σε νεοαφιχθέντες DO, ή προηγούμενες DO δεν έχουν ακόμη εξυπηρετηθεί. Συνήθως, οι ευέλικτες παραγγελίες αντιστοιχούν σε όλες τις DO που δεν έχουν εξυπηρετηθεί κατά τη διάρκεια του τρέχοντος κύκλου εκ νέου βελτιστοποίησης (χρόνος T_ℓ). Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες πρακτικές περιπτώσεις στις οποίες αυτό μπορεί να μην ισχύει και η DO που έχει εκχωρηθεί σε οχήματα κατά τη διάρκεια ενός προηγούμενου κύκλου εκ νέου βελτιστοποίησης, μπορεί να θεωρηθεί ως δεσμευμένες εντολές. Αυτός ο περιορισμός μπορεί να προκληθεί από δεσμευμένες οικονομικές συναλλαγές, προηγούμενες επικοινωνίες με τους πελάτες κ.λπ. Για τον παραπάνω λόγο, ανάλογα με την πολιτική, δύο σενάρια είναι σχετικά: α) οι δεσμευμένες εντολές αντιστοιχούν μόνο σε αιτήματα εκτός σύνδεσης και οι ευέλικτες παραγγελίες δεν είναι όλες ακόμη που εξυπηρετήθηκαν και β) οι δεσμευμένες παραγγελίες είναι όλες οι παραγγελίες που έχουν εκχωρηθεί σε οχήματα κατά τη διάρκεια προηγούμενων κύκλων εκ νέου βελτιστοποίησης και δεν

έχουν ακόμη εξυπηρετηθεί. Οι ευέλικτες παραγγελίες αντιστοιχούν μόνο σε νεοαφιχθέντες DO.

Τα οχήματα που εμπλέκονται στο στατικό πρόβλημα του κύκλου εκ νέου βελτιστοποίησης ℓ περιλαμβάνουν: i) εκείνα που είχαν αποσταλεί νωρίτερα (ακόμη και τη στιγμή T_0) αλλά δεν έχουν επιστρέψει στην αποθήκη μέχρι την ώρα T_ℓ , και ii) αυτά που βρίσκονται στο αμαξοστάσιο. Σημειώστε ότι ο αριθμός των τελευταίων θεωρείται αρκετά μεγάλος για την περίπτωση του απεριόριστου στόλου. Η λύση S_ℓ του στατικού προβλήματος του κύκλου επανα-βελτιστοποίησης ℓ αφορά ολόκληρο τον υπολειπόμενο χρονικό ορίζοντα $[T_\ell, T_{max}]$. Μέρος αυτής της λύσης εφαρμόζεται στη συνέχεια μέχρι την επόμενη ενεργοποίηση εκ νέου βελτιστοποίησης, δηλαδή τη στιγμή $T_{\ell+1}$.

Στη συνέχεια, καθορίζουμε επακριβώς τα σύνολα παραγγελιών N_ℓ και τα σύνολα οχημάτων V_ℓ που εμπλέκονται στο στατικό πρόβλημα κάθε κύκλου επανα-βελτιστοποίησης ℓ , $\ell=1,2,\dots,L$.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε λύσει το στατικό πρόβλημα του κύκλου εκ νέου βελτιστοποίησης $(\ell-1)$ και έχουμε μια λύση $S_{\ell-1}$ για μερικά $\ell \in \{2, \dots, L\}$. Προκειμένου να εφαρμοστεί αυτή η λύση τη χρονική στιγμή $T_{\ell-1}$, χρησιμοποιείται ένα σύνολο οχημάτων από το $V_{\ell-1}$ για την εξυπηρέτηση γνωστών παραγγελιών $N_{\ell-1}$ σύμφωνα με τη λύση $S_{\ell-1}$. Θεωρούμε αυτά τα οχήματα ως $K_{\ell-1}$. Προφανώς, $K_{\ell-1} \subseteq V_{\ell-1}$ και περιέχει έναν πεπερασμένο αριθμό οχημάτων. Μέχρι την ώρα T_ℓ (επόμενος κύκλος εκ νέου βελτιστοποίησης), ορισμένα από τα οχήματα, που δηλώνονται ως $K_{\ell-1}^C$, μπορεί να έχουν ολοκληρώσει τα ταξίδια τους και να έχουν επιστρέψει στο αμαξοστάσιο, ενώ τα άλλα είναι καθ' οδόν και μπορεί να έχουν ακόμη διαθέσιμη χωρητικότητα για να εξυπηρετήσουν πρόσθετες παραγγελίες. Στο στατικό πρόβλημα του επόμενου κύκλου επανα-βελτιστοποίησης ℓ , μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα οχήματα στο σεν $K_{\ell-1} \setminus K_{\ell-1}^C$ και τα υπόλοιπα οχήματα που βρίσκονται στην αποθήκη K_ℓ^d . Έτσι, το σύνολο των οχημάτων που εμπλέκονται στο στατικό πρόβλημα του κύκλου επανα-βελτιστοποίησης ℓ , είναι: $V_\ell = (K_{\ell-1} \setminus K_{\ell-1}^C) \cup K_\ell^d$.

Έστω $N_{\ell-1}^C \subseteq N_{\ell-1}$ - υποδηλώνει το σύνολο των παραγγελιών που έχουν ήδη εξυπηρετηθεί κατά την υλοποίηση του τμήματος της λύσης $S_{\ell-1}$ στο διάστημα $[T_{\ell-1}, T_\ell]$, και N_ℓ το σύνολο των ίδιων παραγγελιών που ελήφθησαν διάστημα. Τότε, το σύνολο των εντολών που πρέπει να ληφθούν υπόψη στο στατικό πρόβλημα του κύκλου επανα-βελτιστοποίησης ℓ , είναι: $N_\ell = (N_{\ell-1} \setminus N_{\ell-1}^C) \cup N_\ell^d$.

Κατά την περιγραφή του προβλήματος της εκ νέου βελτιστοποίησης παραλείπουμε το δείκτη l , καθώς το πρόβλημα έχει την ίδια μορφή για οποιονδήποτε κύκλο επανα-βελτιστοποίησης (για παράδειγμα, ο χρόνος T αντιστοιχεί στον χρόνο ενεργοποίησης εκ νέου βελτιστοποίησης T_l).

Έστω $N=C \cup F$ το σύνολο των παραγγελιών που δεν έχουν εξυπηρετηθεί, όπου C και F δηλώνουν τα σύνολα γνωστών δεσμευμένων και ευέλικτων εντολών, αντίστοιχα. Επιπλέον, $C = \bigcup_{k \in K} C_k$, όπου το C_k αντιπροσωπεύει το σύνολο των δεσμευμένων παραγγελιών που έχουν εκχωρηθεί στο όχημα k που βρίσκεται καθ' οδόν. Λαμβάνουμε υπόψη ότι C_k μπορεί να περιλαμβάνει παραγγελίες παράδοσης και παραλαβής που έχουν εκχωρηθεί στο όχημα $k \in K$ κατά τη διάρκεια προηγούμενων κύκλων εκ νέου βελτιστοποίησης και δεν μπορούν να ανατεθούν εκ νέου σε άλλα οχήματα. Έστω $M = \bigcup_{k \in K} \{\mu_k\}$, όπου το μ_k αντιπροσωπεύει την τρέχουσα θέση του οχήματος $k \in K$ και ο κόμβος 0 αντιπροσωπεύει την αποθήκη προέλευσης/προορισμού. Θεωρούμε ένα πλήρες κατευθυνόμενο γράφημα σε ένα ευκλείδειο επίπεδο $G=(W,A)$, όπου $W=C \cup F \cup M \cup \{0\}$ και A το σύνολο των τόξων που συνδέουν όλους τους κόμβους $W(A=\{(i,j):i \in W,j \in W \setminus M\})$. Το κόστος διέλευσης τόξου $(i,j), \{i \in W,j \in W \setminus M\}$ συμβολίζεται με c_{ij} , ενώ το t_{ij} υποδηλώνει το χρόνο ταξιδιού μεταξύ αυτών των δύο κόμβων (υποθέτοντας ότι ο πίνακας κόστους $[c_{ij}]$ ικανοποιεί την τριγωνική ανισότητα).

Κάθε παραγγελία $i \in N$ σχετίζεται με τις ακόλουθες ποσότητες:

d_i είναι η ζήτηση/προμήθεια της παραγγελίας σε κάθε τοποθεσία πελάτη (το φορτίο θα παραδοθεί ή θα παραληφθεί από όχημα). Οι παραγγελίες παράδοσης συνδέονται με αρνητική αξία και οι παραγγελίες παραλαβής με θετική. Η ζήτηση/προσφορά της αποθήκης είναι μηδενική ($d_0=0$).

s_i είναι ο χρόνος εξυπηρέτησης της παραγγελίας i στον ιστότοπο του πελάτη.
 $s_0=0$

h_i είναι η ώρα άφιξης μιας νέας παραγγελίας i . Προφανώς, $0 < h_i < T_{max} - \tau, \forall i \in F$ και $h_i=0, \forall i \in C$

$[a_i, b_i]$ είναι το χρονικό παράθυρο της παραγγελίας i . Για παραγγελίες γνωστές εκ των προτέρων $T0$, $0 \leq a_i < b_i \leq T_{max}$ και για DO, $h_i < a_i < b_i \leq T$. Επιπλέον, $a_0=0$ και $b_0=T_{max}$. Το χρονικό παράθυρο ενός πελάτη δεν μπορεί να παραβιαστεί, δηλαδή η παραγγελία i πρέπει να εξυπηρετηθεί εντός αυτού του χρονικού παραθύρου.

Η προτεινόμενη μαθηματική διατύπωση περιλαμβάνει τρεις (3) τύπους μεταβλητών απόφασης: i) μεταβλητές δυαδικής ροής x_{ijk} , ίση με 1 εάν το τόξο $(i,j) \in A$ διασχίζεται από όχημα $k \in V$, αλλιώς μηδέν, ii) χρονικές μεταβλητές w_{ik} , που αντιπροσωπεύουν την έναρξη της υπηρεσίας για παραγγελία $i \in N$ με όχημα $k \in V$, ενώ για την αποθήκη $w_{0k} \geq T$, και iii) μεταβλητές φορτίου Q_{ik} , οι οποίες παρέχουν το φορτίο του οχήματος $k \in V$ αμέσως μετά τον εξυπηρετούμενο κόμβο όπου $i \in W$. Λαμβάνουμε επίσης υπόψη ότι το αρχικό φορτίο $Q_{\mu_k k}$ του οχήματος που το $k \in K$ σε κάθε κύκλο εκ νέου βελτιστοποίησης είναι ίσο με το συνολικό ποσό που θα παραδοθεί (ή/και θα παραληφθεί) από το όχημα k .

Σε περίπτωση που έχουμε μία υπόθεση με άπειρο στόλο θα έχουμε τα ακόλουθα.

$$\min(z) = \sum_{k \in V} \sum_{(i,j)} C_{ijk} X_{ijk} \quad (1)$$

Έχοντας τους ακόλουθους περιορισμούς

$$\sum_{j \in C_k \cup F \cup \{0\}} X_{ijk} = 1 \quad \forall k \in K, \forall i \in C_k \cup \{\mu_k\} \quad (2)$$

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in W} X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in F \quad (3)$$

$$\sum_{i \in C_k \cup F \cup \{\mu_k\}} X_{i0k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in F} X_{0jk} \leq 1 \quad \forall k \in K^d \quad (5)$$

$$\sum_{j \in F} X_{0jk} = \sum_{j \in F} X_{j0k} \quad \forall k \in K^d \quad (6)$$

$$\sum_{i \in W} X_{ihk} - \sum_{j \in W} X_{hik} = 0 \quad \forall h \in N, \forall k \in V \quad (7)$$

$$Q_{jk} \geq Q_{ik} + d_j - Z(1 - X_{ijk}) \quad \forall (i,j) \in A, \forall k \in V \quad (8)$$

$$\max\{0, d_i\} \leq Q_{ik} \leq \min\{\bar{Q}, \bar{Q} + d_i\} \quad \forall i \in N, \forall k \in V \quad (9)$$

$$W_{jk} \geq W_{ik} + s_i + t_{ij} - Z(1 - X_{ijk}) \quad \forall (i,j) \in A, \forall k \in V \quad (10)$$

$$\max(a_i, T) \sum_{j \in W} X_{ijk} \leq W_{ik} \leq b_i \sum_{j \in W} X_{ijk} \quad \forall k \in V, \forall i \in W \quad (11)$$

$$T \leq W_{0k} \leq b_0 \quad \forall k \in K^d \quad (12)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in A, \forall k \in V \quad (13)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση (1) εκφράζει το συνολικό κόστος δρομολόγησης σε ολόκληρο τον διαθέσιμο ορίζοντα. Ο περιορισμός (2) καθορίζει ότι κάθε όχημα k καθ' οδόν πρέπει να εξυπηρετεί όλες τις δεσμευμένες παραγγελίες που του είχαν αρχικά ανατεθεί (συμπεριλαμβανομένης της αντίστοιχης θέσης εκκίνησης). Ο περιορισμός (3) διασφαλίζει ότι όλες οι ευέλικτες παραγγελίες θα εξυπηρετούνται, είτε από όχημα καθ' οδόν είτε από όχημα διαθέσιμο στην αποθήκη. Κατά συνέπεια, οι δύο παραπάνω περιορισμοί διασφαλίζουν ότι όλες οι παραγγελίες στο σύστημα θα εξυπηρετούνται ακριβώς μία φορά. Ο περιορισμός (4) αναγκάζει τα ενεργά οχήματα καθ' οδόν να επιστρέψουν τελικά στην αποθήκη. Σύμφωνα με τον περιορισμό (5) τα νέα οχήματα που αποστέλλονται από την αποθήκη στον τρέχοντα κύκλο επανα-βελτιστοποίησης μπορούν να εξυπηρετούν μόνο DO. Ο περιορισμός (6) αναγκάζει αυτά τα νέα οχήματα να επιστρέψουν στην αποθήκη. Σημειώστε επίσης ότι ο περιορισμός (5) επιτρέπει στα οχήματα να παραμένουν στο αμαξοστάσιο εάν είναι απαραίτητο (δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται όλα τα διαθέσιμα οχήματα στο αμαξοστάσιο). Ο περιορισμός (7) διασφαλίζει τη διατήρηση της ροής και οι περιορισμοί (8) και (9) διασφαλίζουν ότι το όριο χωρητικότητας του οχήματος τηρείται σε όλες τις κορυφές, όπου το Z είναι μια μεγάλη θετική σταθερά. Οι περιορισμοί (10) – (11) διασφαλίζουν ότι μια διαδρομή είναι χρονικά εφικτή. Ο περιορισμός (10) ενημερώνει την ώρα έναρξης (της υπηρεσίας) κατά μήκος της διαδρομής, ενώ ο (11) διασφαλίζει ότι ο χρόνος έναρξης της υπηρεσίας βρίσκεται εντός του χρονικού παραθύρου του κόμβου. Σημειώστε ότι το Z αντιπροσωπεύει έναν μεγάλο αριθμό, ο οποίος θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από $Z_{ij} = \max(b_i + t_{ij} - a_j, 0)$ για κάθε τόξο (i, j) . Ο περιορισμός (12) αναγκάζει τα νέα οχήματα K^d να αναλάβουν καθήκοντα μετά την περίοδο του χρόνου εκ νέου βελτιστοποίησης και να επιστρέψουν στην αποθήκη εντός του διαθέσιμου ορίζοντα προγραμματισμού. Τέλος, ο περιορισμός (13) αναγκάζει τις μεταβλητές ροής να υποθέσουν δυαδικές τιμές $\{0, 1\}$.

Στην περίπτωση τώρα που έχουμε περιορισμένο στόλο, είναι πιθανό να μην εξυπηρετούνται όλες οι DO είτε από οχήματα καθ' οδόν είτε από οχήματα που βρίσκονται στο αμαξοστάσιο. Λόγω αυτού του γεγονότος, ορισμένες τροποποιήσεις είναι απαραίτητες στην προηγούμενη μαθηματική μορφοποίηση.

Η πρώτη τροποποίηση αφορά τους περιορισμούς εξυπηρέτησης πελατών, καθώς δεν είναι εγγυημένο ότι όλες οι DO μπορούν να εξυπηρετηθούν. Έτσι, μπορούμε να

διαμορφώσουμε τον περιορισμό (3) και να έχουμε τον ακόλουθο περιορισμό νούμερο 14:

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in W} X_{ijk} \leq 1 \quad \forall i \in F \quad (14)$$

Η δεύτερη τροποποίηση αφορά την αντικειμενική συνάρτηση. Η ελαχιστοποίηση του κόστους δρομολόγησης δεν είναι πλέον κατάλληλος στόχος, καθώς θα απέκλειε την εξυπηρέτηση οποιωνδήποτε δυναμικών παραγγελιών (παραλαβής). Ένας πιο κατάλληλος και συμβατικός στόχος θα ήταν η βελτιστοποίηση μιας λειτουργίας που λαμβάνει υπόψη τον αριθμό των δυναμικών παραγγελιών που εξυπηρετούνται και το κόστος δρομολόγησης. Αυτός ο στόχος μοντελοποιείται από την τροποποιημένη συνάρτηση:

$$\min(z) = -\xi_u \sum_{k \in V} \sum_{(i,j) \in A | i \in F, j \in W} X_{ijk} + \sum_{k \in V} \sum_{(i,j) \in A} C_{ijk} X_{ijk} \quad (15)$$

όπου ξ_u είναι ένα κέρδος που εκχωρείται για κάθε DO που εξυπηρετείται. Εάν η υπηρεσία έχει προτεραιότητα έναντι του κόστους δρομολόγησης, τότε το κέρδος για την εξυπηρέτηση μιας DO πρέπει να είναι υψηλότερο από το κόστος δρομολόγησης για την ενσωμάτωση αυτής της DO στο σχέδιο. Εάν όχι, τότε η λύση δεν θα περιλαμβάνει αυτό το DO, αφού ο συνολικός στόχος θα αυξηθεί. Έτσι, το ξ_u μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το $\max_{i \in F} (c_{ri})$, όπου το c_{ri} αντιπροσωπεύει το κόστος της διαδρομής μονάδας [*Depot*–*i*–*Depot*].

2.2.5 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕ DIAL-A-RIDE – VRP (DARP)

Τα προβλήματα Dial-a-Ride (DARP) συνήθως παρακινούνται από καθημερινά προβλήματα και εφαρμογές στην πραγματική ζωή, όπως είναι προβλήματα με δημόσιες συγκοινωνίες όπου έχουμε κάποιους αντικρουόμενους στόχους προσπαθώντας να έχουμε υψηλή οικονομική αποδοτικότητα και ταυτόχρονα υψηλή ποιότητα στην παράδοση των πελατών από/προς την επιθυμητή προέλευση/προορισμό την επιθυμητή στιγμή. Τα προγραμματισμένα δρομολόγια λεωφορείων ή τρένων μπορούν να μεταφέρουν μεγάλο αριθμό επιβατών (και επομένως είναι οικονομικά αποδοτικά), αλλά ταξιδεύουν σε σταθερά δρομολόγια σε

προγραμματισμένες ώρες στις οποίες οι επιβάτες πρέπει να προσαρμόσουν ανάλογα τα ταξιδιωτικά τους σχέδια. Τα προγραμματισμένα δρομολόγια λεωφορείων συχνά δεν παρέχονται (ή πολύ σπάνια) για τις αγροτικές κοινότητες, επειδή το κόστος λειτουργίας της υπηρεσίας δεν μπορεί να δικαιολογηθεί από τη χαμηλή ζήτηση. Αντίστοιχα, υπάρχουν ταξί που προσφέρουν τις υπηρεσίες τους από πόρτα σε πόρτα κατόπιν αιτήματος, αλλά το κόστος αυτής της υπηρεσίας είναι υψηλό, τόσο σε χρηματικούς όρους όσο και σε επιπτώσεις στο περιβάλλον. Το κάθε πρόβλημα αντιμετωπίζει διάφορα ρεαλιστικά χαρακτηριστικά που οδηγούν σε συγκεκριμένους περιορισμούς ή στόχους και παρέχει περαιτέρω γνώσεις. (Ho, et al., 2018)

Ένας άλλος τομέας είναι οι θαλάσσιες μεταφορές, οι οποίες είναι ζωτικής σημασίας για το διεθνές εμπόριο και ευθύνονται για σημαντικό μέρος των αποστολών μεγάλων αποστάσεων. Ο σωστός σχεδιασμός των ναυτιλιακών δρομολογίων είναι κρίσιμος για τη μείωση του κόστους, καθώς τα έξοδα που σχετίζονται με τα πλοία μπορεί να είναι πολύ υψηλά, συμπεριλαμβανομένων των ημερήσιων ναυλώσεων και του κόστους καυσίμων. Ο στόχος της βελτιστοποίησης των διαδρομών αποστολής είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού μεταβλητού κόστους μεταφοράς ενός συνόλου φορτίων. Κάθε φορτίο περιλαμβάνει μια συγκεκριμένη ποσότητα προϊόντος που πρέπει να παραληφθεί στο λιμάνι φόρτωσης, να μεταφερθεί και στη συνέχεια να παραδοθεί στο λιμάνι εκφόρτωσης. (Tirado, et al., 2013) Συνήθως, αυτά τα συγκεκριμένα προβλήματα συνδυάζονται επίσης με το πρόβλημα της βελτιστοποίησης της φόρτωσης και εκφόρτωσης των πλοίων, καθώς αυτά τα πλοία αναμένεται να διασχίσουν πολλαπλά λιμάνια και αναπόφευκτα θα απαιτήσουν φόρτωση και εκφόρτωση του φορτίου.

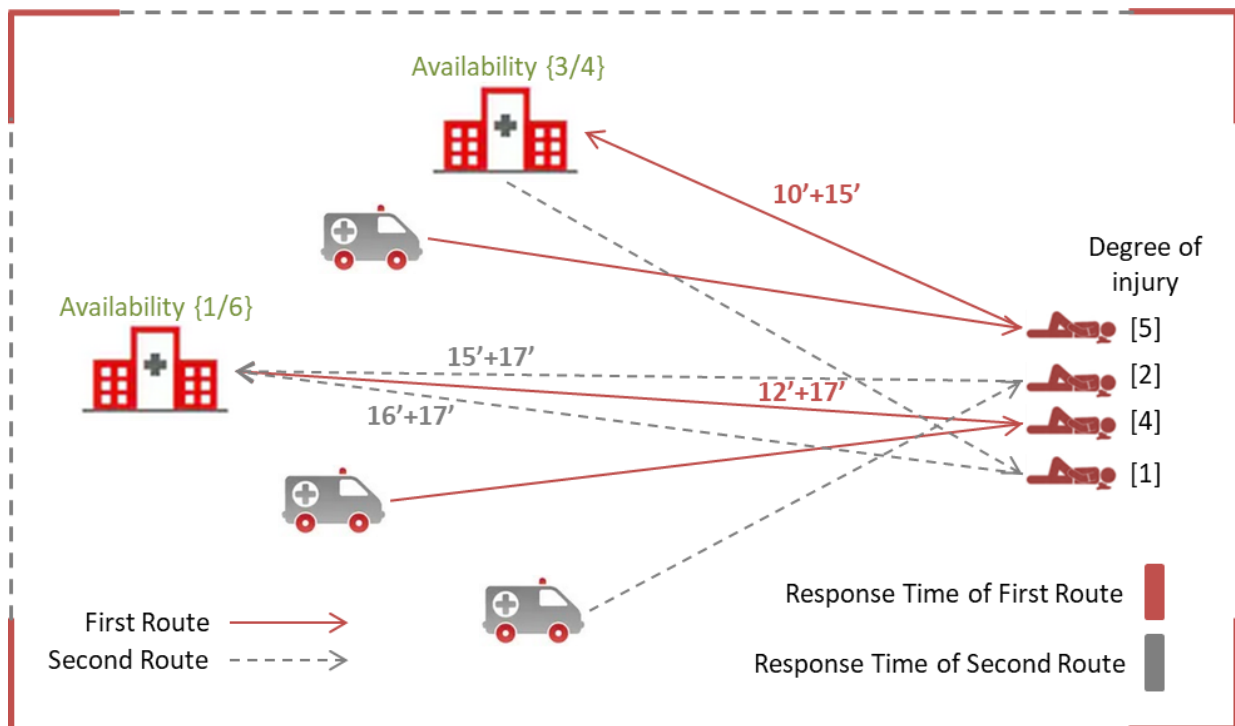
Ένας σημαντικός τομέας όπου χρησιμοποιείται το DARP είναι η παροχή οδικής βοήθειας. Σε αυτήν την εφαρμογή, η χρονική επείγουσα ανάγκη και η συμβατότητα εξοπλισμού είναι σημαντικές. Είναι παρόμοιο με τους παραπάνω τομείς. Το αυτοκίνητο και οι άνθρωποι πρέπει να παραληφθούν, να μεταφερθούν και να παραδοθούν στο πλησιέστερο συνεργείο/προορισμό. Ο στόχος αυτού του είδους των προβλημάτων είναι να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος μεταφοράς. Ωστόσο, υπάρχει έλλειψη έρευνας και βιβλιογραφίας για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Η πυρόσβεση είναι ακόμα ένας σημαντικός τομέας εφαρμογής που θέτει περίπλοκες καταστάσεις. Όταν αντιμετωπίζουμε καταστροφές όπως πυρκαγιές, μπορεί να υπάρχουν πολλά εμπόδια και φραγμένα μονοπάτια στα οποία πρέπει να πλοηγηθούν τα πυροσβεστικά οχήματα για να φτάσουν στις πληγείσες περιοχές. Οι

μπουλντόζες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθαρισμό σωρών από συντρίμια, αλλά δεν είναι απαραίτητο να καθαριστούν όλα. Αντίθετα, θα αρκούσε ο καθαρισμός των μπαζών κατά μήκος των διαδρομών που θα ακολουθήσουν τα πυροσβεστικά οχήματα. Ωστόσο, ο καθορισμός της πιο οικονομικής διαδρομής για τα πυροσβεστικά οχήματα εξαρτάται από το ποιοι σωροί από συντρίμια θα καθαριστούν. Ως εκ τούτου, η λύση σε αυτό το πρόβλημα πρέπει ταυτόχρονα να κατανείμει τις πυρκαγιές στα πυροσβεστικά οχήματα, να προσδιορίσει τις διαδρομές που πρέπει να ακολουθήσουν τα πυροσβεστικά οχήματα και να καθορίσει ποιες μπουλντόζες θα πρέπει να εκχωρηθούν για να καθαρίσουν τα συντρίμια κατά μήκος αυτών των μονοπατιών. (Korsah, et al., 2013)

Ακόμα και σε ένα σύστημα κοινής χρήσης ποδηλάτων θα μπορούσε να βρει άμεση εφαρμογή, διότι αυτού του είδους τα συστήματα αποτελούνται από ένα σύνολο σταθμών με περιορισμένη χωρητικότητα (δηλαδή, αριθμό θέσεων για ποδήλατα) που κατανέμονται κατά μήκος μιας αστικής περιοχής και ένα σύνολο ποδηλάτων στους σταθμούς για τους χρήστες. Αυτοί οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν το σύστημα παίρνοντας ένα ποδήλατο από έναν από τους διαθέσιμους σταθμούς (προέλευση – Start Point) και στη συνέχεια, μετά από ένα σύντομο ταξίδι, να το επιστρέψουν στον ίδιο ή σε διαφορετικό σταθμό (προορισμό – Terminal Point). Αυτά τα συστήματα συμβάλλουν σε μια πιο βιώσιμη κινητικότητα και στη μείωση της κυκλοφορίας και της ρύπανσης που προκαλείται από τη μεταφορά οχημάτων με βάση την καύση. (Juan David Palacio Dominguez, 2022) (Kloimüller, et al., 2014)

Μια επίσης παραδοσιακή εφαρμογή είναι οι μη κερδοσκοπικές υπηρεσίες DAR για ηλικιωμένους και άτομα με ειδικές ανάγκες, οι οποίες συχνά έχουν ως στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους. (Sonnenberg, 2017) Οι λειτουργικοί περιορισμοί περιλαμβάνουν το χρόνο διαδρομής και αναμονής, τα παράθυρα χρόνου παραλαβής/παράδοσης, τη χωρητικότητα του οχήματος και τη διάταξη του εξοπλισμού εντός του οχήματος. (Karabuk, 2009) (Qu & Bard, 2013) (Qu & Bard, 2015)



Εικόνα 19. Δρομολόγηση οχημάτων Dial-A-Ride VRP (DARP).

Σε γενικές γραμμές το DARP διακρίνεται από τα τυπικά προβλήματα παραλαβής και παράδοσης εστιάζοντας στη μείωση της ταλαιπωρίας των χρηστών. Η μεγιστοποίηση της ποιότητας των υπηρεσιών σταθμίζεται έναντι της ελαχιστοποίησης του λειτουργικού κόστους του στόλου, το οποίο σχετίζεται με τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων οχημάτων, τη συνολική διάρκεια διαδρομής και τη συνολική απόσταση που διανύθηκε. Ο στόχος του DARP είναι να καθορίσει ένα σύνολο διαδρομών και χρονοδιαγραμμάτων που εξισορροπούν αυτούς τους αντικρουόμενους στόχους. Οι περισσότερες έρευνες για το DARP έχουν αφιερωθεί στη στατική έκδοση του προβλήματος όπου όλα είναι γνωστά εκ των προτέρων και ως αποτέλεσμα, οι διαδρομές των οχημάτων μπορούν να προγραμματιστούν εκ των προτέρων. Πρώιμες συνεισφορές σε αυτό υπάρχουν από τον Psaraftis το 1980, ο οποίος ανέπτυξε αλγόριθμους δυναμικού προγραμματισμού για την επίλυση της παραλλαγής ενός οχήματος με βέλτιστο τρόπο. (Psaraftis, 1980) Πιο πρόσφατα ο Cordeau (2006) παρουσίασε αλγόριθμους διακλάδωσης και αποκοπής για την περίπτωση πολλαπλών οχημάτων με βάση τη δημιουργία πολλών νέων έγκυρων ανισοτήτων. (Cordeau, 2006) Επειδή το DARP θεωρείται NP-hard (non-deterministic polynomial acceptable problems), οι περισσότερες από τις προτεινόμενες διαδικασίες

λύσης είναι κλασικές ευρετικές ή μεταευρετικές που μπορούν να χειριστούν προβλήματα μεγάλου μεγέθους. Διάφορες ευρετικές μεθόδους λύσεις έδωσαν οι ακόλουθοι, (Bodin & Sexton, 1986) (Borndörfer, et al., 1997) (Desrosiers, et al., 1988) (Dumas, et al., 1989) (Wolfler & Colorni, 2007) (Diana & Dessouky, 2004) (Jaw, et al., 1986) (Toth & Vigo, 1996) (Fu, 2002). Αντίστοιχα, διάφορες μεταευρετικές λύσεις δόθηκαν από τους (Cordeau & Laporte, 2003), (Aldaihani & Dessouky, 2003), (Melachrinoudis, et al., 2007), (Baugh, et al., 1998), (Jørgensen, et al., 2007), (Amirteimoori, 2011) και (Bertsimas, et al., 2019). Η ευρετική τεχνική, είναι μία προσέγγιση στην επίλυση προβλημάτων που χρησιμοποιεί μια πρακτική μέθοδο ή διάφορες συντομεύσεις προκειμένου να παραχθούν λύσεις που μπορεί να μην είναι βέλτιστες αλλά επαρκείς με περιορισμένο χρονικό πλαίσιο ή προθεσμία. (Zhao, et al., 2015). Επίσης, η μετα-ευρετική τεχνική, είναι ένα αλγοριθμικό πλαίσιο υψηλού επιπέδου ανεξάρτητο από το πρόβλημα, που παρέχει ένα σύνολο κατευθυντήριων γραμμών ή στρατηγικών για την ανάπτυξη αλγορίθμων ευρετικής βελτιστοποίησης (Sörensen, et al., 2018)

Επιπλέον, υπάρχουν πολλές μελέτες που παρέχουν μια στατική λύση DARP. Σε αυτά τα προβλήματα, όλα τα αιτήματα των χρηστών είναι γνωστά εκ των προτέρων και οι διαδρομές των οχημάτων μπορούν να οργανωθούν εκ των προτέρων. Αρχικές λύσεις σε τέτοια προβλήματα δίνονται από ορισμένους ερευνητές που ανέπτυξαν αλγόριθμους δυναμικού προγραμματισμού. (Psaraftis, 1980) (Psaraftis, 1983) (Desrosiers, et al., 1986). Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν πιο πρόσφατες μελέτες που παρουσιάζουν branch-and-cut αλγόριθμους για την περίπτωση πολλαπλών οχημάτων, όπως αυτός που αναπτύχθηκε και πιο πάνω. (Cordeau, 2006) (Ropke, et al., 2007) Το branch-and-cut είναι ένας αλγόριθμος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση του ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού. Συνδυάζει δύο άλλους αλγόριθμους βελτιστοποίησης – τα επίπεδα διακλάδωσης και δέσμευσης και τα επίπεδα κοπής προκειμένου να αξιοποιηθούν τα αποτελέσματα από κάθε μέθοδο και να δημιουργηθεί η βέλτιστη λύση (Cordeau, 2006) (Ropke, et al., 2007)

Οι πιο δημοφιλείς στόχοι του DARP είναι η ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους του παρόχου υπηρεσιών (π.χ. συνολικός χρόνος μεταφοράς, συνολική απόσταση που διανύθηκε από τα οχήματα, συνολική διάρκεια διαδρομής, αριθμός απαιτούμενων οχημάτων και χρόνος εργασίας του οδηγού) ή/και μετρήσεις

ταλαιπωρίας των χρηστών (π.χ. συνολικός χρόνος διαδρομής, χρόνος αναμονής χρήστη και αποκλίσεις από τα ζητούμενα παράθυρα παραλαβής/απόθεσης).

Σύμφωνα με τα όσα αναφέραμε πιο πριν σχετικά και με την ταξινόμηση των VRP προβλημάτων θα μπορούσαμε να κατατάξουμε το δικό μας πρόβλημα στα **Δυναμικά Ντετερμινιστικά** προβλήματα τα οποία είναι περισσότερο θεωρητικά ή και πειραματικά.

Η θεωρητική έρευνα σε αυτά τα DARP τυπικά χαρακτηρίζεται από την παρουσίαση

- ενός διαδικτυακού αλγορίθμου που έχει αποδεδειγμένη αναλογία ανταγωνιστικότητας έναντι του αντίστοιχου εκτός σύνδεσης ή/και
- ενός νέου κατώτερου ορίου για έναν τέτοιο λόγο ανταγωνιστικότητας που είναι υψηλότερος από τον προηγούμενο

Σε αντίθεση, η πειραματική έρευνα σε δυναμικά και ντετερμινιστικά DARP χαρακτηρίζεται συνήθως από την παρουσίαση μιας προσομοίωσης ή άλλου δυναμικού μοντέλου στο οποίο οι αποφάσεις που λαμβάνονται ως απόκριση σε νέες πληροφορίες ανατροφοδοτούνται στο μοντέλο έτσι ώστε να επηρεάσουν τη μελλοντική εξέλιξη της κατάστασης του συστήματος που παρακολουθείται. (Häll, et al., 2015) Η έρευνα για δυναμικά και ντετερμινιστικά DARP περιορίζεται κυρίως στην εξέταση της προσαρμογής των αιτημάτων νέων χρηστών. Ενώ, στην πραγματικότητα, θα μπορούσαν να υπάρχουν άλλα είδη γεγονότων που μπορεί να προκαλέσουν αναθεώρηση του σχεδίου μεταφοράς, όπως οι βλάβες οχημάτων και απροσδόκητα διαλείμματα ανάπαυσης. (Beaudry, et al., 2010) Ή όπως στην περίπτωση μας να τύχει να υπάρξουν άλλα έκτακτα περιστατικά και να πρέπει να ανταποκριθούν και προς τα εκεί κάποια ασθενοφόρα.

Ουσιαστικά η δική μας περίπτωση διαφοροποιείται από όλα τα παραπάνω διότι:

- 1) Δεν έχουμε χρονικές καθυστερήσεις από απολυμάνσεις ασθενοφόρων, διαλείμματα γιατρών κ.α. επειδή σε καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης ύστερα από μία φυσική καταστροφή, απλά πρέπει τα άκρως απαραίτητα να γίνονται υπερβολικά πολύ γρήγορα ώστε να μπορέσουν να εξυπηρετήσουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού.
- 2) Κοιτάμε να εξυπηρετηθούν όλοι ανεξαιρέτως και δεν εγκαταλείπουμε κανένα άνθρωπο επειδή χαρακτηρίστηκε ως πολύ βαριά τραυματίας (αξιοποιώντας την Αυστραλιανή κλίμακα) και άρα δεν θα καταφέρει να φτάσει ούτε μέχρι το νοσοκομείο και θα εκπνεύσει πολύ νωρίτερα.

- 3) Θεωρούμε ότι κάποιες πρώτες βοήθειες δίνονται επί τόπου από την στιγμή που φτάνει το ασθενοφόρο στον τόπο του ατυχήματος αξιοποιώντας το Γάλλο-Γερμανικό μοντέλο σε ότι αφορά την ιατροφαρμακευτική φροντίδα.
- 4) Έχουμε κάποια ανατροφοδότηση σχετικά με το εάν επέζησε ή όχι ύστερα από την παροχή ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης.

2.2.5.1 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ DIAL-A-RIDE – VRP – ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ Ή ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

Αξίζει να σημειωθεί πως ενώ οι πρώτες μελέτες είχαν επικεντρωθεί στη δυναμική λειτουργία, αυτή η παραλλαγή έχει λάβει πολύ λιγότερη προσοχή από την αντίστοιχη στατική της. Οι Madsen et al. (1995) έχουν αναπτύξει έναν αλγόριθμο εισαγωγής (insertion algorithm) εμπνευσμένο από την εργασία των Jaw et al. (1986) και το έχουν εφαρμόσει σε ένα πραγματικό δυναμικό πρόβλημα με πολλαπλούς στόχους. (Madsen, et al., 1995) Ο αλγόριθμος εισαγωγής ή διαδικτυακός αλγόριθμος είναι ένας αλγόριθμος ταξινόμησης στον οποίο τα στοιχεία μεταφέρονται ένα κάθε φορά στη σωστή θέση. Πρόσφατα, οι Coslovich et al. (2006) παρουσίασαν έναν αλγόριθμο εισαγωγής δύο φάσεων για τη γρήγορη απόφαση σχετικά με την αποδοχή ή την απόρριψη ενός αιτήματος χρήστη. (Coslovich, et al., 2006) Αν και είναι λογικό να εκτελείται ένας αλγόριθμος για λίγες ώρες σε ένα στατικό περιβάλλον, απαιτούνται πολύ ταχύτεροι χρόνοι απόκρισης σε ένα δυναμικό περιβάλλον. Ο παράλληλος υπολογισμός είναι επομένως ένας φυσικός τρόπος μείωσης του υπολογιστικού χρόνου. Επιπλέον, πρόσφατα εισήχθη ένας διαδικτυακός αλγόριθμος (Online algorithm) στον οποίο υπάρχει ένα σχήμα επικοινωνίας σήματος μεταξύ του αποστολέα ταξιδιού και του αλγόριθμου που χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της χρήσης του διαθέσιμου χρόνου αδράνειας. Δυστυχώς όμως η συγκεκριμένη περίπτωση έπαιρνε στατικά δεδομένα και δεν προσαρμοζόταν στις εκάστοτε αλλαγές. (Lois & Ziliaskopoulos, 2017)

Σύμφωνα με όσα πρότεινε ο Coslovich το 2006 ισχύουν τα ακόλουθα.

Ορίζουμε το δίκτυο μεταφοράς με βάση ένα πλήρες κατευθυνόμενο γράφημα $G = (V, E)$, όπου το σύνολο κορυφής V αντιπροσωπεύει όλες τις πιθανές στάσεις οχημάτων (η αποθήκη αναφέρεται, παρακάτω, ως κόμβος 0). Το σύνολο τόξου $E =$

$\{(r, s) : r, s \in V, r \neq s\}$ περιλαμβάνει τους συντομότερους τρόπους μετακίνησης μεταξύ δύο κόμβων. Έστω r και s είναι οι κόμβοι και, για κάθε $(r, s) \in E$, ορίζουμε το $d(r, s)$ ως τον συντομότερο χρόνο που απαιτείται για τη μετάβαση από τη στάση r στη στάση s . Γενικά, $d(r, s) \neq d(s, r)$.

Το σύνολο C περιλαμβάνει τους πελάτες και χωρίζεται σε δύο υποσύνολα C^s και C^d , όπου το C^s περιλαμβάνει τους πελάτες εκ των προτέρων, δηλαδή τους πελάτες που έχουν κλείσει ένα ταξίδι εκ των προτέρων, και το C^d περιλαμβάνει τους απροσδόκητους πελάτες που πρόκειται να συναντήσετε στο δρόμο κατά τη διάρκεια η υπηρεσία. Φυσικά, το C^s είναι ένα στατικό σύνολο, το C^d είναι δυναμικό και υποθέτουμε ότι τα στοιχεία του δεν είναι γνωστά a priori. Το σετ C^s χωρίζεται με τη σειρά του σε δύο σετ C_p^s και C_D^s , όπου το C_p^s περιλαμβάνει πελάτες προσανατολισμένους στην παραλαβή (POCs), δηλαδή πελάτες που θα ήθελαν να ξεκινήσουν το ταξίδι τους όχι νωρίτερα από μια συγκεκριμένη ώρα (π.χ. φοιτητές που φεύγουν από το σχολείο), και το C_D^s περιλαμβάνει πελάτες προσανατολισμένους στην παράδοση (DOC), δηλαδή πελάτες που θα ήθελαν να παραδοθούν στον προορισμό τους το αργότερο μια συγκεκριμένη ώρα (π.χ. μαθητές που πηγαίνουν στο σχολείο).

Έστω i ο δείκτης πελατών και ορίζουμε:

- $p_i, d_i \in V$ στάσεις παραλαβής και παράδοσης, αντίστοιχα, για κάθε $i \in C$,
- t_i^p, t_i^d ο πραγματικός χρόνος παραλαβής και χρόνος παράδοσης, για κάθε $i \in C$,
- $[t_i^{p-}, t_i^{p+}]$ και $[t_i^{d-}, t_i^{d+}]$ τα παράθυρα χρόνου παραλαβής και παράδοσης, αντίστοιχα, για κάθε $i \in C^s$,
- $t_i^{\wedge p}$ ο επιθυμητός χρόνος παραλαβής, για κάθε $i \in C_p^s$,
- $t_i^{\wedge d}$ ο επιθυμητός χρόνος παράδοσης, για κάθε $i \in C_D^s$.

Τέλος, θεωρούμε το επίπεδο δυσaráσκειας (LOD) ως μέτρο ποιότητας της εξυπηρέτησης των πελατών. Το LOD λαμβάνει υπόψη την απόκλιση από τον επιθυμητό χρόνο εξυπηρέτησης (DV) και τον επιπλέον χρόνο διαδρομής (ERT), ο τελευταίος είναι η διαφορά μεταξύ του πραγματικού χρόνου διαδρομής και του συντομότερου χρόνου που απαιτείται για την εξυπηρέτηση του αιτήματος. Πιο τυπικά, ορίζουμε το LOD για μια γενική POC i ως

$$LOD_i = \alpha_p DV_i + \beta ERT_i = \alpha_p (t_i^p - t_i^{\wedge p}) + \beta (t_i^d - t_i^p - d(p_i, d_i)), \quad \forall i \in C_p^s \quad (1)$$

Για μία γενική DOC i ως

$$LOD_i = a_D DV_i + \beta ERT_i = a_D (t_i^{\wedge d} - t_i^d) + \beta (t_i^d - t_i^p - d(p_i, d_i)), \quad \forall i \in C_D^s \quad (2)$$

Για ένα γενικό απροσδόκητο πελάτη i ως

$$LOD_i = \beta ERT_i = \beta (t_i^d - t_i^p - d(p_i, d_i)), \quad \forall i \in C^d \quad (3)$$

όπου οι συντελεστές a_P , a_D και b είναι κατάλληλα βάρη που πρέπει να συντονιστούν από τον διαχειριστή του συστήματος και το όχημα υποτίθεται ότι θα εγκαταλείψει την αποθήκη τη στιγμή 0. Σημειώστε ότι η DV είναι διαφορετική για τους δύο τύπους θεωρούμενων πελατών (POC και DOC). Σε περίπτωση μη αναμενόμενων πελατών, προφανώς δεν λαμβάνεται υπόψη απόκλιση.

Θεωρούμε ένα DARPTW του οποίου ο κύριος στόχος είναι να εισάγει δυναμικά όσο το δυνατόν περισσότερους απροσδόκητους πελάτες στις προηγούμενες προγραμματισμένες διαδρομές των οχημάτων, υπό την προϋπόθεση ότι σε κάθε εισαγωγή ενός απροσδόκητου πελάτη πληρούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Ένας κανόνας προτεραιότητας FIFO τηρείται αυστηρά για την εξυπηρέτηση των μη αναμενόμενων πελατών.
- Το LOD των πελατών εκ των προτέρων που είναι παρόντες στο όχημα ελαχιστοποιείται.
- Η απόκλιση από τον επιθυμητό χρόνο εξυπηρέτησης (DV_i) κάθε προκαταβολικού πελάτη i δεν υπερβαίνει ένα δεδομένο άνω όριο (DV'_i).
- Ο επιπλέον χρόνος διαδρομής (ERT_i) κάθε προκαταβολικού πελάτη i δεν υπερβαίνει ένα δεδομένο άνω όριο (ERT'_i).
- Ο επιπλέον χρόνος διαδρομής (ERT'_i) κάθε απροσδόκητου πελάτη i δεν υπερβαίνει ένα δεδομένο άνω όριο ($ERT'^d_i = k_D ERT'_i$, όπου το ERT'_i είναι το ανώτερο όριο που θα καθοριστεί για έναν εκ των προτέρων πελάτη και ο συντελεστής $k_D \geq 1$ μετρά το μειονέκτημα των απροσδόκητων πελατών σε σύγκριση με τους εκ των προτέρων).

Στην αρχή της εργάσιμης ημέρας, σε κάθε πελάτη εκ των προτέρων εκχωρούνται τα ίδια ανώτερα όρια LOD:

$$DV'_i = DV', ERT'_i = ERT', \quad \forall i \in C^s.$$

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειώσουμε ότι για λόγους απλότητας, το ίδιο άνω όριο της EPT μπορεί να εκχωρηθεί σε όλους τους προχωρημένους πελάτες, χωρίς διάκριση των αιτημάτων εξυπηρέτησης, καθώς στις αστικές περιοχές οι χρόνοι διαδρομής δεν διαφέρουν ουσιαστικά.

Έτσι, κάθε φορά που εμφανίζεται ένα απροσδόκητο αίτημα j , εξετάζεται και αντιμετωπίζεται το ακόλουθο πρόβλημα, όπου δηλώνονται μόνο ο στόχος και οι περιορισμοί που σχετίζονται με την ικανοποίηση των πελατών.

$$\min \left(\sum_{i \in C^s} LOD_i \right)$$

Έχοντας τους ακόλουθους περιορισμούς

$$\begin{aligned} DV_i &\leq DV'_i, \quad \forall i \in C^s, \\ ERT_i &\leq ERT'_i, \quad \forall i \in C^s, \\ ERT_j &\leq ERT'^d. \end{aligned}$$

Φυσικά, μετά την αποδοχή ενός απροσδόκητου πελάτη j , εκτελούνται οι ακόλουθες ενημερώσεις:

$$\begin{aligned} C_p^s &= C_p^s \cup \{j\}, \\ C^d &= C^d \cup \{j\}, \\ ERT'_j &= ERT'^d. \end{aligned}$$

Αξίζει να αναφέρουμε ότι οι περιορισμοί χωρητικότητας δεν λαμβάνονται υπόψη στη ρύθμισή μας. Το πραγματικό πρόβλημα που αντιμετωπίζεται εδώ έχει να κάνει με DRTS που χρησιμοποιούν οχήματα που λειτουργούν κυρίως για τακτικά δρομολόγια με χρονοδιάγραμμα. Έχουν κατά μέσο όρο χωρητικότητα περίπου 80 ατόμων και είναι σχεδόν γεμάτα. Ως εκ τούτου, η χαλάρωση με την εξάλειψη των περιορισμών χωρητικότητας φαίνεται να δικαιολογείται επαρκώς στις εξεταζόμενες περιπτώσεις.

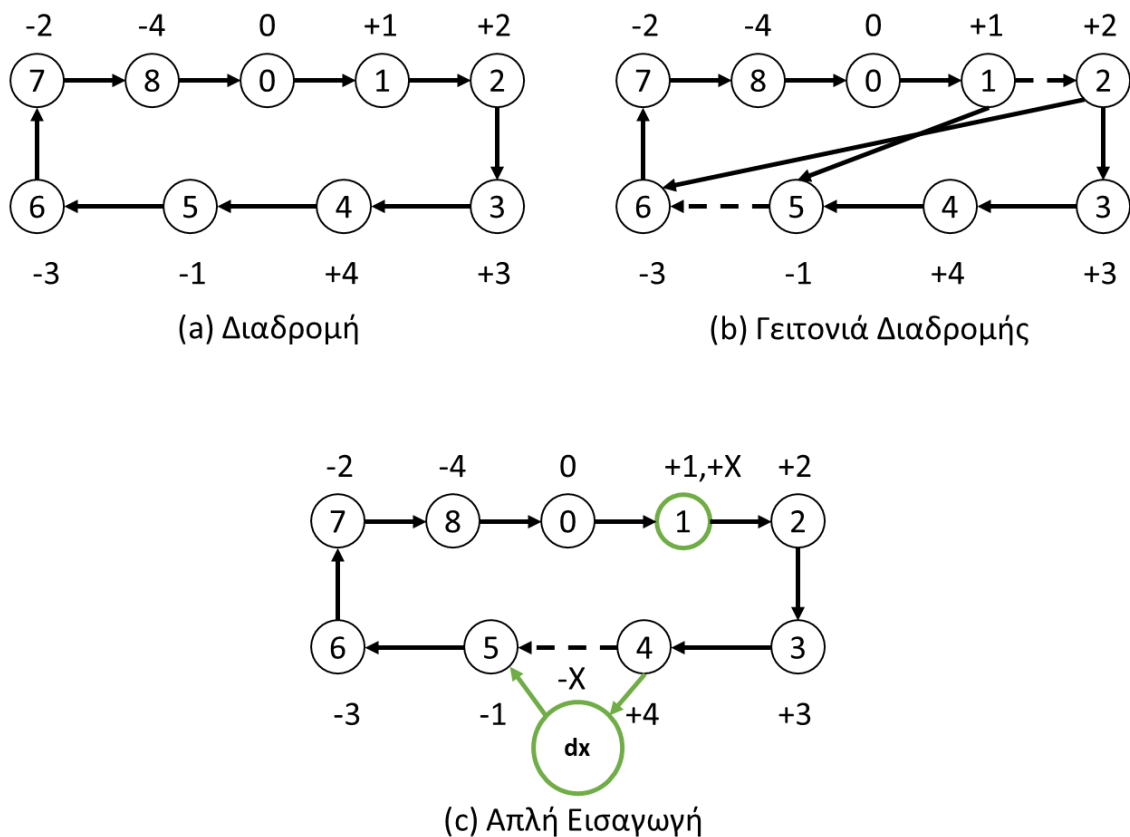
Όσον αφορά τώρα τον αλγόριθμο εισαγωγής να αναφέρουμε τα ακόλουθα για την δομή του και την ορολογία που ακολουθείται.

Διαδρομή. Από επιχειρησιακή άποψη, μια διαδρομή είναι μια ακολουθία στάσεων που πρέπει να επισκεφθεί ένα συγκεκριμένο όχημα, με αφετηρία και λήξη στο κεντρικό αμαξοστάσιο. Όπως γίνεται συνήθως στη βιβλιογραφία, μοντελοποιούμε μια διαδρομή ως κύκλωμα στο δίκτυο G , δηλαδή μια ακολουθία $a: = r_0, e_0, r_1, e_1, \dots, e_n, r_0$ όπου r_0, r_1, \dots, r_n είναι κόμβοι στο V και e_0, e_1, \dots, e_n είναι τόξα στο E . Επιπλέον, συσχετίζουμε μια ετικέτα σε κάθε κόμβο του κυκλώματος για να υποδείξουμε τον λόγο της στάσης του οχήματος.

Γειτονιά διαδρομής. Μια γειτονιά διαδρομής μιας δεδομένης εφικτής διαδρομής a είναι ένα σύνολο εναλλακτικών εφικτών διαδρομών S_a οι οποίες μπορούν να ληφθούν από το a μέσω μιας μεμονωμένης διαταραχής, όπου μια διαταραχή είναι μια εναλλαγή τόξου 2 επιλογών (δηλαδή η εξάλειψη δύο τόξων της διαδρομής και στη

συνέχεια η επανασύνδεση του γραφήματος με τον μόνο τρόπο που οδηγεί σε διαφορετική περιήγηση).

Απλή εισαγωγή. Μια απλή εισαγωγή είναι μια παράκαμψη ενός οχήματος από την αρχική του διαδρομή με στόχο την εισαγωγή της στάσης παράδοσης ενός απροσδόκητου πελάτη μεταξύ δύο διαδοχικών (προηγούμενως προγραμματισμένων) στάσεων. Κατά συνέπεια, μια απλή εισαγωγή ορίζει μια νέα διαδρομή για το εξεταζόμενο όχημα.



Εικόνα 20. Δρομολόγηση οχημάτων Dial-A-Ride VRP (DARP) με αλγόριθμο εισαγωγής.

Η βασική ιδέα του αλγορίθμου μας είναι ότι, κάθε φορά που ένας απροσδόκητος πελάτης ζητά εξυπηρέτηση, η απλή εισαγωγή της στάσης παράδοσης αξιολογείται για κάθε διαδρομή σε μια κατάλληλη γειτονιά της τρέχουσας, αλλά δεν εκτελείται αμέσως βελτιστοποίηση. Αυτή η τεχνική επιτρέπει την αποδοχή πολλών απροσδόκητων πελατών που, εάν δεν ληφθεί υπόψη η διαδρομή γειτονιάς, θα απορριφθούν ως ανέφικτα αιτήματα. Πράγματι, στην περίπτωση μας η εισαγωγή της στάσης παράδοσης ενός απροσδόκητου πελάτη διερευνάται σε ευρύτερο πεδίο. Από

την άλλη πλευρά, σε πραγματικές περιπτώσεις, δεν είναι δίκαιο να αποδεχτεί κανείς ένα ανέφικτο απροσδόκητο αίτημα υπηρεσίας χωρίς να είναι σίγουρο ότι, στη συνέχεια, μια τοπική ευρετική αναζήτηση θα έβρισκε μια εφικτή λύση.

Η παραπάνω προσέγγιση μειώνει τον υπολογιστικό χρόνο που απαιτείται είτε για την αποδοχή είτε για την απόρριψη των μη αναμενόμενων αιτημάτων. Πιο συγκεκριμένα, όντας n ο αριθμός των στάσεων σε μια δεδομένη διαδρομή, η τεχνική μας οδηγεί σε έναν αλγόριθμο $O(n^3)$.

Κάθε φορά που γίνεται αποδεκτός ένας απροσδόκητος πελάτης, ενημερώνεται η τρέχουσα διαδρομή ενός οχήματος και, κατά συνέπεια, πρέπει να υπολογιστεί μια νέα γειτονιά. Ωστόσο, εάν υποθέσουμε ότι, όπως συμβαίνει συνήθως σε πραγματικές περιπτώσεις, δεν εμφανίζεται περισσότεροι από ένας απροσδόκητος πελάτης σε κάθε στάση, η τελευταία λειτουργία μπορεί να εκτελεστεί εκτός σύνδεσης σε κατάλληλο εξοπλισμό επί του οχήματος, ενώ κινείται από το τρέχουσα στάση στην επόμενη. Προφανώς, η πρώτη διαδρομή που ορίζεται για ένα όχημα βασίζεται μόνο στα εκ των προτέρων αιτήματα των πελατών και καθορίζεται π.χ. μέσω ενός εποικοδομητικού ευρετικού, μαζί με τη γειτονιά του, πριν φύγει από την κεντρική αποθήκη.

Μια λογική περιγραφή υψηλού επιπέδου του αλγόριθμου εισαγωγής είναι η ακόλουθη:

INITIALIZATION (off-line)

$k = 0$;

Δημιουργήστε την τρέχουσα διαδρομή a_k με βάση τα αιτήματα των αρχικών πελατών;

First phase: UPDATE NEIGHBORHOOD (off-line)

Προσδιορισμός γειτονικής διαδρομής S_{a^k} ;

Εντός της γειτονίας S_{a^k} , επιλέγουμε την καλύτερη διαδρομή a'^k και έχουμε $a^k = a'^k$;

Second phase: CUSTOMER INSERTION (on-line)

Εάν ένας απροσδόκητος πελάτης ζητήσει να εξυπηρετηθεί στη στάση i_k , τότε ασχολούμαστε με την εισαγωγή της στάσης παράδοσης;

$k \leftarrow k + 1$;

Υπενθυμίζεται ότι, αφού έχει πραγματοποιηθεί μια εισαγωγή με τη διαδικασία CUSTOMER INSERTION, πρέπει στη συνέχεια να εκτελεστεί η διαδικασία UPDATE NEIGHBORHOOD, ενώ το όχημα κινείται προς την επόμενη στάση στη νέα διαδρομή. Αυτές οι ρουτίνες, θεωρητικά, πρέπει να εκτελούνται στο όχημα.

2.2.5.2 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ DIAL-A-RIDE – VRP – TABU ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

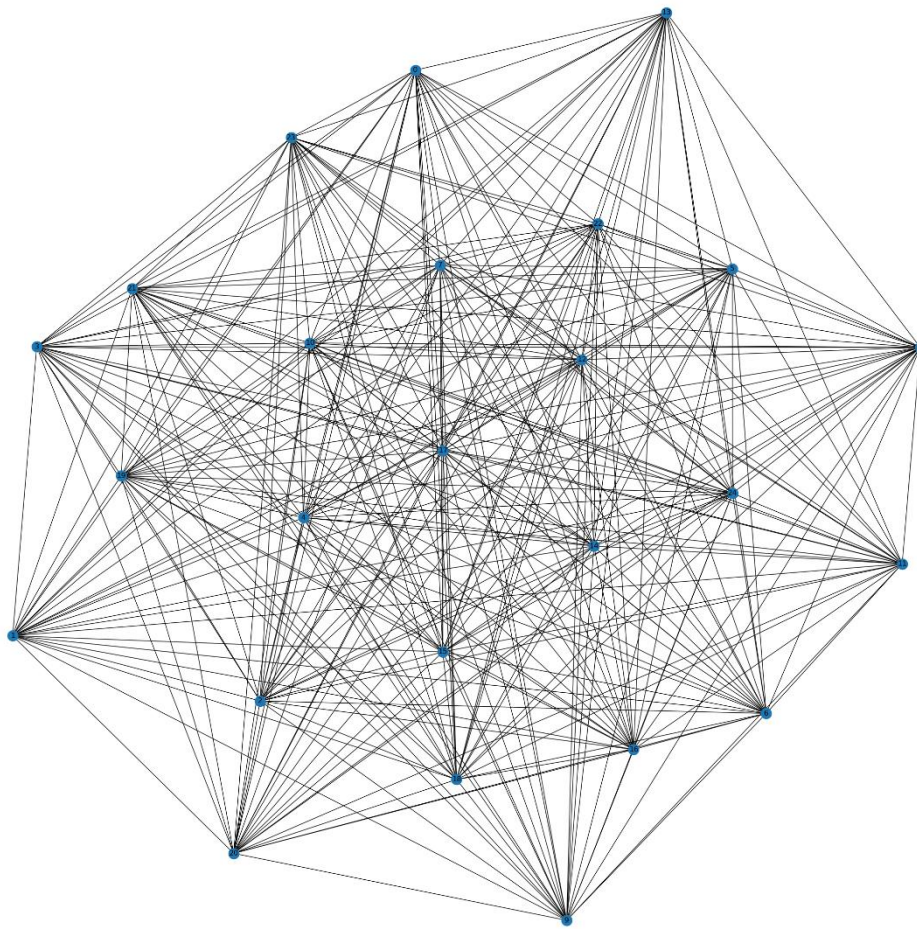
Ένας άλλος σημαντικός τομέας εφαρμογής είναι η υγειονομική περίθαλψη. Τις τελευταίες δεκαετίες, έχουν αναφερθεί πολλές προσεγγίσεις που αφορούν διάφορες πτυχές σχετικά με την κινητικότητα των ασθενοφόρων. Οι πιο αντιπροσωπευτικές είναι οι παρακάτω. Υπάρχουν μελέτες που προτείνουν μια ευρετική διαδικασία δύο φάσεων για γρήγορη απόφαση και μείωση του χρόνου αναμονής για τους ασθενείς, χρησιμοποιώντας μια απλή εισαγωγή στην πρώτη όψη και έναν αλγόριθμο αναζήτησης tabu στη δεύτερη. Ο αλγόριθμος αναζήτησης tabu χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θέσης της εγκατάστασης. Πρόκειται για ένα μεθοδολογικό πλαίσιο το οποίο δημιουργήθηκε από τον Fred W. Glover το 1986 (Glover, 1986) και μορφοποιήθηκε το 1989 (Glover, 1989). Η αναζήτηση tabu ξεκινάει παίρνοντας μία δυνητική λύση σε ένα πρόβλημα και ελέγχει τις άμεσες γειτονικές λύσεις με την ελπίδα να βρεθεί μία καλύτερη λύση. Χρησιμοποιεί δηλαδή ως μια τεχνική βελτιστοποίησης που χρησιμοποιεί μια καθοδηγούμενη διαδικασία τοπικής αναζήτησης που αποφεύγει την τοπική βελτιστοποίηση και απορρίπτει κινήσεις σε σημεία που έχουν ήδη επισκεφτεί στον χώρο αναζήτησης μέσω της λεγόμενης λίστας tabu. (Miyazaki, et al., 2012) Σε αυτήν την εφαρμογή, ο επείγων χρόνος και η συμβατότητα εξοπλισμού/προσωπικού είναι σημαντικά. Οι ανησυχίες σχετικά με τον προγραμματισμό συντήρησης του προσωπικού προσθέτουν σημαντική πολυπλοκότητα. Για ενδονοσοκομειακή μεταφορά, η οποία περιλαμβάνει τη μετακίνηση ασθενών, προμηθειών και εξοπλισμού για διαγνωστικούς ή θεραπευτικούς λόγους, πρόσθετοι περιορισμοί μπορεί να περιλαμβάνουν τη μη κοινή χρήση ασθενοφόρων για την μεταφορά των ασθενών, συνοδευτικού προσωπικού/εξοπλισμού, ειδικής σειράς σε παραλαβή και παράδοση ασθενών στα

νοσοκομεία, και ιεράρχηση αυτών (όταν είναι επείγον έναντι φυσιολογικού) των αιτημάτων (Hanne, et al., 2009) (Beaudry, et al., 2010). Για μη επείγουσα μεταφορά ασθενών προς/από νοσοκομεία, το όχημα μπορεί να διαμορφωθεί εκ νέου ώστε να παρέχει θέσεις προσωπικού, θέσεις ασθενών, φορεία και αναπηρικά καροτσάκια. Ωστόσο, η μεταφορά ασθενών στα ίδια νοσοκομεία στα οποία έχουν ήδη πάει κάποιοι ασθενείς, είναι υποχρεωτική λόγω της ρευστότητας των παραμέτρων όπως η χωρητικότητα κάθε νοσοκομείου και η κυκλοφοριακή συμφόρηση. Επίσης, οι περιορισμοί μπορεί να περιλαμβάνουν χωρητικότητες που εξαρτώνται από τη λειτουργία, αναθέσεις οδηγού-οχήματος, μέγιστα μήκη αλλαγής ταχυτήτων και υποχρεωτικά διαλείμματα οδηγού. (Parragh, 2011) (Parragh, et al., 2012) (Schilde, et al., 2011) και (Schilde, et al., 2014)

Μία άλλη απόπειρα επίλυσης ενός παρόμοιου προβλήματος που γίνεται με έναν αλγόριθμο αναζήτησης tabu, είναι όταν ο ασθενής έχει την δυνατότητα να επιλέξει τον πάροχο μεταφοράς μεταξύ διαφορετικών μη κερδοσκοπικών οργανισμών. (Detti, et al., 2017). Εκτός όμως από τον πάροχο θα μπορούσε ίσως να προστεθεί και ο τρόπος μεταφοράς (πχ αερομεταφορά αντί για ασθενοφόρο). Ωστόσο, σε τέτοιες δύσκολες καταστάσεις, οι προτιμήσεις του ασθενούς είναι δευτερεύουσας σημασίας. Το πιο σημαντικό πράγμα είναι να μεταφέρουμε κάθε ασθενή στο πλησιέστερο νοσοκομείο ακόμα κι αν πρέπει να μεταφέρουμε περισσότερους από έναν στο ίδιο νοσοκομείο.

Στην συνέχεια θα δούμε τον αλγόριθμο tabu όπως παρουσιάστηκε από τον Cordeau το 2003. (Cordeau & Laporte, 2003)

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης προσέγγισής είναι η δυνατότητα εξερεύνησης ανέφικτων λύσεων κατά την αναζήτηση. Έστω S το σύνολο των λύσεων. Κάθε λύση $s \in S$ αντιπροσωπεύεται από ένα σύνολο m διαδρομών (που ξεκινούν και τελειώνουν στην αποθήκη) έτσι ώστε κάθε αίτημα να εκχωρείται σε ακριβώς μία διαδρομή και οι δύο κορυφές που σχετίζονται με αυτό το αίτημα επισκέπτονται με την κατάλληλη σειρά. Αυτή η λύση μπορεί, ωστόσο, να παραβιάζει τους περιορισμούς μέγιστου φορτίου και διάρκειας που σχετίζονται με τα οχήματα, τους περιορισμούς χρονικού παραθύρου που σχετίζονται με τις κορυφές ή τους περιορισμούς χρόνου διαδρομής που σχετίζονται με τα αιτήματα.



Εικόνα 21. Δρομολόγηση οχημάτων Dial-A-Ride VRP (DARP) – TABU Αλγόριθμος.

Για κάθε λύση $s \in S$, έστω $c(s)$ υποδηλώνει το συνολικό κόστος δρομολόγησης των οχημάτων και έστω $q(s)$, $d(s)$, $w(s)$ και $t(s)$ δηλώνουν τη συνολική παραβίαση των περιορισμών φορτίου, διάρκειας, χρονικού παραθύρου και χρόνου διαδρομής, αντίστοιχα. Το κόστος δρομολόγησης ενός οχήματος k αντιστοιχεί στο άθροισμα του κόστους c_{ij} που σχετίζεται με τα τόξα (v_i, v_j) που διανύονται από αυτό το όχημα. Η συνολική παραβίαση των περιορισμών φορτίου και διάρκειας υπολογίζεται σε βάση διαδρομής σε σχέση με τα Q_k και T_k , ενώ η συνολική παραβίαση των περιορισμών χρονικού παραθύρου είναι ίση με $\sum_{i=1}^{2n} (B_i - l_i)^+$, όπου $x^+ = \max\{0, x\}$. Ομοίως, η συνολική παραβίαση των χρονικών περιορισμών οδήγησης είναι ίση με $\sum_{i=1}^n (L_i - L)^+$.

Οι λύσεις αξιολογούνται χρησιμοποιώντας μια συνάρτηση κόστους $f(s)=c(s)+\alpha q(s)+\beta r(s)+\gamma w(s)+\tau t(s)$, όπου τα a , b , c και s είναι αυτορρυθμιζόμενες θετικές παράμετροι. Με την ονομαστική προσαρμογή των τιμών των τεσσάρων παραμέτρων κατά τη διάρκεια της αναζήτησης, αυτός ο μηχανισμός χαλάρωσης διευκολύνει την εξερεύνηση του χώρου λύσης και είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για περιπτώσεις με αυστηρούς περιορισμούς. Ενθαρρύνει επίσης τη χρήση απλών τελεστών ανταλλαγής επειδή η σύνθετη τροποποίηση μιας εφικτής λύσης σε μια άλλη εφικτή λύση μπορεί στη συνέχεια να επιτευχθεί με μια σειρά απλούστερων τροποποιήσεων μέσω ενδιάμεσων μη εφικτών λύσεων.

Ένα άλλο σημαντικό συστατικό της μεθόδου είναι ο ορισμός των χαρακτηριστικών για τον χαρακτηρισμό των λύσεων του S . Με κάθε λύση $s \in S$ συνδέεται ένα σύνολο χαρακτηριστικών $U(s)=\{(i,k) : \text{το αίτημα } i \text{ εκχωρείται στο όχημα } k\}$. Η γειτονιά $N(s)$ μιας λύσης s αποτελείται από όλες τις λύσεις που μπορούν να ληφθούν με την εφαρμογή ενός απλού τελεστή που αφαιρεί ένα χαρακτηριστικό (i, k) από το $U(s)$ και το αντικαθιστά με ένα άλλο χαρακτηριστικό (i, k') , όπου $k \neq k'$. Όταν το χαρακτηριστικό (i, k) αφαιρεθεί από τη λύση, οι κορυφές v_i και v_{i+n} αφαιρούνται από τη διαδρομή k που επανασυνδέεται συνδέοντας τον αντίστοιχο προκάτοχο και τον διάδοχο κάθε διαγραμμένης κορυφής. Η εισαγωγή των κορυφών v_i και v_{i+n} στη διαδρομή k' εκτελείται στη συνέχεια έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η συνολική αύξηση του $f(s)$ χρησιμοποιώντας απλές εισαγωγές (δηλαδή, η σειρά των κορυφών ήδη στη διαδρομή k' παραμένει αμετάβλητη). Τα χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται επίσης σε μεγάλο βαθμό για τον έλεγχο των θητειών tabu και την εφαρμογή μιας στρατηγικής διαφοροποίησης. Όταν το αίτημα i αφαιρεθεί από τη διαδρομή k , η επανεισαγωγή του σε αυτή τη διαδρομή απαγορεύεται για την επόμενη « θ » επανάληψη, εκχωρώντας μια κατάσταση tabu στο χαρακτηριστικό (i, k) . Μέσω ενός κριτηρίου αναρρόφησης, η κατάσταση tabu ενός χαρακτηριστικού μπορεί, ωστόσο, να ανακληθεί εάν αυτό θα επέτρεπε στη διαδικασία αναζήτησης να φτάσει σε μια λύση μικρότερου κόστους από αυτή της πιο γνωστής λύσης που έχει αυτό το χαρακτηριστικό.

Για να διαφοροποιηθεί η αναζήτηση, οποιαδήποτε λύση $s' \in N(s)$ είναι τέτοια ώστε η $f(s') \geq f(s)$ να τιμωρείται από έναν παράγοντα ανάλογο με τη συχνότητα της προσθήκης των διακριτικών της χαρακτηριστικών και ενός παράγοντα κλιμάκωσης. Πιο συγκεκριμένα, έστω ρ_{ik} ο αριθμός των φορών που χαρακτηρίζει το (i, k) που προστέθηκε στη λύση κατά την αναζήτηση. Αν το (i, k) υποδηλώνει το χαρακτηριστικό

που πρέπει να προστεθεί στην τρέχουσα λύση s για να ληφθεί η νέα λύση s' , μια ποινή

$$p(s') = \lambda c(s') \sqrt{nm} \rho_{ik}$$

προστίθεται στο $f(s')$ κατά την αξιολόγηση του κόστους του s' . Ο συντελεστής κλιμάκωσης $c(s') \sqrt{nm}$ εισάγει μια διόρθωση που προσαρμόζει τις ποινές σε σχέση με το συνολικό κόστος λύσης και το μέγεθος του προβλήματος όπως μετράται με τον αριθμό των πιθανών χαρακτηριστικών. Όσο περισσότερα χαρακτηριστικά υπάρχουν, τόσο υψηλότερα θα πρέπει να τιμωρείται ένα χαρακτηριστικό που προστίθεται συχνά. Τέλος, η παράμετρος « λ » χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της έντασης της διαφοροποίησης. Αυτές οι ποινές έχουν ως αποτέλεσμα να οδηγούν τη διαδικασία αναζήτησης προς λιγότερο εξερευνημένες περιοχές του χώρου λύσεων κάθε φορά που επιτυγχάνεται ένα τοπικό βέλτιστο.

Ο αλγόριθμος αναζήτησης tabu ξεκινά από την αρχική λύση s_0 και επιλέγει, στην επανάληψη t , την καλύτερη λύση χωρίς tabu στο $N(s_t)$ σε σχέση με την αντικειμενική συνάρτηση $f(s)+p(s)$. Μετά από κάθε επανάληψη, οι τιμές των παραμέτρων a , b , c και s τροποποιούνται με συντελεστή $1 + \delta$, όπου $\delta > 0$. Εάν η τρέχουσα λύση είναι εφικτή σε σχέση με τους περιορισμούς φορτίου, η τιμή του « a » διαιρείται με $1 + \delta$, διαφορετικά, πολλαπλασιάζεται επί $1 + \delta$. Ο ίδιος κανόνας ισχύει για τα b , c και s όσον αφορά τους περιορισμούς διάρκειας, χρονικού παραθύρου και χρόνου διαδρομής, αντίστοιχα. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για επαναλήψεις και η καλύτερη δυνατή λύση που προσδιορίζεται κατά την αναζήτηση γίνεται η τελική λύση.

Για κάθε « k » επαναλήψεις, πραγματοποιούνται ανταλλαγές εντός διαδρομής. Για κάθε σύνολο v_1, \dots, v_{2n} αφαιρείται διαδοχικά από την τρέχουσα διαδρομή του και επανατοποθετείται στην καλύτερη θέση έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η τιμή του $f(s)$. Οι ανταλλαγές εντός της διαδρομής πραγματοποιούνται επίσης κάθε φορά που εντοπίζεται μια νέα βέλτιστη λύση κατά τη διάρκεια της αναζήτησης, ώστε να παρέχεται κάποια μορφή εντατικοποίησης.

Η αφαίρεση των δύο κορυφών που σχετίζονται με το αίτημα i από τη διαδρομή k και η εισαγωγή τους στη διαδρομή k' μπορεί να επηρεάσει το μέγιστο φορτίο και τη συνολική διάρκεια και των δύο διαδρομών που εμπλέκονται στην ανταλλαγή καθώς και τη σκοπιμότητα του χρονικού παραθύρου και των χρονικών περιορισμών για όλα τα αιτήματα που έχουν εκχωρηθεί σε αυτές τις διαδρομές. Ως αποτέλεσμα, η αξιολόγηση του αντίκτυπου στο $f(s)$ της αφαίρεσης του χαρακτηριστικού (i,k) από το

U(s) και αντικαθιστώντας το με το χαρακτηριστικό (i,k') περιλαμβάνει σημαντικούς υπολογισμούς.

Θεωρούμε μια συγκεκριμένη διατεταγμένη διαδρομή $k = (v_0, \dots, v_i, \dots, v_q)$, όπου το v_0 και το v_q αντιπροσωπεύουν και τα δύο την αποθήκη. Είναι σαφές ότι η διαδοχική ρύθμιση $D_0 = e_0$ και $B_i = \max\{e_i, A_i\}$ για $i = 1, \dots, q$ είναι βέλτιστο όσον αφορά την ελαχιστοποίηση των παραβιάσεων του χρονικού παραθύρου, επειδή το όχημα φεύγει από την αποθήκη όσο το δυνατόν νωρίτερα και η εξυπηρέτηση κάθε κορυφής ξεκινά επίσης όσο το δυνατόν νωρίτερα. Ωστόσο, λόγω των περιορισμών διάρκειας διαδρομής και χρόνου διαδρομής, μια λύση δεν είναι εφικτή εάν $D_0 = e_0$ και $B_i = \max\{A_i, e_i\}$ για κάθε κορυφή v_i μπορεί στην πραγματικότητα να είναι εφικτό (ή λιγότερο ανέφικτο) εάν η αναχώρηση από την αποθήκη καθώς και η έναρξη της υπηρεσίας σε ορισμένες κορυφές καθυστερήσουν οικειοθελώς. Φυσικά, μια απλή ρύθμιση που θα μειώσει τη διάρκεια της διαδρομής επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση $D_0 = \max\{e_0, e_j - t_{0j}\}$, όπου το v_j υποδηλώνει την πρώτη κορυφή που επισκέφθηκε μετά την έξοδο από την αποθήκη. Ωστόσο, μπορεί μερικές φορές να είναι δυνατό να καθυστερήσει περαιτέρω η αναχώρηση από την αποθήκη, ειδικά όταν το χρονικό παράθυρο που σχετίζεται με την κορυφή v_j είναι ευρύ.

Υποθέτοντας $d_i = 0$ (και ως εκ τούτου $D_i = B_i$), ορίζεται η καθυστέρηση χρόνου προώθησης F_i της κορυφής v_i ως

$$F_i = \min_{i \leq j \leq q} \left\{ l_j - \left(B_i + \sum_{i \leq p < j} t_{p,p+1} \right) \right\} \quad (1)$$

Χρησιμοποιώντας το γεγονός ότι

$$B_j = B_i + \sum_{i \leq p < j} t_{p,p+1} + \sum_{i < p \leq j} W_p \quad (2)$$

η (1) μπορεί να διαμορφωθεί ως ακολούθως

$$F_i = \min_{i \leq j \leq q} \left\{ l_j - \left(B_j + \sum_{i < p \leq j} W_p \right) \right\} \quad (3)$$

$$= \min_{i \leq j \leq q} \left\{ \sum_{i < p \leq j} W_p + (l_j - B_j) \right\} \quad (4)$$

Η τελευταία μορφή τονίζει το γεγονός ότι η χαλάρωση στην κορυφή v_j είναι ο αθροιστικός χρόνος αναμονής μέχρι την κορυφή v_j , συν τη διαφορά μεταξύ του τέλους του χρονικού παραθύρου και της έναρξης της υπηρεσίας στην κορυφή v_j .

Αυτό επίσης μπορεί να γενικευτεί και στην απευθείας περίπτωση των μη μηδενικών χρόνων εξυπηρέτησης.

Όταν η σκοπιμότητα πρέπει να διατηρηθεί μέσω ανταλλαγών, η καθυστέρηση του χρόνου προώθησης είναι η μεγαλύτερη αύξηση στην αρχή της υπηρεσίας στην κορυφή v_i που δεν θα προκαλέσει παραβίαση παραθύρου οποιοδήποτε. Στην περίπτωση μας, καθώς επιτρέπονται ανέφικτες λύσεις κατά τη διάρκεια της αναζήτησης, η έννοια της καθυστέρησης χρόνου προς τα εμπρός πρέπει να τροποποιηθεί ελαφρώς ώστε να αντιπροσωπεύει τη μεγαλύτερη αύξηση στην αρχή της υπηρεσίας στην κορυφή v_i που δεν θα προκαλέσει καμία αύξηση στις παραβιάσεις του χρονικού παραθύρου. Ως εκ τούτου, ο όρος $(l_j - B_j)$ θα πρέπει να αντικατασταθεί με $(l_j - B_j)^+$ στο (4) γιατί ακόμα κι αν το χρονικό παράθυρο για την κορυφή v_j δεν μπορεί να ικανοποιηθεί στην τρέχουσα διαδρομή, μπορεί να αυξηθεί η έναρξη της υπηρεσίας στην κορυφή v_i όσο $\sum_{i < p \leq j} W_p$ χωρίς να αυξηθεί η παραβίαση του περιορισμού του χρονικού παραθύρου στην κορυφή v_j .

Κατά τον υπολογισμό της καθυστέρησης χρόνου προς τα εμπρός μιας κορυφής $v_i \neq v_0$, πρέπει επίσης να ληφθεί μέριμνα ώστε να μην αυξηθεί η παραβίαση των χρονικών περιορισμών οδήγησης. Πράγματι, καθυστερώντας την έναρξη της υπηρεσίας στην κορυφή v_i , μπορεί κανείς να αυξήσει τον χρόνο διαδρομής για ένα αίτημα του οποίου η κορυφή προέλευσης είναι πριν από το v_i και του οποίου η κορυφή προορισμού είναι στο v_i ή μετά το v_i . Ως αποτέλεσμα, η εξ. (4) γίνεται

$$F_i = \min_{i \leq j \leq q} \left\{ \sum_{i < p \leq j} W_p + (\min \{l_j - B_j, L - P_j\})^+ \right\} \quad (5)$$

όπου P_j υποδηλώνει το χρόνο διαδρομής του χρήστη του οποίου η κορυφή προορισμού είναι v_j εάν $n+1 \leq j \leq 2n$, και $P_j=0$ διαφορετικά.

Η ρύθμιση $D_0 = e_0 + F_0$ αντί για $D_0 = e_0$ θα δώσει έτσι μια τροποποιημένη διαδρομή ελάχιστης συνολικής διάρκειας με ίσες παραβιάσεις των περιορισμών του χρονικού παραθύρου και ίσες ή μικρότερες παραβιάσεις των περιορισμών χρόνου διαδρομής. Παρατηρούμαι ότι η καθυστέρηση της ώρας αναχώρησης από το αμαξοστάσιο κατά $\sum_{0 < p < q} W_p$ δεν επηρεάζει την ώρα άφιξης A_q στο τέλος της διαδρομής, ενώ η καθυστέρηση της αναχώρησης κατά περισσότερο θα αύξανε απλώς το A_q κατά το ίδιο. Ως αποτέλεσμα, η ελάχιστη διάρκεια διαδρομής που δεν αυξάνει τις παραβιάσεις περιορισμών δίνεται από

$$A_q = \left(e_0 + \min \left\{ F_0, \sum_{0 < p < q} W_p \right\} \right).$$

Η έννοια της καθυστέρησης του χρόνου προς τα εμπρός μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την καθυστέρηση της έναρξης της εξυπηρέτησης B_i (και συνεπώς του χρόνου αναχώρησης D_i) στην κορυφή v_i του αιτήματος i με την ελπίδα να μειωθεί ο χρόνος διαδρομής που σχετίζεται με αυτό το αίτημα. Αυτό μπορεί όχι μόνο να βελτιώσει τη σκοπιμότητα μιας διαδρομής αλλά και την ποιότητα της υπηρεσίας, όπως μετράται από τον μέσο χρόνο διαδρομής των χρηστών. Εφόσον η καθυστέρηση του χρόνου προώθησης υπολογίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην αυξάνει ποτέ την παραβίαση του χρονικού παραθύρου ή των χρονικών περιορισμών διαδρομής, η καθυστέρηση της έναρξης της υπηρεσίας σε έναν κόμβο προέλευσης μπορεί μόνο να βοηθήσει στη βελτίωση της σκοπιμότητας.

Ο αντίκτυπος της διαγραφής των κορυφών v_i και v_{i+n} από τη διαδρομή k και της εισαγωγής τους σε προκαθορισμένες θέσεις στη διαδρομή k' μπορεί επομένως να εκτιμηθεί εκτελώντας τις επιθυμητές εισαγωγές και διαγραφές και στη συνέχεια εφαρμόζοντας την ακόλουθη διαδικασία σε καθεμία από τις διαδρομές που εμπλέκονται στην ανταλλαγή:

1. Έστω $D_0 := \epsilon_0$.
2. Υπολογίζουμε το A_i , W_i , B_i και D_i και για κάθε κορυφή v_i της διαδρομής.
3. Υπολογίζουμε το F_0 .
4. Έστω $D_0 := \epsilon_0 + \min \{ F_0, \sum_{0 < p < q} W_p \}$.
5. Ενημερώνουμε τα A_i , W_i , B_i και D_i για κάθε κορυφή v_i της διαδρομής.
6. Υπολογίζουμε το L_i για κάθε αίτημα που έχει εκχωρηθεί στη διαδρομή.
7. Για κάθε κορυφή v_j που ανταποκρίνεται στην προέλευση του αιτήματος j .
 - a. Υπολογίζουμε το F_j .
 - b. Έστω $B_j := B_j + \min \{ F_j, \sum_{j < p < q} W_p \}$; $D_j := B_j + d_j$
 - c. Ενημερώνουμε τα A_i , W_i , B_i και D_i για κάθε κορυφή v_i της διαδρομής που έρχεται μετά το v_j στη διαδρομή.
 - d. Ενημερώνουμε τον χρόνο διαδρομής L_i για κάθε αίτημα i του οποίου η κορυφή προορισμού είναι μετά την κορυφή v_j .
8. Υπολογίζουμε τις αλλαγές στις παραβιάσεις του φορτίου του οχήματος, της διάρκειας διαδρομής, του χρονικού παραθύρου και των περιορισμών χρόνου διαδρομής.

Αυτή η διαδικασία ελαχιστοποιεί πρώτα τις παραβιάσεις των περιορισμών του χρονικού παραθύρου στα βήματα (1) και (2). Στη συνέχεια, ελαχιστοποιεί τη διάρκεια της διαδρομής χωρίς να αυξάνει τις παραβιάσεις των χρονικών περιορισμών στα βήματα (3)–(6). Τέλος, στο βήμα (7), ελαχιστοποιεί διαδοχικά τους χρόνους διαδρομής καθυστερώντας την έναρξη της υπηρεσίας σε κάθε κόμβο προέλευσης όσο το δυνατόν περισσότερο χωρίς να αυξάνει τη διάρκεια της διαδρομής, το χρονικό παράθυρο ή τις παραβιάσεις των περιορισμών χρόνου διαδρομής. Όταν εφαρμόζεται σε μια διαδρομή για την οποία μπορούν να ικανοποιηθούν τα χρονικά παράθυρα, η διαδικασία θα αποφέρει χρόνους αναχώρησης και άφιξης που ελαχιστοποιούν τη διάρκεια της διαδρομής και στη συνέχεια ελαχιστοποιούν τις συνολικές παραβιάσεις των χρονικών περιορισμών διαδρομής. Εφόσον η ελαχιστοποίηση της διάρκειας της διαδρομής μπορεί να βοηθήσει μόνο στη μείωση του χρόνου διαδρομής, δεν είναι βέλτιστο να εκτελούνται αυτά τα δύο βήματα διαδοχικά. Επιπλέον, η διαδοχική αντιμετώπιση των αιτημάτων στο βήμα (7) είναι η βέλτιστη για την ελαχιστοποίηση της παραβίασης των χρονικών περιορισμών διαδρομής, επειδή η καθυστέρηση της έναρξης της υπηρεσίας σε μια δεδομένη κορυφή δεν θα αυξήσει ποτέ την παραβίαση των περιορισμών χρόνου διαδρομής. Θα μπορούσε, ωστόσο, να αυξήσει τον χρόνο διαδρομής ενός αιτήματος για το οποίο ικανοποιείται ο περιορισμός.

Αξίζει να αναφερθεί ότι παρόλο που αυτή η διαδικασία αποδίδει βέλτιστους χρόνους αναχώρησης και άφιξης για τον ιεραρχικό στόχο της ελαχιστοποίησης του $w(s)$ ακολουθούμενο από $d(s)$ και $t(s)$ για μια δεδομένη λύση s , δεν ελαχιστοποιεί απαραίτητα την τιμή του $f(s)$. Η εύρεση μιας βέλτιστης λύσης σε αυτό το πρόβλημα θα απαιτούσε να ληφθούν υπόψη οι αντισταθμίσεις μεταξύ των διαφορετικών τύπων παραβίασης καθώς και τα σχετικά βάρη β , γ και τ . Αυτό θα μπορούσε να επιτευχθεί με την επίλυση ενός γραμμικού προγράμματος στις μεταβλητές A_i , W_i , B_i , D_i και L_i , αλλά η υπολογιστική απόδοση θα επιδεινωθεί σημαντικά.

Μια κορυφή v_i ονομάζεται κρίσιμη εάν $e_i \neq 0$ ή $l_i \neq T$. Δεδομένων των προηγούμενων παραδοχών μας, υπάρχει το πολύ μια κρίσιμη κορυφή για κάθε ζεύγος κορυφών (v_i, v_{i+n}) που σχετίζονται με το αίτημα i . Εάν δεν έχει καθοριστεί κανένα χρονικό παράθυρο από τον χρήστη, τότε οποιαδήποτε από τις δύο κορυφές μπορεί να χαρακτηριστεί ως κρίσιμη. Για να μειωθεί το μέγεθος της γειτονιάς που λαμβάνεται υπόψη σε κάθε επανάληψη του αλγόριθμου αναζήτησης $tabu$, χρησιμοποιείται ο ακόλουθος κανόνας για την αξιολόγηση της επίδρασης της εισαγωγής κορυφών v_i και v_{i+n} στη διαδρομή k . Πρώτον, προσδιορίζεται η καλύτερη θέση εισαγωγής για την

κρίσιμη κορυφή. Στη συνέχεια, κρατώντας την κρίσιμη κορυφή στην καλύτερη θέση της, προσδιορίζεται η καλύτερη θέση εισαγωγής για τη μη κρίσιμη κορυφή. Αυτός ο κανόνας έχει δραματική επίδραση στους χρόνους υπολογισμού καθώς μειώνει τον μέγιστο αριθμό πιθανών ανταλλαγών που περιλαμβάνουν αίτημα i από το $O(r^2)$ στο $O(r)$, όπου r είναι ο αριθμός των κορυφών στη διαδρομή k .

Φυσικά, το κόστος εισαγωγής και διαγραφής δεν χρειάζεται να υπολογίζεται πλήρως σε κάθε επανάληψη. Δεδομένου ότι κάθε ανταλλαγή περιλαμβάνει μόνο δύο διαδρομές, το κόστος εισαγωγής και διαγραφής για όλες τις υπόλοιπες διαδρομές εξακολουθεί να ισχύει μετά την πραγματοποίηση της ανταλλαγής. Δεδομένου ότι μόνο ένα μικρό μέρος των συνολικών πληροφοριών πρέπει να επανυπολογίζεται σε κάθε επανάληψη όταν ο αριθμός των οχημάτων είναι μεγάλος, δεν θα ήταν χρήσιμο να γίνει μερική αξιολόγηση της γειτονιάς.

2.2.5.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ DIAL-A-RIDE – VRP – ΜΙΜΗΤΙΚΟΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ – MULTI-TRIP DARP

Στην περίπτωση που υπάρχουν όλα τα παραπάνω και έχουμε επιπλέον και περιορισμούς όπως η χωρητικότητα, η ανάθεση οδηγού-οχήματος, μέγιστα μήκη αλλαγής ταχυτήτων και υποχρεωτικότητα διαλλείματος του οδηγού, ένας branch-and-cut αλγόριθμος χρησιμοποιείται για το DARP όπου απαιτείται περισσότερο η υπολογιστική διαδικασία έχοντας όμως μικρότερη απόδοση. Επιπλέον, μια άλλη σημαντική παράμετρος που δεν μπορούμε να παραβλέψουμε, είναι το γεγονός ότι τα χρονικά όρια ή τα διαλείμματα οδηγού θα πρέπει να μειώνονται ή και να εξαφανίζονται εντελώς όταν πρέπει να αντιμετωπίσουμε μια έκτακτη ανάγκη. Σε αντίθετη περίπτωση δεν δίνεται η δέουσα προσοχή από τις αρμόδιες αρχές και ενδέχεται να προκύψουν νομικά ζητήματα λόγω χρονικών καθυστερήσεων. Ένα άλλο παράδειγμα χρονικών καθυστερήσεων που μπορούν να υπάρξουν είναι αυτό που εφαρμόζει η Νοσοκομειακή Αρχή του Χόνγκ Κονγκ (HKHA), όπου κάθε εσωτερικό του ασθενοφόρου πρέπει να απολυμαίνεται μεταξύ διαδοχικών ταξιδιών για να αποφευχθεί η εξάπλωση κάποιας πιθανής νόσου. Σε αυτή την περίπτωση ένας μιμητικός αλγόριθμος με προσαρμοσμένο τελεστή ανασυνδυασμού προτάθηκε έτσι ώστε να εξετάζονται γρήγορα οι κινήσεις. Ένας μιμητικός αλγόριθμος είναι μια

επέκταση του παραδοσιακού γενετικού αλγόριθμου. Χρησιμοποιεί μια τεχνική τοπικής αναζήτησης για να μειώσει την πιθανότητα πρόωρης σύγκλισης. (Tripathy, et al., 2018) Επίσης, στο συγκεκριμένο τρόπο λύσης, υπάρχει η επιλογή να μην εξυπηρετηθούν ορισμένοι πολίτες (Zhang, et al., 2015). Παρόλα αυτά υπάρχει η πιθανότητα κάποιος να μείνει ζωντανός ακόμα κι αν έχει ληφθεί η απόφαση και οι αντίστοιχοι διασώστες τον αφήσουν να πεθάνει. Ο Zhang μάλιστα με αυτή την προσέγγιση που έκανε παρουσίασε ένα Multi-Trip Dial-a-Ride πρόβλημα (MTDARP).

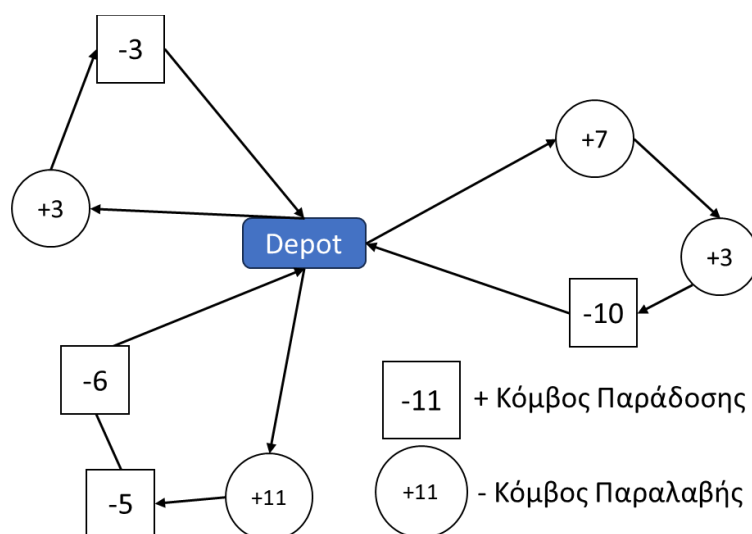
Πιο συγκεκριμένα, θεωρείται πως έστω $H=\{1,\dots,v\}$ σημαίνει ένα σύνολο αιτημάτων προς εξυπηρέτηση. Έστω $P=\{1,\dots,n\}$ που αντιπροσωπεύει το σύνολο των κόμβων παραλαβής και $D =\{n+1,\dots,2n\}$ είναι το σύνολο των κόμβων παράδοσης. Κάθε αίτημα $h \in H$ αποτελείται από δύο κόμβους: τον κόμβο παραλαβής $h \in P$ και τον αντίστοιχο κόμβο παράδοσης $n+h \in D$.

Το MTDARP ορίζεται σε ένα πλήρες μη κατευθυνόμενο γράφημα $G = (V,A)$ με ένα σύνολο κόμβων $V = \{0\} \cup N= \{0,1,\dots,2n\}$ και ένα σύνολο τόξων $A = \{(i,j) \mid i,j \in V, i \neq j\}$. Η αποθήκη ορίζεται ως ο κόμβος 0 και το σύνολο των τοποθεσιών ως $N = P \cup D$. Κάθε κόμβος $i \in N$ σχετίζεται με μια ζήτηση θέσης q_i , έναν μη αρνητικό χρόνο υπηρεσίας s_i και ένα χρονικό παράθυρο $[e_i, l_i]$. Για κάθε αίτημα h , η απαίτηση θέσης του κόμβου παραλαβής, q_h , πρέπει να είναι θετική και αυτή του αντίστοιχου κόμβου παράδοσης ορίζεται στη συνέχεια από $q_{n+h} = -q_h$. Κάθε αίτημα $h \in H$ έχει μέγιστο χρόνο διαδρομής f_h και απαίτηση βοηθού o_h . Οι κόμβοι που ανήκουν στο αίτημα h , δηλαδή οι κόμβοι $h \in P$ και $n+h \in D$, μοιράζονται τις ίδιες τιμές των f_h και o_h με το αίτημα h . Κάθε τόξο $(i,j) \in A$ έχει χρόνο διαδρομής t_{ij} που ικανοποιεί την ανισότητα του τριγώνου. Σε αυτήν τη μελέτη, ο μέγιστος χρόνος διαδρομής για κάθε αίτημα h ορίζεται ως $f_h = 3t_{h,n+h}$.

Έστω K υποδηλώνει το σύνολο των διαθέσιμων οχημάτων με την ίδια χωρητικότητα Q . Σε κάθε όχημα εκχωρείται ένα μεσημεριανό διάλειμμα που συμβαίνει κατά τη διάρκεια του χρονικού παραθύρου $[EL,LL]$ και με διάρκεια T_{lunch} , επιτρέποντας στο προσωπικό να γευματίσει στο εστιατόριο του νοσοκομείου. Τα οχήματα είναι διαθέσιμα μόνο κατά την περίοδο $[EV, LV]$. Για να διατηρούνται οι οδηγοί και το προσωπικό σε κατάλληλη κατάσταση για την παροχή ικανοποιητικής εξυπηρέτησης και την αποφυγή της εξάπλωσης της νόσου, η διάρκεια της διαδρομής, δηλαδή ο χρόνος μεταξύ της αποχώρησης από την αποθήκη και της επιστροφής σε αυτήν, δεν πρέπει να υπερβαίνει τον καθορισμένο μέγιστο χρόνο ταξιδιού T_{max} , και

τα οχήματα πρέπει να απολυμανθούν άμεσα, κάτι που μπορεί να θεωρηθεί ως χρόνος προετοιμασίας δ για το επόμενο ταξίδι. Το T_{max} και το δ ορίζονται ως 1,5 h και 0,5 h, αντίστοιχα.

Λόγω του ορίου μέγιστης διάρκειας, ένα όχημα εκτελεί πολλές διαδρομές για την εξυπηρέτηση διαφόρων αιτημάτων εντός ενός ορίζοντα σχεδιασμού. Μια διαδρομή είναι μια ακολουθία επίσκεψης παραλαβής και παράδοσης πελατών και ξεκινά και τελειώνει στο αμαξοστάσιο. Η διαδρομή είναι εφικτή εάν πληροί τους ακόλουθους περιορισμούς: (i) ένας κόμβος παραλαβής και ο αντίστοιχος κόμβος παράδοσης πρέπει να επισκέπτονται την ίδια διαδρομή και ο κόμβος παραλαβής πρέπει να επισκέπτεται πριν από τον κόμβο παράδοσης. (ii) ο συνολικός αριθμός πελατών σε κάθε κόμβο της διαδρομής δεν πρέπει να υπερβαίνει τη χωρητικότητα· (iii) κάθε κόμβος πρέπει να επισκέπτεται εντός του χρονικού του παραθύρου και, επομένως, εάν ένα όχημα φτάσει νωρίς, πρέπει να περιμένει την έναρξη της υπηρεσίας· (iv) ο χρόνος διαδρομής κάθε επιβάτη, δηλαδή ο συνολικός χρόνος παραμονής στο όχημα, δεν μπορεί να υπερβαίνει τον μέγιστο χρόνο διαδρομής του· (v) η διάρκεια κάθε διαδρομής περιορίζεται αυστηρά από το όριο T_{max} και το εσωτερικό του οχήματος πρέπει να απολυμανθεί αμέσως μετά την επιστροφή στην αποθήκη· και (vi) το πρόγραμμα θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τα μεσημεριανά διαλείμματα και δεν θα πρέπει να υπάρχει χρονική επικάλυψη μεταξύ των διαδρομών του ίδιου οχήματος. Μια εφικτή λύση αποτελείται από ένα σύνολο εφικτών διαδρομών που ικανοποιούν όλους τους περιορισμούς.



Εικόνα 22. Δρομολόγηση οχημάτων Dial-A-Ride VRP (DARP) – Μιμητικός Αλγόριθμος – MULTI-TRIP DARP.

Ο στόχος του MTDARP είναι ιεραρχικός. Πρώτον, πρέπει να δημιουργήσουμε ένα σύνολο διαδρομών για τα δεδομένα οχήματα για να διασφαλίσουμε ότι ο αριθμός των εξυπηρετούμενων αιτημάτων μεγιστοποιείται. Στη συνέχεια, για τον ίδιο αριθμό αιτημάτων, θα πρέπει να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος μετακίνησης των οχημάτων.

Το τρέχον προηγμένο πλαίσιο διαχείρισης πληθυσμού που παρουσιάζεται από τον Zhang χρησιμοποιείται για τη διατήρηση του πληθυσμού. Επίσης, ο προτεινόμενος αλγόριθμος δοκιμάστηκε σε δεδομένα του πραγματικού κόσμου. Οι συγκρίσεις σε μικρές περιπτώσεις καταδεικνύουν την ικανότητα του προτεινόμενου αλγόριθμου να τις λύνει γρήγορα στη βέλτιστη δυνατή κατάσταση, αλλά είναι άγνωστο εάν είναι χρήσιμο σε μεγαλύτερες περιπτώσεις.

Για ότι αφορά την μαθηματική μορφοποίηση του MTDARP το μοντέλο του προσαρμόστηκε στο μοντέλο του προβλήματος παραλαβής και παράδοσης (PDP) που πρότειναν οι Lu και Dessouky. (Lu & Dessouky, 2004) Μέσα σε μία εργάσιμη ημέρα, κάθε όχημα εκτελεί πολλές διαδρομές σύμφωνα με το μέγιστο όριο διάρκειας διαδρομής. Για να αναπαραστήσουμε αυτές τις διαδρομές, αντιγράφουμε τον κόμβο αποθήκης και κατασκευάζουμε το σύνολο αποθήκης $V_d = \{2n + 1, \dots, 2n + |R|, 2n + |R| + 1\}$ με τους διπλότυπους κόμβους αποθήκης. $R = \{1, \dots, |R|\}$ περιέχει το ευρετήριο των διαδρομών που μπορεί να ακολουθήσει ένα όχημα μέσα σε μία εργάσιμη ημέρα. Στο πείραμα, το R είναι αρκετά μεγάλο ώστε να περιέχει όλες τις διαδρομές που εκτελούνται από ένα όχημα μέσα σε μία εργάσιμη ημέρα. Οι κόμβοι στο V_d χρησιμεύουν ως αποθήκες έναρξης και λήξης για κάθε διαδρομή οποιουδήποτε οχήματος. Για παράδειγμα, η διαδρομή r οποιουδήποτε οχήματος ξεκινά από την αποθήκη $2n+r$ και τελειώνει στην αποθήκη $2n+r+1$. Σημειώστε ότι ο κόμβος $2n+1$ χρησιμεύει μόνο ως ο κόμβος εκκίνησης για τη διαδρομή 1, ενώ ο κόμβος $2n + |R| + 1$ χρησιμεύει μόνο ως ο τερματικός κόμβος για τη διαδρομή $|R|$.

Στη συνέχεια, το μαθηματικό μοντέλο του MTDARP βασίζεται στο νέο γράφημα $G' = \{V', A'\}$, όπου $V' = P \cup D \cup V_d$. Επίσης το τόξο ορίζεται ως $A' = \{(i, j) \mid i, j \in P \cup D, i \neq j\} \cup \{(2n + r, i) \mid i \in P, r \in R\} \cup \{(i, 2n + r) \mid i \in D, 2 \leq r \leq |R| + 1\} \cup \{(2n + r, 2n + r + 1 \mid r \in R\}$. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται στο μαθηματικό μοντέλο ορίζονται ως εξής:

- $x_{i,j,k}$: 1 εάν το τόξο $(i, j) \in A'$ χρησιμοποιείται από το όχημα k ; και 0 διαφορετικά.

• $b_{i,j}$: 1 εάν το $i \in N$ εξυπηρετείται πριν από το $j \in N$ και i, j εξυπηρετούνται από το ίδιο όχημα ή ο δείκτης της διαδρομής που εξυπηρετεί $i \in N$ προηγείται του j . και 0 διαφορετικά. Για παράδειγμα, εάν ο κόμβος i εξυπηρετείται από τη διαδρομή r_1 του οχήματος k_1 και ο κόμβος j από τη διαδρομή r_2 του οχήματος k_2 και $r_1 < r_2$, τότε $b_{i,j} = 1$.

• a_i : η ώρα έναρξης της υπηρεσίας στον κόμβο $i \in N$.

• $y_{k,r}$: 1 εάν στο όχημα k ανατεθεί μεσημεριανό διάλειμμα μετά τον τερματισμό της διαδρομής r .

• d_i : το φορτίο του οχήματος μετά την επίσκεψη στον κόμβο $i \in N$.

• m_i : ο αριθμός των βοηθών στο όχημα κατά την εξυπηρέτηση του κόμβου i .

• $u_{k,r}$: χρόνος έναρξης ταξιδιού (k, r) ($k \in K, r \in R$).

• $v_{k,r}$: χρόνος ολοκλήρωσης του ταξιδιού (k, r) ($k \in K, r \in R$).

Οι μεταβλητές $b_{i,j}$ βοηθούν στη μείωση ενός επιπλέον δείκτη στις μεταβλητές ροής τόξου για να υποδείξουν τις διαδρομές κάθε οχήματος. Χρησιμοποιώντας αυτές τις μεταβλητές και έναν αρκετά μεγάλο αριθμό M και τον συμβολισμό που δίνεται στην προηγούμενη υποενότητα, αυτό το πρόβλημα μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A'} t_{i,j} x_{i,j,k} - M \sum_{i \in P, j \in V', k \in K} x_{i,j,k} \quad (1)$$

Έχοντας τους ακόλουθους περιορισμούς:

$$\sum_{\{j | (i,j) \in A'\}} x_{i,j,k} = \sum_{\{j | (i,j) \in A'\}} x_{i,j,k}, \forall i \in V' \{2n+1, 2n+|R|+1\}, k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{\{j | (i,j) \in A'\}} x_{i,j,k} = 1, \forall i \in V_d \{2n+1\}, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{\{j | (2n+1,j) \in A'\}} x_{2n+1,j,k} = 1, \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{\{j | (i,j) \in A'\}} x_{i,j,k} \leq 1, \quad \forall i \in P \cup D \quad (5)$$

$$\sum_{\{j | (i,j) \in A'\}} x_{i,j,k} = \sum_{\{j | (n+i,j) \in A'\}} x_{n+i,j,k}, \quad \forall i \in P, k \in K \quad (6)$$

$$b_{i,j} \leq \sum_{k \in K} x_{i,j,k}, \quad \forall (i,j) \in A' \setminus V_d * V_d \quad (7)$$

$$b_{i,j} + b_{j,i} \leq 1, \quad \forall (i,j) \in A' \text{ or } (j,i) \in A' \quad (8)$$

$$b_{h,i} \geq b_{h,j} + \sum_{k \in K} x_{i,j,k} + \sum_{k \in K} x_{j,i,k} - 1, \quad \forall i, j, h \in N, h \neq i, h \neq j \quad (9)$$

$$b_{h,i} \geq b_{h,j} + \sum_{k \in K} x_{i,j,k} - 1, \quad \forall i \in V_d, j, h \in N, h \neq j \quad (10)$$

$$b_{h,j} \geq b_{h,i} + \sum_{k \in K} x_{i,j,k} - 1, \quad \forall i \in V_d, j, h \in N, h \neq j \quad (11)$$

$$b_{h,j} \geq b_{h,i} + \sum_{k \in K} x_{i,j,k} - 1, \quad \forall j \in V_d, i, h \in N, h \neq i \quad (12)$$

$$b_{i,2n+r+1} \geq b_{i,2n+r}, \quad \forall i \in N, r \in R \quad (13)$$

$$b_{i,j} = b_{n+i,j}, \quad \forall i \in P, j \in V_d \quad (14)$$

$$a_j \geq (a_i + s_i + t_{i,j}) - M_{i,j} \left(1 - \sum_{k \in K} x_{i,j,k} \right), \quad \forall i, j \in N \quad (15)$$

$$a_i \geq (u_{k,r} + t_{2n+r,i}) - M_{i,k,r} (1 - x_{2n+r,i,k}), \quad \forall i \in P, k \in K, r \in R \quad (16)$$

$$v_{k,r} \geq (a_i + s_i + t_{i,2n+r+1}) - M_{i,k,r} (1 - x_{i,2n+r+1,k}), \quad \forall i \in D, k \in K, r \in R \quad (17)$$

$$e_i \leq a_i \leq l_i, \quad \forall i \in N \quad (18)$$

$$t_{i,n+i} \leq a_{n+i} - (a_i + s_i) \leq f_i, \quad \forall i \in P \quad (19)$$

$$v_{k,r} - u_{k,r} \leq T_{max}, \quad \forall k \in K, r \in R \quad (20)$$

$$d_j \geq (d_i + q_j) - M_{i,j} \left(1 - \sum_{k \in K} x_{i,j,k} \right), \quad \forall i, j \in N \text{ and } (i, j) \in A' \quad (21)$$

$$m_i + d_i \leq Q, \quad \forall i \in P \quad (22)$$

$$m_i \leq m_j + o_{max} \left(1 - \sum_{k \in K} x_{i,j,k} - \sum_{k \in K} x_{j,i,k} \right), \quad \forall i, j \in N \quad (23)$$

$$u_{k,r} \leq v_{k,r}, \quad \forall k \in K, r \in R \quad (24)$$

$$u_{k,r+1} \geq v_{k,r} + \delta(1 - x_{2n+r,2n+r+1,k}), \quad \forall k \in K, r = 1, \dots, |R| - 1 \quad (25)$$

$$u_{k,r+1} \geq v_{k,r} + T_{lunch} * y_{k,r}, \quad \forall k \in K, r = 1, \dots, |R| - 1 \quad (26)$$

$$u_{k,r+1} \geq (EL + T_{lunch}) * y_{k,r}, \quad \forall k \in K, r = 1, \dots, |R| - 1 \quad (27)$$

$$v_{k,r} \leq LL + M_{k,r} (1 - y_{k,r}), \quad \forall k \in K, r = 1, \dots, |R| - 1 \quad (28)$$

$$u_{k,1} \geq EL + T_{lunch} - M_k \sum_{r \in R} y_{k,r}, \quad \forall k \in K \quad (29)$$

$$x_{i,j,k} \in \{0,1\}, \quad \forall (i,j) \in A', k \in K \quad (30)$$

$$b_{i,j} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \in V \quad (31)$$

$$o_i \leq m_i \leq Q - q_i, \quad \forall i \in P \quad (32)$$

$$d_i \geq \max\{q_i, 0\}, \quad \forall i \in N \quad (33)$$

$$LV \geq u_{k,r}, v_{k,r} \geq EV \quad \forall k \in K, r \in R \quad (34)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση ελαχιστοποιεί το σταθμισμένο άθροισμα του αριθμού των μη εξυπηρετούμενων αιτημάτων και του συνολικού κόστους ταξιδιού. Εδώ, $\sum_{i \in P, j \in V', k \in K} x_{i,j,k}$ είναι ο συνολικός αριθμός των εξυπηρετούμενων πελατών. Αυτή η μορφή της αντικειμενικής συνάρτησης είναι σύμφωνη με τον πρωταρχικό μας στόχο να εξυπηρετήσουμε όσο το δυνατόν περισσότερα αιτήματα και στη συνέχεια να ελαχιστοποιήσουμε το κόστος ταξιδιού για τον ίδιο αριθμό εξυπηρετούμενων αιτημάτων.

Ο περιορισμός (2) είναι ο περιορισμός δικτύου. Οι περιορισμοί (3) και (4) διασφαλίζουν ότι κάθε κόμβος αποθήκης χρησιμοποιείται μόνο μία φορά από κάθε όχημα. Ο περιορισμός (5) εγγυάται ότι κάθε πελάτης εξυπηρετείται το πολύ μία φορά. Ο περιορισμός (6) είναι ο περιορισμός ζεύγους, ο οποίος αναγκάζει τους κόμβους παραλαβής και παράδοσης κάθε αιτήματος να επισκέπτονται το ίδιο όχημα.

Οι περιορισμοί (7) και (8) δίνουν την τιμή και το δεσμό στη μεταβλητή b_{ij} , αντίστοιχα. Οι περιορισμοί (9)–(13) είναι περιορισμοί αντιγραφής του προβλήματος παραλαβής και παράδοσης Lu και Dessouky (PDP), (Lu & Dessouky, 2004) εκ των οποίων οι περιορισμοί (9)–(11) αναγκάζουν δύο συνδεδεμένους κόμβους στο N ή οποιονδήποτε κόμβο αποθήκης και τους διαδόχους του να έχουν την ίδια τιμή με το αντίστοιχο b_{ij} . Με άλλα λόγια, εάν οι κόμβοι $i, j \in N$ είναι συνδεδεμένοι ή το $i \in N$ εξυπηρετείται αμέσως μετά τον κόμβο αποθήκης $j \in V_d$, τότε όλοι οι κόμβοι που εξυπηρετούνται πριν από τον κόμβο i πρέπει να εξυπηρετούνται πριν από το j και αντίστροφα. Ο περιορισμός 12 διασφαλίζει ότι, για τον κόμβο αποθήκης j και τον προκάτοχό του i , οι κόμβοι που εξυπηρετούνται πριν από το i πρέπει να εξυπηρετούνται πριν από το j . Σημειώστε ότι δεν υπάρχει κανένας περιορισμός για να διασφαλιστεί ότι οι κόμβοι που εξυπηρετούνται πριν από το j πρέπει επίσης να εξυπηρετούνται πριν από το i . Ο λόγος είναι ο εξής. Ως κόμβος αποθήκης, το j μπορεί να έχει πολλούς προκατόχους. Για παράδειγμα, υπάρχουν δύο διαφορετικοί κόμβοι $i_1, i_2 \in N$, οι οποίοι εξυπηρετούνται λίγο πριν επιστρέψουν στον κόμβο αποθήκης j , αν και από διαφορετικά οχήματα. Στη συνέχεια, για τους κόμβους i_1, i_2 , δεν υπάρχει απαίτηση σχετικά με το ποιος εξυπηρετείται πριν από τον άλλο. Ο περιορισμός (13) αντιγράφει τις τιμές μεταξύ των κόμβων αποθήκης και είναι απαραίτητος σε περίπτωση που ορισμένες διαδρομές είναι κενές.

Ο περιορισμός (14) διασφαλίζει ότι οι κόμβοι παραλαβής και παράδοσης κάθε αιτήματος βρίσκονται στην ίδια διαδρομή. Επίσης μην ξεχνάμε πως ο περιορισμός

(6) υποχρεώνει κάθε πελάτη να εξυπηρετείται από ένα μόνο όχημα. Επομένως, αυτοί οι δύο περιορισμοί μαζί εγγυώνται ότι οι κόμβοι παραλαβής και παράδοσης κάθε αιτήματος εξυπηρετούνται από την ίδια διαδρομή ενός οχήματος.

Οι περιορισμοί (15)–(18) είναι οι περιορισμοί του χρονικού παραθύρου. Το $M_{i,j}$ στον περιορισμό (15) ικανοποιεί την προϋπόθεση ότι το $M_{i,j} \geq l_i + s_i + t_{i,j} - e_j$. Το $M_{i,k,r}$ στον περιορισμό (16) ικανοποιεί την προϋπόθεση ότι το $M_{i,k,r} \geq LV + t_{2n+r,i} - e_i$ και το $M_{i,k,r}$ στον περιορισμό (17) διασφαλίζει ότι το $M_{i,k,r} \geq l_i + s_i + t_{i,2n+r+1} - EV$. Ο περιορισμός (19) αποτελεί τους περιορισμούς προτεραιότητας και μέγιστου χρόνου διαδρομής και ο περιορισμός (20) είναι ο περιορισμός μέγιστης διάρκειας για κάθε διαδρομή.

Ο περιορισμός (21) αντικατοπτρίζει τη σχέση φορτίου μεταξύ δύο διαδοχικών επισκέψεων κόμβων. Το $M_{i,j}$ σε αυτόν τον περιορισμό ικανοποιεί το $M_{i,j} \geq d_i^{max} + q_j - d_j^{min}$, όπου το d_i^{max} αναφέρεται στο μέγιστο φορτίο που μπορεί να κρατήσει ένα όχημα μετά την εξυπηρέτηση του κόμβου i , και το d_j^{min} αναφέρεται στο ελάχιστο φορτίο που μπορεί να κρατήσει μετά την εξυπηρέτηση του κόμβου j . Ο περιορισμός (22) είναι ο περιορισμός χωρητικότητας. Σημειώστε ότι οι βοηθοί στο όχημα καταλαμβάνουν επίσης θέσεις και επομένως λαμβάνονται υπόψη και κατά τον υπολογισμό του φορτίου του οχήματος. Για οποιαδήποτε διαδρομή, ο αριθμός των βοηθών επί του σκάφους παραμένει ο ίδιος καθ' όλη τη διάρκεια του ταξιδιού, κάτι που αντικατοπτρίζεται από τον περιορισμό (23), όπου το o_{max} αναφέρεται στον μέγιστο αριθμό βοηθών που απαιτούνται από τους πελάτες.

Ο περιορισμός (24) εγγυάται ότι η ώρα λήξης μιας διαδρομής δεν είναι προγενέστερη από την ώρα έναρξης. Αυτός ο περιορισμός είναι απαραίτητος σε περίπτωση που ορισμένες διαδρομές είναι κενές. Ο περιορισμός (25) αντιπροσωπεύει την απαίτηση για διάλειμμα μεταξύ δύο διαδοχικών διαδρομών. Σημειώστε ότι όταν μια διαδρομή είναι άδεια, δεν απαιτείται διάλειμμα.

Τέλος, οι περιορισμοί (26)–(29) αναγκάζουν κάθε όχημα να γευματίσει κατά τη διάρκεια της εργάσιμης ημέρας. Όταν ένα όχημα έχει προγραμματιστεί για μεσημεριανό διάλειμμα μετά από μια συγκεκριμένη διαδρομή, ο χρόνος διαλείμματος μετά από αυτή τη διαδρομή θα πρέπει να προσαρμοστεί στη χρονική περίοδο του μεσημεριανού διαλείμματος T_{lunch} , όπως υποδεικνύεται από τον περιορισμό (26). Ο περιορισμός του χρονικού παραθύρου του μεσημεριανού διαλείμματος αντικατοπτρίζεται από τον περιορισμό (28), όπου $M_{k,r} \geq LV - LL$. Ο περιορισμός (29) σημαίνει ότι ένα όχημα πρέπει είτε να αρχίσει να λειτουργεί μετά το μεσημεριανό

διάλειμμα είτε να έχει μεσημεριανό διάλειμμα κατά τη διάρκεια της περιόδου εργασίας. Το M_k σε αυτόν τον περιορισμό ικανοποιεί το $M_k \geq EL + T_{\text{lunch}} - EV$.

Αν και η μεταβλητή $b_{i,j}$ είναι μια δυαδική μεταβλητή σύμφωνα με τον ορισμό της που φαίνεται στον περιορισμό (31), χρειάζεται μόνο γραμμική χαλάρωση, όπως απέδειξαν οι Lu και Dessouky. (Lu & Dessouky, 2004) Για να περιοριστεί η γραμμική χαλάρωση του προβλήματος, θα μπορούσαν να προστεθούν οι ακόλουθοι περιττοί περιορισμοί.

$$b_{i,j} = 1, \quad i = 2n + 1 \text{ or } j = 2n + |R| + 1 \quad (35)$$

$$b_{i,n+i} = 1, \quad \forall i \in P \quad (36)$$

$$b_{2n+i,2n+j} = 1, \quad \forall i, j \in R, i < j. \quad (37)$$

2.3 MONTE – CARLO

Η προσέγγιση του Monte Carlo (MC) αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1940 και είναι μια αναλυτική μέθοδος που βασίζεται σε υπολογιστή και χρησιμοποιεί τεχνικές στατιστικής δειγματοληψίας για την απόκτηση πιθανότητας προσέγγισης της λύσης μιας μαθηματικής εξίσωσης ή μοντέλου, χρησιμοποιώντας ακολουθίες τυχαίων αριθμών ως εισόδους μοντέλου που αποδίδει αποτελέσματα που είναι ενδείξεις της απόδοσης του ανεπτυγμένου μοντέλου.

Η προσομοίωση Monte Carlo αναπτύχθηκε από έναν επιστήμονα στο Εθνικό Εργαστήριο του Los Alamos, ο οποίος αρχικά το χρησιμοποίησε για τη μοντελοποίηση της τυχαίας διάχυσης των νετρονίων. Η ονομασία «Μόντε Κάρλο» δόθηκε λόγω της πόλης του Μονακό με τα πολλά καζίνο που έχει. Συνήθως ως μοντέλο προσομοίωσης χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, όπως η φυσική, τα οικονομικά και η αξιοπιστία ενός συστήματος. (Aderibigbe, 2014)

Η ανάλυση του Monte Carlo χρησιμοποιεί στατιστικά εργαλεία για να μοντελοποιήσει μαθηματικά ένα πραγματικό σύστημα ή μια διαδικασία και στη συνέχεια εκτιμά την πιθανότητα να επιτύχει ένα επιτυχημένο αποτέλεσμα.

Η ανάλυση Monte Carlo έχει να κάνει με τη χρήση τυχαίων αριθμών ως εργαλείο για τον υπολογισμό σε κάτι που δεν είναι τυχαίο. Γενικά πρόκειται για ένα ευέλικτο εργαλείο σε ότι αφορά την ανάλυση και την αξιολόγηση πολύπλοκων μετρήσεων

καθώς και για την εξαγωγή συμπερασμάτων της συμπεριφοράς του συστήματος. (Aderibigbe, et al., 2017)

Δεν υπάρχει μόνο μία μέθοδος Monte Carlo. Ο όρος αυτός καλύπτει ένα ευρύ φάσμα προσεγγίσεων για την προσομοίωση. Ωστόσο, αυτές οι προσεγγίσεις χρησιμοποιούν ένα συγκεκριμένο μοτίβο στο οποίο:

1. Ορίζεται ένας τομέας πιθανών εισόδων.
2. Οι εισοδοί δημιουργούνται τυχαία από τον τομέα.
3. Χρησιμοποιώντας τις εισόδους, γίνεται ντετερμινιστικός υπολογισμός.
4. Τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται από τους μεμονωμένους υπολογισμούς για να δώσουν ένα τελικό αποτέλεσμα

Η διαδικασία της εφαρμογής της μεθοδολογίας του Monte Carlo σε βήματα είναι η ακόλουθη:

1. Προσδιορίζουμε ένα ψευδο-πληθυσμό ή το μοντέλο, όπου αντιπροσωπεύει τον πραγματικό πληθυσμό που μας ενδιαφέρει.
2. Χρησιμοποιούμε μια διαδικασία δειγματοληψίας για δειγματοληψία από τον ψευδο-πληθυσμό.
3. Υπολογίζουμε μια τιμή για το στατιστικό στοιχείο που μας ενδιαφέρει και την αποθηκεύουμε.
4. Επαναλαμβάνουμε τα βήματα 2 και 3 για N δοκιμές.
5. Χρησιμοποιούμε τις τιμές N που βρέθηκαν στο βήμα 4 για να μελετήσουμε την κατανομή της στατιστικής.

Ένα χαρακτηριστικό αυτής της μεθόδου είναι ότι είναι δυνατόν να εκτιμηθεί το μέγεθος του στατιστικού σφάλματος, το οποίο είναι το κυρίαρχο σφάλμα στους περισσότερους υπολογισμούς του Monte Carlo. Αυτές οι εκτιμήσεις ονομάζονται συχνά “error bars” λόγω του τρόπου με τον οποίο εμφανίζονται στα αποτελέσματα του Monte Carlo. Αυτά ουσιαστικά είναι στατιστικά διαστήματα εμπιστοσύνης. (Aderibigbe, 2014)

Μερικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης της μεθόδου του Monte Carlo είναι τα ακόλουθα:

Πλεονεκτήματα:

1. Η χρήση της προσομοίωσης Monte Carlo είναι αρκετά απλή.
2. Μπορεί να παρέχει στατιστική δειγματοληψία για αριθμητικά πειράματα χρησιμοποιώντας υπολογιστή.

3. Σε προβλήματα βελτιστοποίησης, η προσομοίωση Monte Carlo μπορεί συχνά να φτάσει στο βέλτιστο και να ξεπεράσει τα τοπικά άκρα.

4. Παρέχει κατά προσέγγιση λύσεις σε πολλά μαθηματικά προβλήματα.

5. Η ανάλυση Monte Carlo παράγει ένα στενότερο εύρος αποτελεσμάτων από την ανάλυση «What if». (Raychaudhuri, 2008)

Μειονεκτήματα:

1. Η προσομοίωση Monte Carlo δεν είναι καθολικά αποδεκτή κατά την προσομοίωση ενός συστήματος που δεν είναι σε ισορροπία (δηλαδή σε μια παροδική κατάσταση).

2. Απαιτείται μεγάλος αριθμός δειγμάτων για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων. Αυτό μπορεί να είναι χρονοβόρο σε σύγκριση με τη χρήση ενός προγράμματος υπολογιστικών φύλλων, όπως το Excel, το οποίο μπορεί να δημιουργήσει έναν απλό υπολογισμό αρκετά γρήγορα.

3. Ένα μόνο δείγμα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην προσομοίωση. Για να λάβετε αποτελέσματα πρέπει να υπάρχουν πολλά δείγματα.

4. Τα αποτελέσματα είναι μόνο μια προσέγγιση της πραγματικής τιμής.

5. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης μπορούν να δείξουν μεγάλη διακύμανση.

6. Μπορεί να είναι πολύ ακριβό για την κατασκευή προσομοίωσης

7. Είναι εύκολο να γίνει κακή χρήση της προσομοίωσης με την επέκτασή της πέρα από τα όρια της αξιοπιστίας. (Raychaudhuri, 2008)

Μία σύγκριση των αναλυτικών μοντέλων και των μοντέλων Monte Carlo δίνεται από τον παρακάτω πίνακα:

Μέθοδος Προσομοίωσης		
Πλεονεκτήματα	Αναλυτική Μέθοδος	Monte-Carlo
	1. Δίνει ακριβή αποτελέσματα (δεδομένων των υποθέσεων του μοντέλου).	1. Πολύ ευέλικτο. Δεν υπάρχει ουσιαστικά όριο στην ανάλυση. Μπορούν να αντιμετωπιστούν οι εμπειρικές κατανομές.
	2. Μόλις αναπτυχθεί το μοντέλο, η παραγωγή θα επιτευχθεί γενικά	2. Μπορεί γενικά να επεκταθεί εύκολα και να

	γρήγορα.	αναπτυχθεί όπως απαιτείται.
	3. Δεν χρειάζεται να εφαρμόζεται πάντα σε υπολογιστή - οι αναλύσεις χαρτιού μπορεί να αρκούν.	3. Εύκολα κατανοητό από τους μη μαθηματικούς.
Μειονεκτήματα	1. Γενικά απαιτούνται περιοριστικές παραδοχές για να καταστεί το πρόβλημα ευλύγιστο.	1. Συνήθως απαιτεί υπολογιστή.
	2. Είναι λιγότερο ευέλικτο από το Μόντε Κάρλο. Ειδικότερα, το πεδίο επέκτασης ή ανάπτυξης ενός μοντέλου μπορεί να είναι περιορισμένο.	2. Οι υπολογισμοί μπορεί να διαρκέσουν πολύ περισσότερο από τα αναλυτικά μοντέλα.
	3. Το μοντέλο μπορεί να γίνει κατανοητό μόνο από μαθηματικούς. Αυτό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα αξιοπιστίας εάν η παραγωγή έρχεται σε σύγκρουση με προκαταλήψεις ιδεών σχεδιαστών ή διαχείρισης.	3. Οι λύσεις δεν είναι ακριβείς, αλλά εξαρτώνται από τον αριθμό των επαναλαμβανόμενων εκτελέσεων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των στατιστικών εξόδου. Δηλαδή, όλες οι έξοδοι είναι εκτιμήσεις.

Πίνακας 2. Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Αναλυτικών μοντέλων και Monte Carlo.
(Aderibigbe A., 2014)

Γενικά ως μέθοδος επιλέγεται συχνότερα όταν υπάρχει πολύ έντονα το στοιχείο της αβεβαιότητας.

Ίσως μία από τις πιο σημαντικές προσπάθειες επίλυσης του συγκεκριμένου προβλήματος αξιοποιώντας την μεθοδολογία του Monte Carlo έγινε από τον (Mhaske & Bondar, 2017), με την μόνη διαφορά ότι θεώρησε ότι γνωρίζει ακριβώς το κόστος και η αβεβαιότητα βρίσκεται στην προσφορά και στην ζήτηση. Πιο συγκεκριμένα είχε μία προσεγγιστική μέθοδο εύρεσης ελάχιστου ασαφούς κόστους μεταφοράς χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Fuzzy Monte Carlo, δηλαδή χρησιμοποιώντας τυχαίο τριγωνικό ασαφή αριθμό με βάση τον οποίο θέλει να δει πως θα μεταφερθούν διάφορα αντικείμενα.

Αρχικά ορίζει ότι έχουμε m σημεία εκκίνησης, κάθε σημείο εκκίνησης διαθέτει A_i μονάδες από ένα συγκεκριμένο προϊόν, ενώ ταυτόχρονα υπάρχουν n προορισμοί

(τελικά σημεία) όπου απαιτούν B_j μονάδες προϊόντος. Έστω C_{ij} το κόστος μεταφοράς μίας μονάδας προϊόντος από το σημείο i στο j και X_{ij} είναι η ποσότητα προϊόντος που πρέπει να μεταφερθεί από το σημείο i στο j . Υποθέτουμε πως $\sum A_i = \sum B_j$ όπου $i=1, 2, \dots, m$ και $j=1, 2, \dots, n$.

Σύμφωνα με την χρήση του γραμμικού προγραμματισμού θα έχουμε την ακόλουθη αντικειμενική συνάρτηση:

$$\text{Min}Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij}C_{ij}$$

Έχοντας τους ακόλουθους περιορισμούς

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = A_i \text{ για } i=1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = B_j \text{ για } j=1, 2, \dots, n$$

Το πρόβλημα είναι για να προσδιοριστούν μη αρνητικές τιμές του X_{ij} έτσι ώστε να ικανοποιούνται οι διαθέσιμοι περιορισμοί.

Στη συνέχεια αξιοποιείται η μέθοδος Monte Carlo η οποία δίνει κατά προσέγγιση λύσεις βάση λήψης κάποιων τυχαίων αριθμών. Για τη σύγκριση δύο τυχαίων τριγωνικών αριθμών έστω $X = x_1/x_2/x_3$ και $Y = y_1/y_2/y_3$ βρίσκουμε την τιμή X_a και Y_a . Αν τώρα κάθε a του X_a είναι μικρότερο ή ίσο από το αντίστοιχο a του Y_a τότε εμείς μπορούμε να πούμε πως το $X \leq Y$. Οι τυχαίοι αυτοί αριθμοί λαμβάνονται μέσω ενός function του Matlab $r=\text{rand}()$ έτσι ώστε να παράγουν αριθμούς μεταξύ $[0,1]$, χρησιμοποιώντας το function $(b-a)*r+a$ για να παράγει αριθμούς μεταξύ του $[a,b]$. Εάν το διάστημα είναι πολύ μεγάλο, τότε απορρίπτονται πάρα πολλοί τυχαίοι αριθμοί και εάν είναι πολύ μικρό, τότε μπορεί να χαθεί η βέλτιστη λύση. Έτσι δεδομένου του ότι υπάρχουν πολλοί ασαφείς αριθμοί αξιοποιείται η μέθοδος του μέσου όρου έτσι ώστε να αποσαφηνιστεί το αποτέλεσμα. Για παράδειγμα, εάν $X=(\alpha,\beta,\gamma)$ τότε $X = \frac{\alpha+\beta+\gamma}{3}$. Η εναλλακτικά αξιοποιείται η μέθοδος της κεντρικής τιμής. Δηλαδή στο προηγούμενο παράδειγμα $X=\beta$.

Αντίστοιχες μέθοδοι επίλυσης παρόμοιων προβλημάτων υπήρξαν και από άλλους με τα ίδια ακριβώς προβλήματα. Είτε με στοχαστικές μεθόδους λύσης που πρότεινε ο Leon Cooper το 1978, είτε με ευρετικές μεθόδους λύσης που πρότεινε ο Alireza Amirteimoori το 2011. (Cooper, 1978) (Amirteimoori, 2011)

Στην δική μας περίπτωση όμως η αβεβαιότητα που υπάρχει βρίσκεται στο κόστος-χρόνο που θα χρειαστούν να ασθενοφόρα κάθε φορά ώστε να μεταφέρουν τους ασθενείς στο πλησιέστερο Νοσοκομείο.

2.4 ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΠΟΡΩΝ ΤΡΑΥΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΑ ΚΑΙ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑ (TRAMAH)

Μία άλλη σημαντική προσέγγιση που έγινε ήταν η δημιουργία του TRAMAH. (Trauma Resource Allocation Model for Ambulances and Hospitals) από τους Charles C. Branas, EllenJ. MacKenzie, και Charles S. ReVelle το 2000. Το συγκεκριμένο μοντέλο διατυπώθηκε χρησιμοποιώντας ακέραιο και ευρετικό προγραμματισμό. (Branas, et al., 2000) Ένας σοβαρός τραυματισμός θεωρείται καλυμμένος εάν τουλάχιστον ένα Νοσοκομείο τοποθετείται εντός ενός χρονικού προτύπου από το έδαφος, ή από τον αέρα.

Οι βασικές παράμετροι που πρέπει να ισχύουν έτσι ώστε να λειτουργήσει το συγκεκριμένο μοντέλο είναι 2:

- 1) Να υπάρχει τουλάχιστον ένα κέντρο για τραυματίες το οποίο να μπορεί να προσεγγιστεί μέσω εδάφους σε ένα εύλογο χρόνο S
- 2) Το ζεύγος της αερομεταφοράς και του κέντρου συλλογής τραυματιών να έχει τοποθετηθεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε ο συνολικός χρόνος για να παραληφθεί ο ασθενής και ο χρόνος να μεταφερθεί στο κέντρο συλλογής ασθενών να είναι καθορισμένος.

Χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο TRAMAH αυτό που προσπαθεί να γίνει είναι να μεγιστοποιηθεί η κάλυψη σοβαρών τραυματισμών σύμφωνα με τους παρακάτω περιορισμούς:

$$\text{Maximize } Z_{TRAMAH} = \sum_{i \in I} a_i y_i \text{ (Αντικειμενική Συνάρτηση)}$$

Με τους ακόλουθους περιορισμούς:

$$\sum_{j \in J} x_j^{TC} = p^{TC} \text{ ο αριθμός των κέντρων για τους ασθενείς}$$

$$\sum_{k \in K} x_k^{AD} = p^{AD} \text{ ο αριθμός των αεροσκαφών που κάνουν αερομεταφορές}$$

$$y_i - v_i - u_i \leq 0 \text{ Επίγειοι και εναέριοι λογικοί περιορισμοί}$$

$$v_i - \sum_{j \in J} x_j^{TC} \leq 0 \text{ Επίγειοι περιορισμοί}$$

$$u_i - \sum_{(j,k) \in M_i} Z_{k,j} \leq 0 \text{ Εναέριοι περιορισμοί}$$

$$Z_{kj} - x_j^{TC} \leq 0 \text{ Επίγειοι λογικοί περιορισμοί}$$

$$Z_{kj} - x_k^{AD} \leq 0 \text{ Εναέριοι λογικοί περιορισμοί}$$

$$0 \leq y_i \leq 1 \text{ Όρια}$$

$$x_j^{TC}, x_k^{AD} \in \{0,1\} \text{ Ακέραιοι}$$

Όπου:

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{Αν απαιτούνται } i \text{ κόμβοι καλυπτόμενοι είτε απο αέρα είτε απο έδαφος} \\ 0 & \text{Αλλιώς} \end{cases}$$

$$a_i = \text{ο πληθυσμός που απαιτείται στον κόμβο } i$$

$$v_i = \begin{cases} 1 & \text{Αν ο απαιτούμενος κόμβος καλύπτεται μέσω εδάφους} \\ 0 & \text{Αλλιώς} \end{cases}$$

$$u_i = \begin{cases} 1 & \text{Αν ο απαιτούμενος κόμβος καλύπτεται μέσω αέρος} \\ 0 & \text{Αλλιώς} \end{cases}$$

$$I = \text{Το σύνολο των απαιτούμενων κόμβων } i$$

$$x_j^{TC} = \begin{cases} 1 & \text{Αν το κέντρο τοποθετείται στον κόμβο } j \\ 0 & \text{Αλλιώς} \end{cases}$$

$$J = \text{Το σύνολο των τοποθεσιών των κέντρων περισυλλογής ασθενών}$$

$$x_k^{AD} = \begin{cases} 1 & \text{Αν το αεροσκάφος τοποθετείται στον κόμβο } k \\ 0 & \text{Αλλιώς} \end{cases}$$

$$K = \text{Το σύνολο των τοποθεσιών των αεροσκαφών}$$

$$z_{kj} = \begin{cases} 1 & \text{Αν το αεροσκάφος είναι στο κόμβο } k \text{ και το κέντρο είναι στο κόμβο } j \\ 0 & \text{Αλλιώς} \end{cases}$$

$$p^{TC} = \text{ο αριθμός των τοποθετημένων κέντρων}$$

$$p^{AD} = \text{ο αριθμός των τοποθετημένων αεροσκαφών}$$

$$N_i = \left\{ \frac{j}{t_{ij}^G} \leq S \right.$$

$= TC$ τοποθετημένα μέσα σε ένα καθορισμένο χρόνο S , στον κόμβο i μέσω εδάφους

$$M_i = \left\{ \frac{j, k}{t_{ki}^A + t_{ij}^A} \leq S \right.$$

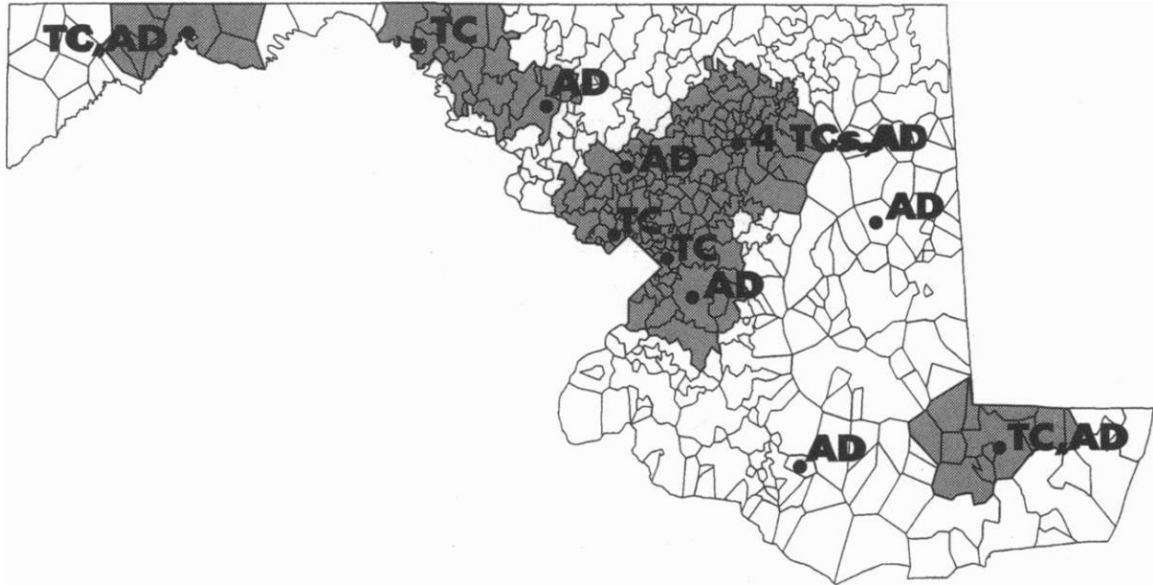
$= (AD, TC)$ ζεύγος προκαθορισμένου χρόνου S , στο κόμβο i μέσω αέρος

$$t_{ij}^G = H \text{ οδήγηση απο τον κόμβο } i \text{ στον κόμβο } j$$

$$t_{ij}^A = H \text{ αερομεταφορά απο τον κόμβο } i \text{ στον κόμβο } j$$

$$t_{ki}^A = H \text{ αερομεταφορά απο τον κόμβο } k \text{ στον κόμβο } i$$

Ουσιαστικά ως μοντέλο αντί να κοιτάξει πως θα μεταφερθούν οι ασθενείς έχοντας τις υπάρχουσες δομές, κοιτάει πως θα έπρεπε να είναι στημένες όλες οι δομές έτσι ώστε να ικανοποιείται κάθε επιπλέον ανάγκη που θα προκύπτει.



Εικόνα 23. Μοντέλο κατανομής πόρων τραύματος για ασθενοφόρα και νοσοκομεία (TRAMAH).

Η κάλυψη των σοβαρά τραυματισμένων ατόμων, ως ουσιαστικό μέτρο κοινωνικής παροχής, είχε τους περιορισμούς της. Ο πιο σημαντικός από όλους είναι ότι δεν μπορείς να γνωρίζεις σε πιο σημείο θα υπάρξει η ανάγκη ύστερα από μία φυσική καταστροφή και έτσι δεν μπορείς να είσαι σε όλα τα σημεία σε επαγρύπνηση κάθε φορά λόγω και των περιορισμένων πόρων και υποδομών που διαθέτει κάθε περιοχή. (Λέκκας, 2000)

Επίσης μόνο ασθενείς των οποίων ο ταχυδρομικός κώδικας ήταν γνωστός μπορούσαν να λάβουν μέρος στο συγκεκριμένο μοντέλο.

Ένα άλλο πρόβλημα ήταν πως όταν υπάρχει ένας σοβαρός τραυματισμός δεν σημαίνει ότι αυτός θα είναι πάντα στον ταχυδρομικό κώδικα κατοικίας του. Αντιθέτως μπορεί να βρίσκεται και σε κάποια άλλη περιοχή.

Το TRAMAH περιέχει τρεις παραμέτρους χρόνου που θα μπορούσαν σκόπιμα να ποικίλουν: ταξίδι εδάφους, αεροπορικά ταξίδια και παγκόσμιοι χρόνοι απόκρισης. Οι χρόνοι όμως ταξιδιού εδάφους και αέρος μπορούν να ποικίλουν.

2.5 ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΟ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ (SPATIOTEMPORAL STOCHASTIC MODEL)

Μία άλλη σημαντική προσέγγιση που έγινε ήταν η δημιουργία ενός χωροχρονικού στοχαστικού μοντέλου (Spatiotemporal Stochastic Model) από τον Qiang Su το 2022. (Su, 2022) Στην συγκεκριμένη προσέγγιση γίνεται μία ανάλυση και περιγραφή της στοχαστικότητας της ζήτησης για ιατρικές υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης σε δύο διαστάσεις. Η πρώτη είναι η χωρική κατανομή της ζήτησης (χωρική διάσταση) και η δεύτερη είναι η διακύμανση της ποσότητας της ζήτησης σε βάθος χρόνου (χρονική διάσταση). Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη τη χωροχρονική στοχαστικότητα της ζήτησης, διερευνάται το πρόβλημα χωροθέτησης των σταθμών πρώτων βοηθειών και το πρόβλημα κατανομής των ασθενοφόρων στην περιοχή Songjiang της Σαγκάης. Η όλη προσέγγιση μοιάζει αρκετά με την προσέγγιση που έκαναν οι Charles C. Branas, EllenJ. MacKenzie, και Charles S. ReVelle το 2000 δημιουργώντας το TRAMAN. Καθώς, προσπαθεί να δει που θα πρέπει να τοποθετηθούν τα νοσοκομεία και τα ασθενοφόρα, δημιουργώντας ζώνες δράσης και όχι στο πως θα πρέπει να ανταποκρίνονται ανάλογα την έκτακτη ανάγκη που θα προκύπτει στην εκάστοτε περίπτωση.

Για την βελτιστοποίηση της επιλογής θέσης σε ότι αφορά τους σταθμούς ασθενοφόρων πρέπει πρώτα να ληφθεί υπόψη μια μακροπρόθεσμη προοπτική και να μεγιστοποιηθεί η κάλυψη ζήτησης που παρέχεται από τους σταθμούς. Σε αυτό το στάδιο δεν λαμβάνεται υπόψη ο αριθμός των ασθενοφόρων για κάθε σταθμό. Για να αποφευχθεί το σενάριο στο οποίο ο κύριος σταθμός (ο πλησιέστερος σταθμός στη ζώνη ζήτησης) δεν διαθέτει ασθενοφόρα για αποστολή και πρέπει να ζητηθεί βοήθεια από σταθμούς σε άλλες ζώνες, κάτι που συμβαίνει συχνά στον πραγματικό κόσμο, αυτή η μελέτη βασίζεται σε μία διπλή κάλυψη και εκχωρεί έναν σταθμό αναμονής για κάθε ζώνη ζήτησης.

Το πρόβλημα κάλυψης αναφέρεται στον τρόπο μεγιστοποίησης της κάλυψης της ζήτησης με τους περιορισμένους σταθμούς ασθενοφόρων, δεδομένης της ακτίνας εξυπηρέτησης που καθορίζεται από την απαίτηση χρόνου απόκρισης της υπηρεσίας. Διαφορετικά από προηγούμενες μελέτες, αυτή η μελέτη προτείνει ένα μοντέλο σχεδιασμού κάλυψης πολλαπλών σταθμών με επίπεδα προτεραιοτήτων. Σε αυτό το μοντέλο, κάθε ζώνη ζήτησης παρέχεται με μια λίστα σταθμών ασθενοφόρων και κάθε σταθμός στη λίστα έχει κλιμακωτές ακτίνες κάλυψης. (Για παράδειγμα, ένας σταθμός

με προτεραιότητα πρώτης βαθμίδας καλύπτει μια περιοχή με ακτίνα οδήγησης 12 λεπτών και ένας σταθμός με προτεραιότητα δεύτερης βαθμίδας καλύπτει μια περιοχή με ακτίνα οδήγησης 15 λεπτών). Σύμφωνα με αυτή τη ρύθμιση, ακόμη και αν δεν υπάρχουν διαθέσιμα ασθενοφόρα στον σταθμό πρώτης βαθμίδας, η ζώνη μπορεί να εξυπηρετηθεί έγκαιρα από τον σταθμό δεύτερης κατηγορίας.

Οι κύριες παραδοχές στο μοντέλο επιλογής τοποθεσίας είναι οι εξής:

1. Κάθε ζώνη ζήτησης έχει έναν και μόνο έναν πρωτεύοντα σταθμό που παρέχει την υπηρεσία προτεραιότητας πρώτης βαθμίδας.

2. Κάθε ζώνη ζήτησης έχει έναν και μόνο σταθμό αναμονής για την παροχή της υπηρεσίας προτεραιότητας δεύτερου επιπέδου (εφεδρικές υπηρεσίες) στη ζώνη. Η απόσταση του σταθμού αναμονής από το σημείο ζήτησης είναι μεγαλύτερη από αυτή του κύριου σταθμού.

3. Τέλος, θεωρείται ότι η εβδομαδιαία ζήτηση για ιατρικές παροχές έκτακτης ανάγκης ακολουθεί την κανονική κατανομή.

Σχετικά τώρα με την κατασκευή του μαθηματικού μοντέλου ισχύουν τα ακόλουθα.

Επεξήγηση των συμβόλων:

a_{ij} : 0

– 1 μεταβλητή απόφασης — αν ο σταθμός j είναι ο κύριος σταθμός για τη ζώνη ζήτησης i ,
= 1; διαφορετικά $a_{ij} = 0$

b_{ij} : 0

– 1 μεταβλητή απόφασης — αν ο σταθμός j είναι ο σταθμός αναμονής για τη ζώνη ζήτησης i ,
= 1; διαφορετικά $b_{ij} = 0$

x_j : 0 – 1 μεταβλητή — αν χρησιμοποιείται υποψήφιος σταθμός j , x_j

= 1; διαφορετικά $x_j = 0$

K : το σύνολο των ζωνών ζήτησης

M : το σύνολο των υποψηφίων σταθμών

W : το σύνολο των σταθμών που χρησιμοποιούνται

d_i : Η ποσότητα ζήτησης που δημιουργείται στη ζώνη ζήτησης i , $d_i \sim N(\mu_{d_i}, \sigma_{d_i})$

t_{ij} : ο χρόνος οδήγησης από τον σταθμό j στη ζώνη ζήτησης i .

Όταν λαμβάνεται υπόψη η χωρική στοχαστικότητα της ζήτησης, το t είναι
μα τυχαία μεταβλητή

t_{sr} : ο ιδανικός χρόνος οδήγησης από τον κύριο σταθμό στη ζώνη ζήτησης

t_{s1} : ο μέγιστος χρόνος οδήγησης που απαιτείται από τον κύριο σταθμό έως τη ζώνη ζήτησης

t_{s2} : ο μέγιστος χρόνος οδήγησης που απαιτείται από τον σταθμό αναμονής στη ζώνη ζήτησης

Ως αντικειμενική συνάρτηση είναι η ελαχιστοποίηση του αριθμού των σταθμών που χρησιμοποιούνται.

$$\min f = \sum_{j \in M} x_j \quad (1)$$

Το συγκεκριμένο μοντέλο χρειάζεται να ικανοποιεί τους ακόλουθους περιορισμούς.

$$\sum_{i \in K} \left(d_i \sum_{j \in M} (\Pr(t_{ij} \leq t_{sr})) a_{ij} \right) \geq \varphi \sum_{i \in K} d_i \quad (2)$$

$$\sum_{j \in M} t_{ij} a_{ij} \leq t_{s1}, \forall i \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in M} t_{ij} b_{ij} \leq t_{s2}, \forall i \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in M} a_{ij} = 1, \forall i \in K \quad (5)$$

$$\sum_{j \in M} b_{ij} = 1, \forall i \in K \quad (6)$$

$$\sum_{j \in M} a_{ij} x_j = 1, \forall i \in K \quad (7)$$

$$\sum_{j \in M} b_{ij} x_j = 1, \forall i \in K \quad (8)$$

$$a_{ij} + b_{ij} \leq 1, \forall i \in K, j \in M \quad (9)$$

$$\sum_{j \in W} a_{ij} \bar{t}_{ij} \leq \bar{t}_{im}, \forall m \in W, \forall i \quad (10)$$

Ο περιορισμός (2) αντιστοιχεί σε έναν κλασικό περιορισμό στο πρόβλημα επιλογής θέσης για σταθμούς ασθενοφόρων. Αναμένεται ότι το ποσοστό της ζήτησης μπορεί να εξυπηρετηθεί από τον κύριο σταθμό εντός του χρόνου t_{sr} . Ο περιορισμός, $\Pr(t_{ij} < t_{sr})$ υποδηλώνει την πιθανότητα ο χρόνος οδήγησης από τον σταθμό j στο σημείο ζήτησης i να είναι μικρότερος από τον τυπικό χρόνο. Γενικά, ο χρόνος t_{sr} , είναι μικρότερος από τον χρόνο οδήγησης που απαιτείται για την ακτίνα κάλυψης του σταθμού. Αυτός ο περιορισμός χρησιμοποιείται συνήθως από κυβερνητικές υπηρεσίες για την αξιολόγηση της απόδοσης των κέντρων σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης που απαιτείται άμεση ιατροφαρμακευτική περίθαλψη. Για παράδειγμα, η

τυπική ακτίνα κάλυψης για τους σταθμούς ασθενοφόρων στη Σαγκάη είναι 12 λεπτά απόσταση οδήγησης, ενώ η κυβέρνηση μπορεί να ελπίζει ότι το 60% της ζήτησης μπορεί να εξυπηρετηθεί πιο γρήγορα, π.χ. εντός 7 λεπτών.

Οι περιορισμοί (3) και (4) απαιτούν ότι ο χρόνος οδήγησης που απαιτείται από τον κύριο σταθμό και τον σταθμό αναμονής στη ζώνη ζήτησης που εξυπηρετούν δεν θα υπερβαίνει τον προκαθορισμένο τυπικό χρόνο κάλυψης, ts_1 και ts_2 . Οι περιορισμοί (5) και (6) απαιτούν κάθε ζώνη ζήτησης να έχει έναν και μόνο έναν κύριο σταθμό και σταθμό αναμονής, αντίστοιχα. Οι περιορισμοί (7) και (8) διασφαλίζουν ότι όταν ο σταθμός j χρησιμοποιείται ως πρωτεύων ή σταθμός αναμονής, $x_i = 1$. Ο περιορισμός (9) διασφαλίζει ότι ο κύριος και ο σταθμός αναμονής μιας ζώνης ζήτησης δεν είναι ο ίδιος σταθμός. Ο περιορισμός (10) υποδεικνύει ότι η απόσταση από κάθε ζώνη ζήτησης στον κύριο σταθμό της πρέπει να είναι μικρότερη από την απόσταση από τον σταθμό αναμονής και υποδηλώνει το μέσο χρόνο οδήγησης.

Στο μοντέλο, οι περιορισμοί (2), (3) και (4) περιέχουν τυχαία ποσότητα ζήτησης d και χρόνο οδήγησης t_{ij} . Η τυχαιότητα του χρόνου οδήγησης οφείλεται στην τυχαιότητα της συγκεκριμένης χωρικής θέσης όπου δημιουργείται η ζήτηση. Για να λυθεί αυτό το στοχαστικό μοντέλο, οι τυχαίοι περιορισμοί πρέπει να μετατραπούν σε αντίστοιχους ντετερμινιστικούς περιορισμούς.

Γενικά η διαφοροποίησή μας σε σχέση με το συγκεκριμένο μοντέλο έχει να κάνει αρχικά με το ότι έχουμε ήδη γνωστά τα που βρίσκονται τα νοσοκομεία και οι σταθμοί των ασθενοφόρων. Το μόνο που θα μπορούσε να διαφοροποιηθεί σε εμάς είναι οι σταθμοί των ασθενοφόρων. Δεν γίνεται να γίνει μετακίνηση των ήδη χτισμένων νοσοκομείων ώστε να είναι λειτουργικό το συγκεκριμένο μοντέλο. Όπως παρατηρήθηκε και από τον ίδιο το δημιουργό του μοντέλου όταν πραγματοποιήθηκε προσομοίωση είδε πως υπάρχουν αρκετά μεγάλες καθυστερήσεις. Πράγμα λογικό, διότι στον πραγματικό κόσμο τα πράγματα είναι διαφορετικά με μεγαλύτερες του λογικού χρονικές καθυστερήσεις και απρόοπτα. Επίσης όταν έχουμε ένα συμβάν όπου χρειαζόμαστε άμεσα βοήθεια στην μεταφορά των ασθενών στην δική μας πρόταση βοηθούν όλοι. Για αυτό και δεν υπάρχει κάποιος διαχωρισμός ζωνών. Αντίστοιχα στη συγκεκριμένη προσέγγιση βοηθάει μόνο μία ακόμη ζώνη, όπου αν και εκεί υπάρχει πρόβλημα με κάποιο έκτακτο περιστατικό ή έχουμε υπερβολικά μεγάλο αριθμό περιστατικών απλά το σύστημα θα οδηγηθεί σε κατάρρευση καθώς δεν θα μπορούν να ικανοποιηθούν όλα τα αιτήματα σε γρήγορο βαθμό και πολλοί ασθενείς θα κινδυνέψουν να οδηγηθούν στο θάνατο. Τέλος για ότι αφορά την διάκριση των

ασθενών, αυτή γίνεται σε απλά περιστατικά και κρίσιμα. Δεν υπάρχει μία πιο αναλυτική διάκριση με βάση κάποια κλίμακα μέτρησης όπως στο δικό μας μοντέλο.

3. ΤΜΗΜΑ ΕΠΕΙΓΟΝΤΩΝ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ (Τ.Ε.Π.) & ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΝΤΑΤΙΚΗΣ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ (Μ.Ε.Θ.)

3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΕΠΕΙΓΟΝΤΩΝ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ – Τ.Ε.Π.

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Εταιρεία Επείγουσας Ιατρικής (EuSEM), το ΤΕΠ αποτελεί το τμήμα του νοσοκομείου που αποσκοπεί στη "υποδοχή, αναζωογόνηση, διάγνωση και αντιμετώπιση ασθενών με μη διακριτικά επείγοντα και αιχμηρά προβλήματα, τα οποία καλύπτουν το ευρύ φάσμα ασθενειών, κακώσεων και διαταραχών της συμπεριφοράς, καθώς και τη διαχείρισή τους μέχρι την αποχώρηση ή την παραπομπή σε άλλο ιατρό". Το ΤΕΠ αποτελεί το κρίσιμο σημείο σύνδεσης ανάμεσα στον ασθενή και την τελική του περίθαλψη και λειτουργεί ως γέφυρα μεταξύ της πρωτοβάθμιας και της επείγουσας νοσοκομειακής φροντίδας.¹ (Ανοη., χ.χ.)

3.2 ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ Τ.Ε.Π.

Η οργάνωση και λειτουργία των Τ.Ε.Π. ουσιαστικά διακρίνεται σε 3 μέρη:

Α) Πριν φτάσει ο ασθενής στο Τ.Ε.Π.

Β) Όταν ο ασθενής είναι μέσα στο Τ.Ε.Π.

Γ) Η μεταφορά του ασθενούς σε άλλους χώρους του Νοσοκομείου.

Το Τ.Ε.Π. πρέπει να διασφαλίζει την άμεση άφιξη των ασθενοφόρων, την άνετη υποδοχή των ασθενών και την αμερόληπτη επικοινωνία με τα τμήματα που παρέχουν, σε 24ωρη βάση, την απαιτούμενη υποστήριξη (μικροβιολογικό, ακτινολογικό, αξονικός τομογράφος, υπέρηχοι, μονάδες εντατικής θεραπείας, χειρουργεία).

Για να διασφαλιστεί η αποτελεσματική λειτουργία ενός Τμήματος Επείγουσας Περίθαλψης (Τ.Ε.Π.), απαιτούνται συγκεκριμένοι παράγοντες που περιλαμβάνουν:

1. Επαρκή οργάνωση του χώρου.
2. Σωστή επιλογή ιατρικού και εξοπλισμού για τις ανάγκες του τμήματος.
3. Κατάρτιση και επάρκεια του ιατρικού και νοσηλευτικού προσωπικού.

μα¹ Τμήμα Επειγόντων Περιστατικών (ΤΕΠ) <http://www.hosplak.gr/?q=node/36>

4. Λογική δομή του τμήματος, λαμβάνοντας υπόψη διοικητικές και επιστημονικές πτυχές.

Επιπλέον, οι κύριες αρμοδιότητες περιλαμβάνουν:

1. Άμεση επικοινωνία με το συντονιστικό κέντρο προνοσοκομειακής ιατρικής βοήθειας (ΕΚΑΒ) και τα Γραφεία Κίνησης Ασθενών της περιοχής.
2. Άμεση αντιμετώπιση ασθενών με επείγοντα προβλήματα.
3. Νοσηλεία ασαφών περιστατικών μέχρι την τελική αξιολόγηση.
4. Επιλογή ασθενών με βάση τη βαρύτητα και το επείγον κάθε περίπτωσης.
5. Προώθηση ασθενών σε άλλες μονάδες και χειρουργεία του νοσοκομείου μετά από συνεννόηση με τους υπεύθυνους ιατρούς.
6. Λειτουργία ως σταθμός πρώτων βοηθειών κατά το ωράριο εργασίας του νοσοκομείου και κατά τις εκτάκτως ανάγκες.
7. Διαχείριση των διακομιδών ασθενών εάν το νοσοκομείο δεν παρέχει υπηρεσία εφημερίας.
8. Διαμόρφωση και λειτουργία του ιατρικού τμήματος της επιτροπής «Μαζικού Ατυχήματος» για την περιοχή υπηρεσίας του και συμμετοχή στη λήψη αποφάσεων σχετικά με καταστάσεις μαζικού ατυχήματος.
9. Προστασία του νοσοκομείου από άσκοπες εισαγωγές μέσω της βέλτιστης χρήσης των διαθέσιμων πόρων και υποδομής. (Weinick, et al., 2010)

3.3 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΘΕΝΗ ΣΤΑ Τ.Ε.Π.

Στις μέρες μας τα Τ.Ε.Π. αντιμετωπίζουν επείγοντα περιστατικά υγείας κάθε μέρα. Γι' αυτόν τον λόγο, απαιτείται η συνδυασμένη διαθεσιμότητα της απαραίτητης υλικοτεχνικής υποδομής, του κατάλληλου εξοπλισμού και του εξειδικευμένου ανθρώπινου δυναμικού. Αυτό διασφαλίζει ότι η παροχή άμεσης και υψηλής ποιότητας επείγουσας φροντίδας διατηρείται σε κάθε περίπτωση, προκειμένου να διασφαλιστεί η ασφάλεια του ασθενούς. Στην περίπτωση της Ελλάδας, εκτός από τα Τμήματα Επείγουσας Περίθαλψης (Τ.Ε.Π.), η άμεση ιατρική φροντίδα παρέχεται επίσης από το Εθνικό Κέντρο Άμεσης Βοήθειας (ΕΚΑΒ), το οποίο διασφαλίζει τη μεταφορά των ασθενών στα νοσοκομεία εντελώς δωρεάν, αν κριθεί αναγκαίο.

Έτσι για να διασφαλιστούν όλα τα παραπάνω, η παροχή ιατρικής φροντίδας περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Διαλογή
- Πρωτοβάθμια εκτίμηση και σταθεροποίηση απειλητικών για τη ζωή καταστάσεων, με βάση το σύστημα προσέγγισης ABCDE (**A**ir, **B**reath, **C**irculation, **D**isability, **E**xposure and **E**xamine) το οποίο είναι εργαλείο πρωτοβάθμιας εκτίμησης για όλους τους ασθενείς και δεν απαιτεί παρακλινικό έλεγχο. Είναι μία δομημένη προσέγγιση για την αναγνώριση και αναζωογόνηση ασθενών σε κρίσιμη κατάσταση και τραυματιών.
- Συστηματική συγκέντρωση των ιατρικών πληροφοριών, εστιάζοντας στα συμπτώματα για τα οποία ο ασθενής αναζητά βοήθεια, στα κλινικά ευρήματα, καθώς και σε καταστάσεις που απαιτούν άμεση φροντίδα.
- Διεξοδική αξιολόγηση και άμεση κλινική διαχείριση, συμπεριλαμβανομένης της έγκαιρης προσανατολισμένης παρακλινικής διάγνωσης και έμφαση στην ανάγκη για άμεση παρέμβαση.
- Προσήλωση στο λήψη κλινικών αποφάσεων, με δεύτερη επανεκτίμηση, άμεση και/ή οριστική φροντίδα στο Τμήμα Επείγουσας Περίθαλψης (Τ.Ε.Π.) και σχεδιασμό για εισαγωγή ή εξιτήριο.
- Συνεχής επανεξέταση και προχωρημένη διαχείριση του καταστρώματος του ασθενή.

3.4 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ Τ.Ε.Π.

Για να εξετάσουμε την εξέλιξη των Τμημάτων Επείγουσας Περίθαλψης (Τ.Ε.Π.), δεν απαιτείται ένας αναλυτικός χρονολογικός χάρτης που ρίχνει το βλέμμα υπερβολικά πίσω στον χρόνο. Αρκεί απλώς να σκεφτούμε πως κατά τη δεκαετία του 1950, στις Ηνωμένες Πολιτείες, τα "Δωμάτια Επειγόντων Περιστατικών" (Emergency Rooms ή ER) δεν διαθέτανε γιατρούς. Μετά το 1960 και την αναγνώριση της Επείγουσας Ιατρικής ως ειδικότητα, άρχισαν να λειτουργούν τα πρώτα Τ.Ε.Π., καταρτίζοντας την μορφή που γνωρίζουμε σήμερα. (Λάμπρου, 2005) Στη Μεγάλη Βρετανία, επίσης κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960, αναπτύχθηκαν οι

"Μονάδες Ατυχημάτων και Επειγόντων Περιστατικών" (Accident and Emergency Departments) που σταδιακά μετεξελίχθηκαν σε "Τμήματα Επειγόντων Περιστατικών". Περί τη δεκαετία του 1970, δημιουργήθηκαν δύο ειδικότητες για την τομή της επείγουσας φροντίδας (Emergency care):

- Η Επείγουσα Ιατρική (Emergency Medicine) και
- Η Επείγουσα Νοσηλευτική (Emergency Nursing).

Επιπλέον, εκείνη τη δεκαετία, εμφανίστηκαν και αναπτύχθηκαν οι Μονάδες Βραχείας Νοσηλείας (Short Stay Units), που αποτελούν χώρους μέσα στα Τ.Ε.Π. για την παροχή σύντομης θεραπείας.

Η δεκαετία του 1970 αποτελεί σημαντική χρονική περίοδο για την ανάπτυξη των Τ.Ε.Π. Το 1972 δημιουργήθηκε ο "Αγγλικός Σύνδεσμος Νοσηλευτών Επείγουσας Νοσηλευτικής" (A & E Nursing Association), υπό την αιγίδα του "Βασιλικού Συνδέσμου Νοσηλευτών του Ηνωμένου Βασιλείου" (UK Royal College of Nursing ή RCN). Σήμερα λειτουργεί με επιτυχία η "Σχολή Επείγουσας Νοσηλευτικής" (Faculty of Emergency Nursing), όπου οι νοσηλευτές με εξειδίκευση στην Επείγουσα Νοσηλευτική διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί πως το έτος 1981 ιδρύθηκε και ο σύνδεσμος Επείγουσας Ιατρικής στην Αυστραλία (Australian Society for Emergency Medicine).

Όσον αφορά την Ελλάδα, δυστυχώς, ακόμη και σήμερα, η Επείγουσα Ιατρική και η Επείγουσα Νοσηλευτική δεν έχουν αναγνωριστεί ως ανεξάρτητες ειδικότητες. Τα Τμήματα Επείγουσας Περίθαλψης συνήθως εξυπηρετούνται από γενικούς νοσηλευτές και ιατρούς με διάφορες ειδικότητες, όπως χειρουργούς, γενικούς, παθολόγους, αναισθησιολόγους και άλλους. Επιπλέον, σε ορισμένα Τμήματα Επείγουσας Περίθαλψης, το προσωπικό είναι ενιαίο με τα Τμήματα Εξωτερικών Ιατρείων. (Λάμπρου, 2005)

3.5 ΤΟ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΩΝ Τ.Ε.Π.

Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία οργανωμένων Τ.Ε.Π. ξένων χωρών γνωρίζουμε πως:

1. Ένα 10% από αυτούς παρουσιάζουν άμεση ανάγκη για άμεση παρέμβαση λόγω κίνδυνου για τη ζωή ή απειλής για τις ζωτικές τους λειτουργίες.
2. Το 60% ανήκει σε επείγοντες περιστατικούς, οι οποίοι, μετά από αρχική κλινική εκτίμηση ή βασική εργαστηριακή αξιολόγηση, απαιτούν ανακατεύθυνση για πρωτοβάθμια φροντίδα.
3. Το υπόλοιπο 30% αντιστοιχεί σε ασθενείς που χρήζουν περαιτέρω ιατρικής αξιολόγησης σε μεταγενέστερο χρόνο.

Αυτά δημιουργούν και το μεγαλύτερο πρόβλημα το οποίο και είναι ο συνωστισμός (overcrowding) σε όλα τα Τ.Ε.Π.

Υπάρχουν πολλοί λόγοι που συμβάλλουν στον υπερπληθυσμό στα Τμήματα Επείγουσας Περιθαλψής. Ανάμεσά τους περιλαμβάνονται:

- Η αυξανόμενη προσδοκώμενη διάρκεια ζωής του πληθυσμού.
- Η επιβίωση ασθενών με χρόνιες ασθένειες.
- Η πρακτική της νωρίς εξόδου των ασθενών από τα νοσοκομεία.
- Η αυξημένη παρουσία ατόμων που ανήκουν σε ομάδες με χαμηλό εισόδημα, μετανάστες και άνεργους, οι οποίοι συχνά αναζητούν φροντίδα στα Τ.Ε.Π.
- Η στενότητα του προσωπικού και η έλλειψη αρκετών τεχνολογικών μέσων.
- Η αυξημένη γραφειοκρατία και η έλλειψη συντονισμένης πολιτικής αντιμετώπισης του θέματος. (Ασκητοπούλου, 2009)

Το μεγαλύτερο και δυσχερέστερο αποτέλεσμα αυτού του συνωστισμού συνήθως είναι η αύξηση της θνησιμότητας στα Τ.Ε.Π.

Μερικά άλλα αποτελέσματα είναι η αύξηση του κόστους, η αύξηση του χρόνου αναμονής, η μείωση της ικανοποίησης των πολιτών, οι εντάσεις και οι επιθέσεις εναντίον του προσωπικού.

3.6 ΔΙΕΘΝΗ ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΕΙΓΟΥΣΑΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΦΡΟΝΤΙΔΑΣ

Υπάρχουν δύο κύρια συστήματα παροχής επείγουσας φροντίδας, το **Αγγλο-Αμερικανικό** μοντέλο και το **Γάλλο-Γερμανικό** μοντέλο. Καθένα από αυτά έχει διαφορετική φιλοσοφία και επηρεάζεται από συγκεκριμένους παράγοντες που καθορίζουν τη λειτουργία του.

Σύμφωνα με το **Αγγλο-Αμερικανικό** μοντέλο, η προτεραιότητα είναι η άμεση μεταφορά του ασθενούς στο τμήμα επειγόντων περιστατικών του νοσοκομείου, όπου θα λάβει ολοκληρωμένη αντιμετώπιση από Ιατρούς Επείγουσας Ιατρικής. Χώρες που εφαρμόζουν αυτό το μοντέλο περιλαμβάνουν το Ηνωμένο Βασίλειο, τις Η.Π.Α., την Αυστραλία, τον Καναδά, την Ισλανδία, την Ιρλανδία, την Κίνα, το Χονγκ Κονγκ, το Ισραήλ, την Ιαπωνία, τη Νέα Ζηλανδία, τις Φιλιππίνες, την Ολλανδία, τη Νότια Κορέα, κ.α.

Αντίθετα, σύμφωνα με το **Γάλλο-Γερμανικό** μοντέλο, το νοσοκομείο αναζητά τον βαρέως πάσχοντα ασθενή για να του προσφέρει γρήγορη και καλύτερη αντιμετώπιση. Αυτό το σύστημα αποτελείται κυρίως από αναισθησιολόγους και γενικούς γιατρούς που παρέχουν εξειδικευμένη υποστήριξη αμέσως στον τόπο του περιστατικού. Χώρες που υιοθετούν αυτό το μοντέλο περιλαμβάνουν τη Γαλλία, τη Γερμανία, την Αυστρία, το Βέλγιο, τη Φιλανδία, τη Νορβηγία, την Πορτογαλία, τη Σλοβενία, τη Ρωσία, τη Σουηδία, την Ελβετία, κ.ά. (Al-Shaqsi, 2009)

Η επιλογή ενός προτύπου συστήματος παροχής επείγουσας φροντίδας σε μια χώρα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν την προσαρμοστικότητα του κάθε προτύπου στα ξεχωριστά γεωγραφικά, χωροταξικά, κοινωνικά και πολιτιστικά χαρακτηριστικά μιας χώρας. Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψη παράγοντες που σχετίζονται με την πολιτική τακτική της χώρας, την υφιστάμενη οικονομική κατάσταση και το επίπεδο των υπηρεσιών υγείας που παρέχονται. (Al-Shaqsi, 2009)

Για ότι αφορά την Ελλάδα φαίνεται ότι χρησιμοποιεί μία μάλλον ανάμειξη αυτών των δύο μοντέλων χωρίς να είναι ξεκάθαρα προς την μία ή την άλλη κατεύθυνση.

3.7 ΔΙΑΛΟΓΗ (TRIAGE) ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΠΕΙΓΟΝΤΩΝ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ

Η διαδικασία της διαλογής περιλαμβάνει την αξιολόγηση σύμφωνα με συγκεκριμένες κλίμακες, οι οποίες βασίζονται στην εκτίμηση ζωτικών παραμέτρων και συμπτωμάτων. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται για να δώσει προτεραιότητα και να κατατάξει τους ασθενείς ανάλογα με τη σοβαρότητα του τραυματισμού ή της νόσου, την πρόγνωση και τη διαθεσιμότητα των πόρων.

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας διαλογής, συνήθως πραγματοποιούνται η καταγραφή στοιχείων, η αρχική αξιολόγηση των ζωτικών σημείων, η εφαρμογή πρωτοκόλλων διαλογής και επίπεδων προτεραιότητας, καθώς και η εστίαση στο ιατρικό ιστορικό και στα συμπτώματα για τα οποία έχει επισκεφθεί ο ασθενής. (Ασκητοπούλου, 2009)

Η διαδικασία της διαλογής (triage) εισήχθη για πρώτη φορά κατά τη διάρκεια πολέμων, όπου χρησίμευσε στη γρήγορη και αποτελεσματική λήψη αποφάσεων σχετικά με τη διανομή των περιορισμένων διαθέσιμων ιατρικών πόρων για την περίθαλψη τραυματισμένων στρατιωτών, με σκοπό τη διάσωση του μεγαλύτερου δυνατού αριθμού ατόμων.

Στη συνέχεια, όταν παρατηρήθηκε αύξηση του συνωστισμού, η διαδικασία της διαλογής επισήμως ενσωματώθηκε στα Τμήματα Επειγόντων Περιστατικών ως απαραίτητο μέσο για την αντιμετώπιση αυτής της σοβαρής πρόκλησης. Ο σκοπός της διαλογής είναι να διασφαλίσει τόσο το επίπεδο όσο και την ποιότητα της φροντίδας παρέχοντας ισότιμη πρόσβαση σε υπηρεσίες υγείας για όλο τον πληθυσμό. (Bernstein, et al., 2003)

3.7.1 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΛΙΜΑΚΩΝ ΔΙΑΛΟΓΗΣ

Οι βασικοί παράγοντες που συνθέτουν μια κλίμακα διαλογής περιλαμβάνουν:

- **Χρηστικότητα:** Απαιτείται η εύκολη κατανόηση και η απλότητα εφαρμογής από νοσηλευτές και γιατρούς έκτακτης ανάγκης.
- **Ισχύς:** Η κλίμακα πρέπει να αντικατοπτρίζει το αντικείμενο που σχεδιάστηκε για να μετρήσει, δηλαδή την κλινική ανάγκη, όχι τη σοβαρότητα ή την πολυπλοκότητα της ασθένειας.

- **Αξιοπιστία:** Η εφαρμογή της κλίμακας πρέπει να είναι συνεπής και ανεξάρτητη από τον νοσηλευτή ή τον ιατρό που τη χρησιμοποιεί.
- **Ασφάλεια:** Οι αποφάσεις Triage πρέπει να βασίζονται σε αντικειμενικά κλινικά κριτήρια, βελτιστοποιώντας το χρόνο παροχής ιατρικής φροντίδας. (Μπαϊνούζη, 2015)

3.7.2 ΔΙΕΘΝΗΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΣΘΕΝΩΝ ΣΤΟ Τ.Ε.Π. ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΚΑ (ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ)

Η ταξινόμηση που ισχύει σε διεθνές επίπεδο για τους ασθενείς που προσκομίζονται σε Τ.Ε.Π. είναι σύμφωνα με το χρωματικό φάσμα του ουράνιου τόξου (κόκκινο/πορτοκαλί, κίτρινο, πράσινο, μπλε).

Οι πέντε κατηγορίες ασθενών περιλαμβάνουν:

1. **Κόκκινη κατηγορία I (Άμεση αναζωογόνηση):** Ασθενείς που αντιμετωπίζουν απειλητικές για τη ζωή καταστάσεις και απαιτούν άμεση αναζωογόνηση και θεραπεία (0 λεπτά).
2. **Πορτοκαλί κατηγορία II (Υπέρ-επείγον):** Ασθενείς με βαριά πάθηση ή τραύματα που δεν βρίσκονται σε άμεσο κίνδυνο, αλλά απαιτούν επείγουσα αξιολόγηση και αντιμετώπιση από γιατρό εντός 10 λεπτών από την άφιξή τους στο ΤΕΠ.
3. **Κίτρινη κατηγορία III (Επείγον):** Ασθενείς με σοβαρά προβλήματα, αλλά σε σχετικά σταθερή κατάσταση, που απαιτούν διαγνωστική και θεραπευτική νοσοκομειακή αντιμετώπιση μέσα στα επόμενα 30-60 λεπτά.
4. **Πράσινη Κατηγορία IV (Ημι-επείγον):** Ασθενείς με πρόσφατες καταπτώσεις και μικρά οξεία προβλήματα, όπου τα χρονικά όρια αντιμετώπισης εξαρτώνται από την διαθέσιμη υποδομή και συνήθως κυμαίνονται από 60 έως 120 λεπτά.
5. **Μπλε Κατηγορία V (Μη-επείγον):** Ασθενείς με καταστάσεις που δεν απαιτούν πραγματικά επείγουσα αντιμετώπιση και νοσηλεία, αλλά πρέπει να κατευθυνθούν σε κατάλληλες πρωτοβάθμιες υγειονομικές υπηρεσίες ή εξωτερικά ιατρεία, διαφορετικά να αντιμετωπιστούν εντός 120-240 λεπτών.

Ο παρακάτω πίνακας περιγράφει μια προτεινόμενη κλίμακα διαλογής έκτακτης ανάγκης με αντίστοιχους στόχους χρόνου για αντιμετώπιση στο ΤΕΠ.

A/A	Χρωματική Ταξινόμηση	Κλινική Ταξινόμηση	Ταχύτητα Αντιμετώπισης	Είδος Περιστατικού
1	Κόκκινο	Άμεση Αναζωογόνηση	Άμεση	ανακοπή, οξεία απόφραξη αεραγωγού, σοβαρό τραύμα σε shock
2	Πορτοκαλί	Υπερ-επείγον	Εντός 10min	στηθαγχικός πόνος, σπασμοί, υπογλυκαιμία, GCS<9
3	Κίτρινο	Επείγον	Εντός 30 - 60min	τραύμα οφθαλμών, οξείες ψυχιατρικές διαταραχές
4	Πράσινο	Ημι-Επείγον	Εντός 60 - 120min	επώδυνες μη απειλητικές βλάβες, ελαφρές οξείες καταστάσεις
5	Μπλε	Μη Επείγον	Εντός 120 - 240min	χρονίζοντα συμπτώματα χωρίς υποτροπή, συνταγογραφήσεις, γνωματεύσεις

Πίνακας 3. Προτεινόμενη Κλίμακα Διαλογής επειγόντων με αντίστοιχους χρόνους στόχους για αντιμετώπιση στο Τ.Ε.Π.. Πηγή: Ασκητοπούλου, Ηράκλειο 3/1/2009

Οι δύο πρώτες κατηγορίες αφορούν περίπου το 5% των ασθενών, η Τρίτη και τέταρτη κατηγορία αφορά το 25-40% των ασθενών και το υπόλοιπο ποσοστό αφορά συνήθως την τελευταία Πέμπτη κατηγορία. (Travers, et al., 2002)

3.7.3 Η AUSTRALASIAN TRIAGE ΚΛΙΜΑΚΑ (ATS), (ΣΤΟ ΠΑΡΕΛΘΟΝ Η ΕΘΝΙΚΗ TRIAGE ΚΛΙΜΑΚΑ NTS)

Το εν λόγω σύστημα διαλογής τέθηκε σε εφαρμογή το 1993 και αποτέλεσε το πρώτο τέτοιο σύστημα που εισήχθη στην Αυστραλία. Στο τέλος της δεκαετίας του 1990, μετά από αξιολόγηση και αναθεώρηση, απέκτησε την τρέχουσα ονομασία που είναι γνωστή ως "Αυστραλιανή Κλίμακα Διαλογής" (Australasian Triage Scale - ATS).

Η ATS περιλαμβάνει πέντε επίπεδα σημαντικότητας:

1. **Κατηγορία 1 (Αμέσως απειλητικές για τη ζωή καταστάσεις):** Ασθενείς που βρίσκονται σε καταστάσεις που απειλούν αμέσως τη ζωή τους.
2. **Κατηγορία 2 (Επικείμενα απειλητικές για τη ζωή):** Ασθενείς που αντιμετωπίζουν καταστάσεις που απειλούν τη ζωή τους και απαιτούν άμεση αξιολόγηση.
3. **Κατηγορία 3 (Δυνητικά απειλητικές για τη ζωή ή σημαντικό χρόνο-κρίσιμες θεραπεία ή έντονο πόνο):** Ασθενείς που αντιμετωπίζουν καταστάσεις που μπορεί να απειλούν τη ζωή τους, να απαιτούν σημαντική χρονικά κρίσιμη θεραπεία ή να περιορίζονται από έντονο πόνο.
4. **Κατηγορία 4 (Δυνητικά σοβαρή για τη ζωή ή κατάσταση έκτακτης ανάγκης ή σημαντική πολυπλοκότητα):** Ασθενείς που αντιμετωπίζουν καταστάσεις που μπορεί να απειλούν τη ζωή τους, να απαιτούν αντιμετώπιση έκτακτης ανάγκης ή να παρουσιάζουν σημαντική πολυπλοκότητα.
5. **Κατηγορία 5 (Λιγότερο επείγουσες καταστάσεις):** Ασθενείς με καταστάσεις που δεν είναι επείγουσες και μπορούν να αντιμετωπιστούν σε πιο καθορισμένους χρονικούς ορίζοντες. (Hodge, et al., 2013)

Number	Name	Color	Max Time
1	Immediate Resuscitation	Red	0 minutes
2	Very Urgent	Orange	10 minutes
3	Urgent	Yellow	30 minutes
4	Standard	Green	60 minutes
5	Non-Urgent	Blue	120 minutes

Πίνακας 4. Australian triage scale (ATS)

3.7.4 ΚΑΝΑΔΙΚΗ TRIAGE ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΚΑ AQUIITY (ACTAS)

Η Καναδική κλίμακα διαλογής Aquity (CTAS) εισήχθη στον Καναδά το 1997 και παρουσιάζει ομοιότητες με το Αυστραλιανό σύστημα, ιδίως όσον αφορά τον προσδιορισμό του χρόνου που απαιτείται για την αξιολόγηση κάθε περίπτωσης του ασθενούς.

Σύμφωνα με την συγκεκριμένη κλίμακα, έχουμε τα πέντε ακόλουθα επίπεδα σημαντικότητας:

1. **CTAS Επίπεδο 1:** Σε αυτό το επίπεδο, οι ασθενείς πρέπει να εξετάζονται αμέσως από ιατρό.
2. **CTAS Επίπεδο 2:** Οι ασθενείς πρέπει να εξεταστούν από ιατρό μέσα σε 15 λεπτά.
3. **CTAS Επίπεδο 3:** Σε αυτό το επίπεδο, οι ασθενείς πρέπει να εξεταστούν από ιατρό εντός 30 λεπτών.
4. **CTAS Επίπεδο 4:** Οι ασθενείς πρέπει να εξεταστούν από ιατρό μέσα σε 60 λεπτά.
5. **CTAS Επίπεδο 5:** Σε αυτό το επίπεδο, οι ασθενείς πρέπει να εξεταστούν από ιατρό εντός 120 λεπτών.

Αυτή η κλίμακα χρησιμοποιείται για να καθορίσει την επείγουσα προτεραιότητα της ασθενούς κατάστασης και το χρόνο που απαιτείται για την ιατρική αξιολόγηση και αντιμετώπιση.

Level	Name	Max Time
I	Resuscitation	See patient immediately
II	Emergency	Within 15 minutes
III	Urgency	Within 30 minutes
IV	Less Urgency	Within 60 minutes
V	Non-Urgency	Within 120 minutes

Πίνακας 5. Καναδική Triage Κλίμακα και Aquity(ACTAS)

3.7.5 MANCHESTER TRIAGE SCALE (MTS)

Η εν λόγω κλίμακα αναπτύχθηκε από συνεργασία του Βασιλικού Κολεγίου Νοσηλευτικής, του Συνδέσμου Επειγόντων, της Βρετανικής Ένωσης Ατυχημάτων και της Επείγουσας Ιατρικής. Αυτή η κλίμακα διαφέρει από τις Αυστραλιανές και Καναδικές προσεγγίσεις, καθώς βασίζεται σε έναν αλγόριθμο λήψης αποφάσεων.

Περιλαμβάνει 52 διαγράμματα ροής που απαιτούν τη λήψη αποφάσεων βάσει παραγόντων όπως η απειλή για τη ζωή, ο πόνος, η αιμορραγία, το επίπεδο συνείδησης, η θερμοκρασία και η διάρκεια των σημείων και των συμπτωμάτων. Ο αλγόριθμος οδηγεί τη διαδικασία λήψης αποφάσεων με βάση αυτές τις παραμέτρους, με αναφορά και στη συνέχεια συλλογή και ανάλυση πληροφοριών. Αυτή η προσέγγιση αποδεικνύεται ιδιαίτερα χρήσιμη για αρχάριους νοσηλευτές, καθώς απλοποιεί τη διαδικασία λήψης αποφάσεων μέσω καλά καθορισμένων παραμέτρων και έχει ως στόχο την εξοικονόμηση χρόνου.

UK National Triage Scale		
1	Immediate Resuscitation	Patient in need of immediate treatment for preservation of life
2	Very Urgent	Seriously ill or injured patients whose lives are not in immediate danger
3	Urgent	Patients with serious problems, but apparently stable condition
4	Standard	Standard cases without immediate danger or distress
5	Non-Urgency	Patients whose conditions are not true accidents or emergencies

Πίνακας 6. Manchester Triage Κλίμακα (MTS)

3.7.6 ΚΛΙΜΑΚΑ ESI –ΔΕΙΚΤΗΣ ΕΠΕΙΓΟΥΣΑΣ ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑΣ

Η συγκεκριμένη κλίμακα διαλογής αναπτύχθηκε από δύο γιατρούς. Τον Richard Wuerz και David Eitel στις ΗΠΑ (Gilboy, et al., 1999).

Σε σύγκριση με την Αυστραλιανή και την Καναδική κλίμακα, η ESI δεν προσδιορίζει συγκεκριμένα χρονικά πλαίσια για την αξιολόγηση από ιατρό. Επιπλέον, για τα πιο ελαφριά περιστατικά, απαιτεί από τον νοσηλευτή να προβλέψει τις αναμενόμενες ανάγκες σε πόρους, όπως διαγνωστικές εξετάσεις και διαδικασίες, εκτός από τις υπόλοιπες εκτιμήσεις. Η ESI έχει εφαρμοστεί σε διάφορα νοσοκομεία σε διάφορες περιοχές των ΗΠΑ.

Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος αποτελεί ίσως και την μοναδική κλίμακα που εφαρμόστηκε ποτέ στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στο Νοσοκομείο Παπαγεωργίου το 2003. (Μπαϊνούζη, 2015)

3.7.7 ΟΙ ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑΣ ΠΟΝΟΥ

Οι συγκεκριμένες κλίμακες θεωρούνται ίσως οι πιο αξιόπιστες μέθοδοι προσδιορισμού του πόνου. Πρόκειται συνήθως για αριθμητικές κλίμακες μέτρησης 10βαθμιας ή 100βαθμιας.

Για τα παιδιά η πιο σύνηθες κλίμακα είναι η Wong-Baker FACES Κλίμακα Βαθμολόγησης όπου χρησιμοποιείται και για άτομα που δεν μπορούν να επικοινωνήσουν στην ίδια γλώσσα με τον γιατρό. Πρόκειται για εικόνες-πρόσωπα που δείχνουν το πόσο δυνατός είναι ο πόνος



Εικόνα 24. Wong-Baker FACES Pain Rating Scale

Επιπλέον, υπάρχει η Abbey Κλίμακα Πόνου, ένα Αυστραλέζικο εργαλείο που αναπτύχθηκε για την αξιολόγηση της σοβαρότητας του πόνου σε άτομα που πάσχουν από άνοια και δυσκολεύονται να εκφράσουν λεκτικά την αίσθησή τους. Η συνολική βαθμολογία υπολογίζεται με βάση τις απαντήσεις σε έξι κριτήρια, όπου κάθε ένα από αυτά μπορεί να λάβει έως τρεις βαθμούς (0 για απουσία πόνου, 3 για

σοβαρό πόνο). Με ένα συνολικό εύρος 0-18 βαθμών, το σκορ κατηγοριοποιείται ως εξής: 0-2 (κανένας πόνος), 3-7 (ήπιος πόνος), 8-13 (μέτριος πόνος) και >14 (σοβαρός πόνος).

3.7.8 ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΣΥΝΕΙΔΗΣΗΣ

Δύο από τις κλίμακες επιπέδου συνείδησης είναι η κλίμακα AVPU και η κλίμακα της Γλασκόβης.

Η πρώτη πήρε την ονομασία της από τα ακρωνύμια **A**lert, **V**oice, **P**ain, και **U**nresponsive (AVPU). Στην συγκεκριμένη ο ασθενής εκχωρείται με βάση το επίπεδο της συνείδησης

1. Εγρήγορση	Ο ασθενής είναι πλήρως ξύπνιος, ανταποκρίνεται στη φωνή, και ανοίγει τα μάτια αυθόρμητα. Έχει το δικαίωμα να είναι συγκεκριμένος.
2. Λεκτική	Ο ασθενής ανταποκρίνεται στη λεκτική διέγερση. Αυτές οι αντιδράσεις μπορεί να είναι τόσο μικρές όσο ένα βογκητό ή γρήγορο άνοιγμα και κλείνοντας τα μάτια του, ή να φτάσει με το χέρι του.
3. Πόνος	Ο ασθενής αντιδρά σε επώδυνα ερεθίσματα βασίζεται σε παρατηρήσιμη αντίδραση από τα μάτια του, τη λειτουργία του κινητήρα, ή φωνή.
4. Μη ανταπόκριση	Ο ασθενής δεν ανταποκρίνεται.

Πίνακας 7. Κλίμακα AVPU αξιολόγησης επιπέδου συνείδησης

Αντίθετα, η κλίμακα της Γλασκόβης αποτελεί μια νευρολογική μέθοδος αξιολόγησης τραυματία. Κυρίως, χρησιμοποιείται στην έκτακτη προνοσοκομειακή φροντίδα τραυματιών, με σκοπό να καθορίσουμε το βαθμό σοβαρότητας της κατάστασης του τραυματία.

Glasgow Coma Scale	
Best Eye-Opening Response	1 = No response
	2 = To pain
	3 = To speech
	4 = Spontaneously

Best Motor Response	1 = No response
	2 = Extension – abnormal
	3 = Flexion – abnormal
	4 = Flexion – withdrawal
	5 = Localizes pain
	6 = Obeys verbal commands
Best Verbal Response	1 = No Response
	2 = Sounds Incomprehensible
	3 = Speech Inappropriate
	4 = Conversation confused
	5 = Oriented X 3

Πίνακας 8. Glasgow Coma Scale (Νευρολογικής Εκτίμησης)

3.8 ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΝΤΑΤΙΚΗΣ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ & ΜΟΝΑΔΑΣ ΕΝΤΑΤΙΚΗΣ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ – Μ.Ε.Θ.

Η Εντατική Θεραπεία αποτελεί την αφετηρία όλων των θεραπευτικών προσπαθειών προς την προσωρινή αντικατάσταση διαταραγμένων ή ανεσταλμένων ζωτικών λειτουργιών, με στόχο την αποκατάσταση αυτών των λειτουργιών στην επίπεδη αυτόνομης συμβατότητας με τη ζωή. (Ασκητοπούλου, 1991)

Ένας πολύ καλύτερος ορισμός δόθηκε από την Αγγλική Ιατρική Εταιρία όπου αναφέρει ότι εντατική θεραπεία είναι «Η φροντίδα των αρρώστων που κρίνονται ότι μπορεί να αναρρώσουν, αλλά χρειάζονται συνεχή παρακολούθηση και που χρειάζονται ή είναι πιθανόν να χρειασθούν την κατάλληλη χρήση ειδικών τεχνικών από εξειδικευμένο προσωπικό». (Παπακώστα & Παπαδημητρίου, 1984)

Η Μονάδα Εντατικής Θεραπείας αναφέρεται σε έναν λειτουργικά και τεχνολογικά προσαρμοσμένο χώρο, όπου παρέχεται Εντατική Ιατρική φροντίδα, συμπεριλαμβανομένης της εντατικής διάγνωσης, της εντατικής παρακολούθησης, της μετεγχειρητικής ανάκαμψης, της εντατικής θεραπείας και της εντατικής νοσηλευτικής φροντίδας. Σε αυτόν τον χώρο, οι ασθενείς αναρρώνουν με συνεχή παρακολούθηση και την χρήση εξειδικευμένων τεχνικών από εξειδικευμένο ιατρικό και νοσηλευτικό προσωπικό. (Νομικός, 1998)

Υπάρχουν και άλλοι ορισμοί που έχουν δοθεί κυρίως από ασφαλιστικές εταιρίες. Για παράδειγμα, σύμφωνα με την AXA Ασφαλιστική, η Μονάδα Εντατικής Θεραπείας (ΜΕΘ), γνωστή και ως Intensive Care Unit (ICU) στη διεθνή ορολογία, ορίζεται ως ένα εξειδικευμένο τμήμα του νοσοκομείου που παρέχει ιατρική και χειρουργική φροντίδα σε ασθενείς που εισέρχονται στο νοσοκομείο αντιμετωπίζοντας εξαιρετικά σοβαρές καταστάσεις απειλητικές για τη ζωή τους.

Επίσης, σύμφωνα με την ασφαλιστική εταιρία Generali, αυτή η ειδική μονάδα του νοσοκομείου προορίζεται για ασθενείς οι οποίοι απαιτούν συνεχή ιατρική παρακολούθηση λόγω της κατάστασης της υγείας τους. Σημειώνεται επίσης ότι τα δωμάτια ανάρρωσης, τα δωμάτια απλής νοσηλείας και οι μονάδες παρακολούθησης και ενισχυμένης φροντίδας δεν χαρακτηρίζονται ως Μονάδες Εντατικής Θεραπείας. (Μέντωρ Διαμεσολαβητής, 2018)

3.9 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ Μ.Ε.Θ.

Καθώς εξετάζουμε την ιστορική εξέλιξη της Εντατικής Θεραπείας, παρατηρούμε την πρακτική της ατομικής νοσηλευτικής φροντίδας, γνωστή ως "κατ' οίκον νοσηλεία". Σε αυτήν τη μέθοδο, ένας νοσηλευτής αναλάμβανε τη φροντίδα ενός μόνο ασθενούς ή μιας μικρής ομάδας ασθενών. Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλιζονταν η άμεση παρακολούθηση του κάθε ασθενούς και η ικανοποίηση όλων των αναγκών τους. Καθώς τα χρόνια προχωρούσαν, η εφαρμογή αυτής της μεθόδου περιορίστηκε στις Μονάδες Εντατικής Θεραπείας (ΜΕΘ), κυρίως λόγω έλλειψης νοσηλευτικού προσωπικού. (Λανάρα, 1997)

Η προηγούμενη κατάσταση που προηγείται των Μονάδων Εντατικής Θεραπείας (ΜΕΘ) είναι οι μετεγχειρητικοί θάλαμοι ανανήψεως. Πριν περίπου 150 χρόνια, το έτος 1854, κατά τη διάρκεια του Κριμαϊκού πολέμου (1853-1856), η Florence Nightingale πρότεινε την ίδρυση θαλάμων μετεγχειρητικής παρακολούθησης. Αυτοί οι θάλαμοι είχαν το πλεονέκτημα ότι επέτρεπαν την ευκολότερη και πιο οικονομική συγκέντρωση των ασθενών που απαιτούσαν εντατική ιατρική και νοσηλευτική φροντίδα.

Στη συνέχεια, το 1923, στο Νοσοκομείο John Hopkins στη Βαλτιμόρη, δημιουργήθηκε μια μικρή μονάδα με 3 κρεβάτια για τη μετεγχειρητική φροντίδα νευροχειρουργικών ασθενών. Το 1927, στο παιδιατρικό νοσοκομείο "Sarah Morris"

στο Σικάγο, δημιουργήθηκε η πρώτη μονάδα φροντίδας πρόωρων.² Το 1929, οι Drinker και Shaw στη Βοστώνη ανέπτυξαν τον πρώτο αναπνευστήρα αρνητικής πίεσης, γνωστό και ως "Drinker & Shaw tank". Αυτή η καινοτόμα συσκευή είχε τη δυνατότητα της μαζικής παραγωγής και αποτέλεσε ένα σημαντικό βήμα στον τομέα της ιατρικής³. Επίσης, το 1929, ο Walter Edward Dandy δημιούργησε τη "Μονάδα Αυξημένης Φροντίδας, ΜΑΦ" για τη μετεγχειρητική παρακολούθηση των νευροχειρουργικών περιστατικών στο Νοσοκομείο "Johns Hopkins" στη Βαλτιμόρη των Ηνωμένων Πολιτειών. Αυτή η μονάδα αποτέλεσε σημαντικό βήμα στην ανάπτυξη της μετεγχειρητικής φροντίδας στον τομέα της νευροχειρουργίας.⁴ Το 1930, στο Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο της Γερμανίας, ο Δρ. Kirschner ίδρυσε έναν μικτό θάλαμο ανανήψεως και εντατικής παρακολούθησης. Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου (1939-1945), δημιουργήθηκαν εκσυγχρονισμένες Μονάδες Εντατικής Θεραπείας στην Ευρώπη για τη φροντίδα των βαρέως τραυματισμένων στα στρατιωτικά νοσοκομεία. Ταυτόχρονα, προέκυψε η ανάγκη διάκρισης των Μονάδων Εντατικής Θεραπείας ανάλογα με την ειδικότητα, ιδίως στις Ηνωμένες Πολιτείες, όπου χρειάστηκε να παρέχουν φροντίδα σε άτομα που είχαν υποστεί μαζικούς τραυματισμούς, εγκαύματα, καρδιοπάθειες κ.λπ. Αυτές οι εξελίξεις οδήγησαν σε σημαντική μείωση της θνησιμότητας από 80% το 1946 σε μόλις 17% το 1949. (Παπακώστα & Παπαδημητρίου, 1984)

Φαίνεται ότι η πρώτη Μονάδα Εντατικής Θεραπείας (ΜΕΘ) ως έχει τη σημερινή μορφή ιδρύθηκε στην Κοπεγχάγη το 1953, κατά τη διάρκεια μιας επιδημίας πολιομυελίτιδας. Εξαιτίας της προσβολής των αναπνευστικών μυών, πολλοί ασθενείς απαιτούσαν σταθερό αερισμό και παρακολούθηση.

Κατά τη δεκαετία του 1960, αναγνωρίστηκε η σημαντικότητα των καρδιακών αρρυθμιών ως αίτια νοσηρότητας και θνητότητας στην περίπτωση εμφράγματος του μυοκαρδίου. Αυτό οδήγησε στην εφαρμογή της συνεχούς παρακολούθησης της καρδιακής λειτουργίας (monitoring) ως στάνταρ πρακτική στις Μ.Ε.Θ.. (Taktouri, 2004)

²The Sarah Morris Children's Hospital, Chicago IL, was housed in this building (1913-1968).

http://www.hektoeninternational.org/index.php?option=com_content&view=article&id=689

³ 1927 Philip Drinker and Louis Agassiz Shaw, at Harvard University, devised a version of a tank respirator that could maintain respiration artificially, until a person could breathe independently.

<http://amhistory.si.edu/polio/howpolio/ironlung.htm>

⁴ Walter Dandy. https://en.wikipedia.org/wiki/Walter_Dandy

Στην Ελλάδα η πρώτη πολυδύναμη μονάδα εντατικής θεραπείας δημιουργήθηκε στο Λαϊκό Νοσοκομείο Αθηνών το 1978. (Μέντωρ Διαμεσολαβητής, 2017) Δυστυχώς, αυτή η προσπάθεια κατέληξε σε αποτυχία λόγω μεγάλων προβλημάτων στην οργάνωση. Έτσι, η πρώτη οργανωμένη Μονάδα Εντατικής Θεραπείας (ΜΕΘ) ιδρύθηκε στο νοσοκομείο "Σωτηρία" στην Αθήνα για να αντιμετωπιστούν οι ανάγκες που προέκυψαν από τη νόσο της πολιομυελίτιδας. Στην αρχή λειτούργησε ως Κέντρο Αναπνευστικής Ανεπάρκειας (Κ.Α.Α.) και μετά το 1980 ως Μονάδα Εντατικής Θεραπείας (ΜΕΘ). (Πουλοπούλου, 2002) Από τότε, έχουν ιδρυθεί αρκετές Μονάδες Εντατικής Θεραπείας (ΜΕΘ) σε πολλά νοσοκομεία της χώρας, αλλά δυστυχώς δεν έχουν καλύψει πλήρως τις ανάγκες των πολιτών. Αυτή τη στιγμή, συνολικά στην Ελλάδα έχουμε περίπου 750 πλήρως εξοπλισμένες κλίνες ΜΕΘ, αλλά είναι ανοιχτές μόνο 680 κυρίως λόγω έλλειψης επαρκούς προσωπικού. (Real.gr, 2018)

Γενικότερα, υπήρξαν πολλοί λόγοι που συνέβαλαν στην ίδρυση των Μονάδων Εντατικής Θεραπείας (ΜΕΘ) κατά τη διάρκεια όλων αυτών των χρόνων. Ορισμένοι από αυτούς περιλαμβάνουν:

Α) Η πρόοδος της ιατρικής, ειδικά η σημαντική εξέλιξη στον τομέα της χειρουργικής και της αναισθησιολογίας.

Β) Η τελειοποίηση των μηχανικών μέσων υποστήριξης και παρακολούθησης της ανθρώπινης φυσιολογίας.

Γ) Οι επιπτώσεις της τεχνολογικής εξέλιξης στην υγεία του ανθρώπου.

Δ) Οι πολύπλοκες επεμβάσεις στο καρδιαγγειακό σύστημα.

Ε) Η αύξηση του αριθμού των ανθρώπων που λαμβάνουν μεγάλες δόσεις δηλητηριωδών φαρμάκων για λόγους αυτοκτονίας.

ΣΤ) Η ιατρική πείρα, η οποία έδειξε ότι ασθενείς που υποφέρουν από σοβαρή αναπνευστική ανεπάρκεια μπορούν να βελτιωθούν με τη χρήση εξειδικευμένων μηχανημάτων υποστήριξης της αναπνευστικής λειτουργίας.

Ζ) Η τεράστια αύξηση των ατυχημάτων. Είτε αυτά είναι από φυσικές καταστροφές όπως οι πυρκαγιές, οι πλημμύρες κ.α. είτε ανθρωπογενείς όπως είναι τα τροχαία. (Μπιλάλης, 1983)

Σε αυτό το σημείο να διευκρινίσουμε πως θα ασχοληθούμε μόνο με τους κινδύνους από τις καταστροφές (φυσικές και ανθρωπογενείς) τα οποία και αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο.

3.10 ΔΙΑΚΡΙΣΕΙΣ Μ.Ε.Θ.

Οι Μ.Ε.Θ. μπορούν να διακριθούν ανάλογα με τον τύπο των περιστατικών που νοσηλεύουν σε δύο βασικές κατηγορίες. Σε πολυδύναμες ή γενικές και σε ειδικές. (Μουλούδη & Γεωργόπουλος, 2001)

Πολυδύναμες ή Γενικές Μονάδες Εντατικής Θεραπείας: Αυτές οι ΜΕΘ έχουν τη δυνατότητα να νοσηλεύουν ασθενείς όλων των ειδικοτήτων και ασχολούνται με τη συνολική κάλυψη των αναγκών του νοσοκομείου, ανεξάρτητα από την ύπαρξη ειδικών μονάδων. Ο διαχωρισμός σε εξειδικευμένες μονάδες, όπως χειρουργικές, παθολογικές κ.λπ., οδηγεί σε αυξημένο κόστος λειτουργίας και απαιτεί επιπλέον εξοπλισμό. Η παρουσία εντατικολόγων για 24ωρη φροντίδα των ασθενών έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει την έκβαση των ασθενών και μειώνει το κόστος νοσηλείας τους. Αυτές οι μονάδες κατατάσσονται σε επίπεδα I, II και III ανάλογα με τον τύπο του νοσοκομείου που εξυπηρετούν.

- **Μονάδες Εντατικής Θεραπείας επιπέδου I:** Καλύπτουν μικρά τοπικά νοσοκομεία και λειτουργούν κυρίως ως Μονάδες Αυξημένης Φροντίδας (Μ.Α.Φ.). Διαθέτουν δυνατότητα στενής νοσηλευτικής παρακολούθησης, άμεσης αναζωογόνησης και μηχανικής υποστήριξης της αναπνοής.
- **Μονάδες Εντατικής Θεραπείας επιπέδου II:** Αναφέρονται σε μεγαλύτερα γενικά νοσοκομεία δευτεροβάθμιας περίθαλψης. Έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν μεγαλύτερης διάρκειας μηχανική υποστήριξη της αναπνοής και παρέχουν παθολογική, φυσιοθεραπευτική και ακτινολογική υποστήριξη ανά πάσα στιγμή.
- **Μονάδες Εντατικής Θεραπείας επιπέδου III:** Ανήκουν στα τριτοβάθμια νοσοκομεία και προσφέρουν πλήρη εξυπηρέτηση εντατικής θεραπείας για όλες τις ειδικότητες. Διαθέτουν τον απαραίτητο εξοπλισμό για την αντιμετώπιση όλων των καθημερινών περιστατικών του νοσοκομείου και καλύπτονται από εξειδικευμένο ιατρικό, νοσηλευτικό, παραϊατρικό και τεχνικό προσωπικό. Επιτρέπουν πολύπλοκες μεθόδους διάγνωσης και θεραπείας, καλύπτοντας όλες τις ειδικότητες ανά πάσα στιγμή.

Ειδικές Μονάδες Εντατικής Θεραπείας: Αυτές οι μονάδες αναλαμβάνουν τη νοσηλεία συγκεκριμένων κατηγοριών περιστατικών, όπως η Μονάδα Εμφραγμάτων,

η Μονάδα Εγκαυμάτων, η Καρδιοχειρουργική μονάδα, η Μονάδα Μεταμοσχεύσεων, η Μονάδα Αποσυμπίεσης κ.λπ. Η ανάγκη για τέτοιες μονάδες προκύπτει από τις ειδικές τοπικές ανάγκες και τις εξειδικευμένες υπηρεσίες που προσφέρει το νοσοκομείο.

Στον παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε πιο ευδιάκριτα αυτό το διαχωρισμό των Μ.Ε.Θ.

Πολυδύναμες ή Γενικές	Επίπεδο I : Μικρών νοσοκομείων
	Επίπεδο II : Γενικών νοσοκομείων
	Επίπεδο III : Πανεπιστημιακών νοσοκομείων
Ειδικές	Εμφραγμάτων
	Εγκαυμάτων
	Καρδιοχειρουργικές
	Μεταμοσχεύσεων
	Αποσυμπίεσης

Πίνακας 9. Είδη Μ.Ε.Θ.

Στην παρούσα διδακτορική εργασία θα ασχοληθούμε αποκλειστικά με τις Πολυδύναμες ή αλλιώς Γενικές Μ.Ε.Θ. του νομού της Αττικής, αποκλείοντας όλες τις ειδικές αλλά και τις στρατιωτικές Μ.Ε.Θ.. Ενδεικτικά μπορούμε να δούμε στον παρακάτω πίνακα αυτές τις Μ.Ε.Θ και τις κλίνες που διαθέτει η κάθε μία.

ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ	Σύνολο Κλινών Μ.Ε.Θ.
ΝΙΜΙΤΣ	7
ΚΑΤ	8
ΚΟΡΓΙΑΛΕΝΕΙΟ ΜΠΕΝΑΚΕΙΟ ΝΕΕΣ	14
ΓΝΑ ΙΠΠΟΚΡΑΤΕΙΟ	7
ΚΩΝΣΤΑΝΤΟΠΟΥΛΕΙΟ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ	9
ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΠΑΙΔΩΝ " Π. & Α. ΚΥΡΙΑΚΟΥ"	8
Γ.Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ "ΣΙΣΜΑΝΟΓΛΕΙΟ"	12
ΠΑΙΔΩΝ ΠΕΝΤΕΛΗΣ	6
ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΠΑΙΔΩΝ 'Η ΑΓΙΑ ΣΟΦΙΑ'	10
ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΑΣΚΛΗΠΕΙΟΥ ΒΟΥΛΑΣ	12
ΓΝΑ Γ. ΓΕΝΝΗΜΑΤΑΣ ΑΘΗΝΩΝ	12
ΛΑΙΚΟ ΓΕΝΙΚΟ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ - ΓΝΑ ΛΑΙΚΟ	19

ΓΝΑ ΚΑΤ ΕΚΑ	13
ΓΕΝΙΚΟ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ Ο ΕΥΑΓΓΕΛΙΣΜΟΣ	30
ΓΕΝΙΚΟ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΝΙΚΑΙΑΣ ΠΕΙΡΑΙΑ "ΑΓ. ΠΑΝΤΕΛΕΗΜΩΝ"	8
ΤΖΑΝΕΙΟ	12
ΘΡΙΑΣΙΟ ΓΕΝΙΚΟ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΕΛΕΥΣΙΝΑΣ - Γ.Ν.Ε. "ΘΡΙΑΣΙΟ"	16
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΓΕΝΙΚΟ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΑΤΤΙΚΟΝ	27
ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ & ΝΟΣΗΛΕΥΤΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ ΔΡΑΓΑΝΗ ΑΕ - MEDITERRANEO HOSPITAL	7
ΕΥΡΩΚΛΙΝΙΚΗ ΑΘΗΝΩΝ ΑΕ	1
ΪΑΣΙΣ ΠΕΙΡΑΙΑ ΟΜΙΛΟΥ ΙΑΤΡΙΚΟΥ ΑΘΗΝΩΝ	24
ΜΗΤΕΡΑ ΑΕ	8
ΕΥΡΟΜΕΔΙΣΤΑ ΑΕ ΚΛΙΝΙΚΗ «ΑΘΗΝΑΙΟΝ»	4
ΑΤΤΙΚΟ ΘΕΡΑΠΕΥΤΗΡΙΟ	5
ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ ΑΘΗΝΩΝ ΑΕ – CENTRAL CLINIC	3
ΠΕΙΡΑΪΚΟ ΘΕΡΑΠΕΥΤΗΡΙΟ ΑΕ	4
ΥΓΕΙΑ ΑΕ	33
ΙΑΣΩ GENERAL	44
ΠΑΝΑΓΙΑ ΟΔΗΓΗΤΡΙΑ ΠΕΙΡΑΙΑ	4
ΕΥΓΕΝΙΔΕΙΟ ΘΕΡΑΠΕΥΤΗΡΙΟ	1
ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΕΡΡΙΚΟΣ ΝΤΥΝΑΝ	38
ΜΕΤΡΟΠΟΛΙΤΑΝ	14
ΒΙΟΚΛΙΝΙΚΗ ΑΘΗΝΩΝ – ΟΜΙΛΟΣ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ	3
ΒΟΥΓΙΟΥΚΚΛΑΚΕΙΟ ΓΕΝΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ Α.Ε.	7
ΡΕΑ ΜΑΙΕΥΤΙΚΗ ΓΥΝΑΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΚΛΙΝΙΚΗ	6

Πίνακας 10. Μ.Ε.Θ. Νομού Αττικής και κλίνες αυτών.

Στην αρχή με κόκκινο χρώμα βρίσκονται όλες οι Μ.Ε.Θ. του Νομού Αττικής που είναι σε Δημόσια νοσοκομεία και στην συνέχεια με μπλε χρώμα όσες είναι σε Ιδιωτικά νοσοκομεία.

3.11 ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΑ – E.M.S.

Πολλές φορές επειδή και το παραμικρό δευτερόλεπτο μπορεί να παίζει το ρόλο του στο να σωθεί η να χαθεί ή ζωή ενός ανθρώπου, έχει οδηγήσει στην ανάγκη να προσφέρεται Εντατική Θεραπεία ακόμη και κατά την μεταφορά του ασθενή προς το νοσοκομείο μέσω των ασθενοφόρων. Για αυτόν τον λόγο, η κύρια αποστολή των ασθενοφόρων είναι να παρέχουν άμεση προνοσοκομειακή φροντίδα μέσω των υπηρεσιών Επείγουσας Ιατρικής Φροντίδας (E.M.S.), σε τραυματίες ή ασθενείς που βρίσκονται στη σκηνή ενός ατυχήματος ή πάσχουν από ξαφνική ασθένεια. Επιπλέον,

είναι υπεύθυνα για την έγκαιρη και ασφαλή μεταφορά αυτών των ασθενών στο κοντινότερο κατάλληλο νοσοκομείο.

Τα ασθενοφόρα επιπλέον εκτελούν δρομολόγια όπως μεταφορά ασθενών προς και από νοσοκομεία, ιδρύματα ευγηρίας, σπίτια, ιδιωτικές κλινικές και άλλα ιδρύματα. Επίσης, καλύπτουν την ιατρική κάλυψη αθλητικών εκδηλώσεων των σχολείων του Υπουργείου Παιδείας καθώς και διάφορων άλλων αθλητικών και κοινωνικών εκδηλώσεων. Σε αρκετές περιπτώσεις, απαιτείται η συγχρονισμένη λειτουργία περισσότερων από ενός ασθενοφόρων, αν και αυτές οι περιπτώσεις είναι σπάνιες.⁵

Τα οχήματα αυτά επανδρώνονται από συνοδούς ιατρούς, οι οποίοι είναι εξειδικευμένοι στην αντιμετώπιση επειγόντων περιστατικών, και διαθέτουν άρτια εκπαιδευμένα πληρώματα. Τα πληρώματα αυτά είναι ικανά να αντιμετωπίσουν ακόμα και τα πλέον απαιτητικά περιστατικά. Επιπλέον, η υπηρεσία E.M.S διαθέτει ένα Σύστημα Τηλεϊατρικής, το οποίο βοηθά στην εξασφάλιση της βέλτιστης φροντίδας για τα περιστατικά που αντιμετωπίζει.⁶

3.12 ΕΝΑΕΡΙΑ ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΑΣΘΕΝΩΝ

Επειδή για διάφορους λόγους όπως είναι οι καιρικές συνθήκες ή η απόμακρη γεωγραφική περιοχή καθιστούν δύσκολη ή και αδύνατη την έγκαιρη μετάβαση ενός ασθενοφόρου προς τα εκεί η Πολεμική Αεροπορία έχει παραχωρήσει τα Super Puma που διαθέτει και τα Chinook έτσι ώστε να υπάρχει μία άμεση και καίρια ανταπόκριση.

Επίσης αερομεταφορές μπορούν να γίνονται και με C-130 ή και Canadair⁷ της Πολεμικής Αεροπορίας, με την προϋπόθεση ότι θα χρειαστεί και επίγειος τρόπος μεταφοράς από και προς το αεροδρόμιο. Εμείς εδώ όμως θα ασχοληθούμε μόνο με τα επίγεια μέσα.

⁵Υπηρεσία ασθενοφόρων. Αποστολή και Αρμοδιότητες
https://www.moh.gov.cy/moh/mphs/as.nsf/as001_gr/as001_gr?OpenDocument

⁶ Ασθενοφόρα EMS. <http://www.iatrikofalirou.gr/el/node/1513>

⁷ Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται είναι τα CL-215 & CL-415. Τα οποία και έχουν χώρο μεταφοράς έως και 2 φορείων αλλά και δυνατότητα προσθαλάσσιωσης για εντοπισμό και μεταφορά τραυματιών μέσα στην θάλασσα.

3.12.1 ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΑ SUPER PUMA

Το Super Puma είναι ένα ελικόπτερο γενικής χρήσης, κατάλληλο για χρήση τόσο σε πολιτικό όσο και σε στρατιωτικό πλαίσιο. Έχει μήκος 16,3 μέτρα και μπορεί να μεταφέρει περίπου 18 άτομα. Η μέγιστη ταχύτητά του ανέρχεται στα 278 χιλιόμετρα την ώρα.

Το 2006, η Πολεμική Αεροπορία ίδρυσε την 384 Μοίρα Έρευνας & Διάσωσης "Puma". Αυτή η μοίρα βασίζεται στο πολεμικό αεροδρόμιο της Ελευσίνας και ενσωμάτωσε στο στόλο της όλα τα ελικόπτερα Super Puma. Συνολικά, στην υπηρεσία της υπάρχουν 12 αεροσκάφη αυτού του τύπου. Τα εν λόγω ελικόπτερα χρησιμοποιούνται για αεροδιακομιδές, αποστολές έρευνας και διάσωσης, καθώς και για αποστολές έρευνας και διάσωσης μάχης. Ο εξοπλισμός που διαθέτει του δίνει την δυνατότητα να μεταφέρει έως και 6 ανθρώπους πάνω σε φορείο προς τα πλησιέστερα νοσοκομεία. Το μήκος του δίνει την δυνατότητα να έχει μία εύκολη πρόσβαση στα νοσοκομεία καθώς όλα ή τουλάχιστον τα μεγαλύτερα διαθέτουν ελικοδρόμιο στην οροφή τους.⁸

Το μόνο αρνητικό στοιχείο που θα μπορούσε να ειπωθεί είναι ο κόστος ανά ώρα πτήσης το οποίο και ανέρχεται στο ποσό των €3.583,64⁹

3.12.2 ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΑ CHINOOK

Το ελικόπτερο Chinook είναι ένα ελικόπτερο με δύο κινητήρες, κατασκευασμένο στις Ηνωμένες Πολιτείες, και χρησιμοποιείται κυρίως για τη μεταφορά ανθρώπων ή αντικειμένων. Έχει πολύ μεγαλύτερο μήκος από τα Super Puma καθώς φτάνει τα 30 μέτρα και μπορεί να μεταφέρει έως και 44 επιβάτες ή 33 αλεξιπτωτιστές ή 24 άτομα πάνω σε φορείο. Επίσης η ταχύτητα πλεύσης του είναι τα 222 χιλιόμετρα την ώρα και η μέγιστή του ταχύτητα αγγίζει τα 315 χιλιόμετρα την ώρα.¹⁰

⁸ Eurocopter AS 332 Super Puma https://el.wikipedia.org/wiki/Eurocopter_AS_332_Super_Puma

⁹ Πόσο κοστίζει η μεταφορά του Αγίου Φωτός στην Ελλάδα; <https://www.factchecker.gr/2018/04/06/kostos-agiou-fotos/>

¹⁰ CH-47D Chinook <http://www.army.gr/el/organosi/oplika-systimata/ch-47d-chinook?fbclid=IwAR2Bj8jWKtbXpLGip4EMXiQEYEFs6RiiQUqKISEtBDALUR7VK3ZpZkEgy0I>

Η Ελλάδα αυτή τη στιγμή διαθέτει 30 πλήρως εξοπλισμένα Chinook τα οποία και βρίσκονται στο πολεμικό αεροδρόμιο στην Πάχη –Μέγαρα.¹¹

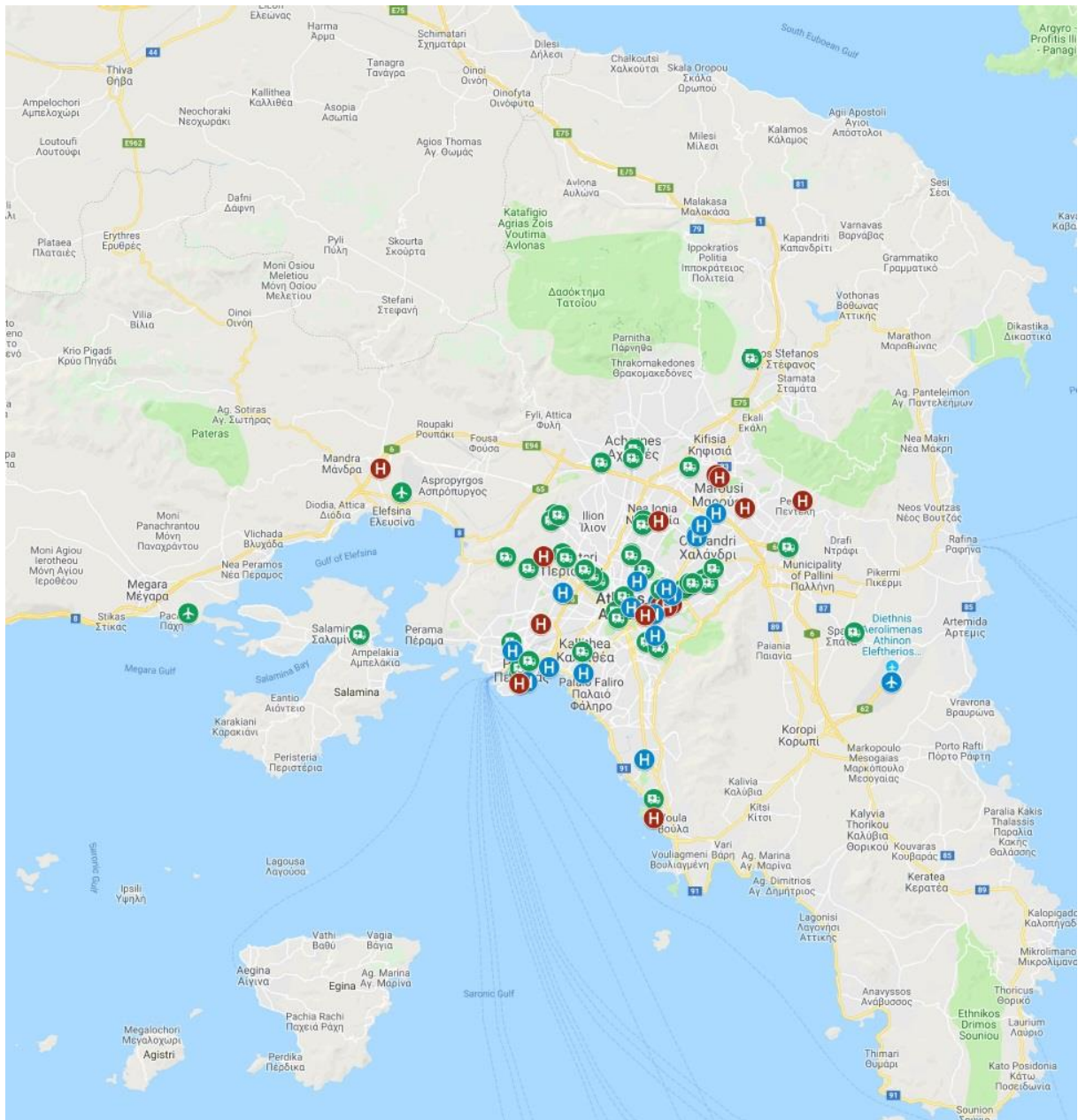
Το μόνο αρνητικό στοιχείο που θα μπορούσε να ειπωθεί είναι ο κόστος ανά ώρα πτήσης το οποίο και ανέρχεται στο ποσό των €5.744,82.¹²

3.13 Η ΕΙΚΟΝΑ ΤΩΝ Μ.Ε.Θ., ΤΩΝ ΑΣΘΕΝΟΦΟΡΩΝ & ΤΩΝ ΕΛΙΚΟΠΤΕΡΩΝ ΣΤΗΝ ΑΤΤΙΚΗ

Σε μία προσπάθεια να έχουμε μία καλύτερη εικόνα για το τι έχουμε να αντιμετωπίσουμε δοκιμάσαμε να οπτικοποιήσουμε τις Μ.Ε.Θ , τους σταθμούς των ασθενοφόρων και τα σημεία όπου βρίσκονται τα ελικόπτερα Super Puma και Chinook που διαθέτει αυτή την στιγμή η Αττική. Έτσι, στον παρακάτω χάρτη μπορούμε να δούμε που ακριβώς βρίσκονται όλοι οι σταθμοί ασθενοφόρων και ελικοπτέρων (με πράσινο σημάδι) του νομού Αττικής αλλά και οι δημόσιες (με κόκκινο σημάδι) και ιδιωτικές Μ.Ε.Θ. (με μπλε σημάδι).

¹¹ Η άφιξη των πρώτων μεταχειρισμένων CH-47D Chinook στην Ελλάδα και η επιχειρησιακή τους αξιοποίηση https://www.viadiplomacy.gr/afixi-ton-proton-metachirismenon-ch-47d-chinook-stin-ellada-ke-epichirisiaki-tous-axiopiisi/?fbclid=IwAR32-m0ADz3g0Sq8VXtcd4Gxjfn_bXV3-Kxi4BsDN9g3xjLIGNihEpJXhBU

¹² Πόσο κοστίζει η μεταφορά του Αγίου Φωτός στην Ελλάδα; <https://www.factchecker.gr/2018/04/06/kostos-agiou-fotos/>



Εικόνα 25. Χάρτης Νομού Αττικής με Δημόσιες & Ιδιωτικές Μ.Ε.Θ. και με τους σταθμούς των ασθενοφόρων.

Ο συγκεκριμένος χάρτης δημιουργήθηκε μέσω του google maps αφού βρέθηκαν οι συντεταγμένες όλων των προαναφερθέντων ιδιωτικών και δημόσιων Μ.Ε.Θ., των ασθενοφόρων αλλά και των σημείων που βρίσκονται τα ελικόπτερα Super Puma και Chinook.

Με μία πρώτη παρατήρηση που έγινε από το χάρτη θα μπορούσαμε να πούμε πως ο κύριος όγκος των Μ.Ε.Θ. και των ασθενοφόρων βρίσκονται στο κέντρο και στα Δυτικά προάστια, σε αντίθεση με την Νότιο-Ανατολική περιοχή της Αττικής και

ιδιαίτερα στην περιοχή προς το Σούνιο όπου δεν υπάρχει σχεδόν τίποτα. Επίσης, τα πιο κοντινά ασθενοφόρα και Μ.Ε.Θ. βρίσκονται στην περιοχή της Βούλας και του αεροδρομίου Αθηνών.

Όλες αυτές οι Μ.Ε.Θ. είναι απαραίτητο να μπορούν να εξυπηρετήσουν όσο το δυνατόν περισσότερους πολίτες όπου σύμφωνα με την απογραφή του πληθυσμού το 2011 από την Ελληνική Στατιστική Αρχή ήταν 3.827.624. Έτσι ουσιαστικά μπορούμε να πούμε πως αντιστοιχεί μία Μ.Ε.Θ. σε 109.361 πολίτες ή αλλιώς ότι υπάρχει μία αναλογία 1:109.361.

3.14 ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΥΣΤΕΡΑ ΑΠΟ ΜΙΑ ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ

Σε μία προσπάθεια να έχουμε μία καλύτερη εικόνα για το τι έχουμε να αντιμετωπίσουμε θα περιγράψουμε στην πορεία το πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε αρκετά συχνά στη χώρα μας ύστερα από μία φυσική καταστροφή, ύστερα από την οποία θα πρέπει να υπάρξει μία άμεση ανταπόκριση για παροχή ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης σε αρκετούς ασθενείς. (Σαρίδης, et al., 2010)

Ο όρος "φυσική καταστροφή" αναφέρεται στο γεγονός όταν ένα φυσικό φαινόμενο έχει ως αποτέλεσμα αρνητικές επιπτώσεις μεγάλης κλίμακας, είτε σε κοινωνικό επίπεδο είτε σε οικονομικό επίπεδο, λόγω της εκδήλωσής του σε συγκεκριμένο χρονικό και χωρικό πλαίσιο. Ένα φαινόμενο θεωρείται καταστροφικό όταν προκαλεί σημαντικές απώλειες και ζημιές, είτε στην κοινωνία είτε στην οικονομία. (Δελλαδέτσιμας, 2009) (Λέκκας, 2000) (Μακρόπουλος, 2006) (Smith, 1996) Οι καταστροφές μπορούν να χωριστούν σε δύο κύριες κατηγορίες, ανάλογα με τα αίτια που τις προκαλούν: φυσικές και ανθρωπογενείς ή τεχνολογικές.

Οι φυσικές καταστροφές προκαλούνται από φυσικά φαινόμενα, όπως σεισμοί, τυφώνες, πλημμύρες, πυρκαγιές και άλλα. Δεν είναι αποτέλεσμα ανθρώπινων επεμβάσεων, αλλά συνήθως η έκταση της ζημίας μπορεί να είναι επιδεινωμένη από την ανεπαρκή ανάπτυξη και τον ανεπαρκή σχεδιασμό του ανθρώπινου περιβάλλοντος. Συνεπώς, οι φυσικές καταστροφές δεν είναι απλώς τυχαία φαινόμενα, αλλά συνδέονται σε μεγάλο βαθμό με την αποτυχία στην αποτελεσματική

ανάπτυξη και την έλλειψη μέτρων για την πρόληψή τους. (Pelham, et al., 2011)
Τρανταχτά παραδείγματα φυσικών καταστροφών είναι τα ακόλουθα:

- 1) Το πρόσφατο Ευρωπαϊκό κύμα καύσωνα του 2003, που προκάλεσε πάνω από 70.000 θύματα.¹³
- 2) Το κύμα ψύχους του Ιανουαρίου 2017, που προήλθε από έναν ατμοσφαιρικό αντικυκλώνα και πλήγωσε κυρίως χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης, με τον θάνατο τουλάχιστον 61 ανθρώπων. (Rawlinson, 2017)
- 3) Οι έντονοι σεισμοί, για τους οποίους η Ελλάδα κατέχει την πρώτη θέση στην Ευρώπη και την έκτη παγκοσμίως. (Σαρίδης, et al., 2010) Κάθε χρόνο καταγράφονται πάνω από 3.000 σεισμικά επεισόδια, αλλά μόνο 7 έως 11 από αυτά προκαλούν σημαντικές απώλειες σε ανθρώπινες ζωές, ενώ οι συνολικές απώλειες υπερβαίνουν τις 10.000 ανθρώπινες ζωές λόγω συνδυασμού διαφόρων παραγόντων.
- 4) Η ηφαιστειογενής δραστηριότητα, με τα ηφαίστεια των Λιχάδων, του Σουσακίου, του Πόρου, των Μεθάνων, της Μήλου, της Κιμώλου, της Σαντορίνης, της Αντιπάρου, των Χριστιανιών, της Κω και της Νισύρου στον ελληνικό χώρο. Τα ηφαίστεια αυτά μπορούν να προκαλέσουν ηφαιστειακές εκρήξεις, με τα πιο πρόσφατα παραδείγματα να χρονολογούνται από το 1950 για τη Σαντορίνη και από το 1888 για τη Νίσυρο.¹⁴
- 5) Πλημμύρες, οι οποίες ύστερα από έντονες βροχοπτώσεις είχαν ως αποτέλεσμα να καταστραφεί μέρος του οδικού δικτύου από κατολισθήσεις, να παρασυρθούν και να πεθάνουν άνθρωποι και τέλος να σημειωθούν σοβαρές ζημιές σε πολλά σπίτια, με χαρακτηριστικότερη περίπτωση τις φονικές πλημμύρες το Μάιο του 2017 στο Δήμο Μάνδρας με 25 νεκρούς.¹⁵

¹³ Έντονα καιρικά φαινόμενα <https://www.civilprotection.gr/el/έντονα-καιρικά-φαινόμενα-0>

¹⁴ Ηφαίστεια.

<https://www.civilprotection.gr/el/%CE%B7%CF%86%CE%B1%CE%AF%CF%83%CF%84%CE%B5%CE%B9%CE%B1>

¹⁵ Πλημμύρες Μάνδρας: Αθώα η Ρένα Δούρου – Ένοχη η δήμαρχος και επτά κατηγορούμενοι

<https://dytikematies.gr/news/hellas/plimmyres-mandra-athoa-i-rena-doyroy-enochi-i-dimarchos-kai-epta-katigoroymenoi/>

- 6) Καταστρεπτικά τσουνάμι, τα οποία εκδηλώνονται συνήθως ύστερα από κάποιο σεισμό με το μεγαλύτερο να έχει καταγραφεί στις 10 Ιουλίου του 1958 στον Κόλπο Λιτούια στην Αλάσκα και είχε ύψος 524 μέτρα.¹⁶
- 7) Δασικές πυρκαγιές, οι οποίες ιστορικά ξεσπούν δυστυχώς κάθε καλοκαίρι με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα το διπλό μέτωπο που είχαμε να αντιμετωπίσουμε στις 23 Ιουλίου 2018 στην Αττική. Υπήρξαν δύο σημαντικές πυρκαγιές στην περιοχή, η πρώτη στην Κινέττα και η δεύτερη κοντά στο Νταού Πεντέλης. Στη δεύτερη περίπτωση, η πυρκαγιά εξαπλώθηκε και διασχίσε τους οικισμούς Νέος Βουτζάς και Μάτι, προκαλώντας τον θάνατο 102 ανθρώπων και τραυματίζοντας δεκάδες άλλους. Από αυτές τις δύο πυρκαγιές, χιλιάδες σπίτια καταστράφηκαν ολοσχερώς ή υπέστησαν ζημιές, ενώ δεκάδες χιλιάδες στρέμματα δασικής έκτασης καταστράφηκαν από την πυρκαγιά.¹⁷ Η πυρκαγιά στην Κινέττα φαίνεται ότι ξεκίνησε από καλώδια σε κολώνα της ΔΕΗ, προκαλώντας την εξάπλωση της φωτιάς. Στην πυρκαγιά στο Μάτι, υπάρχουν αναφορές που δείχνουν ότι η φωτιά προκλήθηκε από έναν 65χρονο που άναψε φωτιά για να κάψει κλαδιά. Αυτή η αδικαιολόγητη ενέργεια συνέβαλε στην εξάπλωση της πυρκαγιάς και την καταστροφή πολλών ζώων και περιουσιών.¹⁸ (Λαμπρόπουλος, 2018) Η πυρκαγιά στο Νέο Βουτζά και το Μάτι είναι η φονικότερη στην ιστορία του σύγχρονου ελληνικού κράτους και η δεύτερη πιο φονική πυρκαγιά παγκοσμίως κατά τον 21ο αιώνα, μετά τις πυρκαγιές στην Αυστραλία στις 7 Φεβρουαρίου 2009 που είχαν σκοτώσει 180 άτομα.¹⁹
- 8) Πανδημίες, με χαρακτηριστικότερο και πρόσφατο παράδειγμα τον Covid-19 που εμφανίστηκε τον Ιανουάριο του 2020 στην πόλη Wuhan, επαρχία Hubei,

¹⁶NOAA - The Tsunami Story. https://www.tsunami.noaa.gov/tsunami_story.html

¹⁷«Μάτι: Τα ντοκουμέντα μιλούν» - Οι συγκλονιστικοί διάλογοι της μοιραίας νύχτας. Εφημερίδα Καθημερινή. <http://www.kathimerini.gr/1022112/gallery/epikairothta/ellada/mati-ta-ntokoymenta-miloun---oi-sygklonistikoi-dialogoi-ths-moiraias-nyxtas>

¹⁸Πιθανές διώξεις σε τουλάχιστον 15-20 άτομα για την τραγωδία στο Μάτι. Εφημερίδα Το Βήμα. <https://www.tovima.gr/2018/08/11/society/pithanes-diwxseis-se-toylaxiston-15-20-atoma-gia-tin-tragwdia-sto-mati/>

¹⁹Η δεύτερη πιο φονική πυρκαγιά στον 21ο αιώνα παγκοσμίως. Εφημερίδα των Συντακτών. https://www.efsyn.gr/kosmos/158786_i-deyteri-pio-foniki-pyrkagia-ston-21o-aiona-pagkosmios

στην Κίνα. Μέσα σε ένα διάστημα περίπου 5-6 μηνών υπήρξαν πάνω από 304.000 νεκροί και περισσότερα από 4.500.000 κρούσματα παγκοσμίως.²⁰

Ύστερα λοιπόν από τέτοιες φυσικές καταστροφές χρειάζεται μία άμεση αντιμετώπιση των περιστατικών που προκύπτουν και αρκετοί συνάνθρωποί μας θα χρειάζονται άμεση βοήθεια.

Ο χρόνος που οι ασθενείς ή οι τραυματίες φροντίζονται από τους γιατρούς στα νοσοκομεία είναι ζωτικής σημασίας σε πολλές περιπτώσεις για την επιτυχή αντιμετώπιση ενός συμβάντος. Ειδικότερα στις φυσικές καταστροφές, ο υψηλός αριθμός τραυματισμένων ανθρώπων απαιτεί την άμεση ενεργοποίηση και την εκμετάλλευση όλων των διαθέσιμων πόρων προκειμένου να αντιμετωπιστεί η αυξημένη απαίτηση για άμεση ιατρική υποστήριξη. (Σαρίδης, et al., 2010) Συνεπώς και όλα τα διαθέσιμα ασθενοφόρα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να φτάσουν οι τραυματίες στον προορισμό τους (Νοσοκομεία) το συντομότερο δυνατό. Έτσι κάπως πιο συγκεντρωτικά θα μπορούσαμε να αναφέρουμε πως η συγκεκριμένη περίπτωση είναι περίπλοκη για τους ακόλουθους λόγους.

- Τα ασθενοφόρα συνήθως βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες όπως τα Νοσοκομεία ή οι Σταθμοί Ασθενοφόρων ή είναι υπεύθυνα για άλλες περιπτώσεις. Έτσι, η θέση κάθε διαθέσιμου ασθενοφόρου για χρήση σε αυτήν την περίπτωση επηρεάζει το χρόνο απόκρισης για τη περισυλλογή των τραυματισμένων ανθρώπων.
- Τα διαθέσιμα ασθενοφόρα συνήθως είναι περιορισμένα σε σχέση με τον αριθμό των τραυματισμένων ανθρώπων. Έτσι, ορισμένα ή όλα τα ασθενοφόρα πρέπει να κάνουν περισσότερες από μία διαδρομές για τη συλλογή όλων.
- Κάθε σημείο προορισμού για ασθενοφόρο είναι το σημείο εκκίνησης της επόμενης διαδρομής. Έτσι, υπάρχει μια αβεβαιότητα σχετικά με το χρόνο που απαιτείται για τη μεταφορά ασθενών στα πλησιέστερα Νοσοκομεία, καθώς κάθε επόμενο στάδιο έχει άμεση επίδραση από το προηγούμενο.
- Η προτεραιότητα για το ποιος ασθενής θα μεταφερθεί πρώτος εξαρτάται από το επίπεδο – κλίμακα που βρίσκεται ο ασθενής. Τα άτομα που έχουν τραυματιστεί σοβαρά υπερισχύουν των άλλων που είναι ελαφρώς τραυματισμένοι. (Hodge, et al., 2013) Πράγμα το οποίο θα επιλυθεί βάσει της Αυστραλιανής Κλίμακας.

²⁰ Νέος κορωνοϊός Covid-19 – Οδηγίες <https://eody.gov.gr/neos-koronaios-covid-19/?fbclid=IwAR1usrZCLf7pQ9EGkhJSHIYfQg6UseFghayl4k0R4rnzCg0N77KfEAeOslg>

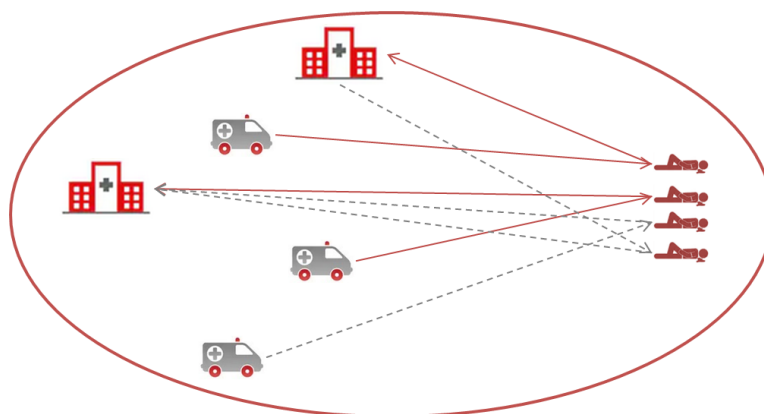
- Η διαθεσιμότητα των πόρων του Νοσοκομείου (ανθρώπινη και υποδομή) είναι περιορισμένη σε κάθε νοσοκομείο, ειδικά σε τοπικό επίπεδο. Έτσι, η καλύτερη κατανομή πόρων συμβάλλει στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων μιας φυσικής καταστροφής, όπως σεισμού ή πλημμύρας ή πυρκαγιάς ή επιδημίας ή τροχαίου ατυχήματος. (Λέκκας, 2000)
- Ο Χρόνος μεταφοράς μπορεί να αλλάζει με τον καιρό για διάφορους λόγους όπως ο κυκλοφοριακός συνωστισμός.

Έτσι για να ξεκινήσουμε να σκεφτόμαστε την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος και πως το έχουν αντιμετωπίσει άλλοι θα πρέπει επίσης να έχουμε στο μυαλό μας κάποιες παραδοχές όπως είναι οι ακόλουθες.

- Η φυσική καταστροφή προκαλεί την ανάγκη άμεσης αντίδρασης μόνο στο/στα τοπικό/ά μέρος/η και ο στόλος ασθενοφόρων πρέπει να κινητοποιηθεί εκεί για να παρέχει λύσεις ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης.
- Η πλήρης διαθεσιμότητα των πόρων του Νοσοκομείου θα βοηθήσει ώστε να μην υπάρχουν επιπλέον παράμετροι που αποσπούν την προσοχή μας.
- Ένας συγκεκριμένος αριθμός ασθενοφόρων σε κάθε σημείο εκκίνησης είναι η καλύτερη λύση ώστε να αντιμετωπίσεις ένα έκτακτο γεγονός.
- Ένας συγκεκριμένος αριθμός ασθενών μπορεί να δεχτεί τις ιατρικές υπηρεσίες σε κάθε φάση στα Νοσοκομεία.

Ένας συγκεκριμένος αριθμός ασθενών μπορεί να μεταφερθεί σε κάθε φάση από τα ασθενοφόρα.

Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να οπτικοποιήσουμε κάπως όλα αυτά.



Εικόνα 26. Οπτικοποίηση προβλήματος μεταφοράς ασθενών στα πλησιέστερα Νοσοκομεία.

Επίσης θα πρέπει να υπάρξει μία ιδιαίτερη προσοχή και όσο το δυνατόν πιο άμεση ανταπόκριση όταν πρόκειται για κάποια κρίσιμη υποδομή του νομού της

Αττικής. Όταν λέμε κρίσιμες υποδομές εννοούμε τα αγαθά, τα συστήματα ή υποσυστήματα που είναι απαραίτητα για τη διατήρηση των ζωτικών λειτουργιών της κοινωνίας, την υγεία, τη φυσική προστασία, την ασφάλεια, την οικονομική και κοινωνική ευημερία των πολιτών. Τα δίκτυα μεταφοράς και διανομής ενέργειας, για παράδειγμα, οι υποδομές των τραπεζών, το δίκτυο υδροδότησης, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, τα συστήματα των αεροδρομίων, είναι όλα τέτοιες υποδομές. (Mattioli, et al., 2014)

Οι πιο σημαντικοί τομείς των υποψήφιων κρίσιμων υποδομών της Ελλάδας είναι οι ακόλουθοι:

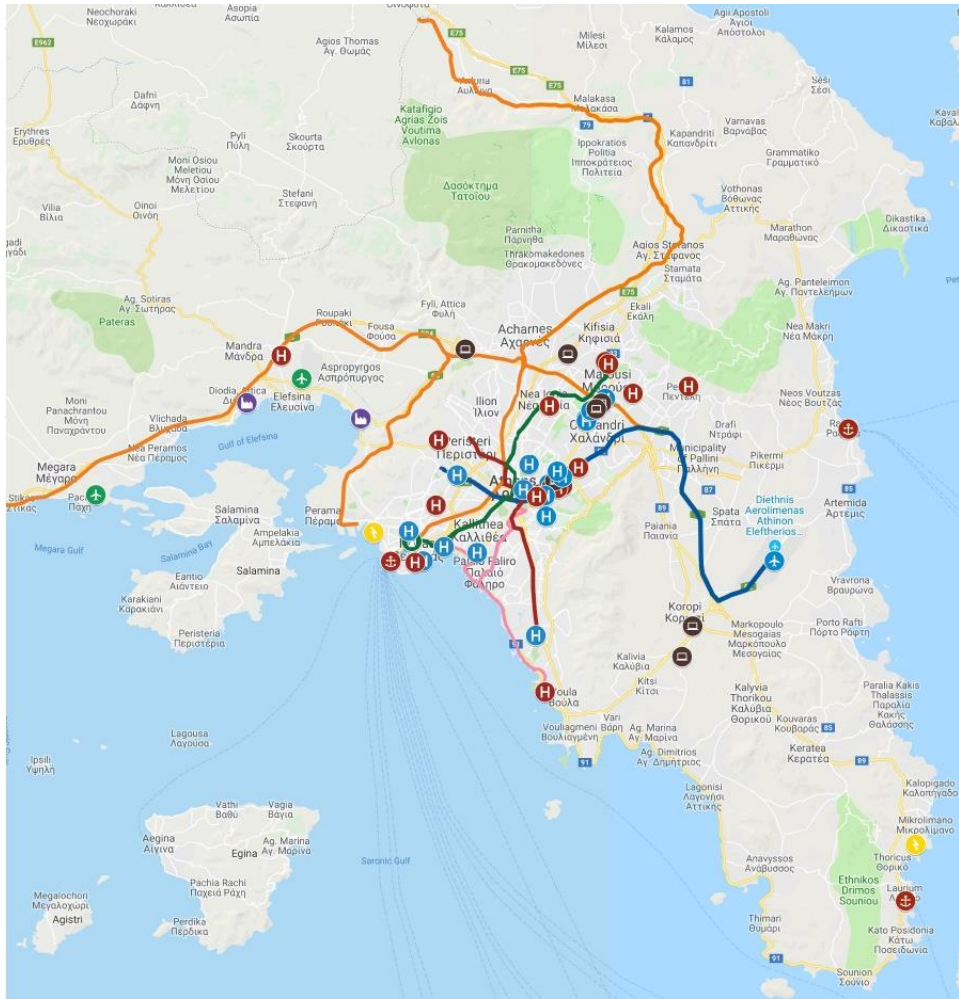
Α) Ενέργειας (4 θερμικούς σταθμούς παραγωγής στο Λαύριο με ισχύ 1197MW και 2 στον Άγιο Γεώργιο με ισχύ 360 MW, το διυλιστήριο της Ελευσίνας και του Ασπρόπυργου),

Β) Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ) (Υπηρεσίες για επικοινωνίες φωνής και δεδομένων και παροχής internet {ΟΤΕ, Vodafone, Wind}, παροχή υπηρεσιών Web, την παροχή Κέντρων Δεδομένων και υπηρεσιών Cloud και τις υπηρεσίες Software-as-a-Service με πιο γνωστούς παρόχους τις εταιρίες MedNautilus, Lamda Helix, Lancorn και ο ΟΤ),

Γ) Μεταφορών (Σιδηροδρομικό δίκτυο {ηλεκτρικός, μετρό, προαστιακός, τραμ}, οδικό δίκτυο {Αττική οδός, Διασταύρωση Αερολιμένα – Λαύριο, κ.λπ.}, αστικές και υπεραστικές συγκοινωνίες {ΕΘΕΛ – Αστικά Λεωφορεία, ΗΛΠΑΠ – Τρόλεϊ}, Λιμάνια {Πειραιά, Ραφήνα, Λαύριο}, Αεροδρόμια {Ελ. Βενιζέλος, Ελευσίνας – Super Puma, Πάχης - Chinook} και

Δ) Υγείας. (Όλα τα Νοσοκομεία) (Γκρίτζαλης, et al., 2016)

Συγκεντρωτικά θα μπορούσαμε να δούμε στον παρακάτω χάρτη της Αττικής το που βρίσκεται και πως εκτείνεται ο κάθε κρίσιμος τομέας και υπηρεσία του Νομού της Αττικής.



Εικόνα 27. Κρίσιμοι Τομείς και Υπηρεσίες του Νομού της Αττικής.

4. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

4.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Η προσομοίωση αναφέρεται στη διαδικασία μίμησης ή αναπαραγωγής της συμπεριφοράς ενός πραγματικού συστήματος ή μιας διαδικασίας χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο. Περιλαμβάνει τη δημιουργία μιας απλοποιημένης αναπαράστασης του συστήματος και την εκτέλεση πειραμάτων ή σεναρίων για την παρατήρηση της συμπεριφοράς του υπό διάφορες συνθήκες. Οι προσομοιώσεις μπορούν να διεξαχθούν χρησιμοποιώντας φυσικά μοντέλα, μαθηματικές εξισώσεις, αλγόριθμους υπολογιστών ή συνδυασμό αυτών των μεθόδων. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλούς τομείς, όπως η επιστήμη, η μηχανική, η οικονομία, οι κοινωνικές επιστήμες και η ψυχαγωγία. Η μελέτη συνήθως ενός συστήματος μπορεί να γίνει είτε με αναλυτικές μαθηματικές μεθόδους είτε αξιοποιώντας την προσομοίωση (simulation). Για να χρησιμοποιήσουμε πλήρως αναλυτικές μεθόδους χρειάζεται να έχουμε πλήρη γνώση του συστήματος. Επίσης η προσομοίωση είναι πάρα πολύ χρήσιμη όταν δεν γνωρίζουμε καλά πως λειτουργεί το σύστημα και επίσης σημαίνει ότι επιβάλλεται η χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Συγκεκριμένα, η προσομοίωση αντιπροσωπεύει μια τεχνική που συνδυάζει την Επιχειρησιακή Έρευνα, την Πληροφορική και τη Στατιστική με απόλυτη συντονισμένη λειτουργία για την επίτευξη του τελικού στόχου. Η προσομοίωση αποτελεί ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για την υποστήριξη της λήψης επιχειρησιακών αποφάσεων και, συνήθως, αναλύει τη συμπεριφορά πραγματικών συστημάτων. Εξετάζει τον τρόπο λειτουργίας τους υπό διάφορες συνθήκες, περιγράφει τη συμπεριφορά τους σε συγκεκριμένα σενάρια, συγκρίνει τα αποτελέσματα με εναλλακτικές λύσεις και παρέχει προβλέψεις σχετικά με τη συμπεριφορά τους σε καθημερινές ή ασυνήθιστες συνθήκες λειτουργίας. (Γεωργίου, et al., 2015). Ουσιαστικά, μια δυναμική διατύπωση είναι η εξής: Η προσομοίωση αποτελεί μια τεχνική μοντελοποίησης που αντικατοπτρίζει τη λειτουργία ενός πραγματικού συστήματος καθώς αυτό εξελίσσεται στη διάρκεια του χρόνου ή με βάση τη χρονική παράμετρο.

Τέλος αξίζει να σημειώσουμε ότι με τα μοντέλα προσομοίωσης μπορούμε να αξιολογήσουμε, να συγκρίνουμε και να προβλέψουμε το τι θα γίνει πάνω στο υπό

μελέτη σύστημα που έχουμε λαμβάνοντας υπόψη πάντα ότι παραδοχές έχουμε λάβει.

Γενικά, η προσομοίωση είναι ένα ισχυρό εργαλείο που μας επιτρέπει να μελετήσουμε και να κατανοήσουμε πολύπλοκα συστήματα, να προβλέψουμε τη συμπεριφορά τους και να λάβουμε τεκμηριωμένες αποφάσεις. Βρίσκει εφαρμογές σε διάφορους τομείς, από την επιστημονική έρευνα και τη μηχανική μέχρι την εκπαίδευση και την ψυχαγωγία. Ωστόσο, η ακρίβεια και η αξιοπιστία των προσομοιώσεων εξαρτώνται από την ποιότητα των μοντέλων, την επικύρωση έναντι εμπειρικών δεδομένων και την προσεκτική εξέταση των αβεβαιοτήτων. Αξιοποιώντας τα δυνατά σημεία των προσομοιώσεων αναγνωρίζοντας τους περιορισμούς τους, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τις δυνατότητές τους για να προωθήσουμε την καινοτομία και να αποκτήσουμε βαθύτερες γνώσεις για τη λειτουργία του κόσμου μας. (Banks, 1999)

4.2 ΤΥΠΟΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Συνολικά υπάρχουν τρεις τύποι προσομοίωσης. Η φυσική προσομοίωση, η μαθηματική προσομοίωση και η προσομοίωση σε υπολογιστή. Πάμε όμως να τα δούμε ένα προς ένα με τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς (μειονεκτήματα) που έχουν.

Φυσική προσομοίωση:

Η φυσική προσομοίωση περιλαμβάνει τη δημιουργία φυσικών μοντέλων που αναπαράγουν τη συμπεριφορά των συστημάτων του πραγματικού κόσμου. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο κατά τη μελέτη συστημάτων που δεν μπορούν εύκολα να αναπαρασταθούν μαθηματικά ή να προσομοιωθούν υπολογιστικά. Οι φυσικές προσομοιώσεις απαιτούν συχνά την κατασκευή μειωμένων μοντέλων ή πρωτοτύπων για την παρατήρηση και ανάλυση της συμπεριφοράς τους. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε τομείς όπως η μηχανική, η αεροδιαστημική, η αυτοκινητοβιομηχανία και η αρχιτεκτονική.

Πλεονεκτήματα:

- Παρέχει μια απτή και πρακτική προσέγγιση για τη μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος.

- Επιτρέπει την άμεση παρατήρηση φυσικών φαινομένων και αλληλεπιδράσεων.
- Επιτρέπει τη δοκιμή πραγματικών σεναρίων και συνθηκών.

Περιορισμοί:

- Η κατασκευή και η συντήρηση των φυσικών μοντέλων μπορεί να είναι χρονοβόρα και δαπανηρή.
- Η μείωση σύνθετων συστημάτων μπορεί να οδηγήσει σε ανακρίβειες ή απώλεια πιστότητας.
- Δύσκολη η προσομοίωση ακραίων ή επικίνδυνων συνθηκών.

Μαθηματική Προσομοίωση:

Η μαθηματική προσομοίωση περιλαμβάνει τη χρήση μαθηματικών εξισώσεων, αλγορίθμων και υπολογιστικών τεχνικών για τη μοντελοποίηση και την προσομοίωση της συμπεριφοράς των συστημάτων. Χρησιμοποιείται ευρέως στην επιστημονική έρευνα, τη μηχανική και σε διάφορους τομείς όπου τα συστήματα μπορούν να περιγραφούν με μαθηματικές σχέσεις. Οι μαθηματικές προσομοιώσεις μπορεί να κυμαίνονται από απλά αναλυτικά μοντέλα έως πολύπλοκες αριθμητικές προσομοιώσεις.

Πλεονεκτήματα:

- Παρέχει ακριβή και ποσοτική αναπαράσταση της συμπεριφοράς του συστήματος.
- Επιτρέπει την εξερεύνηση διαφορετικών σεναρίων και παραλλαγών παραμέτρων.
- Επιτρέπει αποτελεσματικούς υπολογισμούς και ανάλυση συστημάτων μεγάλης κλίμακας.

Περιορισμοί:

- Υποθέτει ότι το σύστημα μπορεί να περιγραφεί με ακρίβεια με μαθηματικές σχέσεις, κάτι που μπορεί να μην συμβαίνει πάντα.
- Η πολυπλοκότητα των μοντέλων μπορεί να οδηγήσει σε υπολογιστικές προκλήσεις, που απαιτούν εξειδικευμένους αλγόριθμους ή υπολογιστές υψηλής απόδοσης.
- Η επικύρωση με δεδομένα πραγματικού κόσμου είναι απαραίτητη για να διασφαλιστεί η ακρίβεια και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Προσομοίωση Υπολογιστή:

Η προσομοίωση υπολογιστή περιλαμβάνει τη χρήση προγραμμάτων λογισμικού και αλγορίθμων για την αναπαραγωγή της συμπεριφοράς πολύπλοκων συστημάτων σε υπολογιστές. Είναι μια ευέλικτη και ευρέως χρησιμοποιούμενη μορφή προσομοίωσης, που εφαρμόζεται σε διάφορους τομείς όπως η φυσική, η βιολογία, τα οικονομικά, οι κοινωνικές επιστήμες και η εικονική πραγματικότητα.

Πλεονεκτήματα:

- Παρέχει μια ευέλικτη και προσαρμόσιμη προσέγγιση για την προσομοίωση πολύπλοκων συστημάτων.
- Επιτρέπει τη λεπτομερή μοντελοποίηση και οπτικοποίηση των στοιχείων και των αλληλεπιδράσεων του συστήματος.
- Επιτρέπει την προσομοίωση συστημάτων μεγάλης κλίμακας και την ανάλυση τεράστιων ποσοτήτων δεδομένων.

Περιορισμοί:

- Η ανάπτυξη και η υλοποίηση προσομοιώσεων υπολογιστή μπορεί να απαιτήσει εξειδικευμένες δεξιότητες προγραμματισμού και πόρους.
- Η δημιουργία ακριβών και αξιόπιστων μοντέλων προσομοίωσης μπορεί να είναι δύσκολη, απαιτώντας ενδελεχή επικύρωση και βαθμονόμηση.
- Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι τόσο καλά όσο η ακρίβεια των δεδομένων εισόδου και οι υποκείμενες υποθέσεις.

Συμπερασματικά, οι διαφορετικοί τύποι προσομοίωσης παρέχουν ισχυρά εργαλεία για τη μελέτη και την κατανόηση πολύπλοκων συστημάτων. Οι φυσικές, μαθηματικές και προσομοιώσεις υπολογιστή προσφέρουν διάφορα πλεονεκτήματα και περιορισμούς και η καταλληλότητά τους εξαρτάται από τα ειδικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη συστήματος. Προσομοιώσεις διακριτών συμβάντων, συνεχών και βασισμένων σε πράκτορες παρέχουν εξειδικευμένες προσεγγίσεις για την καταγραφή διαφορετικών πτυχών της συμπεριφοράς του συστήματος. Επιλέγοντας τον κατάλληλο τύπο προσομοίωσης και χρησιμοποιώντας ακριβείς τεχνικές μοντελοποίησης, οι ερευνητές και οι επαγγελματίες μπορούν να αποκτήσουν πολύτιμες γνώσεις, να λάβουν τεκμηριωμένες αποφάσεις και να βελτιστοποιήσουν τα συστήματα σε ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών κλάδων. (Shanton & Goldman, 2010)

Η συνεχής προσομοίωση ή διακριτού συμβάντος περιλαμβάνει συστήματα μοντελοποίησης όπου οι μεταβλητές αλλάζουν συνεχώς με την πάροδο του χρόνου. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τη μελέτη φυσικών φαινομένων όπως η δυναμική των ρευστών, οι χημικές αντιδράσεις και τα καιρικά μοτίβα. Οι συνεχείς προσομοιώσεις χρησιμοποιούν συχνά διαφορικές εξισώσεις και αριθμητικές μεθόδους για να προσεγγίσουν τη συμπεριφορά συνεχών συστημάτων.

Η μέθοδος των δυναμικών συστημάτων ξεκίνησε κατά τα μέσα της δεκαετίας του 1950 από τον καθηγητή του MIT Jay Forrester του οποίου το αρχικό υπόβαθρο ήταν στην επιστήμη και τη μηχανική. Η ιδέα του Forrester ήταν να χρησιμοποιήσει τους νόμους της φυσικής, ιδίως τους νόμους των ηλεκτρικών κυκλωμάτων, για να περιγράψει και να διερευνήσει τη δυναμική των οικονομικών και, αργότερα, των κοινωνικών συστημάτων. Οι αρχές και η γλώσσα μοντελοποίησης που διέπουν τα δυναμικά συστήματα διαμορφώθηκαν στις δεκαετίες του 1950 και στις αρχές της δεκαετίας του 1960, όπου παραμένουν αμετάβλητες έως και σήμερα. (Sterman, 2000).

Η συγκεκριμένη μέθοδος προτείνει να ακολουθήσουμε τις ακόλουθες αρχές:

- Θα πρέπει να έχουμε μία ενδογενή άποψη των πραγμάτων. Το μοντέλο θα πρέπει να έχει μία κλειστέα δομή η οποία θα ορίζει την συμπεριφορά του.
- Θα πρέπει να βρεθούν οι βρόχοι ανατροφοδότησης (κυκλική αιτιότητα) στο σύστημα. Οι βρόχοι ανατροφοδότησης είναι ουσιαστικά η καρδιά ενός δυναμικού συστήματος.
- Θα πρέπει να προσδιορίζουμε τα αποθέματα (συσσωρεύσεις) και τις ροές που τα επηρεάζουν. Τα αποθέματα είναι ουσιαστικά η μνήμη του όλου συστήματος και οι πηγές ανισορροπίας.
- Θα πρέπει να βλέπουμε τα πράγματα από μία συγκεκριμένη προοπτική. Να σκεφτόμαστε μεμονωμένα γεγονότα και αποφάσεις τα οποία οδηγούν σε μία συγκεκριμένη συμπεριφορά του συστήματος. Επίσης να εστιάζουμε εκεί που τα γεγονότα και οι αποφάσεις είναι περισσότερο θολές.

Πλεονεκτήματα:

- Καταγράφει τη συνεχή εξέλιξη των μεταβλητών του συστήματος και τις αλληλεπιδράσεις τους.

- Επιτρέπει την ανάλυση δυναμικών συστημάτων με συμπεριφορά εξαρτώμενη από το χρόνο.
- Επιτρέπει την πρόβλεψη των αποκρίσεων του συστήματος σε μεταβαλλόμενες εισόδους ή συνθήκες.

Περιορισμοί:

- Οι αριθμητικές προσεγγίσεις μπορούν να εισάγουν σφάλματα και να απαιτούν προσεκτική επικύρωση.
- Απαιτεί υπολογιστικούς πόρους για τον χειρισμό των συνεχών υπολογισμών.
- Η μοντελοποίηση πολύπλοκων συστημάτων με πολλές διασυνδεδεμένες μεταβλητές μπορεί να είναι δύσκολη.

4.3.2 Η ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΑΚΡΙΤΟΥ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ (DISCRETE EVENT MODELING)

Η προσομοίωση διακριτών γεγονότων εστιάζει στη μοντελοποίηση συστημάτων όπου συμβαίνουν συμβάντα σε διακριτά χρονικά σημεία. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την ανάλυση διαδικασιών με ουρές αναμονής, χρόνους αναμονής και κατανομή πόρων. Οι προσομοιώσεις διακριτών συμβάντων εφαρμόζονται ευρέως στις βιομηχανίες κατασκευής, logistics, μεταφορών, υγειονομικής περίθαλψης και υπηρεσιών.

Η μέθοδος της μοντελοποίησης διακριτού συμβάντος είναι σχεδόν τόσο παλιά όσο και των δυναμικών συστημάτων. Τον Οκτώβριο του 1961, ο μηχανικός της IBM Geoffrey Gordon παρουσίασε την πρώτη έκδοση του GPSS (General Purpose Simulation System), το οποίο θεωρείται ότι είναι η πρώτη μέθοδος εφαρμογής λογισμικού διακριτής μοντελοποίησης συμβάντων. Στις μέρες μας, η διακριτή μοντελοποίηση συμβάντων υποστηρίζεται από μεγάλο αριθμό εργαλείων λογισμικού, συμπεριλαμβανομένων των σύγχρονων εκδόσεων του ίδιου του GPSS.

Η ιδέα της διακριτικής μεθόδου μοντελοποίησης συμβάντων είναι η εξής: Να θεωρήσουμε ότι το σύστημα μοντελοποιείται ως διαδικασία, δηλαδή μια ακολουθία λειτουργιών που εκτελούνται μεταξύ οντοτήτων.

Οι λειτουργίες συνήθως περιλαμβάνουν καθυστερήσεις, εξυπηρετήσεις από διάφορους πόρους, επιλογή του κλάδου της διαδικασίας, διαχωρισμούς, συνδυασμούς, κ.α.. Δεδομένου ότι οι οντότητες ανταγωνίζονται για πόρους και μπορούν να καθυστερήσουν, οι ουρές υπάρχουν σχεδόν σε οποιοδήποτε διακριτό μοντέλο συμβάντων. Το μοντέλο καθορίζεται γραφικά ως διάγραμμα ροής διεργασίας, όπου τα μπλοκ αντιπροσωπεύουν λειτουργίες (υπάρχουν και γλώσσες κειμένου, αλλά είναι μειοψηφία). Το διάγραμμα ροής συνήθως ξεκινά με μπλοκ "source" που δημιουργούν οντότητες και τα εισάγουν στη διαδικασία και τελειώνει με μπλοκ "sink" που αφαιρούν οντότητες από το μοντέλο.

Αυτός ο τύπος διαγράμματος είναι γνωστός στον επιχειρηματικό κόσμο ως διάγραμμα διαδικασίας και είναι πανταχού παρόν στην περιγραφή των βημάτων της διαδικασίας. Αυτή η εξοικείωση είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους η διακριτή μοντελοποίηση συμβάντων ήταν η πιο επιτυχημένη μέθοδος διείσδυσης στην επιχειρηματική κοινότητα.

Σε αντίθεση με τη μέθοδο δυναμικών συστημάτων, η διακριτή μοντελοποίηση συμβάντων υποστηρίζεται από δεκάδες (αν όχι εκατοντάδες) εργαλεία λογισμικού. Επίσης δεν υπάρχει ομοιόμορφη αποδεκτή γλώσσα για τον καθορισμό διακριτών μοντέλων συμβάντων. Υπάρχουν ορισμένες τυποποιημένες γλώσσες για τον καθορισμό ορισμένων συγκεκριμένων τύπων διαδικασιών όπως για παράδειγμα, επιχειρηματικών διαδικασιών αλλά ακόμη και αυτές οι γλώσσες δεν υποστηρίζονται άμεσα από εργαλεία προσομοίωσης. Κάθε εργαλείο προσφέρει το δικό του σύνολο και τη δική του γλώσσα δέσμης ενεργειών. Ορισμένα εργαλεία είναι γενικής χρήσης, ενώ μερικά είναι ειδικά σχεδιασμένα για μια συγκεκριμένη περιοχή εφαρμογών. Μπορεί να φαίνονται πολύ διαφορετικά, αλλά καθένα από αυτά υποστηρίζει μία διακριτή ενέργεια και μετακινεί τις οντότητες (πράκτορες, συναλλαγές) μέσω του διαγράμματος ροής της διαδικασίας. (Borshchev & Filippov, 2004)

Πλεονεκτήματα:

- Καταγράφει τη δυναμική συμπεριφορά συστημάτων με διακριτά συμβάντα και αλληλεπιδράσεις.

- Επιτρέπει τη λεπτομερή ανάλυση της απόδοσης του συστήματος, των σημείων συμφόρησης και της χρήσης πόρων.
- Ενεργοποιεί τη βελτιστοποίηση και τη δοκιμή σεναρίων για τη βελτίωση της διαδικασίας.

Περιορισμοί:

- Η πολυπλοκότητα αυξάνεται καθώς αυξάνεται ο αριθμός των γεγονότων και των αλληλεπιδράσεων στο σύστημα.
- Η ακρίβεια εξαρτάται από την ακριβή μοντελοποίηση των γεγονότων και το χρόνο τους.
- Μπορεί να μην είναι κατάλληλο για συστήματα με συνεχείς μεταβλητές ή όπου ο χρόνος δεν είναι ο πρωταρχικός παράγοντας.

4.3.3 Η ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΒΑΣΕΙ ΠΡΑΚΤΟΡΩΝ (AGENT-BASED MODELING)

Η προσομοίωση που βασίζεται σε πράκτορες περιλαμβάνει τη μοντελοποίηση μεμονωμένων πρακτόρων ή οντοτήτων που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και το περιβάλλον τους. Κάθε πράκτορας ακολουθεί προκαθορισμένους κανόνες ή συμπεριφορές και οι αλληλεπιδράσεις τους δημιουργούν συλλογικά συμπεριφορά σε επίπεδο συστήματος. Οι προσομοιώσεις που βασίζονται σε πράκτορες χρησιμοποιούνται για τη μελέτη πολύπλοκων συστημάτων όπως η κοινωνική δυναμική, η ροή κυκλοφορίας, τα οικολογικά συστήματα και οι οικονομικές αγορές.

Η μοντελοποίηση βάσει πρακτόρων είναι μια πιο πρόσφατη μέθοδος μοντελοποίησης από τη δυναμική του συστήματος ή τη διακριτή μοντελοποίηση συμβάντων. Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 2000, η μοντελοποίηση βασισμένη σε πράκτορες ήταν σχεδόν ακαδημαϊκό θέμα. Η υιοθέτηση μοντελοποίησης βάσει πρακτόρων από επαγγελματίες προσομοίωσης ξεκίνησε το 2002-2003.

Δημιουργήθηκε:

- Από την επιθυμία να αποκτήσουμε μια βαθύτερη εικόνα των συστημάτων που δεν είναι καλά καταγεγραμμένα από τις παραδοσιακές προσεγγίσεις μοντελοποίησης.
- Εξαιτίας της προόδου της τεχνολογίας μοντελοποίησης που προέρχονται από την επιστήμη των υπολογιστών
- Εξαιτίας της ταχείας ανάπτυξης της διαθεσιμότητας της CPU και της μνήμης (τα μοντέλα που βασίζονται σε πράκτορες απαιτούν και τα δύο, σε σύγκριση με τη δυναμική του συστήματος και τα διακριτά μοντέλα συμβάντων).

Η συγκεκριμένη μοντελοποίηση ουσιαστικά προτείνει έναν ακόμη τρόπο για να κοιτάξουμε το σύστημα. (Rahmandad & Sterman, 2008)

Μπορεί να μην γνωρίζουμε πώς συμπεριφέρεται το σύστημα στο σύνολό του, ποιες είναι οι βασικές μεταβλητές και οι εξαρτήσεις μεταξύ τους, ή απλά δεν βλέπουμε ότι υπάρχει ροή διαδικασίας, αλλά μπορεί να έχουμε κάποια εικόνα για το πώς συμπεριφέρονται τα αντικείμενα στο σύστημα ξεχωριστά. Επομένως, μπορούμε έτσι να ξεκινήσουμε να δημιουργούμε το μοντέλο από κάτω προς τα πάνω προσδιορίζοντας αυτά τα αντικείμενα (πράκτορες) και καθορίζοντας τις συμπεριφορές τους.

Μερικές φορές, μπορούμε να συνδέσουμε τους πράκτορες (ο ένας με τον άλλο) και να τους αφήσουμε να αλληλοεπιδράσουν. Άλλες φορές, μπορούμε να τα βάλουμε σε ένα περιβάλλον, το οποίο μπορεί να έχει τη δική του δυναμική. Στη συνέχεια, η συμπεριφορά του συστήματος προκύπτει από υπερβολικά πάρα πολλές ταυτόχρονες ατομικές συμπεριφορές.

Δεν υπάρχουν τυπικές γλώσσες στην μοντελοποίηση βάσει πρακτόρων. Η δομή ενός μοντέλου που βασίζεται σε πράκτορες δημιουργείται χρησιμοποιώντας γραφικούς επεξεργαστές ή σενάρια, ανάλογα με το λογισμικό. Η συμπεριφορά των παραγόντων καθορίζεται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους. Συχνά, ο πράκτορας έχει την έννοια της κατάστασης και οι ενέργειες και οι αντιδράσεις του εξαρτώνται από την κατάστασή του. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η συμπεριφορά ορίζεται καλύτερα με διαγράμματα κατάστασης. Μερικές φορές μάλιστα, η συμπεριφορά ορίζεται με τη μορφή κανόνων που εκτελούνται σε ειδικά γεγονότα. Σε πολλές περιπτώσεις, η εσωτερική δυναμική του πράκτορα μπορεί να καταγραφεί καλύτερα χρησιμοποιώντας τη μέθοδο δυναμικών συστημάτων ή τη διακριτή προσέγγιση συμβάντων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, μπορούμε να τοποθετήσουμε ένα διάγραμμα αποθεμάτων και ροής

ή ένα διάγραμμα ροής διεργασίας μέσα σε έναν πράκτορα. Παρομοίως, οι διαδικασίες εκτός των παραγόντων και η δυναμική του περιβάλλοντος όπου ζουν συχνά μοντελοποιούνται φυσικά χρησιμοποιώντας παραδοσιακές μεθόδους. Τέλος, θεωρούμε ότι ένα μεγάλο ποσοστό μοντέλων που βασίζονται σε πράκτορες, είναι και μοντέλα πολλαπλών μεθόδων.²¹

Πλεονεκτήματα:

- Επιτρέπει την αναπαράσταση ατομικής ετερογένειας και αλληλεπιδράσεων.
- Καταγράφει αναδυόμενες συμπεριφορές και φαινόμενα σε επίπεδο συστήματος.
- Επιτρέπει την ανάλυση μη γραμμικών και δυναμικών συστημάτων.

Περιορισμοί:

- Η πολυπλοκότητα αυξάνεται με τον αριθμό των παραγόντων και τις αλληλεπιδράσεις τους.
- Ο καθορισμός ρεαλιστικών συμπεριφορών και κανόνων αλληλεπίδρασης πρακτόρων μπορεί να είναι δύσκολος.
- Η επικύρωση με δεδομένα πραγματικού κόσμου μπορεί να είναι δύσκολη λόγω της εγγενούς πολυπλοκότητας των μοντέλων που βασίζονται σε πράκτορες.

4.4 ΧΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Υπάρχουν αρκετοί τομείς όπου χρησιμοποιείται η προσομοίωση, όπως είναι η έρευνα και η ανάπτυξη, η κατάρτιση και η εκπαίδευση, η λήψη αποφάσεων και προγραμματισμού, η προγνωστική ανάλυση και τέλος η ψυχαγωγία και τα παιχνίδια. Παρακάτω θα τις δούμε πιο αναλυτικά.

Έρευνα και ανάπτυξη:

²¹ The Big Book of Simulation Modeling · Multimethod Modeling with AnyLogic 8 - The three methods in simulation modeling. <https://www.anylogic.com/upload/books/new-big-book/2-three-methods-in-simulation-modeling.pdf>

Η προσομοίωση διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην έρευνα και την ανάπτυξη σε πολλούς τομείς. Επιτρέπει σε ερευνητές και προγραμματιστές να εξερευνήσουν και να δοκιμάσουν υποθέσεις, να βελτιστοποιήσουν τα σχέδια και να εντοπίσουν πιθανά ζητήματα πριν τα εφαρμόσουν στον πραγματικό κόσμο. Οι προσομοιώσεις επιτρέπουν τη μελέτη περίπλοκων φαινομένων, επιταχύνουν τη διαδικασία ανακάλυψης και παρέχουν ιδέες που μπορεί να είναι δύσκολο να αποκτηθούν μόνο μέσω του παραδοσιακού πειραματισμού.

Στη μηχανική, οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό και τη δοκιμή νέων προϊόντων, τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών παραγωγής και την αξιολόγηση της δομικής ακεραιότητας. Για παράδειγμα, οι κατασκευαστές αυτοκινήτων χρησιμοποιούν προσομοιώσεις για να αναλύσουν την ικανότητα πρόσκρουσης και την αεροδυναμική των οχημάτων.

Στα φαρμακευτικά προϊόντα, οι προσομοιώσεις βοηθούν στην πρόβλεψη των αλληλεπιδράσεων των φαρμάκων, στην προσομοίωση των μηχανισμών χορήγησης φαρμάκων και στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας και της ασφάλειας νέων ενώσεων.

Στην επιστήμη των υλικών, οι προσομοιώσεις βοηθούν στην κατανόηση των ιδιοτήτων των υλικών, στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς υπό διαφορετικές συνθήκες και στο σχεδιασμό νέων υλικών με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.

Κατάρτιση και Εκπαίδευση:

Η προσομοίωση παρέχει ένα ασφαλές και καθηλωτικό περιβάλλον για την εκπαίδευση ατόμων σε διάφορους τομείς. Επιτρέπει στους εκπαιδευόμενους να αποκτήσουν πρακτική εμπειρία και να αναπτύξουν δεξιότητες χωρίς πραγματικούς κινδύνους ή συνέπειες. Η εκπαίδευση που βασίζεται σε προσομοίωση χρησιμοποιείται ευρέως σε τομείς όπου η πρακτική εμπειρία είναι ζωτικής σημασίας για την επιτυχία.

Στην αεροπορία, οι προσομοιωτές πτήσης χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση πιλότων, επιτρέποντάς τους να εξασκούν τεχνικές πτήσης, διαδικασίες έκτακτης ανάγκης και πλοήγηση σε ένα ρεαλιστικό και ελεγχόμενο περιβάλλον.

Στην υγειονομική περίθαλψη, οι ιατρικές προσομοιώσεις επιτρέπουν την εκπαίδευση για χειρουργούς, νοσηλευτές και άλλους επαγγελματίες υγείας. Τα προσομοιωμένα σενάρια αναπαράγουν χειρουργικές διαδικασίες, φροντίδα ασθενών

και καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, διευκολύνοντας την ανάπτυξη δεξιοτήτων, την ομαδική εργασία και τη λήψη κρίσιμων αποφάσεων.

Στη στρατιωτική εκπαίδευση, οι προσομοιώσεις προσομοιώνουν σενάρια μάχης, εκπαιδεύουν στρατιώτες στη λήψη αποφάσεων τακτικής, στο συντονισμό και στην απάντηση σε διάφορες απειλές.

Λήψη αποφάσεων και προγραμματισμός:

Η προσομοίωση βοηθά τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων παρέχοντας ένα εικονικό εργαστήριο για την αξιολόγηση των πιθανών αποτελεσμάτων κάτω από διαφορετικά σενάρια. Επιτρέπει την αξιολόγηση και τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών, την κατανομή πόρων, τη διαχείριση κινδύνου και τις αποφάσεις πολιτικής. Οι προσομοιώσεις υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων βάσει τεκμηρίων, ποσοτικοποιώντας τον αντίκτυπο διαφορετικών στρατηγικών και επιτρέποντας συγκρίσεις μεταξύ εναλλακτικών λύσεων.

Στον πολεοδομικό σχεδιασμό, οι προσομοιώσεις βοηθούν στην αξιολόγηση του αντίκτυπου των νέων έργων υποδομής, των κανονισμών χωροταξίας ή των συστημάτων μεταφοράς στη ροή της κυκλοφορίας, στην κατανάλωση ενέργειας και στους περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας και της εφοδιαστικής αλυσίδας, οι προσομοιώσεις βελτιστοποιούν τη διαχείριση αποθεμάτων, τον προγραμματισμό παραγωγής και τα δίκτυα διανομής. Αξιολογούν τον αντίκτυπο των μεταβαλλόμενων προτύπων ζήτησης, των διαταραχών της προσφοράς ή των βελτιώσεων της διαδικασίας στη συνολική απόδοση.

Στα χρηματοοικονομικά, οι προσομοιώσεις βοηθούν στη διαχείριση κινδύνου, στη βελτιστοποίηση του χαρτοφυλακίου και στην τιμολόγηση πολύπλοκων χρηματοοικονομικών μέσων. Παρέχουν πληροφορίες για τη συμπεριφορά της αγοράς, τις πιθανές απώλειες και τα stress tests σε διάφορα οικονομικά σενάρια.

Προγνωστική Ανάλυση:

Η προσομοίωση χρησιμοποιείται ευρέως για προγνωστική ανάλυση, επιτρέποντας την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του συστήματος και των αποτελεσμάτων με βάση διαφορετικές υποθέσεις και εισροές. Εκτελώντας πολλαπλές προσομοιώσεις και εξερευνώντας διαφορετικά σενάρια, μπορούν να γίνουν προβλέψεις για μελλοντικά γεγονότα, τάσεις και απόδοση του συστήματος.

Στη μοντελοποίηση του κλίματος, οι προσομοιώσεις βοηθούν στην κατανόηση και την πρόβλεψη των κλιματικών προτύπων, στην αξιολόγηση των επιπτώσεων των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και στην προσομοίωση των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής.

Στα οικονομικά, οι προσομοιώσεις μοντελοποιούν οικονομικά συστήματα, συμπεριφορά αγοράς και παρεμβάσεις πολιτικής. Βοηθούν στην πρόβλεψη οικονομικών δεικτών, στην αξιολόγηση του αντίκτυπου των δημοσιονομικών ή νομισματικών πολιτικών και στη μελέτη των συνεπειών διαφορετικών οικονομικών σεναρίων.

Στην επιδημιολογία, οι προσομοιώσεις βοηθούν στην πρόβλεψη της εξάπλωσης μολυσματικών ασθενειών, στην αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των παρεμβάσεων και στην αξιολόγηση των στρατηγικών δημόσιας υγείας. Για παράδειγμα, οι προσομοιώσεις χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς κατά τη διάρκεια της πανδημίας COVID-19 για να ενημερώσουν τη λήψη αποφάσεων και να κατανοήσουν τον αντίκτυπο των διαφόρων μέτρων ελέγχου.

Ψυχαγωγία και παιχνίδια:

Η προσομοίωση χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία της ψυχαγωγίας, προσφέροντας καθηλωτικές εμπειρίες και ρεαλιστικούς εικονικούς κόσμους. Από βιντεοπαιχνίδια έως εικονική πραγματικότητα, οι προσομοιώσεις παρέχουν διαδραστικά και ελκυστικά περιβάλλοντα για τους χρήστες.

Στα βιντεοπαιχνίδια, οι προσομοιώσεις δημιουργούν εικονικούς κόσμους, χαρακτήρες και αλληλεπιδράσεις. Επιτρέπουν ρεαλιστική φυσική, γραφικά και τεχνητή νοημοσύνη, ενισχύοντας την εμπειρία παιχνιδιού.

Στην εικονική πραγματικότητα (VR), οι προσομοιώσεις βυθίζουν τους χρήστες σε εικονικά περιβάλλοντα, αναπαράγοντας σενάρια πραγματικού κόσμου ή δημιουργώντας εντελώς νέα. Οι προσομοιώσεις VR βρίσκουν εφαρμογές σε παιχνίδια, εκπαίδευση, εκπαίδευση, αρχιτεκτονική και υγειονομική περίθαλψη, μεταξύ άλλων.

Σε φιλμ και οπτικά εφέ, οι προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ρεαλιστικών εικόνων που δημιουργούνται από υπολογιστή (CGI), για την προσομοίωση φυσικών φαινομένων όπως εκρήξεις ή δυναμική ρευστών και για την ενίσχυση του οπτικού αντίκτυπου των ταινιών.

Συμπερασματικά, η προσομοίωση έχει ποικίλες εφαρμογές σε πολλά πεδία. Είναι καθοριστικής σημασίας για την έρευνα και την ανάπτυξη, την κατάρτιση και την εκπαίδευση, τη λήψη αποφάσεων, την προγνωστική ανάλυση και την ψυχαγωγία. Η προσομοίωση παρέχει πολύτιμες γνώσεις, επιτρέπει πειραματισμούς χωρίς κινδύνους, υποστηρίζει τη λήψη αποφάσεων βάσει στοιχείων και διευκολύνει την κατανόηση πολύπλοκων συστημάτων. Αξιοποιώντας τις προσομοιώσεις, οι ερευνητές, οι επαγγελματίες και οι βιομηχανίες μπορούν να ενισχύσουν την καινοτομία, να βελτιώσουν τα αποτελέσματα και να αποκτήσουν μια βαθύτερη κατανόηση του κόσμου γύρω μας. (Banks, 1999) (Γεωργίου, et al., 2015)

4.5 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Πάμε να δούμε παρακάτω ποιες προκλήσεις και ποιους περιορισμούς μπορεί να αντιμετωπίσουμε με την αξιοποίηση της προσομοίωσης.

Ακρίβεια και επικύρωση μοντέλου:

Μία από τις κύριες προκλήσεις στην προσομοίωση είναι η διασφάλιση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των μοντέλων που χρησιμοποιούνται. Τα μοντέλα είναι απλοποιήσεις πολύπλοκων συστημάτων του πραγματικού κόσμου και η ακρίβειά τους εξαρτάται από τις υποθέσεις και τις απλουστεύσεις που γίνονται κατά τη διαδικασία μοντελοποίησης. Η επικύρωση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης σε σχέση με εμπειρικά δεδομένα ή παρατηρήσεις στον πραγματικό κόσμο είναι ζωτικής σημασίας για την εδραίωση εμπιστοσύνης στις προγνωστικές δυνατότητες του μοντέλου. Ωστόσο, η επικύρωση μπορεί να είναι δύσκολη λόγω της πολυπλοκότητας και της δυναμικής φύσης των συστημάτων που προσομοιώνονται.

Υπολογισμός και Πόροι:

Η προσομοίωση πολύπλοκων συστημάτων απαιτεί συχνά σημαντική υπολογιστική ισχύ και πόρους. Υπολογιστές υψηλής απόδοσης, αποθήκευση δεδομένων μεγάλης κλίμακας και αποτελεσματικοί αλγόριθμοι είναι απαραίτητοι για την εκτέλεση προσομοιώσεων σε εύλογο χρονικό διάστημα. Καθώς τα συστήματα γίνονται πιο περίπλοκα και λεπτομερή, οι υπολογιστικές απαιτήσεις αυξάνονται,

δημιουργώντας δυνητικά προκλήσεις όσον αφορά το υλικό, το λογισμικό και το υπολογιστικό κόστος.

Αβεβαιότητα και ευαισθησία:

Πολλές προσομοιώσεις περιλαμβάνουν αβέβαιες παραμέτρους, υποθέσεις ή δεδομένα εισόδου. Αβεβαιότητες μπορεί να προκύψουν από περιορισμένη γνώση, σφάλματα μέτρησης ή εγγενή μεταβλητότητα στο σύστημα που μοντελοποιείται. Η ανάλυση ευαισθησίας είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι αλλαγές στις παραμέτρους εισόδου ή τις παραδοχές επηρεάζουν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Η αξιολόγηση της ευρωστίας των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης και ο ποσοτικός προσδιορισμός των επιπτώσεων των αβεβαιοτήτων μπορεί να είναι περίπλοκη και μπορεί να απαιτήσει προηγμένες στατιστικές τεχνικές.

Δεοντολογικά ζητήματα:

Οι προσομοιώσεις που περιλαμβάνουν ανθρώπινη συμπεριφορά, ευαίσθητα θέματα ή επηρεάζουν τις αποφάσεις του πραγματικού κόσμου εγείρουν ηθικούς προβληματισμούς. Πρέπει να ληφθεί μέριμνα για τη διασφάλιση του απορρήτου, της ενημερωμένης συγκατάθεσης και της υπεύθυνης χρήσης των προσομοιώσεων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι προσομοιώσεις μπορεί να έχουν σημαντικές συνέπειες, όπως στην υγειονομική περίθαλψη ή στη χάραξη πολιτικής, και θα πρέπει να ακολουθούνται οι δεοντολογικές οδηγίες για να διασφαλιστεί η δίκαιη και δίκαιη χρήση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

Υπερβολική εξάρτηση στην προσομοίωση:

Ενώ οι προσομοιώσεις είναι πολύτιμα εργαλεία, δεν θα πρέπει να θεωρούνται ως τέλειες αναπαραστάσεις της πραγματικότητας. Οι προσομοιώσεις βασίζονται σε μοντέλα και υποθέσεις που μπορεί να έχουν εγγενείς περιορισμούς ή απλουστεύσεις. Είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε τα όρια της προσομοίωσης και να αναγνωρίσουμε ότι η επικύρωση του πραγματικού κόσμου και τα εμπειρικά δεδομένα είναι απαραίτητα για τη διασφάλιση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Η υπερβολική εξάρτηση σε προσομοιώσεις χωρίς την κατάλληλη επικύρωση μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα ή λήψη αποφάσεων.

Πολυπλοκότητα και ανάπτυξη μοντέλου:

Η ανάπτυξη ακριβών μοντέλων προσομοίωσης μπορεί να είναι μια πρόκληση. Τα πολύπλοκα συστήματα μπορεί να απαιτούν περίπλοκα και λεπτομερή μοντέλα που καταγράφουν διάφορες αλληλεπιδράσεις, συμπεριφορές και βρόχους ανάδρασης. Η δημιουργία τέτοιων μοντέλων συχνά περιλαμβάνει διεπιστημονική συνεργασία, ενοποίηση δεδομένων και τεχνογνωσία στον τομέα. Η εξισορρόπηση της πολυπλοκότητας του μοντέλου με την υπολογιστική σκοπιμότητα είναι μια λεπτή εργασία και μπορεί να απαιτούνται απλοποιήσεις για να καταστούν οι προσομοιώσεις υπολογιστικά εφαρμόσιμες. Ωστόσο, οι απλουστεύσεις μπορούν να δημιουργήσουν αβεβαιότητες και να επηρεάσουν την πιστότητα των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.

Διαθεσιμότητα και ποιότητα δεδομένων:

Τα μοντέλα προσομοίωσης βασίζονται συχνά σε δεδομένα εισόδου για να αναπαραστήσουν με ακρίβεια τις πραγματικές συνθήκες. Ωστόσο, η απόκτηση δεδομένων υψηλής ποιότητας μπορεί να είναι μια πρόκληση. Τα δεδομένα μπορεί να είναι ελλιπή, παρωχημένα ή να υπόκεινται σε προκαταλήψεις. Επιπλέον, σε ορισμένες περιπτώσεις, τα σχετικά δεδομένα ενδέχεται να μην είναι καθόλου διαθέσιμα. Η ακρίβεια και η αξιοπιστία των προσομοιώσεων εξαρτώνται από την ποιότητα, τη διαθεσιμότητα και την αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Η διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων και η αντιμετώπιση των περιορισμών δεδομένων είναι κρίσιμα βήματα για την ανάπτυξη ισχυρών μοντέλων προσομοίωσης.

Επικοινωνία και ερμηνεία των αποτελεσμάτων:

Η ερμηνεία και η αποτελεσματική επικοινωνία των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης στους ενδιαφερόμενους μπορεί να είναι προκλητική. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι συχνά πολύπλοκα και απαιτούν τεχνογνωσία για να κατανοηθούν. Η κοινοποίηση των αβεβαιοτήτων, των υποθέσεων και των περιορισμών των προσομοιώσεων είναι απαραίτητη για να διασφαλιστεί ότι οι ενδιαφερόμενοι έχουν σαφή κατανόηση των αποτελεσμάτων. Οι τεχνικές οπτικοποίησης, η σαφής τεκμηρίωση και η εμπλοκή των ενδιαφερομένων σε όλη τη

διαδικασία προσομοίωσης μπορούν να βοηθήσουν στην αποτελεσματική επικοινωνία και τη λήψη αποφάσεων.

Συμπερασματικά, η προσομοίωση παρουσιάζει αρκετές προκλήσεις και περιορισμούς που πρέπει να ληφθούν υπόψη και να αντιμετωπιστούν για επιτυχή εφαρμογή. Η διασφάλιση της ακρίβειας του μοντέλου, η αντιμετώπιση των υπολογιστικών απαιτήσεων, ο χειρισμός των αβεβαιοτήτων και η αντιμετώπιση ηθικών παραμέτρων είναι κρίσιμες πτυχές της προσομοίωσης. (Ross, 2022) Είναι σημαντικό να αναγνωρίζονται οι περιορισμοί των προσομοιώσεων, να επικυρώνονται τα αποτελέσματα σε σχέση με δεδομένα του πραγματικού κόσμου και να κοινοποιούνται αποτελεσματικά τα αποτελέσματα στα ενδιαφερόμενα μέρη. Με την κατανόηση και τον μετριασμό αυτών των προκλήσεων, οι προσομοιώσεις μπορούν να συνεχίσουν να αποτελούν ισχυρά εργαλεία για την κατανόηση πολύπλοκων συστημάτων και την ενημέρωση των διαδικασιών λήψης αποφάσεων. (Γεωργίου, et al., 2015)

4.6 ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ ΣΤΗ ΡΑΦΗΝΑ – (ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ANYLOGIC)

Υπάρχουν αρκετά software έτσι ώστε να δημιουργήσει κανείς μοντέλα προσομοίωσης (όπως το Anylogic, το Simio και το FlexSim) και όλα λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο. Στην έρευνά μας, επικεντρωθήκαμε αποκλειστικά στο anylogic, καθώς πρόκειται για ένα εργαλείο προσομοίωσης πολλαπλών μεθόδων. Αυτό το εργαλείο ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα, επειδή μπορεί να συνδυάσει όλες τις διαφορετικές μεθόδους προσομοίωσης (System Dynamics, Discrete Event Modeling, Agent-Based Modeling). Κάθε μία από αυτές τις μεθόδους έχει τη δική της μεθοδολογία, και το anylogic παρέχει τη δυνατότητα ενοποίησής τους για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Στην προσπάθεια δημιουργίας ενός παραδείγματος μέσω του Anylogic είχαμε την ακόλουθη διαδικασία αλλά και αποτελέσματα. Θεωρήσαμε ότι γίνεται μία φυσική καταστροφή στη Ραφήνα και προσπαθήσαμε να αποτυπώσουμε μέσω του anylogic

την βέλτιστη και ταχύτερη μεταφορά των ασθενών προς τα πλησιέστερα νοσοκομεία που έχουν Μονάδες Εντατικής Θεραπείας (Μ.Ε.Θ.).

Αρχικά έγινε εισαγωγή του GIS Map ώστε να μπορούμε να βλέπουμε να επεξεργαστούμε ζουμάροντας ακριβώς το σημείο του πλανήτη που επιθυμούμε. Στην περίπτωση μας την Ραφήνα.

Για χάριν ευκολίας πήραμε μόλις τους 3 πλησιέστερους σταθμούς ασθενοφόρων οι οποίοι είναι οι ακόλουθοι:

- Σταθμός του Γέρακα με γεωγραφικό μήκος και πλάτος (38,02152 , 23,86412)
- Σταθμός στα Σπάτα με γεωγραφικό μήκος και πλάτος (37,96691 , 23,91776)
- Και ο Σταθμός του αεροδρομίου με γεωγραφικό μήκος και πλάτος (37,93564 , 23,94835)

Επίσης στο παράδειγμά μας πήραμε τα 3 πιο κοντινά Νοσοκομεία που έχουν Μονάδες Εντατικής Θεραπείας (Μ.Ε.Θ.) και είναι τα ακόλουθα:

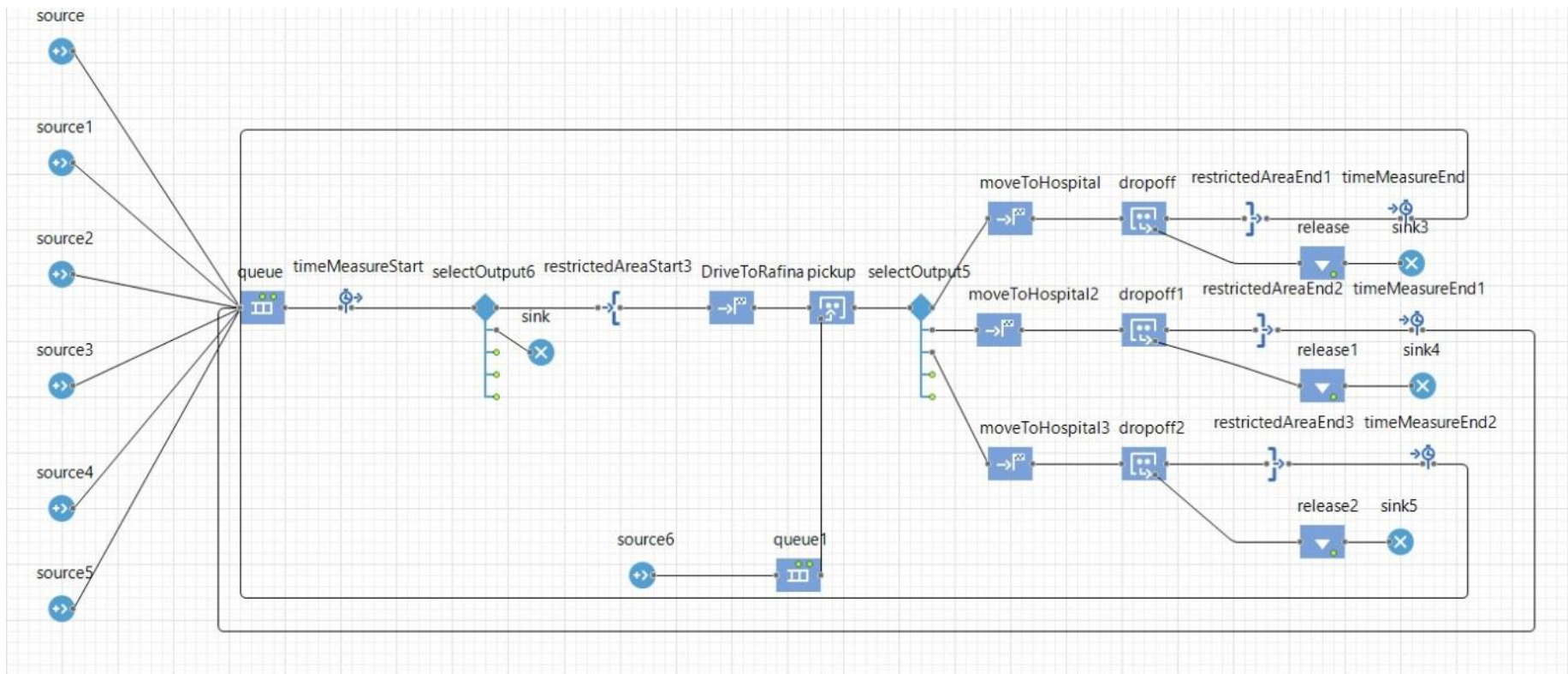
- Ιατρικό Κέντρο Αθηνών με γεωγραφικό μήκος και πλάτος (38,04312 , 23,80544)
- Σισμανόγλειο Νοσοκομείο με γεωγραφικό μήκος και πλάτος (38,04642 , 23,82846)
- Και το Νοσοκομείο της Πεντέλης με γεωγραφικό μήκος και πλάτος (38,051 , 23,87515)

Τα συγκεκριμένα δεδομένα εισαχθήκαν μέσα στο Anylogic μέσω υπολογιστικού φύλου του excel θεωρώντας τους σταθμούς νοσοκομείου και τα νοσοκομεία ως 2 πολλαπλούς Agents.

Στην συνέχεια ξεχωριστά ως νέοι Agent μπήκαν τα οχήματα (στην περίπτωση μας ασθενοφόρα) όπου θεωρούμε ότι θα υπάρχουν δύο σε κάθε σημείο έναρξης (είτε Νοσοκομείο είτε σταθμός Νοσοκομείου) και οι ασθενείς ως ένας πολλαπλός Agent όπου θεωρούμε ότι θα έχουμε 15 ασθενείς.

Σε κάθε ένα από αυτά τα σημεία τοποθετήθηκε ένα GIS Point με βάση τα οποία κινήθηκαν τα οχήματά μας από τα σημεία έναρξης στο σημείο παραλαβής των ασθενών και στην συνέχεια στο κοντινότερο διαθέσιμο Νοσοκομείο που είναι το σημείο προορισμού μας.

Με βάση αυτό το σκεπτικό σχεδιάστηκε το διάγραμμα ροής το οποίο φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.



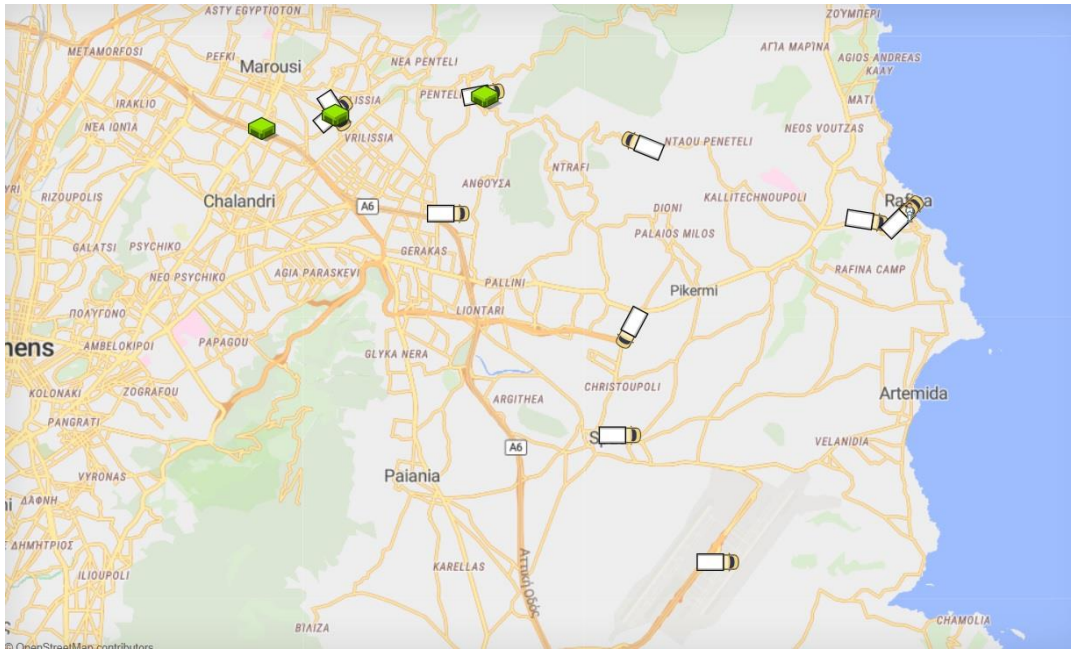
Εικόνα 29. Διάγραμμα Ροής στην προσομοίωση για την μεταφορά ασθενών από την Ραφήνα προς τα πλησιέστερα Νοσοκομεία.

Σύμφωνα λοιπόν και με το διάγραμμα ροής θεωρούμε ότι από το Source μέχρι το Source 5 είναι τα σημεία έναρξης (Νοσοκομεία και Σταθμοί Νοσοκομείων) όπου θα ξεκινήσουν τα ασθενοφόρα. Στο Source 6 είναι οι ασθενείς που βρίσκονται στην Ραφήνα. Θεωρούμε αρχικά ότι όλα τα ασθενοφόρα (2 σε κάθε σημείο έναρξης) μπαίνουν αρχικά μέσα σε μία ουρά και είναι σε ετοιμότητα. Από αυτό το σημείο και μετά ξεκινάει η καταμέτρηση του χρόνου όπου παρεμπιπτόντως έχει τσεκαριστεί το κουτάκι “Log to Database” έτσι ώστε να καταγράψει τους χρόνους και να μας τους δώσει με το τέλος της προσομοίωσης. Στην συνέχεια γίνεται έλεγχος για το εάν υπάρχουν ασθενείς στο σημείο της Ραφήνας. Εάν υπάρχουν το ασθενοφόρο θα προχωρήσει προς τα εκεί αλλιώς θα τερματίσει. Από την στιγμή που υπάρχουν ασθενείς το όχημα εισέρχεται σε μία περιορισμένη περιοχή (το πολύ 5 ασθενοφόρων) διότι θέλουμε να μεταφέρονται 5 ασθενείς κάθε φορά λόγω του ότι δεν μπορούν να ανταπεξέλθουν σε μεγαλύτερη ροή και τα Νοσοκομεία. Πηγαίνουν μέχρι το σημείο που υπάρχουν οι ασθενείς, τους παραλαμβάνουν και στην συνέχεια επιλέγουν διαθέσιμο Νοσοκομείο με βάση την διαθεσιμότητά του. Εκεί αφήνουν τον ασθενή που έχουν, βγαίνουν από την περιορισμένη περιοχή και σταματάει ο χρόνος καταγραφής. Τα ασθενοφόρα που έχουν εκτελέσει την μεταφορά επιστρέφουν στο τέλος της ουράς που είναι όλα τα υπόλοιπα μέσω της μεθόδου FIFO.

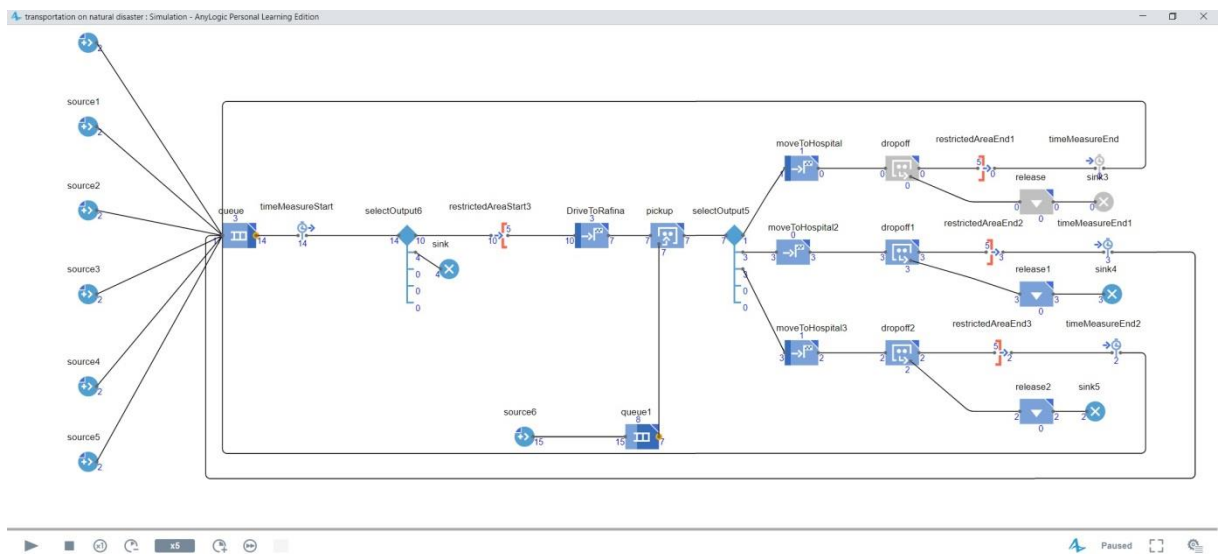
Όσον αφορά τους ασθενείς και αυτοί μπαίνουν σε μία ουρά έτσι ώστε ένας-ένας να μεταφερθούν από τα ασθενοφόρα με το που φτάνουν στο συγκεκριμένο σημείο.

Η προσομοίωση ολοκληρώνεται μόλις μεταφερθούν όλοι οι ασθενείς από το σημείο του ατυχήματος στα διαθέσιμα Νοσοκομεία.

Παρακάτω μπορούμε να δούμε μία εικόνα από το πώς έδειχνε η προσομοίωση όταν έτρεξε και πως το διάγραμμα ροής.



Εικόνα 30. Προσομοίωση μεταφοράς ασθενών από την Ραφήνα προς τα πλησιέστερα Νοσοκομεία.



Εικόνα 31. Διάγραμμα ροής κατά την διάρκεια της προσομοίωσης – μεταφοράς ασθενών από την Ραφήνα προς τα πλησιέστερα Νοσοκομεία.

Με το τέλος της προσομοίωσης εξαγάγαμε τους χρόνους και τις διαδρομές που ακολούθησε το κάθε ασθενοφόρο για να μεταφέρει τον ασθενή στο πλησιέστερο Νοσοκομείο. Ταυτόχρονα θεωρήσαμε ότι κάποιοι ασθενείς είναι πιο βαριά τραυματισμένοι, για αυτό και μεταφέρθηκαν πρώτοι σε αντίθεση με τους πιο ελαφριά τραυματίες που μεταφέρθηκαν στην συνέχεια. Σύμφωνα με την Αυστραλιανή Κλίμακα (ATS), οι πιο βαριά τραυματίες μπορούν να αναμένουν λιγότερο χρόνο σε σχέση με

τους πιο ελαφριά τραυματίες έτσι ώστε να δεχθούν την απαιτούμενη ιατροφαρμακευτική περίθαλψη. Οι χρόνοι αυτοί είναι συγκεκριμένοι ανάλογα με το βαθμό τραυματισμού που έχουν (Hodge, et al., 2013).

Με βάση λοιπόν αυτούς τους δύο χρόνους βγάλαμε έναν δείκτη που μπορεί να μας δείξει κατά πόσο τα ασθενοφόρα ανταποκρίθηκαν πλήρως στη μεταφορά ή κινδύνεψε ο ασθενής που μετέφεραν.

Όλα αυτά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα όπου όταν αυτός ο δείκτης είναι πάνω από την μονάδα τότε θα μεταφερθεί με ασφάλεια ο ασθενής και όλα θα πάνε καλά. Όταν είναι από 0,5 μέχρι 1 τότε έχει κίνδυνο ώστε να αλλάξει κατηγορία και να επιβαρυνθεί η κατάστασή του. Όταν είναι κάτω από 0,5 τότε το πιο πιθανό είναι να επιβαρυνθεί η κατάστασή του και να αλλάξει κατηγορία και όταν είναι μηδέν ή πολύ κοντά στο μηδέν τότε το πιο σίγουρο είναι ότι θα επιβαρυνθεί η κατάστασή του και επίσης υπάρχει πολύ ισχυρή πιθανότητα να χάσουμε τον συγκεκριμένο ασθενή διότι δεν θα μπορέσουν να τον φροντίσουν οι γιατροί εγκαίρως. Για παράδειγμα οι δυο πιο βαριά ασθενείς μας είναι το πιο πιθανό να χάσουν την ζωή τους διότι ο δείκτης είναι μηδενικός.

Επίσης οι πιο ελαφριά ασθενείς φάνηκε να μεταφέρθηκαν με μία σχετική ασφάλεια αλλά και με τον κίνδυνο έτσι ώστε να χειροτερέψει η κατάστασή τους και να ανέβουν επίπεδο στην Αυστραλιανή Κλίμακα.

	Route of Ambulances (with Anylogic)	Treatment acuity (max wait time) (A)	Transportation Time (B)	A/B (have to be >= 1)
1-5	Spata - Rafina - Sismanoglio H.	0 minutes	41,53	0,00
	Pentelis H. - Rafina - Pentelis H.	0 minutes	47,51	0,00
	Athens M. C. - Rafina - Sismanoglio H.	10 minutes	48,65	0,21
	Sismanoglio H. - Rafina - Pentelis H.	10 minutes	53,60	0,19
	AIA - Rafina - Sismanoglio H.	10 minutes	53,91	0,19
6-10	Athens M. C. - Rafina - Pentelis H.	10 minutes	88,84	0,11
	Pentelis H. - Rafina - Athens M. C.	30 minutes	95,55	0,31
	AIA - Rafina - Pentelis H.	30 minutes	100,83	0,30
	Sismanoglio H. - Rafina - Pentelis H.	60 minutes	102,18	0,59
	Spata - Rafina - Sismanoglio H. - Rafina - Sismanoglio H.	60 minutes	106,67	0,56
11-15	Athens M. C. - Rafina - Sismanoglio H. - Rafina - Athens M. C.	60 minutes	141,93	0,42
	Pentelis H. - Rafina - Pentelis H. - Rafina - Athens M. C.	120 minutes	143,59	0,84
	Pentelis H. - Rafina - Athens M. C. - Rafina - Sismanoglio H.	120 minutes	150,20	0,80
	AIA - Rafina - Sismanoglio H. - Rafina - Athens M. C.	120 minutes	153,91	0,78

Sismanoglio H. - Rafina - Pentelis H. - Rafina - Sismanoglio H.	120 minutes	160,12	0,75
--	-------------	--------	------

Πίνακας 11. Αποτελέσματα προσομοίωσης μεταφοράς ασθενών από τη Ραφήνα στα πλησιέστερα Νοσοκομεία.

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Για να ξεκινήσουμε να αναφέρουμε το μεθοδολογικό μας πλαίσιο θα αναφέρουμε αρχικά κάποια σημαντικά στοιχεία του προβλήματός μας, τα οποία τα περιγράψαμε στις πρώτες ενότητες και καθιστούν το πρόβλημά μας αρκετά περίπλοκο και όχι μόνο ένα πρόβλημα logistics.

Ο χρόνος που οι ασθενείς ή οι τραυματίες φροντίζονται από τους γιατρούς στα νοσοκομεία είναι ζωτικής σημασίας σε πολλές περιπτώσεις για την επιτυχή αντιμετώπιση ενός συμβάντος. Ειδικότερα στις φυσικές καταστροφές, ο υψηλός αριθμός τραυματισμένων ανθρώπων απαιτεί την άμεση ενεργοποίηση και την εκμετάλλευση όλων των διαθέσιμων πόρων προκειμένου να αντιμετωπιστεί η αυξημένη απαίτηση για άμεση ιατρική υποστήριξη. (Σαρίδης, et al., 2010) Συνεπώς και όλα τα διαθέσιμα ασθενοφόρα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να φτάσουν οι τραυματίες στον προορισμό τους (Νοσοκομεία) το συντομότερο δυνατό. Έτσι κάπως πιο συγκεντρωτικά θα μπορούσαμε να αναφέρουμε πως η συγκεκριμένη περίπτωση είναι περίπλοκη για τους ακόλουθους λόγους.

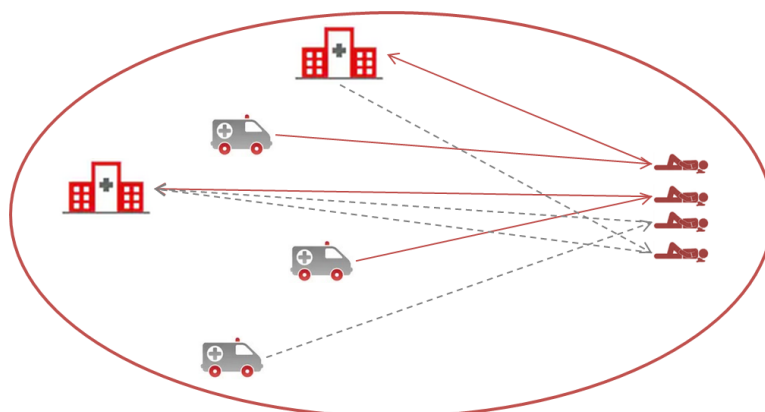
- Τα ασθενοφόρα συνήθως βρίσκονται σε διαφορετικές τοποθεσίες όπως τα Νοσοκομεία ή οι Σταθμοί Ασθενοφόρων ή είναι υπεύθυνα για άλλες περιπτώσεις. Έτσι, η θέση κάθε διαθέσιμου ασθενοφόρου για χρήση σε αυτήν την περίπτωση επηρεάζει το χρόνο απόκρισης για τη περισυλλογή των τραυματισμένων ανθρώπων.
- Τα διαθέσιμα ασθενοφόρα συνήθως είναι περιορισμένα σε σχέση με τον αριθμό των τραυματισμένων ανθρώπων. Έτσι, ορισμένα ή όλα τα ασθενοφόρα πρέπει να κάνουν περισσότερες από μία διαδρομές για τη συλλογή όλων.
- Κάθε σημείο προορισμού για ασθενοφόρο είναι το σημείο εκκίνησης της επόμενης διαδρομής. Έτσι, υπάρχει μια αβεβαιότητα σχετικά με το χρόνο που απαιτείται για τη μεταφορά ασθενών στα πλησιέστερα Νοσοκομεία, καθώς κάθε επόμενο στάδιο έχει άμεση επίδραση από το προηγούμενο.
- Η προτεραιότητα για το ποιος ασθενής θα μεταφερθεί πρώτος εξαρτάται από το επίπεδο – κλίμακα που βρίσκεται ο ασθενής. Τα άτομα που έχουν τραυματιστεί σοβαρά υπερισχύουν των άλλων που είναι ελαφρώς τραυματισμένοι. (Hodge, et al., 2013) Πράγμα το οποίο θα επιλυθεί βάσει της Αυστραλιανής Κλίμακας.

- Η διαθεσιμότητα των πόρων του Νοσοκομείου (ανθρώπινη και υποδομή) είναι περιορισμένη σε κάθε νοσοκομείο, ειδικά σε τοπικό επίπεδο. Έτσι, η καλύτερη κατανομή πόρων συμβάλλει στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων μιας φυσικής καταστροφής, όπως σεισμού ή πλημμύρας ή πυρκαγιάς ή επιδημίας ή τροχαίου ατυχήματος. (Λέκκας, 2000)
- Ο Χρόνος μεταφοράς μπορεί να αλλάζει με τον καιρό για διάφορους λόγους όπως ο κυκλοφοριακός συνωστισμός.

Έτσι για να ξεκινήσουμε να σκεφτόμαστε την επίλυση του συγκεκριμένου προβλήματος θα πρέπει επίσης να έχουμε στο μυαλό μας κάποιες παραδοχές όπως είναι οι ακόλουθες.

- Η φυσική καταστροφή προκαλεί την ανάγκη άμεσης αντίδρασης μόνο στο/στα τοπικό/ά μέρος/η και ο στόλος ασθενοφόρων πρέπει να κινητοποιηθεί εκεί για να παρέχει λύσεις ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης.
- Η πλήρης διαθεσιμότητα των πόρων του Νοσοκομείου θα βοηθήσει ώστε να μην υπάρχουν επιπλέον παράμετροι που αποσπούν την προσοχή μας.
- Ένας συγκεκριμένος αριθμός ασθενοφόρων σε κάθε σημείο εκκίνησης είναι η καλύτερη λύση ώστε να αντιμετωπίσεις ένα έκτακτο γεγονός.
- Ένας συγκεκριμένος αριθμός ασθενών μπορεί να δεχτεί τις ιατρικές υπηρεσίες σε κάθε φάση στα Νοσοκομεία.
- Ένας συγκεκριμένος αριθμός ασθενών μπορεί να μεταφερθεί σε κάθε φάση από τα ασθενοφόρα.

Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να οπτικοποιήσουμε κάπως όλα αυτά, όπως κάναμε και με την χρήση της προσομοίωσης μέσω του Anylogic.



Εικόνα 32. Οπτικοποίηση προβλήματος μεταφοράς ασθενών στα πλησιέστερα Νοσοκομεία.

5.1 ΟΠΙΣΘΟΔΡΟΜΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Σε πρώτη φάση αυτό που θα πρέπει να κάνουμε είναι κάπως να ορίσουμε την τον τρόπο με τον οποίο θα γίνεται η παροχή επείγουσας φροντίδας αλλά και η σειρά με την οποία θα μεταφερθούν οι ασθενείς. Για αυτό λοιπόν θεωρούμε πως η φροντίδα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με το Γάλλο-Γερμανικό μοντέλο όπου παρέχετε εξειδικευμένη υποστήριξη αμέσως στον τόπο του περιστατικού, ώστε να σταθεροποιείται όσο το δυνατόν η κατάσταση του ασθενή, να κερδίζουμε πολύτιμο χρόνο και ταυτόχρονα να χρήζουν μεταφορά στα νοσοκομεία μόνο τα πολύ σημαντικά περιστατικά.



Εικόνα 33. Παροχή Επείγουσας Ιατρικής Φροντίδας βάσει του Γάλλο-Γερμανικού μοντέλου.

Για αυτά την διαλογή των πολύ σημαντικών περιστατικών θα πρέπει να γίνεται μία διαρκής ταξινόμηση αυτών, στα πρότυπα που είναι και η Αυστραλιανή κλίμακα. Με αυτό τον τρόπο θα μπορούσαμε έτσι ορίσουμε τον βαθμό σημαντικότητας του κάθε περιστατικού αλλά και να αντιλαμβανόμαστε έγκαιρα τυχόν αλλαγές που μπορεί να

υπάρξουν με την πάροδο του χρόνου διότι και οι τραυματιοφορείς – ιατροί που προσπαθούν να φέρουν σε πέρας το δύσκολο αυτό έργο τους δεν παύουν να είναι άνθρωποι και σίγουρα μπορεί να κάνουν κάποια λάθος εκτίμηση. Έτσι, θα μπορούσαμε να εξασφαλίσουμε ότι γνωρίζουμε εξαρχής των όγκο των ασθενών που θα πρέπει να μεταφερθούν στα πλησιέστερα νοσοκομεία, τον βαθμό σημαντικότητας του τραύματος που έχουν αλλά και την σειρά με την οποία θα πρέπει να μεταφερθούν, καθώς φαίνεται λογικό να μεταφερθούν πρώτα όσοι είναι πιο βαριά τραυματισμένοι και στην συνέχεια όσοι είναι με ελαφρύτερα τραύματα.

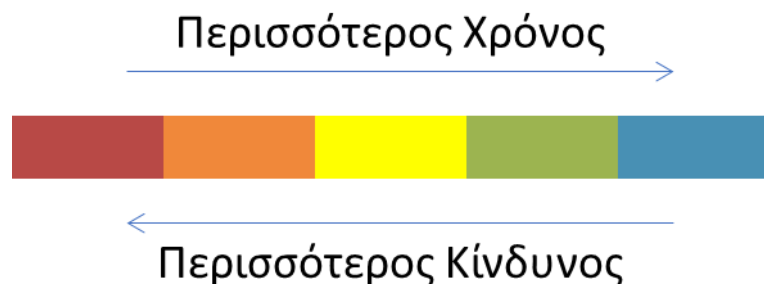
Number	Name	Color	Max Time
1	Non-Urgent	Blue	120 minutes
2	Standard	Green	60 minutes
3	Urgent	Yellow	30 minutes
4	Very Urgent	Orange	10 minutes
5	Immediate Resuscitation	Red	0 minutes

Πίνακας 12. Ταξινόμηση στα πρότυπα της Australian triage scale (ATS)

Όπου σε αυτό το σημείο αρχικά δίνουμε έναν αριθμό από το ένα (1) έως τα πέντε (5) ανάλογα με το βαθμό σοβαρότητας του τραύματος. Βαθμό ένα (1) παίρνουν τα πιο ήπια περιστατικά που πρέπει να μεταφερθούν στο νοσοκομείο, βαθμό δύο (2) τα αμέσως πιο σημαντικά, βαθμό τρία (3) τα σημαντικά περιστατικά, βαθμό τέσσερα (4) τα πολύ σημαντικά περιστατικά και βαθμό πέντε (5) παίρνουν τα πιο σοβαρά περιστατικά που δεν έχουμε καθόλου χρόνο για χάσιμο. Αντίστοιχα κάθε βαθμός έχει και το δικό του χρώμα. Ο Βαθμός ένα (1) έχει το μπλε χρώμα, ο βαθμός δύο (2) το πράσινο χρώμα, ο βαθμός τρία (3) το κίτρινο χρώμα, ο βαθμός τέσσερα (4) το πορτοκαλί χρώμα και ο βαθμός πέντε (5) το κόκκινο χρώμα. Τέλος για κάθε βαθμό έχουμε ορίσει σύμφωνα με τα πρότυπα της Αυστραλιανής κλίμακας το χρόνο που μπορούμε να διαθέσουμε για καθυστερήσεις μέχρι να μεταφερθεί στο πλησιέστερο νοσοκομείο και να του παραχθούν ιατρική περίθαλψη. Για το βαθμό ένα (1) θεωρούμε πως μπορεί να περιμένει ο ασθενής 120 λεπτά, για το βαθμό δύο (2) 60 λεπτά, για το βαθμό τρία (3) 30 λεπτά, για το βαθμό τέσσερα (4) 10 λεπτά και για το βαθμό πέντε (5) 0 λεπτά.

Έτσι εάν σε περίπτωση κάποιος ασθενής περάσει αυτό το χρονικό όριο μπορεί να τεθεί σε κίνδυνο η ζωή του. Επίσης, είναι πολύ χρήσιμο να επαληθεύεται σε τακτικά χρονικά διαστήματα η κατάστασή τους διότι εάν έχει γίνει κάποια λάθος εκτίμηση μπορεί ένας ασθενής να αναγκαστεί να αλλάξει κλίμακα και π.χ. από πράσινη με βαθμό δύο (2) και χρόνο αναμονής 60 λεπτά να αναγκαστεί να μεταφερθεί στην κίτρινη κλίμακα που έχει βαθμό τρία (3) και χρόνο αναμονής 30 λεπτά και άρα να προσπεράσει άλλους ασθενείς που θα μπορούσαν να περιμένουν περισσότερο χρόνο στο σημείο του ατυχήματος και άρα να μην τεθεί η ζωή του σε κίνδυνο.

Σύμφωνα και με την παρακάτω εικόνα θα μπορούσαμε να πούμε πως αν είχαμε την παρακάτω κλίμακα χρωμάτων, όσο κινούμαστε προς τα δεξιά και πηγαίνουμε στο μπλε χρώμα, έχουμε περισσότερο χρόνο για να αντιμετωπίσουμε τα περιστατικά. Αντίστοιχα όσο πηγαίνουμε προς τα αριστερά και στο κόκκινο χρώμα τόσο αυξάνεται ο κίνδυνος να χάσει κάποιος ασθενής την ζωή του.



Εικόνα 34. Κλίμακα χρωμάτων στα πρότυπα της Australian triage scale (ATS).

Από την στιγμή που έχουμε ξεκαθαρίσει τον τρόπο με τον οποίο θα οριστεί η σειρά της μεταφοράς των ασθενών μπορούμε να προχωρήσουμε στον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να μεταφερθούν οι ασθενείς από τα ασθενοφόρα στα πλησιέστερα νοσοκομεία.

Πολύ εύκολα μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι πρόκειται για ένα πρόβλημα στο οποίο ο Δυναμικός Προγραμματισμός αποτελεί τον πυρήνα επίλυσης του.

Ο Δυναμικός Προγραμματισμός είναι η θεωρία των διαδικασιών λήψης αποφάσεων πολλαπλών σταδίων. (Bellman, 1957) Από το 1957, υπήρξαν πολλές μελέτες που συνέδεσαν τα ονόματά τους με τον δυναμικό προγραμματισμό. Ωστόσο, ο πυρήνας της μεθοδολογίας μας απαιτεί να έχουμε κατά νου την αρχική ευρεία αντίληψη του Bellman. Μια ντετερμινιστική διαδικασία απόφασης πολλαπλών

σταδίων χαρακτηρίζεται από μια «αρχική κατάσταση» x_1 και συναρτήσεις f_t και L_t ως εξής: Η συνάρτηση f_t καθορίζει τις σχέσεις μεταξύ «ελέγχων» $\{u_t\}$ και «καταστάσεων» $\{x_t\}$ σύμφωνα με:

$$x_{t+1} = f_t(x_t, u_t) \quad 1 \leq t \leq N$$

Υποθέτουμε ότι το x_t είναι οι πραγματικές n -πλειάδες και το u_t έχουν m διαστάσεις. Το σύνολο των σταδίων απόφασης, δηλ. το πεδίο για τον δείκτη t είναι οι πρώτοι N θετικοί ακέραιοι ή το σύνολο όλων των θετικών ακεραίων για μια διεργασία άπειρου ορίζοντα.

Η συνάρτηση $f_t(x_t, u_t)$ θα αναφέρεται ως «δυναμική» και η συνάρτηση $L_t(x_t, u_t)$ ως συνάρτηση «απώλειας ενός σταδίου». Σε μία οποιαδήποτε ακολουθία $u = \{u_t\}$ στοιχείων ελέγχου (μια τέτοια ακολουθία είναι γνωστή ως «πολιτική»), κάποιος συσχετίζει μια αντικειμενική συνάρτηση πραγματικής αξίας που ορίζεται από

$$K(u) = \sum_{t=1}^N L_t(x_t, u_t)$$

Σκοπός αυτής είναι να κατασκευαστεί μια πολιτική « u^* » που ελαχιστοποιεί την αντικειμενική συνάρτηση $K(u)$. Τα «εφικτά» στοιχεία ελέγχου είναι αυτά που ικανοποιούν έναν περιορισμό της μορφής

$$g_t(x_t, u_t) \leq 0 \quad 1 \leq t \leq N$$

Η διαδικασία για το πρόβλημα βέλτιστου ελέγχου πεπερασμένου ορίζοντα ξεκινά με αναδρομική επίλυση της συναρτησιακής εξίσωσης $V_N(x)$, $V_{N-1}(x)$, ..., $V_1(x)$ όπου

$$V_t(x) = \min_u [L_t(x, u) + V_{t+1}(f_t(x, u))] \quad t = N, N-1, \dots, 1 \quad (\text{Bellman, 1957})$$

Όπου $V_{N+1}(x) \equiv 0$. Επίσης η ελαχιστοποίηση πάντα ικανοποιεί απόλυτα τους περιορισμούς-ελέγχους. Έστω $u_t(x)$ υποδηλώνει ένα στοιχείο ελέγχου που ελαχιστοποιεί τον όρο, ο οποίος βρίσκεται σε αγκύλες στην παραπάνω εξίσωση $V_t(x)$. Αποδεικνύεται έτσι εύκολα ότι η πολιτική « u^* » καθορίζεται από $x_1^* = x_1$ και

$$u_t^* = u_t(x_t^*), \quad x_{t+1}^* = f_t(x_t^*, u_t^*) \quad t = 1, \dots, N$$

Είναι η απόλυτη ελαχιστοποίηση του $K(u)$. Τέλος η πολιτική « u^* » είναι η λύση του βέλτιστου προβλήματος ελέγχου. (Yakowitz, 1982)

Για τους σκοπούς της περίπτωσης που εξετάζεται στην παρούσα ερευνητική εργασία, θα χρησιμοποιηθεί μια προσαρμοσμένη και εμπλουτισμένη τεχνική της οπισθοδρομικής μεθόδου του δυναμικού προγραμματισμού. Οι «καταστάσεις» για εμάς θα είναι το αποτέλεσμα κάθε ασθενοφόρου, λαμβάνοντας υπόψη τον

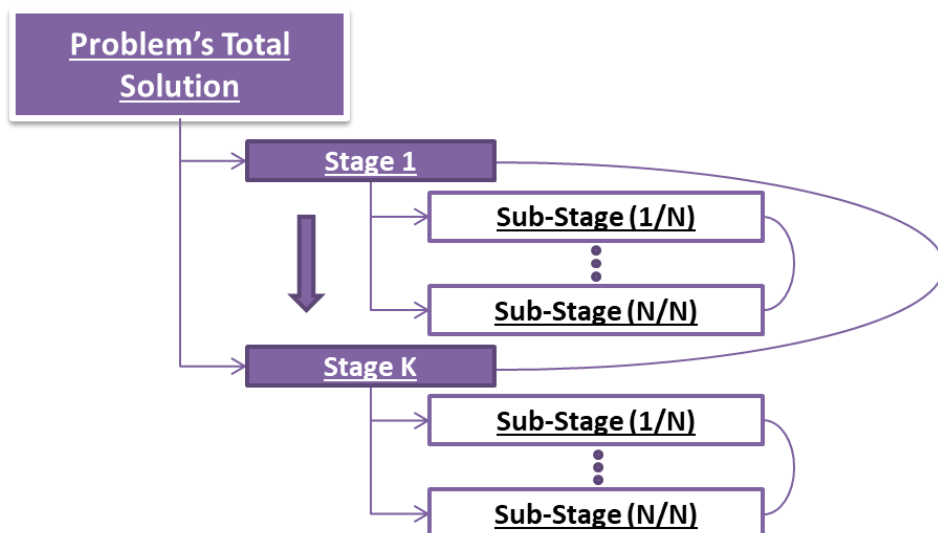
επιλεγμένο ασθενή, το νοσοκομείο και τη διαδρομή που θα επιλεγεί. Το “στάδιο” για εμάς θα είναι κάθε ξεχωριστός γύρος και οι “έλεγχοι” θα είναι οι περιορισμοί μας. Θεωρούμε ότι βρισκόμαστε στην κατάσταση x_1 όταν όλα αρχίζουν και προσπαθούμε να κατασκευάσουμε μια πολιτική « u^* » που θα ελαχιστοποιεί την αντικειμενική συνάρτηση.

Η εξεταζόμενη περίπτωση στη συγκεκριμένη ερευνητική εργασία είναι πιο περίπλοκη αφού α) θα πρέπει να προσδιορίζεται η σοβαρότητα του τραυματισμού κάθε ασθενούς και β) να καθορίζεται ο χρόνος μεταφοράς και θεραπείας. Όσον αφορά το πρώτο κομμάτι, η επιλογή κάθε ασθενή βασίζεται στα πρότυπα της ταξινόμησης της Αυστραλιανής Κλίμακας Διαλογής (ATS). (Alister Hodge, et al., 2013) Όσον αφορά το δεύτερο σκέλος, ο χρόνος εξαρτάται από δύο παράγοντες. Ο πρώτος παράγοντας είναι ο χρόνος ταξιδιού και ο δεύτερος είναι ο χρόνος που θα χρειαστεί για τη λήψη υπηρεσιών υγείας λαμβάνοντας υπόψη τη διαθεσιμότητα νοσοκομειακού προσωπικού και υποδομής που σημαίνει ότι δεν μπορούν όλοι οι ασθενείς να πάνε στο ίδιο νοσοκομείο γιατί έτσι θα έχουμε αδιέξοδο.

Η πολυπλοκότητα άλλωστε του προβλήματός μας, που αποτελείται από τα παραπάνω χαρακτηριστικά, μας αναγκάζει να υιοθετήσουμε μια μεθοδολογία της οποίας η απόφαση που θα λάβουμε τώρα θα επηρεάζει το αποτέλεσμα της απόφασης που θα λάβουμε αργότερα, λαμβάνοντας υπόψη όλη την παραπάνω αντίληψη του Bellman ότι όλα τα μέρη της μια βέλτιστη τροχιά είναι οι ίδιες οι βέλτιστες τροχιές. Έτσι, έχουμε πολλά στάδια που αλληλεξαρτώνται μεταξύ τους. Επιπλέον, κάθε στάδιο μπορεί να έχει και αντίστοιχα υπο-στάδια. Γενικά στον δυναμικό προγραμματισμό, είναι ευκολότερο να επιλύσουμε ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης όταν λαμβάνουμε υπόψη ένα σύνολο υποπροβλημάτων. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα που δεν πρέπει να αγνοήσουμε είναι το γεγονός ότι με αυτόν τον τρόπο μπορεί να δοθεί λύση για περισσότερες από μία περιπτώσεις με τη χρήση δυναμικού προγραμματισμού. Έτσι, βρίσκοντας τις λύσεις για όλα τα επιμέρους προβλήματα που πρέπει να ακολουθήσουμε, μπορούμε επίσης να προσδιορίσουμε τη βέλτιστη συνολική διαδρομή. Επίσης, η σύνδεση μεταξύ κάθε υπο-σταδίου θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη γιατί το αποτέλεσμα ενός υπο-σταδίου μπορεί να επηρεάσει το αποτέλεσμα του επόμενου υπο-σταδίου και γενικά το συνολικό αποτέλεσμα της διαδρομής. (Rardin, 2022) Με άλλα λόγια, η λύση μπορεί να αναφέρεται στην εκτίμηση του βέλτιστου συνδυασμού διαδοχικών αποφάσεων. Στη

βιβλιογραφία, η σχέση μεταξύ της τιμής του μεγαλύτερου προβλήματος και των τιμών των υποπροβλημάτων ονομάζεται εξίσωση Bellman.

Θα ήταν μια σοβαρή παράβλεψη αν δεν αναφέραμε ότι ο δυναμικός προγραμματισμός χρησιμοποιεί είτε την αναδρομή προς τα εμπρός είτε την αναδρομή προς τα πίσω για την επίλυση ενός προβλήματος διαχείρισης. Η αναδρομή προς τα εμπρός περιλαμβάνει τη μετάβαση σε μια κατεύθυνση από το πρώτο στάδιο στο τελευταίο στάδιο. Η αναδρομή προς τα πίσω είναι το αντίθετο, όπου το πρόβλημα λύνεται από το τελευταίο στάδιο προς τα πίσω στο πρώτο στάδιο. (Bettinger, et al., 2017) Επιπλέον, τα δυναμικά προβλήματα γίνονται ευκολότερα κατανοητά χρησιμοποιώντας την αναδρομή προς τα πίσω. Στην αρχή, το πρόβλημα χωρίζεται σε διακριτά στάδια. Μετά από αυτό, η διαδικασία ξεκινά συνήθως από το τελευταίο στάδιο. Επιλύονται μικρά υποπροβλήματα και η καλύτερη λύση του καθενός χρησιμοποιείται ως στοιχείο εισόδου στο υποπρόβλημα του επόμενου σταδίου. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να φτάσουμε στην αρχή και να βρούμε την καλύτερη λύση στο πλήρες πρόβλημα που είναι η σύνθεση των βέλτιστων λύσεων των υποπροβλημάτων. (Rardin, 2022) Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει τη ροή εργασιών της μεθοδολογίας δυναμικού προγραμματισμού.



Εικόνα 35. Ροή Εργασιών της Μεθοδολογίας του Δυναμικού Προγραμματισμού.

Πιο συνοπτικά και επιγραμματικά θα μπορούσαμε να αναφέρουμε τα παραπάνω σύμφωνα με τα ακόλουθα:

A) Έχουμε αρκετά στάδια τα οποία και αλληλεξαρτώνται μεταξύ τους.

B) Η επίλυση μπορεί να αναφερθεί στην εκτίμηση του βέλτιστου συνδυασμού διαδοχικών αποφάσεων.

Γ) Μπορούμε να σπάσουμε το πρόβλημα σε επιμέρους αλληλο-συνδεόμενα υπο-προβλήματα.

Δ) Μπορούμε να συνδέσουμε όλες τις επιμέρους αποφάσεις ώστε να συνθέσουμε μία βέλτιστη λύση.

Ε) Οι λύσεις για περισσότερες από μία υποθέσεις είναι ένα σύνηθες πλεονέκτημα της επίλυσης με δυναμικό προγραμματισμό.

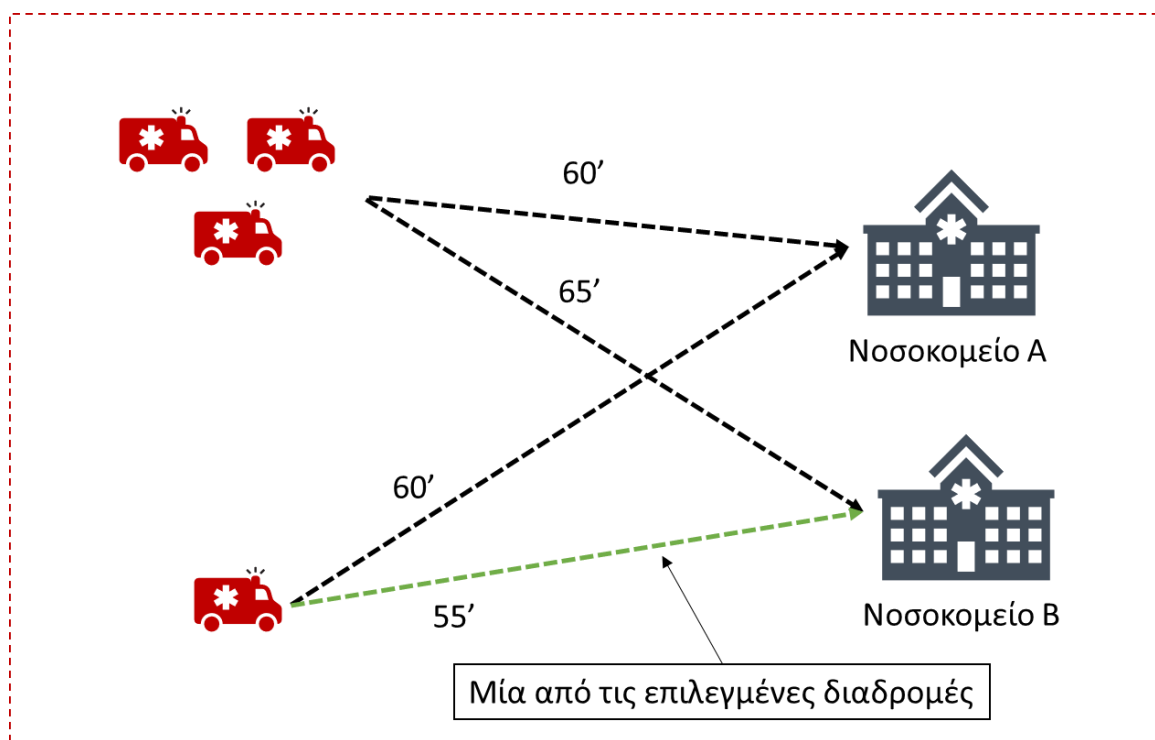
ΣΤ) Και τέλος τα στοιχειώδη δυναμικά προβλήματα μπορούν να γίνουν πιο εύκολα αντιληπτά προς τα πίσω, δηλαδή από την τελική προς την αρχική κατάσταση.

Στο πρόβλημά μας κάθε φάση θα μπορεί να έχει και αντίστοιχες υπο-φάσεις. Γενικά στο Δυναμικό Προγραμματισμό, είναι ευκολότερη η επίλυση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης όταν λαμβάνεται υπόψη ένα σύνολο υπο-προβλημάτων. Βρίσκοντας επομένως τις λύσεις σε όλες τις υπο-διαδρομές που πρέπει να ακολουθηθούν μπορούμε να εντοπίσουμε και την βέλτιστη συνολική διαδρομή.

Στην περίπτωση μας, θα χρησιμοποιηθεί μια παραλλαγή της οπισθοδρομικής τεχνικής του δυναμικού προγραμματισμού. Θα υπάρξουν κάποια υπο-στάδια όπου θα βρούμε πού πρέπει να πάει το κάθε ασθενοφόρο, εάν το επιλέξουμε λαμβάνοντας υπόψη το κόστος χρόνου του καθενός. Η σύνθεση αυτών των επιμέρους σταδίων θα μας δώσει τη λύση για κάθε στάδιο και θα γνωρίζουμε ακριβώς ποια ασθενοφόρα πρέπει να επιλεγούν. Μετά από κάθε στάδιο, ο χρόνος κάθε ασθενοφόρου που θα χρειαστεί για τη μεταφορά ενός ασθενούς στο κάθε διαθέσιμο νοσοκομείο θα πρέπει να επανυπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη ότι οι προηγούμενες επιλογές θα επηρεάσουν τις νέες. Οι εισροές που έχουμε σε κάθε υπο-στάδιο είναι ο χρόνος των ασθενοφόρων προς τα πλησιέστερα διαθέσιμα νοσοκομεία και οι έξοδοι που θα έχουμε θα είναι οι τελικές επιλογές-λύσεις των ασθενοφόρων σε κάθε διαθέσιμο νοσοκομείο για κάθε υπο-στάδιο. Σε αυτό το σημείο να πούμε πως σε κάθε υπο-στάδιο πέρα του επανυπολογισμού του χρόνου θα έχουμε επανυπολογισμό της κατάστασης των ασθενών διότι μπορεί να έχει αλλάξει κάποιος κλίμακα.

Σε κάθε υπο-φάση θα μπορούμε λοιπόν να βλέπουμε πως μπορεί να μετακινηθεί το κάθε ένα ασθενοφόρο μόνο του διότι το καθένα βρίσκεται και σε διαφορετικό εναρκτήριο σημείο. Στη συνέχεια θα δημιουργείται ένας συγκεντρωτικός πίνακας. Με

βάσει τον συγκεντρωτικό πίνακα μπορούμε να δούμε ποια ή ποιες είναι οι βέλτιστες επιλογές για το πιο κοντινό χρονικά νοσοκομείο. Εάν έστω και 1 από τα άλλα νοσοκομεία είχε έστω και 1 που να ήταν πιο ελάχιστο από την επιλογή του να πάει στο πιο κοντινό Νοσοκομείο θα το συγκρίνουμε με τα αντίστοιχα ελάχιστα αυτού του νοσοκομείου. Εάν ήταν μικρότερο από το μεγαλύτερο δυνατό ελάχιστο της συγκεκριμένης επιλογής θα το επέλεγα. Εάν πχ όλα τα ασθενοφόρα είχαν ελάχιστο χρόνο προς το Νοσοκομείο A στα 60 λεπτά και για το δεύτερο Νοσοκομείο B είχαν 65 λεπτά και αντίστοιχα για ένα ασθενοφόρο η χρονική απόσταση προς το Νοσοκομείο A ήταν εξίσου χαμηλή αλλά προς το Νοσοκομείο B ήταν ακόμη χαμηλότερη στα 55 λεπτά τότε θα το επέλεγα και θα κάλυπτα την μία από τις 5 δυνατές θέσεις του γύρου πηγαίνοντας το συγκεκριμένο ασθενοφόρο στο Νοσοκομείο B αντί για να μεταφερθεί στο Νοσοκομείο A.



Εικόνα 36. Παράδειγμα επιλογής ασθενοφόρου με αντίθετα μικρότερη χρονική μεταφορά σε σχέση με το σύνολο των ασθενοφόρων.

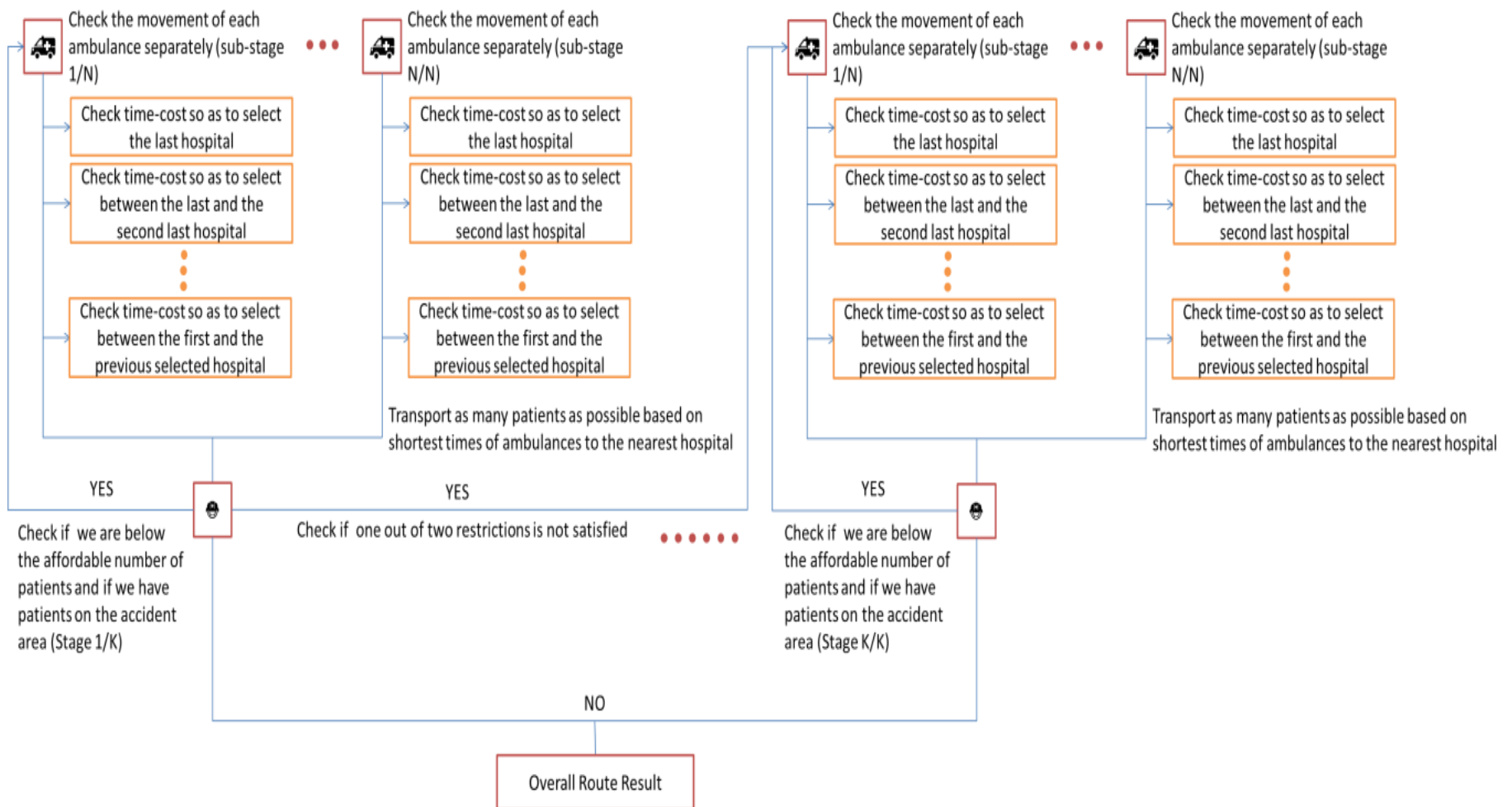
Επίσης εάν υπήρχαν και άλλα ασθενοφόρα που να είναι αντίστοιχα μικρότερα από τα ελάχιστα που βγαίνουν στο πρώτο τότε θα έλεγχα εάν φτάνω τα 5 που θέλω αθροιστικά για να μεταφερθούν σε αυτόν τον γύρο και εάν μεταξύ τους είναι πιο μικρά τα υπόλοιπα στα άλλα νοσοκομεία για να τα επιλέξω.

Στη συνέχεια και έχοντας συμπληρώσει το μέγιστο δυνατό αριθμό εισαγωγών για το πρώτο νοσοκομείο που θα είναι και το πιο κοντινό χρονικά σε σχέση με όλα τα άλλα ξανατρέχουμε τις υπο-φάσεις και βγάζουμε ένα νέο συγκεντρωτικό πίνακα, όπου πάλι ισχύει ότι και πιο πάνω παίρνοντας νέους χρόνους και ελέγχοντας εξαρχής όλους τους ασθενείς ώστε να είμαστε ενημερωμένοι για τυχόν αλλαγές που μπορεί να έχουν προκύψει.

Το ίδιο ισχύει ξανά και ξανά για όλα τα Νοσοκομεία μέχρι να συμπληρωθεί ο απαιτούμενος αριθμός του κάθε γύρου ή μέχρι να τελειώσουν οι ασθενείς. Στην περίπτωση που ο αριθμός των ασθενών είναι σημαντικά πολύ μεγαλύτερος από αυτών που μπορούν να αντέξουν τα Νοσοκομεία τότε οι ασθενείς που έχουν τα λιγότερο σημαντικά τραύματα θα αναγκαστούν να περιμένουν ή να πάνε σε κάποιο πολύ πιο απομακρυσμένο Νοσοκομείο με κάποιο μέσο ακόμη και εάν είναι εκτός του Νομού της Αττικής για την οποία και μιλάμε στη συγκεκριμένη διδακτορική διατριβή. Στη συνέχεια κάνουμε ένα συνολικό συγκεντρωτικό πίνακα για να δούμε τις επιλογές που κάναμε και αθροίζουμε αυτά τα κόστη για να δούμε το συνολικό κόστος μεταφοράς χρόνου των ασθενών. Εκεί τελειώνει η κάθε Φάση.

Στην συνέχεια υπολογίζουμε πάλι τους χρόνους βάσει και των Live δεδομένων από την Google και προχωράμε στην επόμενη μεγάλη Φάση μέχρι να τελειώσουν οι ασθενείς που χρήζουν μεταφοράς στα πλησιέστερα Νοσοκομεία.

Πιο οπτικά θα μπορούσαμε να παρουσιάσουμε την παραπάνω μεθοδολογία με το ακόλουθο διάγραμμα.



Εικόνα 37. Οπτικοποίηση διαγράμματος ροής οπισθοδρομικής τεχνικής δυναμικού προγραμματισμού.

Πριν πραγματοποιήσουμε τη μεταφορά ελέγχουμε τη διαθεσιμότητα δωματίων που έχει το κάθε Νοσοκομείο λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε Νοσοκομείο μπορεί να εξυπηρετήσει έναν συγκεκριμένο αριθμό ατόμων ανά γύρο αλλά και ένα συγκεκριμένο αριθμό ατόμων συνολικά. Μετά από αυτό κάνουμε τη μεταφορά στα πλησιέστερα Νοσοκομεία. Στο τέλος πρέπει να ελέγξουμε εάν όλοι οι τραυματίες μεταφέρθηκαν σε Νοσοκομεία. Εάν όχι, πρέπει υπολογίσουμε από την αρχή τον χρόνο μεταφοράς ασθενών στο Νοσοκομείο μέσω των Live δεδομένων από την Google, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο νέος χρόνος ισούται με το προηγούμενο κόστος-χρόνου συν τον απαραίτητο χρόνο που πρέπει να γίνει σε αυτόν τον γύρο. Επίσης, ο τελικός αριθμός ασθενών που εξυπηρετήθηκαν από τους προορισμούς είναι ίσος με τον προηγούμενο τελικό αριθμό ασθενών που εξυπηρετήθηκαν από τους προορισμούς συν τους ασθενείς που θα πρέπει να εξυπηρετηθούν σε αυτόν τον γύρο.

Με το τέλος της διαδικασίας, δημιουργούμε έναν δείκτη που μας δείχνει τη σχέση μεταξύ του πότε θα λάβει κάποιος τη θεραπεία και του χρόνου μεταφοράς που χρειάζεται κάθε ασθενοφόρο. Όταν αυτός ο δείκτης είναι υψηλότερος από 1, ο ασθενής είναι πιο πιθανό να αναρρώσει. Όταν αυτός ο δείκτης είναι μεταξύ 0,5 και 1, ο ασθενής είναι πιο πιθανό να μεταφερθεί σε ανώτερο επίπεδο αυτής της κλίμακας. Όταν αυτός ο δείκτης είναι χαμηλότερος από 0,5, ο ασθενής είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα αλλάξει κλίμακα και όταν αυτός ο δείκτης είναι πιο κοντά στο μηδέν (0), ο ασθενής έχει μεγάλες πιθανότητες να χάσει τη ζωή του.

Δείκτης Μεταξύ Χρόνου Θεραπείας και Χρόνου Μεταφοράς του Ασθενή	
Βαθμός	Αποτέλεσμα
Δείκτης ≥ 1	Ο ασθενής θα αναρρώσει.
$0,5 < \text{Δείκτης} < 1$	Πιθανότητα ο ασθενής να μεταφερθεί σε ανώτερο επίπεδο κλίμακας.
$0 < \text{Δείκτης} \leq 0,5$	Ισχυρή Πιθανότητα ότι ο ασθενής θα μεταφερθεί σε ανώτερο επίπεδο κλίμακας.
Δείκτης = 0	Ο ασθενής θα αποβιώσει.

Πίνακας 13. Δείκτης Μεταξύ Χρόνου Θεραπείας και Χρόνου Μεταφοράς του Ασθενή

Τέλος θα μπορούσαμε σε αυτό το σημείο να παρουσιάσουμε μία σύγκριση μεταξύ της γενικής μεθοδολογίας DARP που παρουσιάστηκε από τον Cordeau το 2006, του μιμητικού αλγόριθμου που παρουσιάστηκε από τον Zhang το 2015 και του δυναμικού προγραμματισμού που προτείνουμε.

Αρχικά να πούμε πως το γενικό και ο μιμητικός αλγόριθμος χρησιμοποιούνται σε στατικές καταστάσεις ενώ ο δυναμικός προγραμματισμός μπορεί να παίξει και σε στατικό και σε δυναμικό περιβάλλον καθώς σε κάθε υπο-φάση μπορούμε να ελέγχουμε τους χρόνους αν έχει γίνει κάποια αλλαγή και επίσης εάν προκύψει να έχουμε περισσότερους ασθενείς μπορούμε να επανεξετάσουμε το ποιος θα φύγει νωρίτερα από ποιον κάνοντας μια εκ νέου ταξινόμηση στα πρότυπα της Αυστραλιανής κλίμακας.

Για ότι αφορά τα αιτήματα που ικανοποιούνται να αναφέρουμε πως στο γενικό είναι άγνωστο το αν ικανοποιούνται όλα τα αιτήματα, στο μιμητικό αλγόριθμο ικανοποιούνται όσο το δυνατόν περισσότερα εγκαταλείποντας κιόλας αιτήματα τα οποία είναι σίγουρο ότι ο ασθενής δεν θα τα καταφέρει σύμφωνα με τους γιατρούς που θα τον έχουν δει και στον δυναμικό προγραμματισμό ικανοποιούνται όλα.

Σχετικά με το εάν μπαίνουν προτεραιοποιήσεις να αναφέρουμε πως στο γενικό δεν υπάρχει κάποια προτεραιοποίηση. Στον μιμητικό αλγόριθμο γίνεται αρχικά μία ιεραρχικοποίηση αλλά στην συνέχεια δεν λαμβάνεται υπόψη η σοβαρότητα των ασθενών ώστε να μεταφερθούν πρώτα οι πιο σοβαρά τραυματίες. Τέλος, στο δυναμικό προγραμματισμό γίνεται ένας έλεγχος για προτεραιοποίηση σε κάθε στάδιο που περνάμε και αν υπάρχει αλλαγή προσαρμοζόμαστε ανάλογα.

Σε ότι αφορά τον αριθμό των διαδρομών, το γενικό πραγματοποιεί μία διαδρομή, ο μιμητικός αλγόριθμος αρκετές μικρές διαδρομές και ο δυναμικός ατελείωτες μικρές και μεγάλες διαδρομές έως ότου να μεταφερθούν όλοι οι ασθενείς.

Όσον αφορά το αν υπάρχουν παράθυρα, για την γενική μεθοδολογία και τον μιμητικό αλγόριθμο χρησιμοποιούνται, αλλά στον δυναμικό όχι διότι μας ενδιαφέρει να μεταφερθούν απλά οι ασθενείς επειδή βρισκόμαστε σε μία έκτακτη περίπτωση.

Τέλος, όσον αφορά τον περιορισμό της διάρκειας διαδρομής που μπορεί να κάνει το κάθε ασθενοφόρο, να αναφέρουμε πως στο γενικό δεν υπάρχει κάτι, στο μιμητικό αλγόριθμο κυρίως εισέρχεται ως περιορισμός σχετικά με το πότε πρέπει να γίνει απολύμανση μέσα στο όχημα και άρα πρέπει να μεταφερθεί αντίστοιχα γρήγορα και ο ασθενής και στο δυναμικό το εισάγουμε κοιτάζοντας το πόσο γρήγορα πρέπει να

μεταφερθεί ο κάθε ασθενής, βάσει της Αυστραλιανής κλίμακας όπου επιλέγουμε πάντα τον ασθενή που είναι πιο σοβαρά τραυματισμένος.

Όλα αυτά μπορούμε να τα δούμε συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα.

Comparison of MTDARP Methodologies			
	General (Produced by Jean-François Cordeau in 2006)	Memetic Algorithm (Produced by Zhang et al in 2015)	Dynamic Programming Methodology
Static / Dynamic Mode	Static	Static	Static / Dynamic
Served requests	Unknown	As many as possible	All
Service Priorities	No	No	Yes
Number of Routes	One Route	Several Short Routes	Consecutive Short & Long Routes
Time Window Constrain	Yes	Yes	No
Route Duration Limit Constrain	No	Yes	Yes

Πίνακας 14. Σύγκριση των Multi-Trip DARP Μεθοδολογιών

5.2 ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

Όπως αναφέραμε παραπάνω για τα νετερμινιστικά δυναμικά vehicle routing προβλήματα (VRP), συνήθως μπορούν να λυθούν και με τον γραμμικό προγραμματισμό, εκτός του ότι συνήθως συνοδεύονται και από προσομοίωση. Για αυτό το λόγο προχωράμε και στην αντίστοιχη ανάπτυξη της συγκεκριμένης μεθοδολογίας.

Σε πρώτη φάση αυτό που θα πρέπει να κάνουμε είναι κάπως να ορίσουμε την τον τρόπο με τον οποίο θα γίνεται η παροχή επείγουσας φροντίδας αλλά και η σειρά με την οποία θα μεταφερθούν οι ασθενείς. Για αυτό λοιπόν θεωρούμε πως η φροντίδα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με το Γάλλο-Γερμανικό μοντέλο όπου παρέχετε εξειδικευμένη υποστήριξη αμέσως στον τόπο του περιστατικού, ώστε να σταθεροποιείται όσο το δυνατόν η κατάσταση του ασθενή, να κερδίζουμε πολύτιμο χρόνο και ταυτόχρονα να χρήζουν μεταφορά στα νοσοκομεία μόνο τα πολύ σημαντικά περιστατικά.



Εικόνα 38. Παροχή Επείγουσας Ιατρικής Φροντίδας βάση του Γάλλο-Γερμανικού μοντέλου.

Για αυτά την διαλογή των πολύ σημαντικών περιστατικών θα πρέπει να γίνεται μία διαρκής ταξινόμηση αυτών, στα πρότυπα που είναι και η Αυστραλιανή κλίμακα. Με αυτό τον τρόπο θα μπορούσαμε έτσι ορίσουμε τον βαθμό σημαντικότητας του κάθε περιστατικού αλλά και να αντιλαμβανόμαστε έγκαιρα τυχόν αλλαγές που μπορεί να υπάρξουν με την πάροδο του χρόνου διότι και οι τραυματιοφορείς – ιατροί που προσπαθούν να φέρουν σε πέρας το δύσκολο αυτό έργο τους δεν παύουν να είναι άνθρωποι και σίγουρα μπορεί να κάνουν κάποια λάθος εκτίμηση. Έτσι, θα μπορούσαμε να εξασφαλίσουμε ότι γνωρίζουμε εξ αρχής των όγκο των ασθενών που θα πρέπει να μεταφερθούν στα πλησιέστερα νοσοκομεία, τον βαθμό σημαντικότητας του τραύματος που έχουν αλλά και την σειρά με την οποία θα πρέπει να μεταφερθούν, καθώς φαίνεται λογικό να μεταφερθούν πρώτα όσοι είναι πιο βαριά τραυματισμένοι και στην συνέχεια όσοι είναι με ελαφρύτερα τραύματα.

Number	Name	Color	Max Time
1	Non-Urgent	Blue	120 minutes
2	Standard	Green	60 minutes
3	Urgent	Yellow	30 minutes
4	Very Urgent	Orange	10 minutes
5	Immediate Resuscitation	Red	0 minutes

Πίνακας 15. Ταξινόμηση στα πρότυπα της Australian triage scale (ATS)

Όπου σε αυτό το σημείο αρχικά δίνουμε έναν αριθμό από το ένα (1) έως τα πέντε (5) ανάλογα με το βαθμό σοβαρότητας του τραύματος. Βαθμό ένα (1) παίρνουν τα πιο ήπια περιστατικά που πρέπει να μεταφερθούν στο νοσοκομείο, βαθμό δύο (2) τα αμέσως πιο σημαντικά, βαθμό τρία (3) τα σημαντικά περιστατικά, βαθμό τέσσερα (4) τα πολύ σημαντικά περιστατικά και βαθμό πέντε (5) παίρνουν τα πιο σοβαρά περιστατικά που δεν έχουμε καθόλου χρόνο για χάσιμο. Αντίστοιχα κάθε βαθμός έχει και το δικό του χρώμα. Ο Βαθμός ένα (1) έχει το μπλε χρώμα, ο βαθμός δύο (2) το πράσινο χρώμα, ο βαθμός τρία (3) το κίτρινο χρώμα, ο βαθμός τέσσερα (4) το πορτοκαλί χρώμα και ο βαθμός πέντε (5) το κόκκινο χρώμα. Τέλος για κάθε βαθμό έχουμε ορίσει σύμφωνα με τα πρότυπα της Αυστραλιανής κλίμακας το χρόνο που μπορούμε να διαθέσουμε για καθυστερήσεις μέχρι να μεταφερθεί στο πλησιέστερο νοσοκομείο και να του παραχθούν ιατρική περίθαλψη. Για το βαθμό ένα (1) θεωρούμε πως μπορεί να περιμένει ο ασθενής 120 λεπτά, για το βαθμό δύο (2) 60 λεπτά, για το βαθμό τρία (3) 30 λεπτά, για το βαθμό τέσσερα (4) 10 λεπτά και για το βαθμό πέντε (5) 0 λεπτά.

Έτσι εάν σε περίπτωση κάποιος ασθενής περάσει αυτό το χρονικό όριο μπορεί να τεθεί σε κίνδυνο η ζωή του. Επίσης, είναι πολύ χρήσιμο να επαληθεύεται σε τακτικά χρονικά διαστήματα η κατάστασή τους διότι εάν έχει γίνει κάποια λάθος εκτίμηση μπορεί ένας ασθενής να αναγκαστεί να αλλάξει κλίμακα και π.χ. από πράσινη με βαθμό δύο (2) και χρόνο αναμονής 60 λεπτά να αναγκαστεί να μεταφερθεί στην κίτρινη κλίμακα που έχει βαθμό τρία (3) και χρόνο αναμονής 30 λεπτά και άρα να προσπεράσει άλλους ασθενείς που θα μπορούσαν να περιμένουν περισσότερο χρόνο στο σημείο του ατυχήματος και άρα να μην τεθεί η ζωή του σε κίνδυνο.

Σύμφωνα και με την παρακάτω εικόνα θα μπορούσαμε να πούμε πως αν είχαμε την παρακάτω κλίματα χρωμάτων, όσο κινούμαστε προς τα δεξιά και πηγαίνουμε στο

μπλε χρώμα, έχουμε περισσότερο χρόνο για να αντιμετωπίσουμε τα περιστατικά. Αντίστοιχα όσο πηγαίνουμε προς τα αριστερά και στο κόκκινο χρώμα τόσο αυξάνεται ο κίνδυνος να χάσει κάποιος ασθενής την ζωή του.



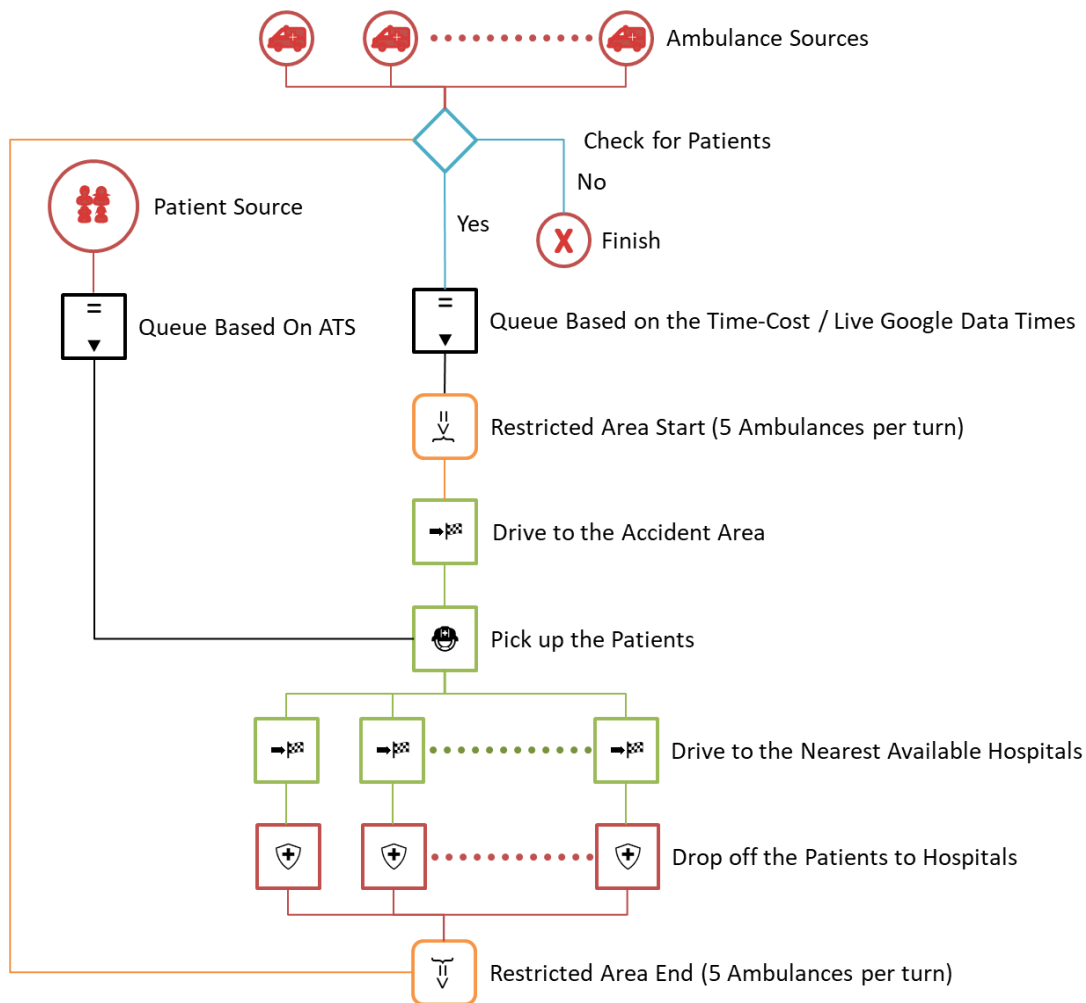
Εικόνα 39. Κλίμακα χρωμάτων στα πρότυπα της Australian triage scale (ATS).

Από την στιγμή που έχουμε ξεκαθαρίσει τον τρόπο με τον οποίο θα οριστεί η σειρά της μεταφοράς των ασθενών μπορούμε να προχωρήσουμε στον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να μεταφερθούν οι ασθενείς από τα ασθενοφόρα στα πλησιέστερα νοσοκομεία.

Γενικά η λήψη απόφασης βάσει του γραμμικού προγραμματισμού μπορεί να κάνει τα πράγματα πολύ πιο σαφή και καθαρά (Janse, 2018).

Έτσι, μπορούμε να χρησιμοποιούμε τον γραμμικό προγραμματισμό έτσι ώστε να ελαχιστοποιήσουμε το κόστος που απαιτείται από τα ασθενοφόρα στο να μεταφέρουν τους ασθενείς στα πλησιέστερα Νοσοκομεία, λαμβάνοντας υπόψη όλους τους σχετικούς περιορισμούς, όπως ο αριθμός των ασθενών που εξυπηρετούνται σε κάθε στροφή από τα Νοσοκομεία. και τον μέγιστο αριθμό ασθενών που θα εξυπηρετηθούν από τα Νοσοκομεία. Επίσης αξιοσημείωτο είναι το ότι θα πρέπει το τερματικό σημείο που φτάνει ένα ασθενοφόρο να είναι ένα σημείο εκκίνησης στην επόμενη φάση.

Το παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζει τη ροή εργασίας της προτεινόμενης προσέγγισης.



Εικόνα 40. Οπτικοποίηση διαγράμματος ροής προτεινόμενης προσέγγισης.

Πρώτα απ' όλα, έχουμε μια φυσική καταστροφή που έχουμε μερικούς ανθρώπους που χρειάζονται άμεση ιατρική βοήθεια. Δεύτερον, ελέγχουμε για το εάν υπάρχουν ασθενείς που χρειάζονται βοήθεια (εκτός από την πρώτη φορά που το θεωρούμε δεδομένο ότι υπάρχουν) και τους ταξινομούμε τους ασθενείς βάση της Αυστραλιανής Κλίμακας. Έπειτα, υπολογίζουμε τους χρόνους μεταφοράς στα νοσοκομεία χρησιμοποιώντας Live δεδομένα από τη Google που χρειάζονται τα ασθενοφόρα, ώστε να μπορούν να μεταφέρουν τους ασθενείς από την περιοχή του ατυχήματος στο πλησιέστερο Νοσοκομείο. Πριν πραγματοποιήσουμε τη μεταφορά ελέγχουμε τη διαθεσιμότητα δωματίων που έχει το κάθε Νοσοκομείο λαμβάνοντας υπόψη ότι κάθε Νοσοκομείο μπορεί να εξυπηρετήσει έναν συγκεκριμένο αριθμό ατόμων ανά γύρο αλλά και ένα συγκεκριμένο αριθμό ατόμων συνολικά. Μετά από αυτό κάνουμε τη μεταφορά στα πλησιέστερα Νοσοκομεία. Στο τέλος πρέπει να ελέγξουμε εάν όλοι οι τραυματίες μεταφέρθηκαν σε Νοσοκομεία. Εάν όχι, πρέπει υπολογίσουμε από την

αρχή τον χρόνο μεταφοράς ασθενών στο Νοσοκομείο μέσω των Live δεδομένων από την Google, λαμβάνοντας υπόψη ότι ο νέος χρόνος ισούται με το προηγούμενο κόστος-χρόνου συν τον απαραίτητο χρόνο που πρέπει να γίνει σε αυτόν τον γύρο. Επίσης, ο τελικός αριθμός ασθενών που εξυπηρετήθηκαν από τους προορισμούς είναι ίσος με τον προηγούμενο τελικό αριθμό ασθενών που εξυπηρετήθηκαν από τους προορισμούς συν τους ασθενείς που θα πρέπει να εξυπηρετηθούν σε αυτόν τον γύρο.

6. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ

6.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΟΠΙΣΘΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Για ότι αφορά τη μοντελοποίηση της οπισθοδρομικής μεθόδου υπάρχουν κάποιοι ορισμοί που πρέπει να αποτυπωθούν και αυτοί είναι οι ακόλουθοι.

- Στάδια του προβλήματος – Τα νοσοκομεία 1,2,3...κ.λπ.
- Καταστάσεις: s_n = Ο αριθμός των ασθενών που είναι διαθέσιμοι να μεταφερθούν από το n στάδιο μέχρι το τέλος
- Μεταβλητές απόφασης: x_n – ο αριθμός των ασθενών που θα έχουν μεταφερθεί στο Νοσοκομείο n
- Κόστος $C_n(x_n)$ - το προβλεπόμενο κόστος μεταφοράς των ασθενών x_n στο κάθε νοσοκομείο.

Επίσης η αναδρομική σχέση που ισχύει είναι η ακόλουθη.

$$F_n(s_n) = \min \{(C_n(x_n) + F_{n+1}(S_n - x_n))\}$$

$$x_n \geq 1, x_n \leq S_n$$

$$\text{Min}T = \sum_{n=1}^a (C_n)(X_n)$$

όπου $n=1, 2, 3, \dots, a$ (τα νοσοκομεία)

Με τους περιορισμούς

$$\sum_{n=1}^a (C_n)(X_n) \leq a$$

$$x_n \geq 0, \text{ ακέραιοι}$$

$$\sum_{n=1}^a X_n = 5$$

$$\sum_{n=1}^a X_n \leq \sum_{n=1}^a S_n$$

- 1) Το κόστος της μετακίνησης των ασθενοφόρων θα πρέπει να είναι μικρότερο ή ίσο από το συνολικό άθροισμά όλου του κόστους αν μετακινηθούν όλα παντού.
- 2) Ο αριθμός των ασθενών που θα εξυπηρετηθούν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος ή ίσος με το μηδέν και να είναι ακέραιος αριθμός.
- 3) Ο αριθμός των ασθενών που εξυπηρετήθηκαν πρέπει να είναι ίσος με 5
- 4) Ο αριθμός των ασθενών που εξυπηρετήθηκαν πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος με τον μέγιστο αριθμό των ασθενών που μπορούν να εξυπηρετηθούν συνολικά.

Επιπρόσθετα, σε κάθε νέο γύρο το κόστος χρόνου μεταφοράς θα είναι ίσο με το κόστος μεταφοράς του προηγούμενου γύρου συν το κόστος μεταφοράς αυτού του γύρου. Και ο αριθμός των ασθενών που μπορούν να εξυπηρετηθούν σε κάθε γύρο θα είναι ο αριθμός των ασθενών που μπορούσαν να εξυπηρετηθούν στον προηγούμενο γύρο συν τον αριθμό των ασθενών που μπορούν να εξυπηρετηθούν σε αυτό τον γύρο.

$$\sum_{n=1}^a (C_n)(X_n) = \sum_{n=1}^a (C_{n-1})(X_{n-1}) + \sum_{n=1}^a (C_n)(X_n)$$

$$\sum_{n=1}^a S_n = \sum_{n=1}^a S_{n-1} + \sum_{n=1}^a S_n$$

Τέλος οι ασθενείς θα πρέπει πρώτα να έχουν ταξινομηθεί στα πρότυπα της Αυστραλιανής Κλίμακας από τον πιο βαριά ασθενή στον πιο ελαφριά και οι χρόνοι θα παρθούν από τα Live δεδομένα της Google μέσω της συνάρτησης του excel.²²

Στη συνέχεια έχουμε την εφαρμογή των παραπάνω για να το δούμε πιο αναλυτικά όπου θεωρούμε ότι έχουμε 15 ασθενείς οι οποίοι ταξινομούνται στα πρότυπα της Αυστραλιανής κλίμακας ώστε σε πρώτη φάση να βελτιστοποιήσουμε την ικανοποίηση των πιο βαριά τραυματισμένων ως ακολούθως. Με βαθμό 1 είναι ο πιο ελαφριά τραυματισμένος και με βαθμό 5 ο πιο βαριά τραυματισμένος.

²² Βλέπε Παράρτημα Α. EXCEL FUNCTION ΓΙΑ LIVE ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗΝ GOOGLE.

Ταξινόμηση Ασθενών στα πρότυπα της Αυστραλιανής Κλίμακας (Australasian Triage Scale (ATS))		
Αριθμός Ασθενή	Βαθμός Σοβαρότητας Τραύματος (1 –ελαφρύ τραύμα, 5 –σοβαρό τραύμα)	Μέγιστη Αναμονή Ασθενών
3	5	0 minutes
14	5	0 minutes
7	4	10 minutes
8	4	10 minutes
9	4	10 minutes
15	4	10 minutes
10	3	30 minutes
11	3	30 minutes
1	2	60 minutes
4	2	60 minutes
12	2	60 minutes
2	1	120 minutes
5	1	120 minutes
6	1	120 minutes
13	1	120 minutes

Πίνακας 16. Ταξινόμηση Ασθενών στα πρότυπα της Αυστραλιανής Κλίμακας

Επίσης έχουμε 12 ασθενοφόρα ανά δύο σε κάθε διαφορετική περιοχή και θα πρέπει να μεταφέρουν του ασθενείς που θα προκύψουν στην Ραφήνα. Σε κάθε μεγάλη φάση θα μπορούν να μεταφερθούν μέχρι 5 ασθενείς και σε κάθε νοσοκομείο θα μπορούν να πάνε συγκεκριμένος αριθμός ασθενών σε κάθε γύρο (Νοσοκομείο 1 {Ιατρικό Κέντρο Αθηνών} – 3 Ασθενείς, Νοσοκομείο 2 {Νοσοκομείο Πεντέλης} – 1 ασθενής, Νοσοκομείο 3 {Σισμανόγλειο Νοσοκομείο} – 2 Ασθενείς) και συγκεκριμένος αριθμός ασθενών συνολικά (Νοσοκομείο 1 – 24 Ασθενείς, Νοσοκομείο 2 – 6 ασθενείς, Νοσοκομείο 3 – 12 Ασθενείς).

Οι χρόνοι που θα κάνει το κάθε ασθενοφόρο δίνονται στον παρακάτω πίνακα και βρέθηκαν μέσω των live δεδομένων από την φόρμουλα του excel²³.

²³ Βλέπε Παράρτημα Α. EXCEL FUNCTION ΓΙΑ LIVE ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗΝ GOOGLE.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N1	47,42	47,42	52,35	52,35	48,6	48,6	47,55	47,55	38,85	38,85	52,1	52,1
N2	53,68	53,68	58,61	58,61	54,86	54,86	53,81	53,81	45,11	45,11	58,36	58,36
N3	50,95	50,95	55,88	55,88	52,13	52,13	51,08	51,08	42,38	42,38	55,63	55,63

Πίνακας 17. Χρόνοι μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα

Στη συνέχεια βάσει της μεθοδολογίας για κάθε ένα ασθενοφόρο δημιουργώντας υπο-φάσεις υπολογίζουμε ποιο είναι το ελάχιστο κόστος – χρόνου έτσι ώστε να μεταφερθούν οι πρώτοι 5 ασθενείς. Για παράδειγμα για ότι αφορά το πρώτο και το δεύτερο ασθενοφόρο ισχύει το ακόλουθο.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
	0	1
Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	0	47,42
Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	0	53,68
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	50,95

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (1/3)}

s_3	$F_3(s_3)$	X_3
0	0	0
1	50,95	1

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (2/3)}

$s_2 X_2$		0	1	$F_2(s_2)$	X_2
0	$0+0=0$			0	0
1	$0+50,95=50,95$		$53,68+0=53,68$	50,95	0

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (3/3)}

$s_1 X_1$	0	1	$F_1(s_1)$	X_1
1	$0+50,95=50,95$	$47,42+0=47,42$	47,42	1

Εικόνα 41. Υπο-φάσεις πρώτου και δεύτερου ασθενοφόρου.

Όπου στην πρώτη υπο-φάση της πρώτης μεγάλης φάσης κοιτάμε το χρόνο που θα κάνει εάν επιλεγεί 0 ή 1 ασθενοφόρο για το τρίτο νοσοκομείο και η τιμή είναι 50,95 λεπτά. Στη συνέχεια για την δεύτερη υπο-φάση κοιτάμε το κόστος-χρόνου που θα χρειαστούμε εάν έχουμε μηδέν ή ένα ασθενοφόρο στο νοσοκομείο 2, όπου βλέπουμε ότι είναι καλύτερα να μην υπάρχει κανένα ασθενοφόρο στο δεύτερο νοσοκομείο επειδή το τρίτο νοσοκομείο έχει λιγότερο χρόνο έναντι του δευτέρου (50,95 λεπτά το τρίτο νοσοκομείο έναντι 53,68 λεπτά το δεύτερο νοσοκομείο). Επίσης μπορεί να γίνει η επιλογή να μην έχει ούτε το δεύτερο ούτε το τρίτο και άρα ο χρόνος τους να είναι μηδέν λεπτά. Τέλος στην τρίτη υπο-φάση κοιτάμε το κόστος-χρόνου που θα χρειαστούμε εάν έχουμε μηδέν ή ένα ασθενοφόρο στο νοσοκομείο 3, όπου βλέπουμε ότι είναι καλύτερα να υπάρχει 1 ασθενοφόρο στο πρώτο νοσοκομείο έχοντας λιγότερο χρόνο (47,42 λεπτά έναντι 50,95 λεπτά του τρίτου νοσοκομείου).

Το ίδιο ακριβώς κάνουμε για όλα τα ασθενοφόρα χωρίς να επιλέξουμε τελικά ότι κάποιο συγκεκριμένο ασθενοφόρο θα κινηθεί αλλά βρίσκοντας τα ελάχιστα σε όλα.

Επειδή έχουμε από δύο ασθενοφόρα σε κάθε θέση με τον ίδιο ακριβώς χρόνο μεταφοράς δεν υπάρχει λόγος να παραθέσουμε φωτογραφίες για όλα, αλλά ανά δυο για να δούμε τον υπολογισμό τους συνολικά.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
	0	1
Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	0	52,35
Νοσοκομείο Παίδων Πεντέλης (M2<=6)	0	58,61
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	55,88

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (1/3)}

s_3	$F_3(s_3)$	X_3
0	0	0
1	55,88	1

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (2/3)}

$s_2 X_2$	0	1	$F_2(s_2)$	X_2
0	0+0=0		0	0
1	0+55,88=55,88	58,61+0=58,61	55,88	0

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (3/3)}

$s_1 X_1$	0	1	$F_1(s_1)$	X_1
1	0+55,88=55,88	52,35+0=52,35	52,35	1

Εικόνα 42. Υπο-φάσεις τρίτου και τέταρτου ασθενοφόρου.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
	0	1
Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	0	48,6
Νοσοκομείο Παιδών Πεντέλης (M2<=6)	0	54,86
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	52,13

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (1/3)}

s_3	$F_3(S_3)$	X_3
0	0	0
1	52,13	1

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (2/3)}

S_2, X_2	0	1	$F_2(S_2)$	X_2
0	0+0=0		0	0
1	0+52,13=52,13	54,86+0=54,86	52,13	0

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (3/3)}

S_1, X_1	0	1	$F_1(S_1)$	X_1
1	0+52,13=52,13	48,6+0=48,6	48,6	1

Εικόνα 43. Υπο-φάσεις πέμπτου και έκτου ασθενοφόρου.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
	0	1
Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	0	47,55
Νοσοκομείο Παιδών Πεντέλης (M2<=6)	0	53,81
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	51,08

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (1/3)}

s_3	$F_3(S_3)$	X_3
0	0	0
1	51,08	1

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (2/3)}

S_2, X_2	0	1	$F_2(S_2)$	X_2
0	0+0=0		0	0
1	0+51,08=51,08	53,81+0=53,81	51,08	0

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (3/3)}

S_1, X_1	0	1	$F_1(S_1)$	X_1
1	0+51,08=51,08	47,55+0=47,55	47,55	1

Εικόνα 44. Υπο-φάσεις έβδομου και ογδοου ασθενοφόρου.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
	0	1
Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	0	38,85
Νοσοκομείο Παιδών Πεντέλης (M2<=6)	0	45,11
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	42,38

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (1/3)}

s_3	$F_3(S_3)$	X_3
0	0	0
1	42,38	1

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (2/3)}

$S_2 X_2$	0	1	$F_2(S_2)$	X_2
0	0+0=0		0	0
1	0+42,38=42,38	45,11+0=45,11	42,38	0

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (3/3)}

$S_1 X_1$	0	1	$F_1(S_1)$	X_1
1	0+42,38=42,38	38,85+0=38,85	38,85	1

Εικόνα 45. Υπο-φάσεις ένατου και δέκατου ασθενοφόρου.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
	0	1
Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	0	52,1
Νοσοκομείο Παιδών Πεντέλης (M2<=6)	0	58,36
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	55,63

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (1/3)}

s_3	$F_3(S_3)$	X_3
0	0	0
1	55,63	1

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (2/3)}

$S_2 X_2$	0	1	$F_2(S_2)$	X_2
0	0+0=0		0	0
1	0+55,63=55,63	58,36+0=58,36	55,63	0

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (3/3)}

$S_1 X_1$	0	1	$F_1(S_1)$	X_1
1	0+55,63=55,63	52,1+0=52,1	52,1	1

Εικόνα 46. Υπο-φάσεις ενδέκατου και δωδέκατου ασθενοφόρου.

Στην συνέχεια κάνουμε ένα συγκεντρωτικό πίνακα όπου επειδή τα ελάχιστα σε όλα τα ασθενοφόρα είναι στο Νοσοκομείο 1 επιλέγουμε τους 3 πιο μικρούς χρόνους ώστε αυτά τα ασθενοφόρα να κινηθούν προς την Ραφήνα και στη συνέχεια προς το Νοσοκομείο 1, όπως στον παρακάτω πίνακα.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N1	47,42	47,42	52,35	52,35	48,6	48,6	47,55	47,55	38,85	38,85	52,1	52,1
N2	53,68	53,68	58,61	58,61	54,86	54,86	53,81	53,81	45,11	45,11	58,36	58,36
N3	50,95	50,95	55,88	55,88	52,13	52,13	51,08	51,08	42,38	42,38	55,63	55,63

Πίνακας 18. Συγκεντρωτικός Πίνακας Χρόνων μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα

Έτσι επιλέγεται το ασθενοφόρο 1, 9 και 10 για να μεταφέρει τους 3 ασθενείς που μπορούν να μεταφερθούν στο Νοσοκομείο 1 ως ο μέγιστος δυνατός αριθμός που μπορούν να πάνε εκεί στην πρώτη φάση.

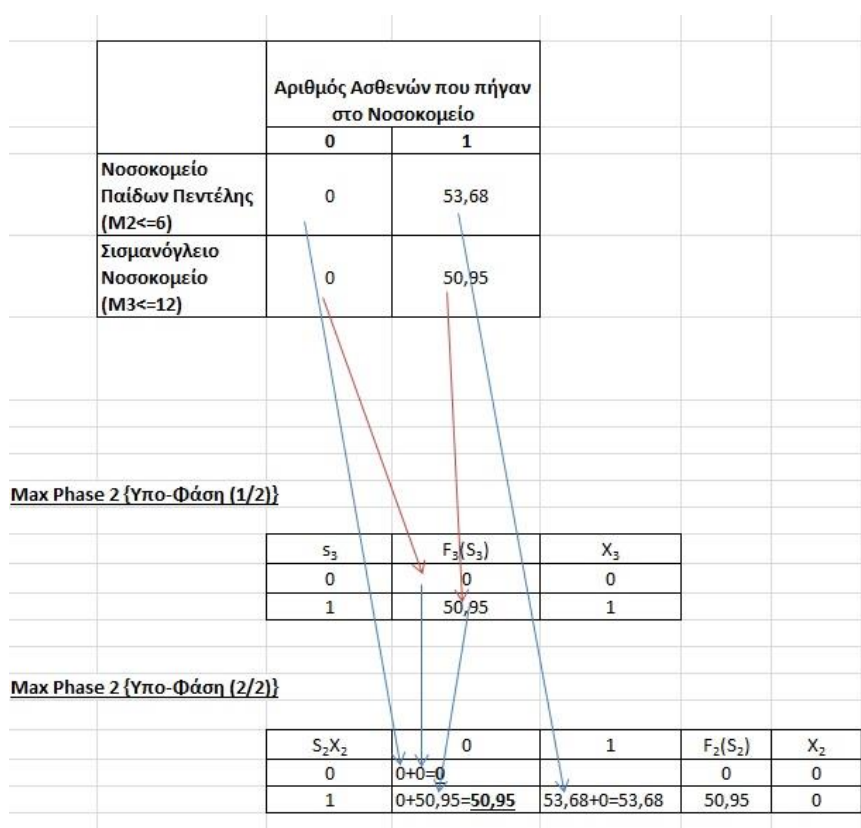
Εάν πχ το ασθενοφόρο νούμερο 6 είχε χρόνο προς το Νοσοκομείο 2 43 λεπτά αντί για 54,86 τότε θα το επέλεγα και εάν έτσι συμπλήρωνα τους 5 που είναι να μεταφερθούν τότε θα απέκλεια το ασθενοφόρο 1 για μεταφορά ασθενή.

Επίσης εάν υπήρχαν και άλλα ασθενοφόρα που να είναι αντίστοιχα μικρότερα από τα ελάχιστα που βγαίνουν στο πρώτο τότε θα έλεγχα εάν φτάνω τα 5 που θέλω αθροιστικά για να μεταφερθούν σε αυτόν τον γύρο και εάν μεταξύ τους είναι πιο μικρά τα υπόλοιπα στα άλλα νοσοκομεία για να τα επιλέξω.

Στη συνέχεια αφαιρούμε τις επιλογές των ασθενοφόρων που έγιναν επιλογή και το Νοσοκομείο που ήδη έχει γεμίσει για αυτό το γύρο και ξανατρέχουμε τις υποφάσεις έτσι ώστε να δούμε ποιο από τα δύο επόμενα πιο κοντινά νοσοκομεία είναι το καλύτερο για κάθε ασθενοφόρο. Ο Πίνακας με τους χρόνους που απομένουν και η ανάλυση για το δεύτερο ασθενοφόρο είναι ως ακολούθως.

	2	3	4	5	6	7	8	11	12
N2	53,68	58,61	58,61	54,86	54,86	53,81	53,81	58,36	58,36
N3	50,95	55,88	55,88	52,13	52,13	51,08	51,08	55,63	55,63

Πίνακας 19. Χρόνοι μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα



Εικόνα 47. Υπο-φάσεις δεύτερου ασθενοφόρου.

Αντίστοιχα τρέχουμε το ίδιο για όλα τα ασθενοφόρα και φτιάχνουμε τον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα όπου επιλέγουμε πάλι τα πιο ελάχιστα δυνατά που μπορούν να πάνε στο πιο κοντινό νοσοκομείο όπως κάναμε και με το πρώτο νοσοκομείο πιο πάνω. Στη προκειμένη περίπτωση τα ελάχιστα όλα βρίσκονται στο τρίτο νοσοκομείο όπου και θα πάρουμε το μέγιστο του αριθμό που είναι δύο ασθενοφόρα προς τα εκεί.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
	0	1
Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	0	58,61
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	55,88

Max Phase 2 {Υπο-Φάση (1/2)}

s_3	$F_3(s_3)$	X_3
0	0	0
1	55,88	1

Max Phase 2 {Υπο-Φάση (2/2)}

s_2, X_2	0	1	$F_2(s_2)$	X_2
0	0+0=0		0	0
1	0+55,88=55,88	58,61+0=58,61	55,88	0

Εικόνα 48. Υπο-φάσεις τρίτου και τέταρτου ασθενοφόρου.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
	0	1
Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	0	54,86
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	52,13

Max Phase 2 {Υπο-Φάση (1/2)}

s_3	$F_3(s_3)$	X_3
0	0	0
1	52,13	1

Max Phase 2 {Υπο-Φάση (2/2)}

s_2, X_2	0	1	$F_2(s_2)$	X_2
0	0+0=0		0	0
1	0+52,13=52,13	54,86+0=54,86	54,86	0

Εικόνα 49. Υπο-φάσεις πέμπτου και έκτου ασθενοφόρου.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
	0	1
Νοσοκομείο Παιδών Πεντέλης (M2<=6)	0	53,81
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	51,08

Max Phase 2 {Υπο-Φάση (1/2)}

s_3	$F_3(s_3)$	X_3
0	0	0
1	51,08	1

Max Phase 2 {Υπο-Φάση (2/2)}

$s_2 X_2$	0	1	$F_2(s_2)$	X_2
0	0+0=0		0	0
1	0+51,08=51,08	53,81+0=53,81	51,08	0

Εικόνα 50. Υπο-φάσεις έβδομου και όγδοου ασθενοφόρου.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
	0	1
Νοσοκομείο Παιδών Πεντέλης (M2<=6)	0	58,36
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	55,63

Max Phase 2 {Υπο-Φάση (1/2)}

s_3	$F_3(s_3)$	X_3
0	0	0
1	55,63	1

Max Phase 2 {Υπο-Φάση (2/2)}

$s_2 X_2$	0	1	$F_2(s_2)$	X_2
0	0+0=0		0	0
1	0+55,63=55,63	58,36+0=58,36	55,63	0

Εικόνα 51. Υπο-φάσεις εντέκατου και δωδέκατου ασθενοφόρου.

	2	3	4	5	6	7	8	11	12
N2	53,68	58,61	58,61	54,86	54,86	53,81	53,81	58,36	58,36
N3	50,95	55,88	55,88	52,13	52,13	51,08	51,08	55,63	55,63

Πίνακας 20. Συγκεντρωτικός Πίνακας Χρόνων μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα

Ισχύουν τα ίδια που είπαμε και πιο πάνω για την περίπτωση που κάποιος από τα ασθενοφόρα που είναι να πάνε στο Νοσοκομείο 2 είχε μικρότερο χρόνο μεταφοράς για τον ασθενή σε σχέση με το Νοσοκομείο 3.

Στην συνέχεια εάν ήταν να μεταφερθεί και άλλος ασθενής σε αυτό το γύρο θα αφαιρούσαμε το Νοσοκομείο 3 και τα ασθενοφόρα που επελέγησαν. Στη συνέχεια ανάλογα με το υπόλοιπο που θα είχαμε αλλά και με την μέγιστη δυνατότητα προσέλευσης στο συγκεκριμένο Νοσοκομείο, θα κάναμε την επιλογή παίρνοντας τα ελάχιστα. Στην προκείμενη περίπτωση με τις δύο αυτές επιλογές κλείνουμε την πρώτη δάδα μας και άρα την πρώτη Super Max Phase.

Έτσι αντίστοιχα οι επιλογές για την πρώτη Super Max Phase και το συνολικό κόστος αυτής θα είναι ως ακολούθως.

Συνολική επιλογή A' SUPER MAX Φάσης														
	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	0	47,42	47,42	52,35	52,35	48,6	48,6	47,55	47,55	38,85	38,85	52,1	52,1	
Νοσοκομείο Παιδών Πεντέλης (M2<=6)	0	53,68	53,68	58,61	58,61	54,86	54,86	53,81	53,81	45,11	45,11	58,36	58,36	
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	50,95	50,95	55,88	55,88	52,13	52,13	51,08	51,08	42,38	42,38	55,63	55,63	
Συνολικό Κόστος A' SUPER MAX Φάσης	=	38,85 + 38,85 + 47,42 + 50,95 + 51,08 =										227,15		

Εικόνα 52. Αποτελέσματα A' Max Phase.

Στην συνέχεια ελέγχουμε αν έχουν μεταφερθεί όλοι οι ασθενείς και επειδή δεν έχουν μεταφερθεί όλοι οι ασθενείς, οι χρόνοι διαμορφώνονται βάσει και των live δεδομένων από την Google και επανυπολογίζουμε τους συνολικούς χρόνους όλων αλλά και την κλίμακα στην οποία βρίσκονται οι ασθενείς όπου θεωρούμε πως δεν έχει γίνει κάποια αλλαγή στην κατάστασή τους.

Έτσι οι χρόνοι για τα ασθενοφόρα θα είναι σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N1	94,37	99,1	51,89	51,89	48,15	48,15	99,23	47,14	85,8	85,8	51,57	51,57
N2	100,67	105,4	58,19	58,19	54,45	54,45	105,53	53,44	92,1	92,1	57,87	57,87
N3	97,93	102,66	55,45	55,45	51,71	51,71	102,79	50,7	89,36	89,36	55,13	55,13

Πίνακας 21. Χρόνοι μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα για την Β' Max Phase.

Στη συνέχεια σύμφωνα με την μεθοδολογία τρέχουμε πάλι όλες τις υπο-φάσεις για το καθένα και καταλήγουμε στα αντίστοιχα αποτελέσματα της Β' Max Phase που είναι τα ακόλουθα.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο			
	0	1		
Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	0	94,37		
Νοσοκομείο Παιδών Πεντέλης (M2<=6)	0	100,67		
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	97,93		
Max Phase 1 {Υπο-Φάση (1/3)}				
s_3	$F_3(S_3)$	X_3		
0	0	0		
1	97,93	1		
Max Phase 1 {Υπο-Φάση (2/3)}				
$S_2 X_2$	0	1	$F_2(S_2)$	X_2
0	0+0=0	0	0	0
1	0+97,3=97,3	100,67+0=100,67	97,3	0
Max Phase 1 {Υπο-Φάση (3/3)}				
$S_1 X_1$	0	1	$F_1(S_1)$	X_1
1	0+97,3=97,3	94,37+0=94,37	94,37	1

Εικόνα 53. Υπο-φάσεις πρώτου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο				
	0	1			
Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	0	99,1			
Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	0	105,4			
Σιομανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	102,66			
Max Phase 1 {Υπο-Φάση (1/3)}					
	s_3	$F_3(S_3)$	X_3		
	0	0	0		
	1	102,66	1		
Max Phase 1 {Υπο-Φάση (2/3)}					
	$S_2 X_2$	0	1	$F_2(S_2)$	X_2
	0	0+0=0		0	0
	1	0+102,66=102,66	105,4+0=105,4	102,66	0
Max Phase 1 {Υπο-Φάση (3/3)}					
	$S_1 X_1$	0	1	$F_1(S_1)$	X_1
	1	0+102,66=102,66	99,1+0=99,1	99,1	1

Εικόνα 54. Υπο-φάσεις δεύτερου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο				
	0	1			
Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	0	51,89			
Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	0	58,19			
Σιαμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	55,45			
Max Phase 1 {Υπο-Φάση (1/3)}					
	s_3	$F_3(S_3)$	X_3		
	0	0	0		
	1	55,45	1		
Max Phase 1 {Υπο-Φάση (2/3)}					
	$S_2 X_2$	0	1	$F_2(S_2)$	X_2
	0	0+0=0		0	0
	1	0+55,45=55,45	58,19+0=58,19	55,45	0
Max Phase 1 {Υπο-Φάση (3/3)}					
	$S_1 X_1$	0	1	$F_1(S_1)$	X_1
	1	0+55,45=55,45	51,89+0=51,89	51,89	1

Εικόνα 55. Υπο-φάσεις τρίτου και τέταρτου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
	0	1
Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	0	48,15
Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	0	54,45
Σιαμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	51,71

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (1/3)}

s_3	$F_3(S_3)$	X_3
0	0	0
1	51,71	1

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (2/3)}

S_2, X_2	0	1	$F_2(S_2)$	X_2
0	0+0=0		0	0
1	0+51,71=51,71	54,45+0=54,45	51,71	0

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (3/3)}

S_1, X_1	0	1	$F_1(S_1)$	X_1
1	0+51,71=51,71	48,15+0=48,15	48,15	1

Εικόνα 56. Υπο-φάσεις πέμπτου και έκτου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
	0	1
Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	0	99,23
Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	0	105,53
Σιαμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	102,79

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (1/3)}

s_3	$F_3(S_3)$	X_3
0	0	0
1	102,79	1

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (2/3)}

S_2, X_2	0	1	$F_2(S_2)$	X_2
0	0+0=0		0	0
1	0+102,79=102,79	105,53+0=105,53	102,79	0

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (3/3)}

S_1, X_1	0	1	$F_1(S_1)$	X_1
1	0+102,79=102,79	99,23+0=99,23	99,23	1

Εικόνα 57. Υπο-φάσεις έβδομου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
	0	1
Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	0	47,14
Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	0	53,44
Σιαμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	50,7

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (1/3)}

s_3	$F_3(S_3)$	X_3
0	0	0
1	50,7	1

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (2/3)}

S_2, X_2	0	1	$F_2(S_2)$	X_2
0	0+0=0		0	0
1	0+50,7=50,7	53,44+0=53,44	50,7	0

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (3/3)}

S_1, X_1	0	1	$F_1(S_1)$	X_1
1	0+50,7=50,7	47,14+0=47,14	47,14	1

Εικόνα 58. Υπο-φάσεις όγδοου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
	0	1
Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	0	85,8
Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	0	92,1
Σιαμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	89,36

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (1/3)}

s_3	$F_3(S_3)$	X_3
0	0	0
1	89,36	1

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (2/3)}

S_2, X_2	0	1	$F_2(S_2)$	X_2
0	0+0=0		0	0
1	0+89,36=89,36	92,1+0=92,1	89,36	0

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (3/3)}

S_1, X_1	0	1	$F_1(S_1)$	X_1
1	0+89,36=89,36	85,8+0=85,8	85,8	1

Εικόνα 59. Υπο-φάσεις ένατου και δέκατου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
	0	1
Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	0	51,57
Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	0	57,87
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	55,13

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (1/3)}

s_3	$F_3(S_3)$	X_3
0	0	0
1	55,13	1

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (2/3)}

S_2, X_2		0	1	$F_2(S_2)$	X_2
0	$0+0=0$			0	0
1	$0+55,13=55,13$		$57,87+0=57,89$	55,13	0

Max Phase 1 {Υπο-Φάση (3/3)}

S_1, X_1	0	1	$F_1(S_1)$	X_1
1	$0+55,13=55,13$	$51,57+0=51,57$	51,57	1

Εικόνα 60. Υπο-φάσεις εντέκατου και δωδέκατου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.

Έτσι επιλέγεται το ασθενοφόρο 5, 6 και 8 για να μεταφέρει τους 3 ασθενείς που μπορούν να μεταφερθούν στο Νοσοκομείο 1 ως ο μέγιστος δυνατός αριθμός που μπορούν να πάνε εκεί στην πρώτη φάση.

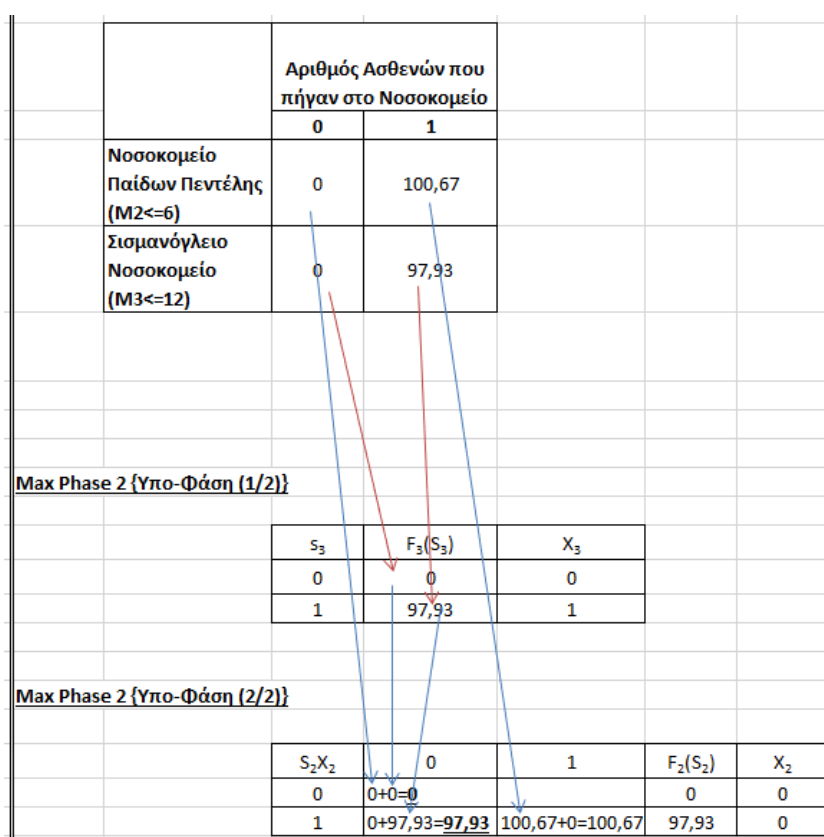
Εάν πχ το ασθενοφόρο νούμερο 3 είχε χρόνο προς το Νοσοκομείο 2 50 λεπτά αντί για 51,89 τότε θα το επέλεγα και εάν έτσι συμπλήρωνα τους 5 που είναι να μεταφερθούν τότε θα απέκλεια το ασθενοφόρο 5 ή 6 για μεταφορά ασθενή.

Επίσης εάν υπήρχαν και άλλα ασθενοφόρα που να είναι αντίστοιχα μικρότερα από τα ελάχιστα που βγαίνουν στο πρώτο τότε θα έλεγχα εάν φτάνω τα 5 που θέλω αθροιστικά για να μεταφερθούν σε αυτόν τον γύρο και εάν μεταξύ τους είναι πιο μικρά τα υπόλοιπα στα άλλα νοσοκομεία για να τα επιλέξω.

Στη συνέχεια αφαιρούμε τις επιλογές των ασθενοφόρων που έγιναν επιλογή και το Νοσοκομείο που ήδη έχει γεμίσει για αυτό το γύρο και ξανατρέχουμε τις υποφάσεις έτσι ώστε να δούμε ποιο από τα δύο επόμενα πιο κοντινά νοσοκομεία είναι το καλύτερο για κάθε ασθενοφόρο. Ο Πίνακας με τους χρόνους που απομένουν και η ανάλυση για το πρώτο ασθενοφόρο είναι ως ακολούθως.

	1	2	3	4	7	9	10	11	12
N2	100,67	105,4	58,19	58,19	105,53	92,1	92,1	57,87	57,87
N3	97,93	102,66	55,45	55,45	102,79	89,36	89,36	55,13	55,13

Πίνακας 22. Χρόνοι μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα στο δεύτερο γύρο



Εικόνα 61. Υπο-φάσεις πρώτου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.

Αντίστοιχα τρέχουμε το ίδιο για όλα τα ασθενοφόρα και φτιάχνουμε τον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα όπου επιλέγουμε πάλι τα πιο ελάχιστα δυνατά που μπορούν να πάνε στο πιο κοντινό νοσοκομείο όπως κάναμε και με το πρώτο νοσοκομείο πιο πάνω. Στη προκειμένη περίπτωση τα ελάχιστα όλα βρίσκονται στο τρίτο νοσοκομείο όπου και θα πάρουμε το μέγιστο του αριθμό που είναι δύο ασθενοφόρα προς τα εκεί.

		Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
		0	1
Νοσοκομείο Παίδων Πεντέλης (M2<=6)	0	105,4	
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	102,66	

Max Phase 2 {Υπο-Φάση (1/2)}

s_3	$F_3(S_3)$	X_3
0	0	0
1	102,66	1

Max Phase 2 {Υπο-Φάση (2/2)}

$S_2 X_2$	0	1	$F_2(S_2)$	X_2
0	0+0=0		0	0
1	0+102,66=102,66	105,4+0=100,4	102,66	0

Εικόνα 62. Υπο-φάσεις δεύτερου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.

		Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
		0	1
Νοσοκομείο Παίδων Πεντέλης (M2<=6)	0	58,19	
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	55,45	

Max Phase 2 {Υπο-Φάση (1/2)}

s_3	$F_3(S_3)$	X_3
0	0	0
1	55,45	1

Max Phase 2 {Υπο-Φάση (2/2)}

$S_2 X_2$	0	1	$F_2(S_2)$	X_2
0	0+0=0		0	0
1	0+55,45=55,45	58,19+0=58,19	55,45	0

Εικόνα 63. Υπο-φάσεις τρίτου και τέταρτου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
	0	1
Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	0	105,53
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	102,79

Max Phase 2 {Υπο-Φάση (1/2)}

s_3	$F_3(s_3)$	X_3
0	0	0
1	102,79	1

Max Phase 2 {Υπο-Φάση (2/2)}

$S_2 X_2$	0	1	$F_2(S_2)$	X_2
0	0+0=0		0	0
1	0+102,79=102,79	105,53+0=105,53	102,79	0

Εικόνα 64. Υπο-φάσεις έβδομου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
	0	1
Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	0	92,1
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	89,36

Max Phase 2 {Υπο-Φάση (1/2)}

s_3	$F_3(s_3)$	X_3
0	0	0
1	89,36	1

Max Phase 2 {Υπο-Φάση (2/2)}

$S_2 X_2$	0	1	$F_2(S_2)$	X_2
0	0+0=0		0	0
1	0+89,36=89,36	92,1+0=92,1	89,36	0

Εικόνα 65. Υπο-φάσεις ένατου και δέκατου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.

	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο	
	0	1
Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	0	57,87
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	55,13

Max Phase 2 {Υπο-Φάση (1/2)}

s_3	$F_3(S_3)$	X_3
0	0	0
1	55,13	1

Max Phase 2 {Υπο-Φάση (2/2)}

$S_2 X_2$	0	1	$F_2(S_2)$	X_2
0	0+0=0		0	0
1	0+55,13=55,13	57,87+0=57,87	55,13	0

Εικόνα 66. Υπο-φάσεις εντέκατου και δωδέκατου ασθενοφόρου στο δεύτερο γύρο.

	1	2	3	4	7	9	10	11	12
N2	100,67	105,4	58,19	58,19	105,53	92,1	92,1	57,87	57,87
N3	97,93	102,66	55,45	55,45	102,79	89,36	89,36	55,13	55,13

Πίνακας 23. Συγκεντρωτικός Πίνακας Χρόνων μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα στο δεύτερο γύρο

Ισχύουν τα ίδια που είπαμε και πιο πάνω για την περίπτωση που κάποιος από τα ασθενοφόρα που είναι να πάνε στο Νοσοκομείο 2 είχε μικρότερο χρόνο μεταφοράς για τον ασθενή σε σχέση με το Νοσοκομείο 3.

Στην συνέχεια εάν ήταν να μεταφερθεί και άλλος ασθενής σε αυτό το γύρο θα αφαιρούσαμε το Νοσοκομείο 3 και τα ασθενοφόρα που επελέγησαν. Στη συνέχεια ανάλογα με το υπόλοιπο που θα είχαμε αλλά και με την μέγιστη δυνατότητα προσέλευσης στο συγκεκριμένο Νοσοκομείο, θα κάναμε την επιλογή παίρνοντας τα ελάχιστα. Στην προκείμενη περίπτωση με τις δύο αυτές επιλογές κλείνουμε την πρώτη 5άδα μας και άρα την δεύτερη Super Max Phase.

Έτσι αντίστοιχα οι επιλογές για την δεύτερη Super Max Phase και το συνολικό κόστος αυτής θα είναι ως ακολούθως.

Συνολική επιλογή Β' SUPER MAX Φάσης														
	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	0	94,37	99,1	51,89	51,89	48,15	48,15	99,23	47,14	85,8	85,8	51,57	51,57	
Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	0	100,67	105,4	58,19	58,19	54,45	54,45	105,53	53,44	92,1	92,1	57,87	57,87	
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	97,93	102,66	55,45	55,45	51,71	51,71	102,79	50,7	89,36	89,36	55,13	55,13	
Συνολικό Κόστος Β' SUPER MAX Φάσης	=	47,55 + 48,6 + 48,6 + 55,63 + 55,63 =					253,7							

Εικόνα 67. Αποτελέσματα Β' Max Phase.

Στην συνέχεια ελέγχουμε αν έχουν μεταφερθεί όλοι οι ασθενείς και επειδή δεν έχουν μεταφερθεί όλοι οι ασθενείς, οι χρόνοι διαμορφώνονται βάσει και των live δεδομένων από την Google και επανυπολογίζουμε τους συνολικούς χρόνους όλων αλλά και την κλίμακα στην οποία βρίσκονται οι ασθενείς όπου θεωρούμε πως δεν έχει γίνει κάποια αλλαγή στην κατάστασή τους.

Από την στιγμή που τελείωσε και ο δεύτερος γύρος θεωρούμε ότι αυτό μπορεί να συνεχιστεί για "n" φορές. Έτσι οι χρόνοι για τα ασθενοφόρα θα είναι σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα στην Γ' Max Phase ή αντίστοιχα στη n-ιοστή.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N1	93,43	98,16	50,95	50,95	94,16	94,16	98,29	93,15	84,86	84,86	102,34	102,34
N2	99,73	104,46	57,25	57,25	100,46	100,46	104,59	99,45	91,16	91,16	108,64	108,64
N3	97	101,73	54,52	54,52	97,73	97,73	101,86	96,72	88,43	88,43	105,91	105,91

Πίνακας 24. Χρόνοι μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα για την Γ' Max Phase.

Στη συνέχεια σύμφωνα με την μεθοδολογία τρέχουμε πάλι όλες τις υπο-φάσεις για το καθένα και καταλήγουμε στα αντίστοιχα αποτελέσματα της Γ' Max Phase ή αντίστοιχα στη n-ιοστή που είναι τα ακόλουθα.

Συνολική επιλογή Γ' SUPER MAX Φάσης														
	Αριθμός Ασθενών που πήγαν στο Νοσοκομείο													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	0	93,43	98,16	50,95	50,95	94,16	94,16	98,29	93,15	84,86	84,86	102,34	102,34	
Νοσοκομείο Παιδών Πεντέλης (M2<=6)	0	99,73	104,46	57,25	57,25	100,46	100,46	104,59	99,45	91,16	91,16	108,64	108,64	
Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	0	97	101,73	54,52	54,52	97,73	97,73	101,86	96,72	88,43	88,43	105,91	105,91	
Συνολικό Κόστος Γ' SUPER MAX Φάσης	=	50,95 + 50,95 + 84,86 + 88,43 + 96,72 =					371,91							

Εικόνα 68. Αποτελέσματα Γ' Max Phase ή αντίστοιχα στη n-ιοστή.

Μετά και το τέλος της Γ' Max Phase ή αντίστοιχα στη n-ιοστή, κάνουμε πάλι έλεγχο για να δούμε εάν υπάρχουν άλλοι ασθενείς στην περιοχή που έγινε η φυσική καταστροφή. Επειδή όμως πλέον μεταφέρθηκαν όλοι οι ασθενείς στα πλησιέστερα νοσοκομεία έχουμε τον αντίστοιχο συνολικό πίνακα ως αποτέλεσμα της κάθε Super Max Phase και το αντίστοιχο συνολικό αποτέλεσμα ως κόστος χρόνου μεταφοράς καθώς το συμβάν θεωρείται ότι έχει αντιμετωπιστεί.

	Αριθμός Ασθενών που θα πάνε συνολικά στο κάθε Νοσοκομείο σε όλες τις Max Phases			
Νοσοκομεία	Νοσοκομείο 1	Νοσοκομείο 2	Νοσοκομείο 3	Κόστος
Max Phase 1	3	0	2	227,15
Max Phase 2	3	0	2	253,7
Max Phase 3	3	0	2	371,91
Σύνολο	9	0	6	852,76

Πίνακας 25. Συγκεντρωτικός Πίνακας Χρόνων μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα

Όπου 9 ασθενείς θα πάνε στο πρώτο νοσοκομείο, 0 στο δεύτερο και 6 στο τρίτο έχοντας ως συνολικό κόστος χρόνου τα **852,76 λεπτά**.

Εννοείται πως κανένα από αυτά τα αποτελέσματα δεν πρέπει να θεωρηθεί ως ιατρική συμβουλή αντιμετώπισης τέτοιων καταστάσεων. Παρ' όλα αυτά, ο συγκεκριμένος τρόπος επίλυσης προσδίδει μία τεράστια δυνητική αξία σε προβλήματα άμεσης ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης ύστερα από κάποια φυσική καταστροφή.

6.2 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΜΕ ΦΑΣΕΙΣ

Για ότι αφορά την μοντελοποίηση μέσω της μεθόδου του γραμμικού προγραμματισμού, υποθέτουμε ότι υπάρχουν m σημεία εκκίνησης (για τα ασθενοφόρα) και n σημείο προορισμού που είναι τα Νοσοκομεία. Υποθέτουμε ότι οι προσφορά – διαθέσιμες ποσότητες (ασθενοφόρα) στα σημεία εκκίνησης, η ζήτηση στα σημεία προορισμού και το κόστος – χρόνος μεταφοράς του κάθε ασθενοφόρου είναι γνωστά και δίνονται ακριβώς. Επιπρόσθετα, υποθέτουμε ότι είναι δυνατόν να μεταφερθεί ένας ασθενοφόρο από οποιοδήποτε σημείο εκκίνησης σε οποιοδήποτε σημείο προορισμού και σε κάθε γύρο μόνο m ασθενείς θα μπορούν να μεταφερθούν στα Νοσοκομεία από τα ασθενοφόρα.

Θέτουμε C_{ij} ως το κόστος – χρόνος μεταφοράς ενός ασθενούς από το σημείο εκκίνησης i προς το σημείο προορισμού j , M_j θα είναι ο αριθμός των ασθενών που μπορούν να εξυπηρετηθούν από τα σημεία προορισμού j , A_j θα είναι ο αριθμός των ασθενών οι οποίοι εξυπηρετήθηκαν από τους προορισμούς j , L_j θα είναι ο μέγιστος αριθμός ασθενών που μπορούν να εξυπηρετηθούν από τα σημεία προορισμού j , και X_{ij} θα είναι ο αριθμός των ασθενών που μεταφέρθηκαν από τα σημεία εκκίνησης i προς τα σημεία προορισμού j . Ο στόχος μας είναι η ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους – χρόνου μεταφοράς λαμβάνοντας υπόψη όλους τους περιορισμούς.

Η μαθηματική διατύπωση αυτού του γραμμικού προβλήματος μπορεί να γίνει ως ακολούθως:

Θέλουμε να βρούμε το $X_{ij} \geq 0$ ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$) έτσι ώστε να
Ελαχιστοποιήσουμε την

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (C_{ij})(X_{ij}) \quad , \text{όπου } X_{ij} \in \{0,1\}$$

Έχοντας τους ακόλουθους περιορισμούς:

$$\sum_{j=1}^n A_j \leq \sum_{j=1}^n M_j$$

$$\sum_{j=1}^n A_j = 5$$

$$M_j \leq L_j$$

$$\sum_{j=1}^n C_j \leq \text{Min} \sum_{j=1}^n L_j C_j$$

- 1) Ο αριθμός των ασθενών που εξυπηρετήθηκαν πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος με τον αριθμό των ασθενών που μπορούν να εξυπηρετηθούν.
- 2) Ο αριθμός των ασθενών που εξυπηρετήθηκαν πρέπει να είναι ίσος με 5
- 3) Ο αριθμός των ασθενών που μπορούν να εξυπηρετηθούν πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος με τον μέγιστο αριθμό των ασθενών που μπορούν να εξυπηρετηθούν συνολικά.
- 4) Το συνολικό άθροισμα χρόνου – κόστους που θα επιλεγεί για κάθε Νοσοκομείο θα πρέπει να είναι μικρότερο ή ίσο από το συνολικό άθροισμα των ελαχίστων του συγκεκριμένου νοσοκομείου παίρνοντας τόσα ελάχιστα όσα και η μέγιστη δυνατή χωρητικότητα για τον κάθε γύρο του μεγαλύτερου σε χωρητικότητα Νοσοκομείου.

Επιπρόσθετα, σε κάθε νέο γύρο το κόστος χρόνου μεταφοράς θα είναι ίσο με το κόστος μεταφοράς του προηγούμενου γύρου συν το κόστος μεταφοράς αυτού του γύρου. Και ο αριθμός των ασθενών που μπορούν να εξυπηρετηθούν σε κάθε γύρο θα είναι ο αριθμός των ασθενών που μπορούσαν να εξυπηρετηθούν στον προηγούμενο γύρο συν τον αριθμό των ασθενών που μπορούν να εξυπηρετηθούν σε αυτό τον γύρο.

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{i-1,j} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^n M_j = \sum_{j=1}^n M_{j-1} + \sum_{j=1}^n M_j$$

Τέλος οι ασθενείς θα πρέπει πρώτα να έχουν ταξινομηθεί με βάση την Αυστραλιανή Κλίμακα από τον πιο βαριά ασθενή στον πιο ελαφριά και οι χρόνοι θα παρθούν από τα Live δεδομένα της Google μέσω της συνάρτησης του excel.

Στη συνέχεια έχουμε την εφαρμογή των παραπάνω για να το δούμε πιο αναλυτικά όπου θεωρούμε ότι έχουμε 15 ασθενείς οι οποίοι ταξινομούνται στα πρότυπα της Αυστραλιανής κλίμακας ώστε σε πρώτη φάση να βελτιστοποιήσουμε την ικανοποίηση των πιο βαριά τραυματισμένων ως ακολούθως. Με βαθμό 1 είναι ο πιο ελαφριά τραυματισμένος και με βαθμό 5 ο πιο βαριά τραυματισμένος.

Ταξινόμηση Ασθενών στα πρότυπα της Αυστραλιανής Κλίμακας (Australasian Triage Scale (ATS))		
Αριθμός Ασθενή	Βαθμός Σοβαρότητας Τραύματος (1 –ελαφρύ τραύμα, 5 –σοβαρό τραύμα)	Μέγιστη Αναμονή Ασθενών
3	5	0 minutes
14	5	0 minutes
7	4	10 minutes
8	4	10 minutes
9	4	10 minutes
15	4	10 minutes
10	3	30 minutes
11	3	30 minutes
1	2	60 minutes
4	2	60 minutes
12	2	60 minutes
2	1	120 minutes
5	1	120 minutes
6	1	120 minutes
13	1	120 minutes

Πίνακας 26. Ταξινόμηση Ασθενών στα πρότυπα της Αυστραλιανής Κλίμακας

Επίσης έχουμε 12 ασθενοφόρα ανά δύο σε κάθε διαφορετική περιοχή και θα πρέπει να μεταφέρουν του ασθενείς που θα προκύψουν στην Ραφήνα. Σε κάθε μεγάλη φάση θα μπορούν να μεταφερθούν μέχρι 5 ασθενείς και σε κάθε νοσοκομείο θα μπορούν να πάνε συγκεκριμένος αριθμός ασθενών σε κάθε γύρο (Νοσοκομείο 1 {Ιατρικό Κέντρο Αθηνών} – 3 Ασθενείς, Νοσοκομείο 2 {Νοσοκομείο Πεντέλης} – 1 ασθενής, Νοσοκομείο 3 {Σισμανόγλειο Νοσοκομείο} – 2 Ασθενείς) και συγκεκριμένος αριθμός ασθενών συνολικά (Νοσοκομείο 1 – 24 Ασθενείς, Νοσοκομείο 2 – 6 ασθενείς, Νοσοκομείο 3 – 12 Ασθενείς).

Για ότι αφορά την πρώτη Φάση το κόστος-χρόνος για την μεταφορά των ασθενών από κάθε αρχικό σημείο προς το τελικό δίνεται από τον παρακάτω πίνακα, έχοντας συλλέξει όλους τους χρόνους από τα live δεδομένα της Google που μπορούμε να πάρουμε από τη φόρμουλα του excel.²⁴

²⁴ Βλέπε Παράρτημα Α. EXCEL FUNCTION ΓΙΑ LIVE ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗΝ GOOGLE.

Νοσοκομεία				
	Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	Νοσοκομείο Πεντέλης (M2<=6)	Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)	
Ασθενοφόρα	Ασθ. Νο1 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	47,42	53,68	50,95
	Ασθ. Νο2 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	47,42	53,68	50,95
	Ασθ. Νο1 Νοσοκομείο Πεντέλης	52,35	58,61	55,88
	Ασθ. Νο2 Νοσοκομείο Πεντέλης	52,35	58,61	55,88
	Ασθ. Νο1 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	48,6	54,86	52,13
	Ασθ. Νο2 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	48,6	54,86	52,13
	Ασθ. Νο 1 Σταθμός Γέρακα	47,55	53,81	51,08
	Ασθ. Νο 2 Σταθμός Γέρακα	47,55	53,81	51,08
	Ασθ. Νο 1 Σταθμός Σπάτα	38,85	45,11	42,38
	Ασθ. Νο 2 Σταθμός Σπάτα	38,85	45,11	42,38
	Ασθ. Νο 1 Σταθμός Αεροδρομίου	52,1	58,36	55,63
	Ασθ. Νο 2 Σταθμός Αεροδρομίου	52,1	58,36	55,63
	Αριθμός ασθενών που μπορούν να εξυπηρετηθούν σε κάθε γύρο από τα Νοσοκομεία	3	1	2

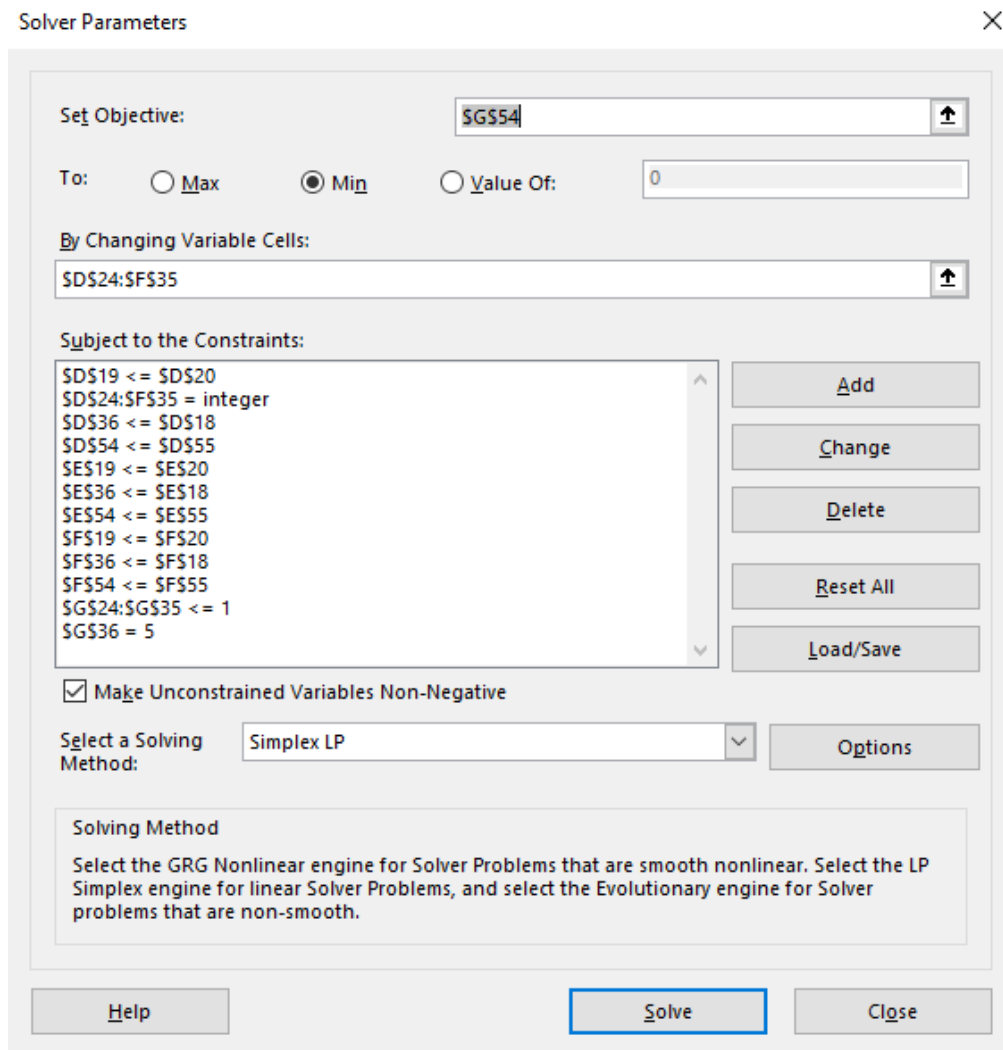
Πίνακας 27. Χρόνοι μεταφορά των ασθενοφόρων προς τα πλησιέστερα Νοσοκομεία Πρώτης Φάσης

Αρχικά στήνουμε τα πάντα στο excel σύμφωνα και με την παρακάτω εικόνα.

	A	B	C	D	E	F	G	H
4								
5								
6				Νοσοκομεία				
7				Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)		
8		Ασθενοφόρα	Ασθ. Νο1 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	47,42	53,68	50,95		
9			Ασθ. Νο2 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	47,42	53,68	50,95		
10			Ασθ. Νο1 Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης	52,35	58,61	55,88		
11			Ασθ. Νο2 Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης	52,35	58,61	55,88		
12			Ασθ. Νο1 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	48,6	54,86	52,13		
13			Ασθ. Νο2 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	48,6	54,86	52,13		
14			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας	47,55	53,81	51,08		
15			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας	47,55	53,81	51,08		
16			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Σπάτα	38,85	45,11	42,38		
17			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Σπάτα	38,85	45,11	42,38		
18			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας	52,1	58,36	55,63		
19			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας	52,1	58,36	55,63		
20		Λόγω μικρού αριθμού προσωπικού μπορούν να εξυπηρετηθούν κάθε φορά τα αντίστοιχα ατομα σε κάθε νοσοκομείο	3	1	2			
21		Αριθμός Ατόμων που προσήλθαν	3	0	2			
22		Μέγιστη χωρητικότητα	24	6	12			
23								
24				Νοσοκομεία				
25				Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)		
26		Ασθενοφόρα	Ασθ. Νο1 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών				0	
27			Ασθ. Νο2 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών				0	
28			Ασθ. Νο1 Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης				0	
29			Ασθ. Νο2 Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης				0	
30			Ασθ. Νο1 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο				0	
31			Ασθ. Νο2 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο				0	
32			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας				0	
33			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας				0	
34			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Σπάτα				0	
35			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Σπάτα				0	
36			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας				0	
37			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας				0	
38		Σύνολο μεταφερθέντων Ασθενών	0	0	0	0		
39								
40								
41								
42				Νοσοκομεία				
43				Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)		
44		Ασθενοφόρα	Ασθ. Νο1 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	0	0	0		
45			Ασθ. Νο2 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	0	0	0		
46			Ασθ. Νο1 Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης	0	0	0		
47			Ασθ. Νο2 Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης	0	0	0		
48			Ασθ. Νο1 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	0	0	0		
49			Ασθ. Νο2 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	0	0	0		
50			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας	0	0	0		
51			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας	0	0	0		
52			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Σπάτα	0	0	0		
53			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Σπάτα	0	0	0		
54			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας	0	0	0		
55			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας	0	0	0		
56		Minimum Χρόνου	0	0	0	0		
57		Περιορισμος Αθροισματος Ελάχιστων <=	125,12	143,9	135,71			
58								

Εικόνα 69. Αρχικό στήσιμο στο Excel.

Έπειτα πραγματοποιήσαμε τις ρυθμίσεις σχετικά με τους περιορισμούς που αναφέρθηκαν και στην μεθοδολογία και οπτικά είχαμε την παρακάτω εικόνα σχετικά με τις παραμέτρους του solver.



Εικόνα 70. Παράμετροι του Solver στο Excel.

Από την στιγμή που έγιναν όλες οι ρυθμίσεις και τρέξαμε το solver είχαμε το παρακάτω αποτέλεσμα σχετικά με τις επιλογές για το πως πρέπει να κινηθούν τα ασθενοφόρα στο πρώτο γύρο.

	A	B	C	D	E	F	G	H
4								
5								
6				Νοσοκομεία				
7				Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)		
8		Ασθενοφόρα	Ασθ. Νο1 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	47,42	53,68	50,95		
9			Ασθ. Νο2 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	47,42	53,68	50,95		
10			Ασθ. Νο1 Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης	52,35	58,61	55,88		
11			Ασθ. Νο2 Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης	52,35	58,61	55,88		
12			Ασθ. Νο1 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	48,6	54,86	52,13		
13			Ασθ. Νο2 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	48,6	54,86	52,13		
14			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας	47,55	53,81	51,08		
15			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας	47,55	53,81	51,08		
16			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Σπάτα	38,85	45,11	42,38		
17			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Σπάτα	38,85	45,11	42,38		
18			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας	52,1	58,36	55,63		
19			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας	52,1	58,36	55,63		
20		Λόγω μικρού αριθμού προσωπικού μπορούν να εξυπηρετηθούν κάθε φορά τα αντίστοιχα ατομα σε κάθε νοσοκομείο	3	1	2			
21		Αριθμός Ατόμων που προσήλθαν	3	0	2			
22		Μέγιστη χωρητικότητα	24	6	12			
23								
24				Νοσοκομεία				
25				Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)		
26		Ασθενοφόρα	Ασθ. Νο1 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	1	0	0	1	
27			Ασθ. Νο2 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	0	0	0	1	
28			Ασθ. Νο1 Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης	0	0	0	0	
29			Ασθ. Νο2 Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης	0	0	0	0	
30			Ασθ. Νο1 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	0	0	0	0	
31			Ασθ. Νο2 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	0	0	0	0	
32			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας	0	0	1	1	
33			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας	0	0	0	0	
34			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Σπάτα	1	0	0	1	
35			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Σπάτα	1	0	0	1	
36			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας	0	0	0	0	
37			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας	0	0	0	0	
38		Σύνολο μεταφερθέντων Ασθενών	3	0	2	5		
39								
40								
41								
42				Νοσοκομεία				
43				Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)		
44		Ασθενοφόρα	Ασθ. Νο1 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	47,42	0	0		
45			Ασθ. Νο2 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	0	0	50,95		
46			Ασθ. Νο1 Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης	0	0	0		
47			Ασθ. Νο2 Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης	0	0	0		
48			Ασθ. Νο1 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	0	0	0		
49			Ασθ. Νο2 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	0	0	0		
50			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας	0	0	51,08		
51			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας	0	0	0		
52			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Σπάτα	38,85	0	0		
53			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Σπάτα	38,85	0	0		
54			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας	0	0	0		
55			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας	0	0	0		
56		Minimum Χρόνου	125,12	0	102,03	227,15		
57		Περιορισμος Αθροισματος Ελάχιστων <=	125,12	143,9	135,71			
58								

Εικόνα 71. Αποτελέσματα του Solver στο Excel σχετικά με τον πρώτο γύρο.

Έτσι πιο συγκεντρωτικά και εφαρμόζοντας όλους τους περιορισμούς μας έχουμε το παρακάτω αποτέλεσμα ως επιλογές για τους πρώτους πέντε τραυματίες που πρέπει να μεταφερθούν:

Ασθενείς	Διαδρομές Ασθενοφόρων	Χρόνος - Κόστος
1-5	Σπάτα - Ραφήνα – Ιατρικό Κ. Α.	38,85
	Σπάτα - Ραφήνα - Ιατρικό Κ. Α.	38,85
	Ιατρικό Κ. Α. - Ραφήνα - Ιατρικό Κ. Α.	47,42
	Ιατρικό Κ. Α. - Ραφήνα - Σισμανόγλειο	50,95
	Γέρακας - Ραφήνα - Σισμανόγλειο	51,08
Σύνολο Χρόνου Κόστους 1^{ης} Φάσης		227,15

Πίνακας 28. Επιλογές 1ης Φάσης

Όπου 3 ασθενοφόρα θα πάνε στο Νοσοκομείο 1 (Ιατρικό Κέντρο Αθηνών) μηδέν στο Νοσοκομείο 2 (Πεντέλης) και 2 στο Νοσοκομείο 3 (Σισμανόγλειο) έχοντας συνολικό κόστος στην πρώτη Φάση τα **227,15 λεπτά**.

Στη συνέχεια προχωράμε στη δεύτερη φάση όπου οι νέοι χρόνοι – κόστη είναι ίσα με τους προηγούμενος χρόνους συν τις απαραίτητες αλλαγές που πρέπει να γίνουν έτσι ώστε τα ασθενοφόρα να πάνε στα νοσοκομεία, αξιοποιώντας πάλι τα live δεδομένα από την Google μέσω της Φόρμουλας που αναφέραμε πιο πάνω και μπορείτε να δείτε αναλυτικότερα στο παράρτημα Α. Αλλά και αλλαγές για τα κελιά που πρέπει να τραβάνε στοιχεία από το πρώτο φύλλο του excel, όπως είναι οι επιλογές που έχουν γίνει μέχρι τώρα. Για αυτό και οι νέοι χρόνοι δίνονται από το παρακάτω πίνακα.

		Νοσοκομεία		
		Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	Νοσοκομείο Πεντέλης (M2<=6)	Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)
Ασθενοφόρα	Ασθ. Νο1 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	94,37	100,67	97,93
	Ασθ. Νο2 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών σε Σισμανόγλειο	99,1	105,4	102,69
	Ασθ. Νο1 Νοσοκομείο Πεντέλης	51,89	58,19	55,45
	Ασθ. Νο2 Νοσοκομείο Πεντέλης	51,89	58,19	55,45
	Ασθ. Νο1 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	48,15	54,45	51,71
	Ασθ. Νο2 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	48,15	54,45	51,71
	Ασθ. Νο 1 Σταθμός Γέρακα σε Σισμανόγλειο	99,23	105,53	102,79
	Ασθ. Νο 2 Σταθμός Γέρακα	47,14	53,44	50,7
	Ασθ. Νο 1 Σταθμός Σπάτα σε Ιατρικό Κ.Α.	85,8	92,1	89,36
	Ασθ. Νο 2 Σταθμός Σπάτα σε Ιατρικό Κ.Α.	85,8	92,1	89,36
	Ασθ. Νο 1 Σταθμός Αεροδρομίου	51,57	57,87	55,13

Ασθ. Νο 2 Σταθμός Αεροδρομίου	51,57	57,87	55,13
Αριθμός ασθενών που μπορούν να εξυπηρετηθούν σε κάθε γύρο από τα Νοσοκομεία	3	1	2
Αριθμός ασθενών που εξυπηρετήθηκαν από τα Νοσοκομεία	3	0	2
Μέγιστη Χωρητικότητα Νοσοκομείου	24	6	12

Πίνακας 29. Χρόνοι μεταφορά των ασθενοφόρων προς τα πλησιέστερα Νοσοκομεία Δεύτερης Φάσης

Έτσι στήνουμε τα πάντα στο excel σύμφωνα και με την παρακάτω εικόνα.

	A	B	C	D	E	F	G	H	
5									
6					Νοσοκομεία				
7				ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	Νοσοκομείο Παίδων Πεντέλης (M2<=6)	Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)			
8	Ασθενοφόρα	Ασθ. Νο1 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών		94,37	100,67	97,93			
9		Ασθ. Νο2 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών		99,1	105,4	102,69			
10		Ασθ. Νο1 Νοσοκομείο Παίδων Πεντέλης		51,89	58,19	55,45			
11		Ασθ. Νο2 Νοσοκομείο Παίδων Πεντέλης		51,89	58,19	55,45			
12		Ασθ. Νο1 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο		48,15	54,45	51,71			
13		Ασθ. Νο2 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο		48,15	54,45	51,71			
14		Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας - Ν. Σισμανόγλειο		99,23	105,53	102,79			
15		Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας		47,14	53,44	50,7			
16		Ασθ. Νο 1 Σπάτων σε Ιατρικο Κ. Α.		85,8	92,1	89,36			
17		Ασθ. Νο 2 Σπάτων σε Ν. Σισμανόγλειο		85,8	92,1	89,36			
18	Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας		51,57	57,87	55,13				
19	Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας		51,57	57,87	55,13				
20		Λόγω μικρού αριθμού προσωπικού μπορούν να εξυπηρετηθούν κάθε φορά τα αντίστοιχα ατομα σε κάθε νοσοκομείο		3	1	2			
21		Αριθμός Ατόμων που προσήλθαν		3	0	2			
22		Μέγιστη χωρητικότητα		24	6	12			
23									
24					Νοσοκομεία				
25				ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	Νοσοκομείο Παίδων Πεντέλης (M2<=6)	Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)			
26	Ασθενοφόρα	Ασθ. Νο1 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών					0		
27		Ασθ. Νο2 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών					0		
28		Ασθ. Νο1 Νοσοκομείο Παίδων Πεντέλης					0		
29		Ασθ. Νο2 Νοσοκομείο Παίδων Πεντέλης					0		
30		Ασθ. Νο1 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο					0		
31		Ασθ. Νο2 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο					0		
32		Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας - Ν. Σισμανόγλειο					0		
33		Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας					0		
34		Ασθ. Νο 1 Σπάτων σε Ιατρικο Κ. Α.					0		
35		Ασθ. Νο 2 Σπάτων σε Ν. Σισμανόγλειο					0		
36	Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας					0			
37	Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας					0			
38		Σύνολο μεταφερθέντων Ασθενών		0	0	0	0		
39									
40									
41									
42					Νοσοκομεία				
43				ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	Νοσοκομείο Παίδων Πεντέλης (M2<=6)	Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)			
44	Ασθενοφόρα	Ασθ. Νο1 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών		0	0	0			
45		Ασθ. Νο2 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών		0	0	0			
46		Ασθ. Νο1 Νοσοκομείο Παίδων Πεντέλης		0	0	0			
47		Ασθ. Νο2 Νοσοκομείο Παίδων Πεντέλης		0	0	0			
48		Ασθ. Νο1 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο		0	0	0			
49		Ασθ. Νο2 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο		0	0	0			
50		Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας - Ν. Σισμανόγλειο		0	0	0			
51		Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας		0	0	0			
52		Ασθ. Νο 1 Σπάτων σε Ιατρικο Κ. Α.		0	0	0			
53		Ασθ. Νο 2 Σπάτων σε Ν. Σισμανόγλειο		0	0	0			
54		Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας		0	0	0			
55		Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας		0	0	0			
56			Μinimun Χρόνου		0	0	0	0	
57			Περιορισμος Αθροισματος Ελάχιστων <=		143,44	162,34	154,12		
58									

Εικόνα 72. Στήσιμο στο Excel για το δεύτερο γύρο.

Έπειτα πραγματοποιήσαμε τις ρυθμίσεις σχετικά με τους περιορισμούς που αναφέρθηκαν και στην μεθοδολογία και οπτικά είχαμε την παρακάτω εικόνα σχετικά με τις παραμέτρους του solver.

Solver Parameters

Set Objective:

To: Max Min Value Of:

By Changing Variable Cells:

Subject to the Constraints:

- \$D\$19 <= \$D\$20
- \$D\$24:\$F\$35 = integer
- \$D\$36 <= \$D\$18
- \$D\$54 <= \$D\$55
- \$E\$19 <= \$E\$20
- \$E\$36 <= \$E\$18
- \$E\$54 <= \$E\$55
- \$F\$19 <= \$F\$20
- \$F\$36 <= \$F\$18
- \$F\$54 <= \$F\$55
- \$G\$24:\$G\$35 <= 1
- \$G\$36 = 5

Make Unconstrained Variables Non-Negative

Select a Solving Method:

Solving Method

Select the GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear. Select the LP Simplex engine for linear Solver Problems, and select the Evolutionary engine for Solver problems that are non-smooth.

Buttons: Add, Change, Delete, Reset All, Load/Save, Help, Solve, Close

Εικόνα 73. Παράμετροι του Solver στο Excel για το δεύτερο γύρο.

Από την στιγμή που έγιναν όλες οι ρυθμίσεις και τρέξαμε το solver είχαμε το παρακάτω αποτέλεσμα σχετικά με τις επιλογές για το πως πρέπει να κινηθούν τα ασθενοφόρα στο δεύτερο γύρο.

	A	B	C	D	E	F	G	H
5								
6				Νοσοκομεία				
7				Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)		
8		Ασθενοφόρα	Ασθ. Νο1 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	94,37	100,67	97,93		
9			Ασθ. Νο2 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	99,1	105,4	102,69		
10			Ασθ. Νο1 Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης	51,89	58,19	55,45		
11			Ασθ. Νο2 Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης	51,89	58,19	55,45		
12			Ασθ. Νο1 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	48,15	54,45	51,71		
13			Ασθ. Νο2 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	48,15	54,45	51,71		
14			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας - Ν. Σ	99,23	105,53	102,79		
15			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας	47,14	53,44	50,7		
16			Ασθ. Νο 1 Σπάτων σε Ιατρικο Κ. Α.	85,8	92,1	89,36		
17			Ασθ. Νο 2 Σπάτων σε Ν. Σισμανόγλειο	85,8	92,1	89,36		
18			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας	51,57	57,87	55,13		
19		Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας	51,57	57,87	55,13			
20		Λόγω μικρού αριθμού προσωπικού μπορούν να εξυπηρετηθούν κάθε φορά τα αντίστοιχα άτομα σε κάθε νοσοκομείο	3	1	2			
21		Αριθμός Ατόμων που προσήλθαν	3	0	2			
22		Μέγιστη χωρητικότητα	24	6	12			
23								
24				Νοσοκομεία				
25				Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)		
26		Ασθενοφόρα	Ασθ. Νο1 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	0	0	0	0	
27			Ασθ. Νο2 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	0	0	0	0	
28			Ασθ. Νο1 Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης	0	0	0	0	
29			Ασθ. Νο2 Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης	0	0	0	0	
30			Ασθ. Νο1 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	1	0	0	1	
31			Ασθ. Νο2 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	1	0	0	1	
32			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας - Ν. Σ	0	0	0	0	
33			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας	1	0	0	1	
34			Ασθ. Νο 1 Σπάτων σε Ιατρικο Κ. Α.	0	0	0	0	
35			Ασθ. Νο 2 Σπάτων σε Ν. Σισμανόγλειο	0	0	0	0	
36			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας	0	0	1	1	
37		Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας	0	0	1	1		
38		Σύνολο μεταφερθέντων Ασθενών	3	0	2	5		
39								
40								
41								
42				Νοσοκομεία				
43				Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης (M2<=6)	Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)		
44		Ασθενοφόρα	Ασθ. Νο1 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	0	0	0		
45			Ασθ. Νο2 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	0	0	0		
46			Ασθ. Νο1 Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης	0	0	0		
47			Ασθ. Νο2 Νοσοκομείο Παιδων Πεντέλης	0	0	0		
48			Ασθ. Νο1 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	48,15	0	0		
49			Ασθ. Νο2 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο	48,15	0	0		
50			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας - Ν. Σ	0	0	0		
51			Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Γερακας	47,14	0	0		
52			Ασθ. Νο 1 Σπάτων σε Ιατρικο Κ. Α.	0	0	0		
53			Ασθ. Νο 2 Σπάτων σε Ν. Σισμανόγλειο	0	0	0		
54			Ασθ. Νο 1 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας	0	0	55,13		
55		Ασθ. Νο 2 Σταθμός Ασθενοφόρων Αερολιμένας	0	0	55,13			
56		Minimum Χρόνου	143,44	0	110,26	253,7		
57		Περιορισμος Αθροισματος Ελάχιστων <=	143,44	162,34	154,12			
58								

Εικόνα 74. Αποτελέσματα του Solver στο Excel σχετικά με τον πρώτο γύρο.

Έτσι πιο συγκεντρωτικά και εφαρμόζοντας όλους τους περιορισμούς μας έχουμε το παρακάτω αποτέλεσμα ως επιλογές για τους δεύτερους πέντε τραυματίες που πρέπει να μεταφερθούν:

Ασθενείς	Διαδρομές Ασθενοφόρων	Χρόνος - Κόστος
6-10	Γέρακας - Ραφήνα – Ιατρικό Κ. Α.	47,14
	Σισμανόγλειο - Ραφήνα - Ιατρικό Κ. Α.	48,15
	Σισμανόγλειο - Ραφήνα - Ιατρικό Κ. Α.	48,15
	Αερολιμένας - Ραφήνα - Σισμανόγλειο	55,13
	Αερολιμένας - Ραφήνα - Σισμανόγλειο	55,13
	Σύνολο Χρόνου Κόστους 2^{ης} Φάσης	253,7

Πίνακας 30. Επιλογές 2ης Φάσης

Όπου 3 ασθενοφόρα θα πάνε στο Νοσοκομείο 1 (Ιατρικό Κέντρο Αθηνών) μηδέν στο Νοσοκομείο 2 (Πεντέλης) και 2 στο Νοσοκομείο 3 (Σισμανόγλειο) έχοντας συνολικό κόστος στην πρώτη Φάση τα **253,7 Λεπτά**.

Στη συνέχεια προχωράμε στη τρίτη φάση ή αντίστοιχα στην n-ιοστή όπου οι νέοι χρόνοι – κόστη είναι ίσα με τους προηγούμενος χρόνους συν τις απαραίτητες αλλαγές που πρέπει να γίνουν έτσι ώστε τα ασθενοφόρα να πάνε στα νοσοκομεία, αξιοποιώντας πάλι τα live δεδομένα από την Google μέσω της Φόρμουλας που αναφέραμε πιο πάνω και μπορείτε να δείτε αναλυτικότερα στο παράρτημα Α. Αλλά και αλλαγές για τα κελιά που πρέπει να τραβάνε στοιχεία από το πρώτο φύλλο του excel, όπως είναι οι επιλογές που έχουν γίνει μέχρι τώρα. Για αυτό και οι νέοι χρόνοι δίνονται από το παρακάτω πίνακα.

		Νοσοκομεία		
		Ιατρικό Κέντρο Αθηνών (M1<=24)	Νοσοκομείο Πεντέλης (M2<=6)	Σισμανόγλειο Νοσοκομείο (M3<=12)
Ασθενοφόρα	Ασθ. Νο1 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών	93,43	99,73	97
	Ασθ. Νο2 Ιατρικό Κέντρο Αθηνών σε Σισμανόγλειο	98,16	104,46	101,76
	Ασθ. Νο1 Νοσοκομείο Πεντέλης	50,95	57,25	54,52
	Ασθ. Νο2 Νοσοκομείο Πεντέλης	50,95	57,25	54,52
	Ασθ. Νο1 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο σε Ιατρικό Κ.Α.	94,16	100,46	97,73
	Ασθ. Νο2 Σισμανόγλειο Νοσοκομείο σε Ιατρικό Κ.Α.	94,16	100,46	97,73
	Ασθ. Νο 1 Σταθμός Γέρακα σε Σισμανόγλειο	98,29	104,59	101,86
	Ασθ. Νο 2 Σταθμός Γέρακα σε Ιατρικό Κ.Α.	93,15	99,45	96,72
	Ασθ. Νο 1 Σταθμός Σπάτα σε Ιατρικό Κ.Α.	84,86	91,16	88,43
	Ασθ. Νο 2 Σταθμός Σπάτα σε Ιατρικό Κ.Α.	84,86	91,16	88,43
	Ασθ. Νο 1 Σταθμός Αεροδρομίου σε	102,34	108,64	105,91

Σισμανόγλειο			
Ασθ. Νο 2 Σταθμός Αεροδρομίου σε Σισμανόγλειο	102,34	108,64	105,91
Αριθμός ασθενών που μπορούν να εξυπηρετηθούν σε κάθε γύρο από τα Νοσοκομεία	3	1	2
Αριθμός ασθενών που εξυπηρετήθηκαν από τα Νοσοκομεία	6	0	4
Μέγιστη Χωρητικότητα Νοσοκομείου	24	6	12

Πίνακας 31. Χρόνοι μεταφορά των ασθενοφόρων προς τα πλησιέστερα Νοσοκομεία Τρίτης ή Αντίστοιχα η-ιοστής Φάσης

Έτσι, αξιοποιώντας πάλι το solver του excel και εφαρμόζοντας όλους τους περιορισμούς μας έχουμε το παρακάτω αποτέλεσμα ως επιλογές:

Ασθενείς	Διαδρομές Ασθενοφόρων	Χρόνος - Κόστος
11-15	Πεντέλη - Ραφήνα – Ιατρικό Κ. Α.	50,95
	Πεντέλη - Ραφήνα - Ιατρικό Κ. Α.	50,95
	Σπάτα - Ραφήνα – Ιατρικό Κ. Α. - Ραφήνα - Ιατρικό Κ. Α.	84,86
	Σπάτα - Ραφήνα – Ιατρικό Κ. Α. - Ραφήνα - Σισμανόγλειο	88,43
	Γέρακας - Ραφήνα - Σισμανόγλειο - Ραφήνα - Σισμανόγλειο	96,72
	Σύνολο Χρόνου Κόστους 3^{ης} Φάσης	371,91

Πίνακας 32. Επιλογές 3ης ή Αντίστοιχα η-ιοστής Φάσης

Όπου 3 ασθενοφόρα θα πάνε στο Νοσοκομείο 1 (Ιατρικό Κέντρο Αθηνών) μηδέν στο Νοσοκομείο 2 (Πεντέλης) και 2 στο Νοσοκομείο 3 (Σισμανόγλειο) έχοντας συνολικό κόστος στην πρώτη Φάση τα **371,91 λεπτά**.

Σε αυτό το σημείο (η-ιοστή φάση) όλοι οι ασθενείς έχουν μεταφερθεί στα πλησιέστερα Νοσοκομεία και το case έχει φτάσει στο τέλος του έχοντας ως συνολικό κόστος τα 852,76 λεπτά όπως δείχνει και ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας:

Νοσοκομεία	Αριθμός Ασθενών που θα πάνε συνολικά στο κάθε Νοσοκομείο σε όλες τις Max Phases			Κόστος
	Νοσοκομείο 1	Νοσοκομείο 2	Νοσοκομείο 3	
Πρώτη Φάση	3	0	2	227,15
Δεύτερη Φάση	3	0	2	253,7
Τρίτη Φάση	3	0	2	371,91
Σύνολο	9	0	6	852,76

Πίνακας 33. Συγκεντρωτικός Πίνακας Χρόνων μεταφοράς ασθενών από τα ασθενοφόρα

Εννοείται πως κανένα από αυτά τα αποτελέσματα δεν πρέπει να θεωρηθεί ως ιατρική συμβουλή αντιμετώπισης τέτοιων καταστάσεων. Παρ' όλα αυτά, ο συγκεκριμένος τρόπος επίλυσης προσδίδει μία τεράστια δυνητική αξία σε προβλήματα άμεσης ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης ύστερα από κάποια φυσική καταστροφή.

6.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΚΑΛΗΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΣΥΜΒΑΝΤΟΣ

Μετά την ολοκλήρωση και των δυο τρόπων επίλυσης του προβλήματος διαπιστώσαμε ότι και οι δύο τρόποι μας δίνουν τα ίδιο αποτέλεσμα ως βέλτιστες επιλογές. Συγκεντρώνοντας λοιπόν αυτούς τους χρόνους και τις διαδρομές που θα ακολουθήσουν δημιουργήσαμε ένα συγκεντρωτικό πίνακα που μας δείχνει κατά πόσο καλά αντιμετωπίστηκε ο κάθε ένας ασθενής βάση και της Αυστραλιανής Κλίμακας (ATS), όπου οι πιο βαριά τραυματίες μπορούν να αναμένουν λιγότερο χρόνο σε σχέση με τους πιο ελαφριά τραυματίες έτσι ώστε να δεχθούν την απαιτούμενη ιατροφαρμακευτική περίθαλψη. Οι χρόνοι αυτοί είναι συγκεκριμένοι ανάλογα με το βαθμό τραυματισμού που έχουν. (Hodge, et al., 2013)

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της προσομοίωσης όταν αυτός ο δείκτης είναι πάνω από την μονάδα τότε θα μεταφερθεί με ασφάλεια ο ασθενής και όλα θα πάνε καλά. Όταν είναι από 0,5 μέχρι 1 τότε έχει κίνδυνο ώστε να αλλάξει κατηγορία και να επιβαρυνθεί η κατάστασή του. Όταν είναι κάτω από 0,5 τότε το πιο πιθανό είναι να επιβαρυνθεί η κατάστασή του και να αλλάξει κατηγορία και όταν είναι μηδέν ή πολύ κοντά στο μηδέν τότε το πιο σίγουρο είναι ότι θα επιβαρυνθεί η κατάστασή του και επίσης υπάρχει πολύ ισχυρή πιθανότητα να χάσουμε τον συγκεκριμένο ασθενή διότι δεν θα μπορέσουν να τον φροντίσουν οι γιατροί εγκαίρως. Για παράδειγμα οι δυο πιο βαριά ασθενείς μας είναι το πιο πιθανό να χάσουν την ζωή τους διότι ο δείκτης είναι μηδενικός. (Vasalakis & Spyridakos, 2023)

Επίσης από τον 3^ο ασθενή έως τον 6^ο φαίνεται να κινδυνεύουν έτσι ώστε να αλλάξουν κατηγορία και να χειροτερέψει η κατάστασή τους ή ακόμα και να κινδυνέψει η ίδια τους η ζωή. Ο 7^{ος} και ο 8^{ος} φαίνονται να μεταφέρονται με μία σχετική ασφάλεια αλλά και με τον κίνδυνο έτσι ώστε να χειροτερέψει η κατάστασή τους και να ανέβουν

επίπεδο στην Αυστραλιανή Κλίμακα. Τέλος από τον 9^ο ασθενή και μετά όλοι έχουν μεταφερθεί με απόλυτη ασφάλεια στα πλησιέστερα Νοσοκομεία.

	Route of Ambulances	Treatment acuity (max wait time) (A)	Transportation Time (B)	A/B (have to be >= 1)
1-5	Σπάτα - Ραφήνα – Ιατρικό Κ. Α.	0 minutes	38,85	0
	Σπάτα - Ραφήνα - Ιατρικό Κ. Α.	0 minutes	38,85	0
	Ιατρικό Κ. Α. - Ραφήνα - Ιατρικό Κ. Α.	10 minutes	47,42	0,21
	Ιατρικό Κ. Α. - Ραφήνα - Σισμανόγλειο	10 minutes	50,95	0,20
	Γέρακας - Ραφήνα - Σισμανόγλειο	10 minutes	51,08	0,20
6-10	Γέρακας - Ραφήνα – Ιατρικό Κ. Α.	10 minutes	47,14	0,21
	Σισμανόγλειο - Ραφήνα - Ιατρικό Κ. Α.	30 minutes	48,15	0,62
	Σισμανόγλειο - Ραφήνα - Ιατρικό Κ. Α.	30 minutes	48,15	0,62
	Αερολιμένας - Ραφήνα - Σισμανόγλειο	60 minutes	55,13	1,09
	Αερολιμένας - Ραφήνα - Σισμανόγλειο	60 minutes	55,13	1,09
11-15	Πεντέλη - Ραφήνα – Ιατρικό Κ. Α.	60 minutes	50,95	1,18
	Πεντέλη - Ραφήνα - Ιατρικό Κ. Α.	120 minutes	50,95	2,36
	Σπάτα - Ραφήνα – Ιατρικό Κ. Α. - Ραφήνα - Ιατρικό Κ. Α.	120 minutes	84,86	1,41
	Σπάτα - Ραφήνα – Ιατρικό Κ. Α. - Ραφήνα - Σισμανόγλειο	120 minutes	88,43	1,36
	Γέρακας - Ραφήνα - Σισμανόγλειο - Ραφήνα - Σισμανόγλειο	120 minutes	96,72	1,24

Πίνακας 34. Αποτελέσματα μεταφοράς ασθενών από τη Ραφήνα στα πλησιέστερα Νοσοκομεία.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Συνοπτικά και σύμφωνα με όλα τα παραπάνω θα μπορούσαμε να πούμε πως είδαμε τον τρόπο με τον οποίο θα πρέπει να κινηθούν τα μέσα μεταφοράς (πχ. Ασθενοφόρα) έτσι ώστε να μεταφέρουν όσο το δυνατόν πιο σύντομα τους ασθενείς που θα προκύψουν σε νοσοκομεία που διαθέτουν Μονάδες Εντατικής Θεραπείας. Κατά κύριο λόγο αυτού του είδους τα προβλήματα χαρακτηρίζονται ως Vehicle Routing Problems (VRP) στην βιβλιογραφία, η οποία είναι αρκετά εκτενής.

Όσον αφορά την πρωτοτυπία και την συμβολή μας στην επιστημονική κοινότητα είναι η χρήση μιας μεθοδολογικής προσέγγισης με βάση τις αρχές του Δυναμικού Προγραμματισμού (ΔΠ), που διακριτοποιεί τα προβλήματα βελτιστοποίησης σε στάδια και τις τεχνικές του Γραμμικού Προγραμματισμού και καταφέραμε να αναπτύξουμε ένα μοντέλο το οποίο ελαχιστοποιεί το κόστος – χρόνο μεταφοράς των ασθενών προς τα πλησιέστερα νοσοκομεία. Δείξαμε πως το κόστος – χρόνος μεταφοράς αλλάζει σε κάθε γύρο και την πορεία που πρέπει να ακολουθήσει το κάθε ασθενοφόρο έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η συνολική χρονική διάρκεια μεταφοράς για τους ασθενείς. Επιπλέον, βρήκαμε τρόπους έτσι ώστε οι ασθενείς να μεταφερθούν όσο το δυνατόν πιο γρήγορα στα πλησιέστερα νοσοκομεία ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο να χάσουν την ζωή τους. Τέλος, αναπτύξαμε ένα δείκτη που μας δείχνει την σχέση μεταξύ του χρόνου αναμονής που μπορούν να έχουν οι ασθενείς και του χρόνου μεταφοράς που χρειάζεται το κάθε ασθενοφόρο για να μεταφερθεί ο ασθενής, έτσι ώστε να αξιολογήσουμε και τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε.

Εννοείται πως κανένα από αυτά τα αποτελέσματα δεν πρέπει να θεωρηθεί ως ιατρική συμβουλή αντιμετώπισης τέτοιων καταστάσεων. Παρ' όλα αυτά, ο συγκεκριμένος τρόπος επίλυσης προσδίδει μία τεράστια δυνητική αξία σε προβλήματα άμεσης ιατροφαρμακευτικής περίθαλψης ύστερα από κάποια φυσική καταστροφή.

Σε ότι αφορά τις προοπτικές εξέλιξης όλου αυτού του εγχειρήματος θα μπορούσαμε να πούμε πως η εξέταση και αξιοποίηση και των εναέριων μέσων μεταφοράς θα έρχοζε αναγκαία για να μπορέσουμε να βελτιώσουμε το δείκτη καλής αντιμετώπισης του συμβάντος και ταυτόχρονα να μπορέσουν να σωθούν περισσότερες ζωές που θα πρέπει ως περιστατικά να αντιμετωπιστούν πολύ πιο

γρήγορα λόγω και του μικρού χρόνου αναμονής που μπορούν να έχουν οι ασθενείς μέχρι να λάβουν την απαραίτητη ιατροφαρμακευτική περίθαλψη από τους αρμόδιους γιατρούς στα πλησιέστερα νοσοκομεία.

Επίσης θα μπορούσε να εξεταστεί το ενδεχόμενο χρήσης συνδυασμένων τρόπων μεταφοράς ασθενών όπως για παράδειγμα η χρήση ενός C-130 σε κάποιο νησί που δεν έχει τις κατάλληλες υποδομές σε συνδυασμό με την χρήση ενός ασθενοφόρου που θα μεταφέρει τον ασθενή στο αεροδρόμιο και ενός άλλου ασθενοφόρου που θα τον παραλάβει από το αεροδρόμιο για να τον μεταφέρει στο νοσοκομείο. Ή επίσης για παράδειγμα η χρήση ενός Canadair, τα οποία και έχουν την δυνατότητα προσθαλάσωσης και περισυλλογής ασθενών μέσα από την θάλασσα εκτός από την χρήση πυρόσβεσης σε περίπτωση πυρκαγιάς, και έπειτα η μεταφορά με κάποιο ασθενοφόρο από το αεροδρόμιο που θα τους έχει μεταφέρει.

Επίσης καλό θα ήταν η συγκεκριμένη μεθοδολογία να αξιοποιηθεί εμπράκτως από τα νοσοκομεία στην αντιμετώπιση τέτοιων περιστατικών έτσι ώστε όταν θα έρθει η στιγμή να μην βρεθούμε πάλι αντιμέτωποι με καταστάσεις όπως αυτές στο μάτι του Μαραθώνα ή και αλλού. Να υπάρχει δηλαδή, το «Know-how» και να μπορούν να αντιμετωπίσουν άμεσα παρόμοια περιστατικά ελαχιστοποιώντας όσο το δυνατόν περισσότερο τις χαμένες ζωές των συνανθρώπων μας.

Τέλος μία άλλη προοπτική που θα μπορούσε να υπάρξει είναι η περαιτέρω αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών όπως η χρήση του 4G ή 5G για να δούμε πως θα μπορούσαν να εφαρμοστούν στις συγκεκριμένες περιπτώσεις, έτσι ώστε να αποκτούμε αστραπιαία νέες πληροφορίες που θα μπορέσουν να σώσουν ή και να προστατέψουν ζωές, λαμβάνοντας ακόμα πιο γρήγορα αποφάσεις. Όλα αυτά συμβαίνουν επειδή είναι δυνατή η συνεχής παρακολούθηση των κρίσιμων περιοχών μέσω διασυνδεδεμένων συσκευών, όπως αισθητήρες, επιτρέποντας την άμεση λήψη ενημερώσεων. Επιπλέον, παρέχεται η δυνατότητα παροχής βελτιωμένων υπηρεσιών υγείας, επιτρέποντας σε ασθενείς και ηλικιωμένους να επικοινωνούν αποτελεσματικά με εξειδικευμένους επαγγελματίες, ανεξαρτήτως της απόστασης που τους χωρίζει.²⁵

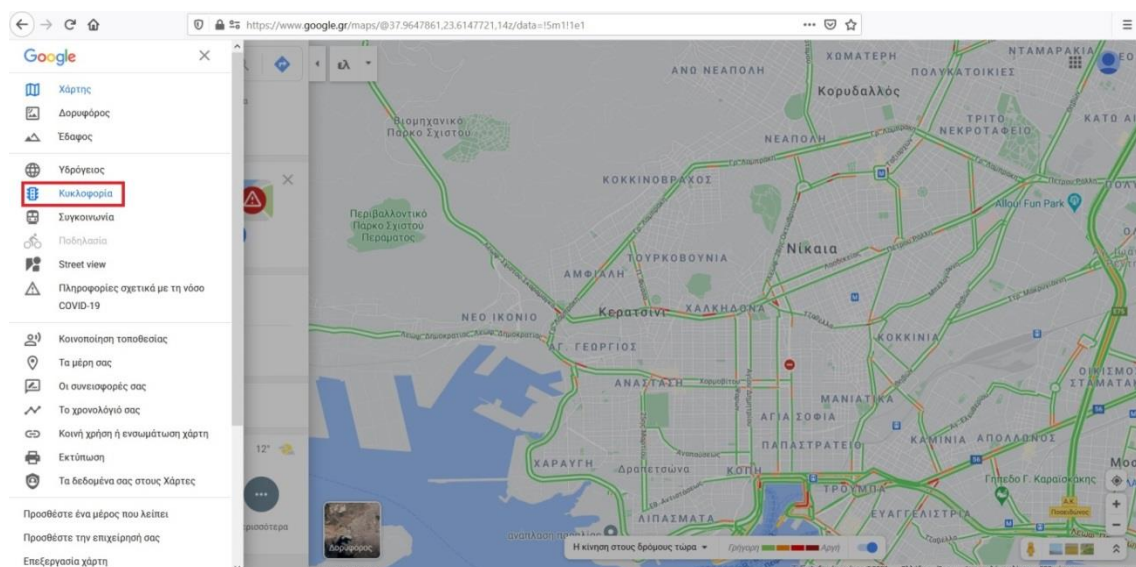
²⁵ Το 5G για τον Δημόσιο Τομέα https://www.wind.gr/5g/?d=null&locale=el_GR

Παραρτήματα

A. EXCEL FUNCTION ΓΙΑ LIVE ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗΝ GOOGLE

Ύστερα από έρευνα που πραγματοποιήθηκε στο πως θα μπορούσαμε να εκμεταλλευτούμε καλύτερα την χρήση της τεχνολογίας διαπιστώσαμε ότι μπορούμε να εξάγουμε οποτεδήποτε θέλουμε εμείς Live δεδομένα από την ίδια την Google σχετικά με το χρόνο που απαιτείται ώστε να μεταφερθεί κάποιος από το ένα σημείο στο άλλο ή και τα χιλιόμετρα που θα χρειαστεί να κάνει. Ταυτόχρονα η ίδια η Google σου προσδιορίζει πάντα ποια είναι η βέλτιστη διαδρομή εάν τύχει και υπάρξει κάποιο ατύχημα ή έχουμε συνωστισμό σε κάποιο δρόμο και άρα καθυστερήσεις και σου υπολογίζει τον αμέσως πιο σύντομο δρόμο προς εξυπηρέτηση του κοινού. Εναλλακτικά για τη λήψη των χρόνων θα μπορούσαμε να εκμεταλλευτούμε ίσως και κάποια crowdsourcing applications, όπου θα μπορούσαμε να συλλέγουμε ιδέες, ή και πληροφορίες από μια μεγάλη και διαφορετική ομάδα ατόμων, μέσω μιας ανοιχτής κλήσης ή μιας διαδικτυακής πλατφόρμας. (Hossain & Kaaranen, 2015)

Για ότι αφορά το να δούμε οπτικά την διαδρομή στο χάρτη και με το ποια σημεία του χάρτη έχουμε υψηλό κυκλοφοριακό πρόβλημα μπορούμε να το δούμε εάν όπως είμαστε μέσα στο Google Maps πάμε στο Menu και στην συνέχεια πατήσουμε πάνω στο κουμπί «Κυκλοφορία» όπως δείχνει και η παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 75. Επίπεδα κυκλοφορίας στους δρόμους μέσω Google Maps.

Με αυτό τον τρόπο όσο πιο κόκκινοι είναι οι δρόμοι τόσο μεγαλύτερο κυκλοφοριακό πρόβλημα υπάρχει και όσο πιο πράσινοι είναι τόσο πιο χαλαρή είναι η κυκλοφορία εκεί. Επίσης αναφέρεται στο χάρτη εάν σε κάποιο δρόμο γίνονται έργα ή είναι κλειστοί για άλλους λόγους.

Στη συνέχεια αξιοποιώντας τα υπολογιστικά φύλλα του Google Drive μπορούμε πηγαίνοντας στην διαδρομή **Εργαλεία/ Πρόγραμμα Επεξεργασίας Σεναρίου** να εισάγουμε τον παρακάτω κώδικα έτσι ώστε να μπορέσουμε να εξαγάγουμε απευθείας από την Google, Live δεδομένα εισάγοντας μία απλή συνάρτηση.

```
1 function GOOGLEMAPS(start_address,end_address,return_type) {
2   var mapObj = Maps.newDirectionFinder();
3   mapObj.setOrigin(start_address);
4   mapObj.setDestination(end_address);
5   var directions = mapObj.getDirections();
6
7   var getTheLeg = directions["routes"][0]["legs"][0];
8
9   var meters = getTheLeg["distance"]["value"];
10
11  switch(return_type){
12    case "miles":
13      return meters * 0.000621371;
14      break;
15    case "minutes":
16      // get duration in seconds
17      var duration = getTheLeg["duration"]["value"];
18      //convert to minutes and return
19      return duration / 60;
20      break;
21    case "hours":
22      // get duration in seconds
23      var duration = getTheLeg["duration"]["value"];
24      //convert to hours and return
25      return duration / 60 / 60;
26      break;
27    case "kilometers":
28      return meters / 1000;
29      break;
30    default:
31      return "Error: Wrong Unit Type";
32  }
33 }
34 }
```

Εικόνα 76. Κώδικας υπολογισμού Live δεδομένων μέσω της Google.

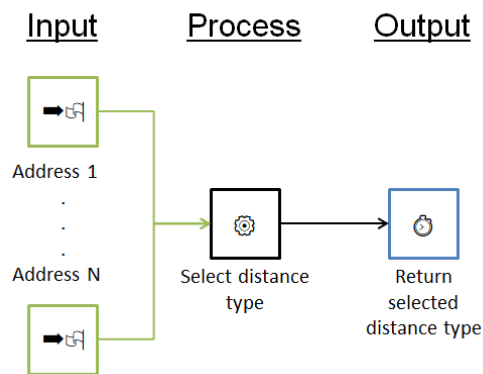
Ο τρόπους με τον οποίο λειτουργεί η συγκεκριμένη συνάρτηση είναι ο ακόλουθος:

A) Γράφουμε σε μία στήλη την διεύθυνση που βρισκόμαστε.

B) Γράφουμε σε μια δεύτερη στήλη την διεύθυνση που θέλουμε να πάμε.

Γ) Σε μία τρίτη στήλη εισάγουμε την συνάρτηση με την μορφή “=GOOGLEMAPS(Κελί Διεύθυνσης που βρισκόμαστε; Κελί Διεύθυνσης που θέλουμε να πάμε; "minutes"). πχ. “=GOOGLEMAPS(C3;E3;"minutes)” (Chi Brander Inc, 2017)

Χρησιμοποιώντας την λέξη “minutes” υπολογίζει τα λιγότερα λεπτά που χρειάζεται για να πάμε από την μία διαδρομή στην άλλη. Αντίστοιχα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και άλλες λέξεις όπως “hours”, “kilometers” και “miles” για να υπολογίσουμε την ώρα, τα χιλιόμετρα και τα μίλια που χρειαζόμαστε για να μεταφερθούμε από το ένα μέρος στο άλλο. Το συγκεκριμένο function θα μπορούσε να αποδοθεί και με το παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 77. Διάγραμμα Googlemaps Function.

B. AUSTRALIAN TRIAGE SCALE (ATS) ΜΕΣΩ ΧΡΗΣΗΣ PYTHON

Ύστερα από μελέτη που διεξήγαμε και χωρίς κάποιες ιδιαίτερες γνώσεις ή προγραμματιστικό υπόβαθρο, καταφέραμε να δημιουργήσουμε ένα μικρό πρόγραμμα μέσω της python για την εξαγωγή και ταξινόμηση των ασθενών βάσει της σοβαρότητας του τραύματος που έχουν. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να βλέπουμε κάθε φορά ποιοι είναι οι πιο σοβαρά τραυματίες ή αντίστοιχα ποιοι έχουν μία προτεραιότητα έτσι ώστε να επιλεγθούν για να μεταφερθούν πρώτοι στο πλησιέστερο νοσοκομείο.

Ο κώδικας που δημιουργήθηκε είναι ο παρακάτω:

```
import tkinter as tk

root = tk.Tk()
root.title("Classification of patients based on Australasian Triage Scale (ATS)")
root.wm_iconbitmap('C:/Users/Stamatis/Desktop/pythonProject/icon/LOGO.ico')

num_inputs = int(input("Enter the number of patients: ")) # Ask the user for the number of patients

numbers = []
id = 1
lower_limit = 1
upper_limit = 5

# Ask the user for the degree of severity of injury based on the number of patients declared
for i in range(num_inputs):
    num = int(input("Enter the degree of severity of injury (1 -minor injury, 5 - severe injury): "))
    if num >= lower_limit and num <= upper_limit:
        if num >= 1 and num <= 1:
            message = "120 minutes"
            color = 'blue'
        elif num >= 2 and num <= 2:
            message = "60 minutes"
            color = 'green'
        elif num >= 3 and num <= 3:
            message = "30 minutes"
            color = 'yellow'
        elif num >= 4 and num <= 4:
            message = "10 minutes"
            color = 'orange'
        else:
            message = "0 minutes"
            color = 'red'
        numbers.append((id, num, message))
        id += 1
    else:
        message = "The number is not within the allowed limits"
        print(message)
```

```

sorted_numbers = sorted(numbers,reverse=True,key=lambda x: x[1])

# Create labels for each column
id_label = tk.Label(root, text="Patient No")
num_label = tk.Label(root, text="Degree of severity of injury (1 -minor
injury, 5 - severe injury)")
message_label = tk.Label(root, text="Treatment acuity (max wait time)")

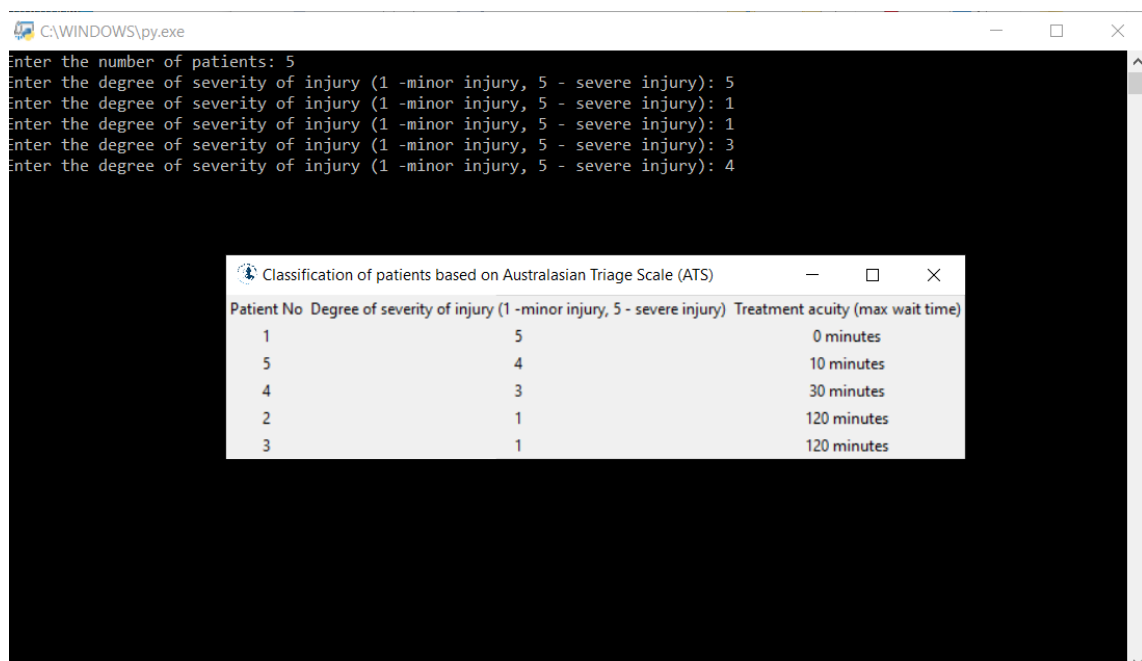
# Place the labels in the first row
id_label.grid(row=0, column=0)
num_label.grid(row=0, column=1)
message_label.grid(row=0, column=2)

# Create labels for each row
for i, number in enumerate(sorted_numbers):
    id_value = tk.Label(root, text=number[0])
    num_value = tk.Label(root, text=number[1])
    message_value = tk.Label(root, text=number[2])
    id_value.grid(row=i+1, column=0)
    num_value.grid(row=i+1, column=1)
    message_value.grid(row=i+1, column=2)

root.mainloop()

```

Αρχικά εισάγουμε τον αριθμό των ασθενών και στην συνέχεια για κάθε ένα την κατηγορία που έχει οριστεί βάσει της σοβαρότητας του τραύματος που έχει. Έτσι, το αποτέλεσμα που μπορούμε να λάβουμε με την χρήση αυτού του κώδικα και έχοντας για παράδειγμα 5 ασθενείς με βαθμό σοβαρότητας του τραύματός τους 5,1,1,3,4 αντίστοιχα είναι η παρακάτω εικόνα.



Patient No	Degree of severity of injury (1 -minor injury, 5 - severe injury)	Treatment acuity (max wait time)
1	5	0 minutes
5	4	10 minutes
4	3	30 minutes
2	1	120 minutes
3	1	120 minutes

Εικόνα 78. Australian Triage Scale (ATS) – Python.

Πραγματοποιώντας τις ανάλογες τροποποιήσεις στο περιγραφικό κομμάτι θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και ως ένα γενικό μέσω προτεραιοποίησης με βάση το πόσο μπορεί κάποιος να περιμένει να έρθει η σειρά του.

Επειδή με αυτόν το κώδικα δεν προστίθεται κάτι το ιδιαίτερο στην διδακτορική διατριβή ούτε έχει κάποιου είδους ευφυΐα, το αφήσαμε ως παράρτημα, για πιθανή μελλοντική χρήση, τροποποίηση ή και βελτιστοποίηση αυτού.

Γ. ΠΑΡΑΛΛΑΓΗ ΟΠΙΣΘΟΔΡΟΜΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΜΕΣΩ ΧΡΗΣΗΣ ΡΥΘΜΩΝ

Ύστερα από μελέτη που διεξήγαμε και χωρίς κάποιες ιδιαίτερες γνώσεις ή προγραμματιστικό υπόβαθρο, καταφέραμε να δημιουργήσουμε ένα μικρό πρόγραμμα μέσω της ρυθμω για την παραλλαγή της οπισθοδρομικής μεθόδου που αξιοποιήσαμε και παραπάνω. Ο κώδικας που δημιουργήσαμε είναι ο παρακάτω.

```
import pandas as pd

# Create a new dataframe to hold the counts of each row
row_count_df = pd.DataFrame(columns=['Hospitals', 'Count'])

total_sum = 0

while True:
    # Define the number of rows and columns
    n = int(input("Enter the number of Hospitals: "))
    m = int(input("Enter the number of Ambulances: "))

    # Create the DataFrame with n rows and m columns
    df = pd.DataFrame(index=range(n), columns=range(m))

    # Get the column names from the user
    df.columns = [input(f"Enter the name for ambulance {i+1}: ") for i in
range(m)]

    # Get the row names from the user
    df.index = [input(f"Enter the name for Hospital {i+1}: ") for i in
range(n)]

    # Fill in the DataFrame with values from the user
    for i in range(n):
        for j in range(m):
            df.loc[df.index[i], df.columns[j]] = float(input(f"Enter the
Distance Value in minutes ({df.index[i]}, {df.columns[j]}): "))

    # Create a new DataFrame with the name of the column, the name of the
row and the value for each cell
    new_df = pd.DataFrame(columns=['Ambulance', 'Hospital',
'Distance_Value'])
    for i in range(n):
        for j in range(m):
            new_df = pd.concat([new_df, pd.DataFrame({'Ambulance':
df.columns[j], 'Hospital': df.index[i], 'Distance_Value': df.iloc[i,j]},
index=[0])], ignore_index=True)

    # Sort the new DataFrame by the 'Value' column in ascending order
    new_df = new_df.sort_values('Distance_Value', ascending=True)
    # Exclude duplicate column names from the new DataFrame
    new_df = new_df.drop_duplicates(subset='Ambulance', keep='first')

    # Create a dictionary to store the number of rows for each group
    keep_times = {}
    for i in range(n):
```

```

        keep_times[df.index[i]] = int(input(f"Enter the number of times
which can transport patients for this sub-phase on {df.index[i]}: "))

    # Keep only the rows with 'Row_Name' present in the keep_times
dictionary
    new_df = new_df[new_df['Hospital'].isin(keep_times.keys())]

    # Group the rows by 'Row_Name' and keep only the specified number of
rows for each group
    for group, rows in keep_times.items():
        new_df.loc[new_df['Hospital'] == group, :] =
new_df.loc[new_df['Hospital'] == group, :].head(rows)

    # Print the original DataFrame and the new DataFrame
    print("Original DataFrame:")
    print(df)
    print("New DataFrame:")
    print(new_df)

    # Get the sum of the values that are not NaN
    sum_not_nan =
new_df['Distance_Value'][~new_df['Distance_Value'].isna()].sum()

    # Add the sum of the values that are not NaN to the total sum
    total_sum += sum_not_nan

    # Print the sum of the values that are not NaN
    print("Total cost of this Sub-Phase is: ", sum_not_nan)

    # Count the occurrences of the rows that are not NaN
    row_count =
new_df['Hospital'][~new_df['Distance_Value'].isna()].value_counts()

    # Create a temp dataframe to hold the current counts
    temp_df = pd.DataFrame({'Hospitals': row_count.index, 'Count':
row_count.values})

    # Append the temp dataframe to the main dataframe
    row_count_df = pd.concat([row_count_df, temp_df], ignore_index=True)

    # Group the rows by the 'Row' column
    grouped_rows = row_count_df.groupby('Hospitals')

    # Count the occurrences of each row name
    row_counts = grouped_rows.size().reset_index(name='Count')

    # Print the row counts
    print(row_counts)

    # Prompt the user to repeat the process
    repeat = input("Do you have more patients for transportation? (yes/no)
")
    if repeat.lower() == "no":
        break

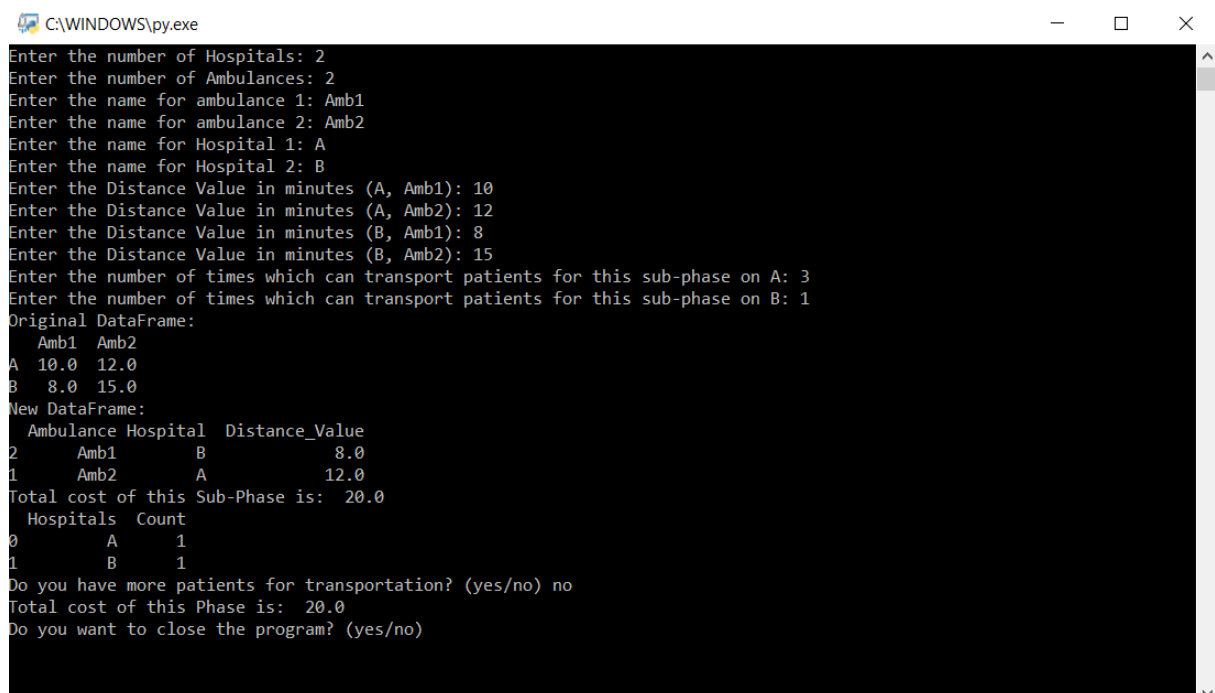
# Print the total sum
print("Total cost of this Phase is: ", total_sum)

while True:
    user_input = input("Do you want to close the program? (yes/no)")

```

```
if user_input.lower() in ("yes", "y"):
    break
```

Η διαδικασία είναι ακριβώς όπως περιγράφηκε και στο παραπάνω κεφάλαιο. Επίσης κάνουμε επαναλήψεις του συγκεκριμένου κώδικα όσο έχουμε ασθενείς. Μια εικόνα από το τι μας δίνει ο συγκεκριμένος κώδικας αν τον τρέξουμε και έχοντας 2 ασθενείς να μεταφερθούν σε δυο νοσοκομεία (α & β αντίστοιχα με 3 και 1 ασθενή να μπορούν να δεχτούν) και έχοντας 2 ασθενοφόρα είναι η παρακάτω. Οι χρόνοι που λαμβάνονται στο παράδειγμα και όλα τα δεδομένα είναι τυχαία.



```
C:\WINDOWS\py.exe
Enter the number of Hospitals: 2
Enter the number of Ambulances: 2
Enter the name for ambulance 1: Amb1
Enter the name for ambulance 2: Amb2
Enter the name for Hospital 1: A
Enter the name for Hospital 2: B
Enter the Distance Value in minutes (A, Amb1): 10
Enter the Distance Value in minutes (A, Amb2): 12
Enter the Distance Value in minutes (B, Amb1): 8
Enter the Distance Value in minutes (B, Amb2): 15
Enter the number of times which can transport patients for this sub-phase on A: 3
Enter the number of times which can transport patients for this sub-phase on B: 1
Original DataFrame:
  Amb1  Amb2
A  10.0  12.0
B   8.0  15.0
New DataFrame:
  Ambulance Hospital  Distance_Value
2     Amb1         B             8.0
1     Amb2         A            12.0
Total cost of this Sub-Phase is: 20.0
Hospitals  Count
0         A      1
1         B      1
Do you have more patients for transportation? (yes/no) no
Total cost of this Phase is: 20.0
Do you want to close the program? (yes/no)
```

Εικόνα 79. Παραλλαγή Οπισθοδρομικής Μεθόδου Δυναμικού Προγραμματισμού – Python.

Έτσι το συνολικό κόστος μεταφοράς που θα ελαχιστοποιηθεί, θα είναι 20 και θα πάει ο πιο σοβαρά ασθενής στο νοσοκομείο A σε 8 λεπτά και ο αμέσως επόμενος στο νοσοκομείο B σε 12 λεπτά, σύμφωνα με τους πίνακες που μας δίνει ο κώδικας. Από την στιγμή που δεν έχουμε παραπάνω ασθενείς δεν έχουμε κάποια νέα φάση και έτσι το πρόγραμμα κλείνει σε αυτό το σημείο. Σε περίπτωση που είχαμε κι άλλους ασθενείς θα έπρεπε να πατήσουμε “yes” και να επαναλάβουμε μία νέα φάση. Όταν φτάσουμε στο σημείο να μην έχουμε άλλους ασθενείς τότε το πρόγραμμα μπορεί να τερματιστεί.

Επειδή με αυτόν το κώδικα δεν προστίθεται κάτι το ιδιαίτερο στην διδακτορική διατριβή ούτε έχει κάποιου είδους ευφυΐα, το αφήσαμε ως παράρτημα, για πιθανή μελλοντική χρήση, τροποποίηση ή και βελτιστοποίηση αυτού.

Βιβλιογραφία

Abkowitz, M. D., 2002. Transportation risk management: A new paradigm. *Security Papers (Knoxville: Southeastern Transportation Center, University of Tennessee)*, 6(4), pp. 93-103.

Aderibigbe, A., 2014. A term paper on Monte Carlo analysis / simulation. Στο: s.l.:Department of Electrical & Electronic Engineering, Faculty of Technology. University of Ibadan.

Aderibigbe, A. I., Samuel, I. A., Adetokun, B. B. & Shomefun, T., 2017. *Monte Carlo Simulation Approach to Soil Layer Resistivity Modelling for Grounding System Design*. s.l.:s.n.

Aldaihani, M. & Dessouky, M., 2003. Hybrid scheduling methods for paratransit operations. Στο: *Comput Ind Eng*. s.l.:s.n., p. 75–96.

Alexander, D., 2002. *Principles of Emergency planning and Management*. s.l.:Terra publishing. ISBN ISBN 1-903544-10-6.

Al-Shaqsi, 2009. EMS in the Sultanate of Oman. Στο: *Resuscitation*. s.l.:s.n., pp. 740-742.

Altieri, M. G., Dell’Orco, M., Marinelli, M. & Sinesi, S., 2017. Evidence (Dempster–Shafer) Theory-Based evaluation of different Transport Modes under Uncertainty.: Theoretical basis and first findings. *Transportation Research Procedia*, Τόμος 27, pp. 508-515.

Amirteimoori, A., 2011. An extended transportation problem: a DEA-based approach. Στο: *Verlag Central European Journal of Operations research*, Vol.19. s.l.:Springer, pp. 513-521.

Anon., 1972. *MISSING PUT AT 6,000 IN IRANIAN BLIZZARD*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.nytimes.com/1972/02/11/archives/missing-put-at-6000-in-iranian-blizzard.html> "MISSING PUT AT 6,000 IN IRANIAN BLIZZARD"

Anon., χ.χ. *The Sarah Morris Children's Hospital, Chicago IL, was housed in this building (1913-1968)*. [Ηλεκτρονικό]
Available at:
http://www.hektoeninternational.org/index.php?option=com_content&view=article&id=689

Anon., χ.χ. *Τμήμα Επειγόντων Περιστατικών*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://www.hosplak.gr/?q=node/36>

Arvis, J.-F., Raballand, G. & Marteau, J.-F., 2007. *The Cost of Being Landlocked: Logistics Costs and Supply Chain Reliability*. s.l.:The world bank.

Bankoff, G., Frerks, G. & Hilhorst, D., 2003. *Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People*. s.l.:ISBN 1-85383-964-7.

Banks, J., 1999. Introduction to simulation. *In Proceedings of the 31st conference on Winter simulation: Simulation---a bridge to the future-*, Τόμος 1, pp. 7-13.

Baugh, J., Krishna, G., Kakivaya, R. & Stone, J., 1998. Intractability of the dial-a-ride problem and a multiobjective solution using simulated annealing. Στο: *Eng Optim*. s.l.:s.n., p. 91–123.

Beaudry, A., Laporte, G., Melo, T. & Nickel, S., 2010. Dynamic transportation of patients in hospitals. Στο: *OR Spectr* 32. s.l.:s.n., p. 77–107.

Bellman, R., 1957. *Dynamic Programming*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.

Benson, C. & Clay, E., 2004. *Understanding the Economic and Financial Impacts of Natural Disasters*. [Ηλεκτρονικό]

Available at:

http://www.wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2004/04/20/000012009_20040420135752/Rendered/PDF/284060PAPER0Disaster0Risk0no.04.pdf

Berbeglia, G., Cordeau, J. F., Gribkovskaia, I. & Laporte, G., 2007. Static pick-up and delivery problems: A classification scheme and survey. *TOP*, 15 1, p. 1–31.

Bernstein, L. S. και συν., 2003. Development and validation of a new index to measure emergency department crowding. *Acad Emerg Med*, 10 9, pp. 938-942.

Bernstein, P. L., 1996. *Against the Gods: The Remarkable Story of Risk*. New York: John Wiley & Sons.

Bertsimas, D., Jaillet, P. & Martin, S., 2019. Online Vehicle Routing: The Edge of Optimization in Large-Scale Applications. Στο: *Operations Research* 67. s.l.:<https://doi.org/10.1287/opre.2018.1763>, pp. 143-162.

Bettinger, P., Jacek, S. P. & Grebner, D. L., 2017. Optimization of Tree- and Stand-Level Objectives. Στο: s.l.:Academic press, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809476-1.00005-9>, p. 113 – 138.

Blanchard, D. & Dionne, G., 2004. The Case for Independent Risk Management Committees. *Risk*, pp. 19 - 21.

Bodin, L. D. & Sexton, T., 1986. The multi-vehicle subscriber dial-a-ride problem. *TIMS Stud Manage Sci*, p. 73–86.

Borndörfer, R., Grötschel, M., Klostermeister, F. & Küttner, C., 1997. *Vehicle scheduling in a dial-a-ride system. Technical Report SC 97-23, Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin, Germany*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://www.zib.de/PaperWeb/abstracts/SC-97-23>

Borshchev, A. & Filippov, A., 2004. *From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools, The 22nd International Conference of the System Dynamics Society*. Oxford, England: s.n.

Bracci, E., Tallaki, M., Gobbo, G. & Papi, L., 2021. Risk management in the public sector: a structured literature review. *International Journal of Public Sector Management*, 34(2), pp. 205-223.

Branas, C. C., MacKenzie, E. J. & ReVelle, C. S., 2000. A Trauma Resource Allocation Model for Ambulances and Hospitals. Στο: *HSR: Health Services Research* 35:2. s.l.:s.n., p. 489 – 507.

Branine, M. & Pollard, D., 2010. Human resource management with Islamic management principles: A dialectic for a reverse diffusion in management. *Personnel Review*, 39(6), pp. 712-727.

- Brewster, C., Mayrhofer, W. & Morley, M., 2016. *New challenges for European resource management*. s.l.:Springer.
- Brzozowska, A. & Bubel, D., 2015. E-business as a new trend in the economy. *Procedia Computer Science*, Τόμος 65, pp. 1095-1104.
- BTRE, 2001. Logistics in Australia: A Preliminary Analysis.. Στο: *Bureau of Transport and Regional Economics*. s.l.:Canberra.
- Buller, P. F. & McEvoy, G. M., 2012. Strategy, human resource management and performance: Sharpening line of sight. *Human Resource Management Review*, 22(1), p. 43–56.
- Burton, I. & Kates, R. W., 1964. The Perception of Natural Hazards in Resource Management. *Natural Resources Journal*, pp. 412-441.
- Cagliano, A. C., Grimaldi, S. & Rafele, C., 2011. A systemic methodology for risk management in healthcare sector. *Safety Science*, 49(5), p. 695–708.
- Chang, Y. H., 1998. *Logistical Management*. Taiwan: Hwa-Tai Bookstore Ltd..
- Chi Brander Inc, 2017. *Google Sheets Get Distance & Time – GOOGLMAPS Function*. *Chicago Computer Classes*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.chicagocomputerclasses.com/google-sheets-google-maps-function-distance-time/>
- Commission of the European Communities, 2005. *Green Paper on a European Programme for critical infrastructure protection*, 576. s.l.:s.n.
- Cooper, L., 1978. The Stochastic transportation-location problem. Στο: *Camp. & Moths*. s.l.:s.n., pp. 265-275.
- Cordeau, J.-F., 2006. A branch-and-cut algorithm for the dial-a-ride problem. *Oper Res*, p. 573–586.
- Cordeau, J.-F. & Laporte, G., 2003. A tabu search heuristic for the static multi-vehicle dial-a-ride problem. Στο: *Transp Res Part B*. s.l.:s.n., p. 579–594.
- Coslovich, L., Pesenti, R. & Ukovich, W., 2006. A two-phase insertion technique of unexpected customers for a dynamic dial-a-ride problem. Στο: *Eur J Oper Res* 175. s.l.:s.n., p. 1605–1615.
- Czajkowski, K. και συν., 1998. A resource management architecture for metacomputing systems. Στο: D. G. Feitelson & L. Rudolph, επιμ. *Job Scheduling Strategies for Parallel Processing. JSSPP 1998. Lecture Notes in Computer Science, vol 1459*. Berlin: Springer, pp. 62 - 82.
- Dantzig, G. B. & Ramser, J. H., 1959. *The Truck Dispatching Problem*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://andresjaquep.files.wordpress.com/2008/10/2627477-clasico-dantzig.pdf>
- Daskalakis, K. & Papadimitriou, C. H., 2005. The complexity of games on highly regular graphs. *In European Symposium on Algorithms*, October, pp. 71-82.
- Dempster, A. P., 1967. Upper and lower probability inferences based on a sample from a finite univariate population. *Biometrika*, 54(3-4), pp. 515-528.

- Dempster, A. P., 1968. A generalization of Bayesian inference. *Journal of the Royal Statistical Society, Τόμος Series B* 30, pp. 205-247.
- Desrochers, M. & Laporte, G., 1991. Improvements and extensions to the Miller-Tucker-Zemlin subtour elimination constraints. *Oper. Res. Lett.* 10, pp. 27-36.
- Desrosiers, J., Dumas, Y. & Soumis, F., 1986. Adynamic programming solution of the large-scale single-vehicle. Στο: *Am J Math Manag Sci* 6. s.l.:s.n., p. 301–325.
- Desrosiers, J., Dumas, Y. & Soumis, F., 1988. The multiple vehicle dial-a-ride problem. Στο: J. Daduna & A. Wren, επιμ. Berlin: Springer. Computer-aided transit scheduling. Lecture notes in economics and mathematical systems, p. 15–27.
- Deti, P., Papalini, F. & De Lara, G., 2017. A multi-depot dial-a-ride problem with heterogeneous vehicles and compatibility constraints in healthcare. Στο: *Omega* 70. s.l.:s.n., p. 1–14.
- Diana, M. & Dessouky, M., 2004. A new regret insertion heuristic for solving large-scale dial-a-ride problems with time windows. Στο: *Trans Res Part B*. s.l.:s.n., p. 539–557.
- Dionne, G., 2013. RISK MANAGEMENT: History, Definition, and Critique. *Risk Management and Insurance Review*, 16(2), pp. 147-166.
- Dorigo, M. & Stützle, T., 2004. *Ant Colony Optimization*. s.l.:MIT Press. ISBN 0-262-04219-3.
- Dorigo, M. & Gambardella, L. M., 1997. Ant colonies for the travelling salesman problem. Στο: *BioSystems* 43. s.l.:s.n., p. 73–81.
- Dumas, Y., Desrosiers, J. & Soumis, F., 1989. Large scale multi-vehicle dial-a-ride problems. Στο: Montréal, Canada: Les Cahiers du GERAD G-89-30, École des Hautes Études Commerciales.
- Emberson, C. & Storey, J., 2006. Buyer-supplier collaborative relationships: Beyond the normative accounts.. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 5 12, pp. 236-245.
- Fairchild, A. M., 2014. Extending the network: Defining product delivery partnering preferences for omni-channel commerce. *Procedia Technology*, Τόμος 16, pp. 447-451.
- Ferrari, A., 2011. Business Intelligence Systems, Uncertainty in Decision-Making and Effectiveness of Organizational Coordination. Στο: A. C. & C. Rossignoli, επιμ. *Emerging Themes in Information Systems and Organization Studies*. Berlin: Springer – Verlag, pp. 155-167.
- Ferris, E., 2010. *Natural Disasters, Conflict, and Human Rights: Tracing the Connections*.
[Ηλεκτρονικό]
Available at:
http://www.brookings.edu/~media/Files/rc/speeches/2010/0303_natural_disasters_ferris/0303_natural_disasters_ferris.pdf
- Foucher, S., Germain, M., Boucher, J. M. & Benie, G. B., 2002. Multisource classification using ICM and Dempster-Shafer theory. *Transactions on Instrumentation and Measurement*, Τόμος 5, pp. 277 - 281.

- Fu, L., 2002. Scheduling dial-a-ride paratransit under time-varying, stochastic congestion. Στο: *Trans Res Part B*. s.l.:s.n., p. 485–506.
- Gabriel, N., 2014. Urban Political Ecology: Environmental Imaginary, Governance, and the Non-Human. *Geography Compass*, 8(1), p. 38–48.
- Gadgil, M. & Berkes, F., 1991. *Traditional resource management systems*. s.l.:Harwood Academic Publishers.
- Gattorna, J. L., 1997. *Handbook of Logistics & Distribution Management*. 4th Edition επιμ. s.l.:Gower Publishing Company.
- Gelinas, S., Desrochers, M., Desrosiers, J. & Solomon, M. M., 1995. A new branching strategy for time constrained routing problems with application to backhauling. *Annals of Operations Research*, p. 91–100.
- Gendreau, M., Hertz, A. & Laporte, G., 1992. New Insertion and Postoptimization Procedures for the Traveling Salesman Problem. *Operations Research* 40, p. 1086 – 1094.
- Ghasemi, P. και συν., 2022. A multi-objective and multi-level model for location-routing problem in the supply chain based on the customer's time window. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*.
- Gilboy, N., Travers, D. A. & Wuerz, R. C., 1999. Re evaluating triage in the new millennium: A comprehensive look at the need for standardization and quality. *JEN*, pp. 468-473.
- Glistau, E. & Coello-Machado, N. I., 2019. Solutions and trends in logistics 4.0. *Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering*, 12(4), pp. 129-132.
- Glover, F., 1986. Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence. *Computers and Operations Research*, p. 533–549.
- Glover, F., 1989. Tabu Search – Part 1. *ORSA Journal on Computing*, p. 190–206.
- Grazia Speranza, M., 2018. Trends in transportation and logistics. *European Journal of Operational Research*, Τόμος 264, p. 830–836.
- Haigh, J. & Haigh, J., 2002. *Probability models*. London: Springer.
- Häll, C. H., Lundgren, J. T. & Voß, S., 2015. Evaluating the performance of a dial-a-ride service using simulation. Στο: *Public Transp*. s.l.:s.n., p. 139–157.
- Häll, C. H. & Peterson, A., 2013. Improving paratransit scheduling using ruin and recreate methods. *Transp. Plan. Technol.*, Τόμος 36 (4), p. 377–393.
- Hanne, T., Melo, T. & Nickel, S., 2009. Bringing robustness to patient flow management through optimized patient transports in hospitals. Στο: *Interfaces* 39. s.l.:s.n., p. 241–255.
- Harrington, S. & Niehaus, G. R., 2003. *Risk Management and Insurance*. New York: Irwin/McGraw-Hill.

- Hasle, G., Lie, K.-A. & Quak, E., 2007. Geometric Modelling, Numerical Simulation, and Optimization. Στο: *Applied Mathematics at SINTEF*. Berlin: Springer Verlag. ISBN 978-3-540-68783-2.
- Hillier, F. S. & Liebermann, G. J., 2014. *Introduction to Operations Research*. s.l.:ISBN: 9783486792089.
- Hitchcock, F. L., 1941. The distribution of a product from several sources to numerous localities. *Journal of Mathematical Physics*, Issue 20, p. 224–230.
- Hodge, A., Hugman, A., Varndel, W. & Howes, K., 2013. A review of the quality assurance processes for the Australasian Triage Scale (ATS) and implications for future practice. *Australasian Emergency Nursing Journal*, pp. 21-29.
- Hongwei, Z., Basir, O. & Karray, F., 2002. Data fusion for pattern classification via the dempster-shafer evidence theory. *International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Τόμος 7, pp. 109 -110.
- Ho, S. C. και συν., 2018. A survey of dial-a-ride problems: Literature review and recent developments. *Transportation Research Part B: Methodological*, Τόμος 111, pp. 395-421.
- Hossain, M. & Kauranen, I., 2015. Crowdsourcing: a comprehensive literature review. *strategic Outsourcing: An International Journal*, 8(1), pp. 2 - 22.
- Hubbard, D., 2009. *The Failure of Risk Management: Why It's Broken and How to Fix It*. Στο: s.l.:John Wiley & Sons, p. 46.
- Hu, T.-L., Sheu, J.-B. & Huang, K.-H., 2002. A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 38(6), pp. 457-473.
- Iakovou, E., Vlachos, D. & Xanthopoulos, A., 2007. An analytical methodological framework for the optimal design of resilient supply chains. *International Journal of Logistics Economics and Globalisation*, 1 1, pp. 1-20.
- Irving, J. L., 1989. *Crusial Decisions: Leadership in Policymaking & Crisis Management*. NY: The Free Press.
- Janse, B., 2018. *Multiple Criteria Decision Analysis (MCDA)*. s.l.:Toolshero.
- Jaw, J., Odoni, A. R., Psaraftis, H. N. & Wilson, N., 1986. A heuristic algorithm for the multi-vehicle advanced request dial-a-ride problem with time windows. Στο: *Trans Res Part B*. s.l.:s.n., p. 243–257.
- Jennings, B. & Stadler, R., 2015. Resource management in clouds: Survey and research challenges. *Journal of Network and Systems Management*, Τόμος 23, pp. 567-619.
- Johnson, J. G. & Busemeyer, J. R., 2010. Decision making under risk and uncertainty. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, pp. 736-749.
- Jørgensen, R., Larsen, J. & Bergvinsdottir, K., 2007. Solving the dial-a-ride problem using genetic algorithms. Στο: *J Oper Res Soc*. s.l.:s.n., p. 1321–1331.

- Juan David Palacio Dominguez, 2022. *Vehicle routing optimization in bicycle sharing systems*. MEDELLÍN: UNIVERSIDAD EAFIT.
- Kanchu, T. & Kumar, M. M., 2013. RISK MANAGEMENT IN BANKING SECTOR - AN EMPIRICAL STUDY. *International Journal of Marketing, Financial Services & Management Research*, 2(2), pp. 145 - 153.
- Kantorovich, L. V., 1942. On the translocation of masses. *In Doklady akademii nauk*, Τόμος 37, p. 199–201.
- Karabuk, S., 2009. A nested decomposition approach for solving the paratransit vehicle scheduling problem. Στο: *Transportation Research Part B: Methodological*. s.l.:sciencedirect, pp. 448-465.
- Kloimüllner, C., Papazek, P., Hu, B. & Raidl, G. R., 2014. Balancing Bicycle Sharing Systems: An Approach for the Dynamic Case. Στο: C. O. G. Blum, επιμ. *Evolutionary Computation in Combinatorial Optimisation. EvoCOP 2014. Lecture Notes in Computer Science, vol 8600*. Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-44320-0_7, p. 73–84.
- Kontoravdis, G. & Bard, J. F., 1995. A GRASP for the vehicle routing problem with time windows. *ORSA Journal on Computing*, 7 1, p. 10–23.
- Korsah, G. A., Stentz, A. & Dias, M. B., 2013. A comprehensive taxonomy for multi-robot task allocation. *The International Journal of Robotics Research*, Τόμος 32 (12), p. 1495–1512.
- Kusumasari, B., Alam, Q. & Siddiqui, K., 2010. Resource capability for local government in managing disaster. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 19(4), pp. 438-451.
- Kyburg, H. E. J., 1987. Bayesian and non-Bayesian evidential updating. *Artificial*, Τόμος 31, pp. 271-294.
- Lambert, D., 2004. The Eight Essential Supply Chain Management Processes. *Supply Chain Management Review*, September.
- Lee, C. και συν., 2017. A multiple colonies artificial bee colony algorithm for a capacitated vehicle routing problem and re-routing strategies under time-dependent traffic congestion. Στο: *Computers & Industrial Engineering*. s.l.:Science Direct. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.05.004>, pp. 151-168.
- Lee, F.-H., Lee, T.-Z. & Wu, W.-Y., 2010. The relationship between human resource management practices, business strategy and firm performance: evidence from steel industry in Taiwan. *The International Journal of Human Resource Management*, 21(9), p. 1351–1372.
- Li, J. & Liu, D., 2021. Information bottleneck theory on convolutional neural networks. *Neural Processing Letters*, pp. 1385-1400.
- Lima, C. R., Goldberg, M. C. & Goldberg, E., 2014. A Memetic Algorithm for the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem *Electronic Notes in Discrete Mathematics*. pp. 171-176.
- Litke, A., Skoutas, D. & Varvarigou, T., 2004. Mobile Grid Computing: Changes and Challenges of Resource Management in a Mobile Grid Environment. *5th International Conference on Practical Aspects of Knowledge Management (PAKM 2004)*.

- Liu, W. και συν., 2022. China's logistics development trends in the post COVID-19 era. *International Journal of Logistics Research and Applications*, pp. 965-976.
- Lock, G., 2017. *Public Safety Diving-Dynamic Risk Assessment..* Phillips M επιμ. s.l.:PS Diver Magazine.
- Lois, A. & Ziliaskopoulos, A., 2017. Online algorithm for dynamic dial a ride problem and its metrics. Στο: *Transportation Research Procedia*, 24. s.l.:<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.097>, p. 377–384.
- Lu, Q. & Dessouky, M., 2004. An exact algorithm for the multiple vehicle pickup and delivery problem. *Transportation Science*; 38, p. 503–514.
- Madsen, O., Ravn, H. F. & Rygaard, K. L., 1995. A heuristic algorithm for a dial-a-ride problem with time windows, multiple capacities, and multiple objectives. Στο: *Ann Oper Res* 60. s.l.:s.n., p. 193–208.
- Malladi, K. T. & Sowlati, T., 2018. Biomass logistics: A review of important features, optimization modeling and the new trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Τόμος 94, pp. 587-599.
- Mantello, P., Ho, T., Nguyen, M.-H. & Vuong, V., 2021. My Boss the Computer: A Bayesian analysis of socio-demographic and cross-cultural determinants of attitude toward the Non-Human Resource Management. *SSRN*, pp. 1 - 58.
- Manuele, F., 2016. Chapter 1: Risk Assessments: Their Significance and the Role of the Safety Professional. Στο: G. Popov, B. Lyon & B. Hollcraft, επιμ. *Risk Assessment: A Practical Guide to Assessing Operational Risks*. ISBN 9781118911044: John Wiley & Sons, p. 1–22.
- Masson, R., Lehuédé, F. & Péton, O., 2014. The dial-a-ride problem with transfers. *Comput. Oper. Res.*, Τόμος 41, p. 12–23.
- Mattioli, R., Levy-Bencheton, C. & ENISA, 2014. *Methodologies for the identification of Critical Information Infrastructure assets and services*. ENISA Report. [Ηλεκτρονικό]
Available at: http://bit.ly/methologies_identification_critical_information_infrastructure_assets
- McGivern, G. & Fischer, M. D., 2012. Reactivity and reactions to regulatory transparency in medicine, psychotherapy and counselling. *Social Science & Medicine*, 74(3), pp. 289-296.
- Melachrinoudis, E., Ilhan, A. & Min, H., 2007. A dial-a-ride problem for client transportation in a health-care organization. Στο: *Comput Oper Res*. s.l.:s.n., p. 742–759.
- Mentzer, J. T. και συν., 2001. Defining Supply Chain Management. *Journal of Business Logistics*, p. 1–25.
- Mhaske, A. S. & Bondar, K. L., 2017. Fuzzy Transportation by Using Monte Carlo method. Στο: *Advances in Fuzzy Mathematics*. ISSN 0973-533X Volume 12, Number 1. s.l.:s.n., pp. 111-127.
- Mingozi, A., Giorgi, S. & Baldacci, R., 1999. An exact method for the vehicle routing problem with backhauls. *Transportation Science*, p. 315–329.

- Miyazaki, T., Sugiura, J., Nagatomi, T. & Batres, R., 2012. Integration of Process synthesis and Location-Transportation for the Design of Biomass Conversion Systems. Στο: *Computer Aided Chemical Engineering, Volume 30*. s.l.:Elsevier, ISSN 1570-7946, ISBN 9780444594310, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59519-5.50040-X>, pp. 197-201.
- Monmarché, N., Guinand, F. & Siarry, P., 2010. *Artificial Ants*. s.l.:Wiley-ISTE. ISBN 978-1-84821-194-0.
- Moscato, P. & Norman, M. G., 1992. A memetic approach for the traveling salesman problem implementation of a computational ecology for combinatorial optimization on message-passing systems. Στο: M. Valero, και συν. επιμ. *Parallel Computing and Transputer Applications*. Amsterdam: IOS Press, pp. 177 - 186.
- Mun Chon, H., Mun-Yee Lim, J., Lun Soon, K. & Yong Chong, C., 2019. An improved pheromone-based vehicle rerouting system to reduce traffic congestion. Στο: *Applied Soft Computing Journal 84*. s.l.:s.n.
- Ninikas, G., 2014. Solving the Dynamic Vehicle Routing Problem with Mixed Backhauls through Re-Optimization. Στο: Chios – Greece: University of Aegean, School of Business, Department of Financial & Management Engineering, p. 58 – 83.
- Nomani, M. A., Irfan, A. & Ahmed, A., 2017. A new approach for solving multi-objective transportation problems. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, Τόμος 12:3, pp. 165-173.
- Oakman, J., Macdonald, W. & Wells, Y., 2014. Developing a comprehensive approach to risk management of musculoskeletal disorders in non-nursing health care sector employees. *Applied Ergonomics*, 45(6), p. 1634–1640.
- Olkin, I., Gleser, L. J. & Derman, C., 1980. *Probability models and applications*. s.l.:s.n.
- Parragh, S. N., 2011. Introducing heterogeneous users and vehicles into models and algorithms for the dial-a-ride problem. Στο: *Transp. Res. Part C: Emerg. Technol.* 19. s.l.:s.n., p. 912–930.
- Parragh, S. N., Cordeau, J.-F., Doerner, K. F. & Hartl, R. F., 2012. Models and algorithms for the heterogeneous dial-a-ride problem with driver-related constraints. Στο: *OR Spectr.* 34. s.l.:s.n., p. 593–633.
- Paschos, V. T. & Murat, C., 2010. Probabilistic optimization in graph-problems. *Algorithmic Operations Research*, pp. 49-64.
- Pelham, L., Clay, E. & Braunholz, T., 2011. *Natural Disasters: What is the Role for Social Safety Nets?*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://siteresources.worldbank.org/SOCIALPROTECTION/Resources/SPDiscussion-papers/Safety-Nets-DP/1102.pdf>
- Pelling, M., 2001. Natural disasters. *Social nature: Theory, Practice, and Politics*, pp. 170-189.
- Pfohl, H. C., Kohler, H. & Thomas, D., 2010. State of the art in supply chain risk management research: empirical and conceptual findings and a roadmap for the implementation in practice. *Logistics Research*, 2(1), pp. 33-44.

- Pham, D. T. και συν., 2005. *The Bees Algorithm*. UK: Technical Note, Manufacturing Engineering Centre, Cardiff University.
- Pinson, L., 2008. "Anatomy of a Business Plan: : A Step-by-step Guide to Building the Business and securing your company's future". *Out of your mind and into the marketplace*. 7th Edition επιμ. s.l.:O.M..IM..
- Plaza-Úbeda, J. A. και συν., 2020. Trends and new challenges in the green supply chain: the reverse logistics. *Sustainability*, 13(1), p. 331.
- Powell, W. B. & Topaloglu, H., 2003. Stochastic Programming in Transportation and Logistics. Στο: A. Ruszczyński & A. Shapiro, επιμ. *Handbooks in OR & MS, Vol. 10*. s.l.:s.n., pp. 555-635.
- Psaraftis, H. N., 1980. A dynamic-programming solution to the single vehicle many-to-many immediate request dial-a-ride problem. *Transportation Science*, 14 2, p. 130–154.
- Psaraftis, H. N., 1983. An exact algorithm for the single-vehicle, many-to-many dial-a-ride problem with time. Στο: *Trans Sci 17*. s.l.:s.n., p. 351–357.
- Psaraftis, H. N., 1988. Dynamic vehicle routing problems. Στο: *Vehicle Routing: Methods and Studies*. North-Holland, Amsterdam: Golden, B.L., Assad, A.A., p. 223–248.
- Psaraftis, H. N., 1995. Dynamic vehicle routing: status and prospects. *Annals of Operations Research*, Τόμος 61, p. 143–164.
- Qu, Y. & Bard, J. F., 2013. The heterogeneous pickup and delivery problem with configurable vehicle capacity. Στο: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 32*. s.l.:Elsevier, sciencedirect, pp. 1-20.
- Qu, Y. & Bard, J. F., 2015. A Branch-and-Price-and-Cut Algorithm for Heterogeneous Pickup and Delivery Problems with Configurable Vehicle Capacity. Στο: *Transportation Science, Volume 49, Issue 2*. s.l.:InformsPubsOnline, p. 254–270.
- Rahmandad, H. & Sterman, J., 2008. *Heterogeneity and Network Structure in the Dynamics of Diffusion: Comparing Agent-Based and Differential Equation Models*. s.l.:MIT Sloan Working Paper No. 4512-04. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1070.0787>.
- Raikes, J. & McBean, G., 2016. Responsibility and liability in emergency management to natural disasters: A Canadian example. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Τόμος 16, pp. 12-18.
- Rardin, R. L., 2022. Chapter 9: Συντομότερες Διαδρομές και διακριτός δυναμικός προγραμματισμός. Στο: N. Samaras, A. Sifaleras & D. Christou-Varsakelis, επιμ. *Optimization in Operational research. Second edition. Greek Language Edition*. Πανεπ. Μακεδονίας; Published by Klidarithmos Publications EPE. ISBN 978-960-645-167-6, pp. 527 - 598.
- Rausand, M., 2013. Chapter 1: Introduction. Στο: *Risk Assessment: Theory, Methods, and Applications*. ISBN 9780470637647: John Wiley & Sons, p. 1–28.
- Rawlinson, K., 2017. *Freezing conditions cause death and chaos across Europe*. s.l.:The Guardian. ISSN 0261-3077.

Raychaudhuri, S., 2008. Introduction to Monte Carlo simulation. Winter Simulation Conference. Στο: s.l.:doi: 10.1109/WSC.2008.4736059, pp. 91-100.

Real.gr, 2018. ΕΕΕΘ: Έλλειψη προσωπικού στις μονάδες εντατικής θεραπείας, σχεδόν ανύπαρκτες οι μονάδες αυξημένης φροντίδας. [Ηλεκτρονικό]

Available at:

https://www.real.gr/ylgeia/arthro/eeeth_elleipsi_prosopikou_stis_monades_entatikis_therapeias_sxedon_anyparktes_oi_monades_auksimenis_frontidas-508880/

Ritzinger, U., Puchinger, J. & Hartl, R. F., 2015. A survey on dynamic and stochastic vehicle routing problems. *International Journal of Production Research*, Τόμος 54, p. 215–231.

Ropke, S., Cordeau, J.-F. & Laporte, G., 2007. Models and branch-and-cut algorithms for pickup and delivery. Στο: *Networks* 49. s.l.:s.n., p. 258–272.

Rosenthal, U. & Kouzmin, A., 1997. Crises and Crisis Management: Toward Comprehensive Government Decision Making. *Journal of Public Administration Research and Theory*, p. 277–304.

Ross, S. M., 2022. *Simulation*. s.l.:Academic Press.

Rutner, S. M., Aviles, M. & Cox, S., 2012. Logistics evolution: a comparison of military and commercial logistics thought. *The International Journal of Logistics Management*, 23(1), pp. 96-118.

Saaty, T. L., 2013. *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs & Risks*. ISBN 978-1-8886031-6-3 επιμ. s.l.:s.n.

Schilde, M., Doerner, K. F. & Hartl, R. F., 2011. Metaheuristics for the dynamic stochastic dial-a-ride problem with expected return transports. Στο: *Comput. Oper. Res.* 38. s.l.:s.n., p. 1719–1730.

Schilde, M., Doerner, K. F. & Hartl, R. F., 2014. Integrating stochastic time-dependent travel speed in solution methods for the dynamic dial-a-ride problem. Στο: *Eur. J. Oper. Res.* 238. s.l.:s.n., p. 18–30.

Schrijver, A., 2002. On the history of the transportation and maximum flow problems. *Mathematical Programming*, Issue 91, p. 437–445.

Shafer, G., 1976. *A mathematical theory of evidence*. s.l.:Princeton university press.

Shanton, K. & Goldman, A., 2010. Simulation theory. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 4(1), pp. 527-538.

Shashi, Centobelli, P., Cerchione, R. & Ertz, M., 2019. Managing supply chain resilience to pursue business and environmental strategies. *Business Strategy and the Environment*, 29(3), pp. 1215-1246.

Shin, K., Shin, Y., Kwon, J. & Kang, S., 2012. Risk propagation based dynamic transportation route finding mechanism. *Industrial Management & Data Systems*, 112(1), pp. 102-124.

Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. & Simchi-Levi, E., 2004. *Managing the supply chain: the definitive guide for the business professional* .. s.l.:McGraw-Hill Companies.

Sirmon, D. G. & Hitt, M. A., 2013. *Managing Resources: Linking Unique Resources, Management, and Wealth Creation in Family Firms*. Vol 27, Issue 4 επιμ. s.l.:s.n.

- Smets, P., 1994. What is Dempster-Shafer's model. *Advances in the Dempster-Shafer theory of evidence*, pp. 5-34.
- Smith, K., 1996. *Environmental Hazards Assessing Risk and Reducing Disaster*. London and New York: Routledge.
- Snedaker, S., 2014. *Business continuity and disaster recovery planning for IT professionals*. 2nd ed. επιμ. Waltham: Syngress.
- Snell, S. & Bohlander, G. W., 2010. *PRINCIPLES OF HUMAN RESOURCE MANAGEMENT*. 15th edition επιμ. s.l.:South-Western.
- Sohail, A. και συν., 2021. On Computing the Suitability of Non-Human Resources for Business Process Analysis. *Computers, Materials & Continua*, 67(1), pp. 303 - 319.
- Solomon, M. M., 1987. Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operational Research*, p. 254–265.
- Sonnenberg, K., 2017. *Master Thesis: Improving Transport of Elderly and People with Disabilities in Drenthe*. s.l.:University of Twente.
- Sörensen, K., Sevaux, M. & Glover, F., 2018. A History of Metaheuristics. Στο: R. Martí, P. Pardalos & M. Resende, επιμ. *Handbook of Heuristics*. s.l.:Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07124-4_4.
- Sterman, J., 2000. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Στο: New York: Irwin/McGraw-Hill, p. 982.
- Sterrer, W., 1993. Human economics: A non-human perspective. *Ecological Economics*, 7(3), p. 183–202.
- Steward, W. R. & Golden, B. L., 1983. Stochastic vehicle routing: A comprehensive approach. *European Journal of Operations Research*, 14 4, pp. 371-385.
- Stone, D. L. & Deadrick, D. L., 2015. Challenges and opportunities affecting the future of human resource management. *Human Resource Management Review*, 25(2), p. 139–145.
- Su, Q., 2022. Research on the Optimal Deployment of First Aid Stations and Ambulances Considering the Temporal and Spatial Stochasticity of Demand. Στο: *Healthcare Operations Management*. s.l.:SpringerBriefs in Service Science. Springer, Cham, pp. 19 - 43.
- Szlafsztein, C. F., 2015. Management of natural disasters in the Brazilian Amazon region. *Natural Hazards*, Τόμος 76, pp. 1745-1757.
- Szucs, G. & Sallai, G., 2009. Route planning with uncertain information using Dempster-Shafer theory. *International Conference on Management and Service Science (IEEE)*, pp. 1-4.
- Takroui, M. S. M., 2004. Intensive Care Unit. *The Internet Journal of Health*.
- Tereshko, V. & Loengarov, A., 2005. Collective Decision-Making in Honey Bee Foraging Dynamics. Στο: *Journal of Computing and Information Systems*. s.l.:s.n., pp. 1-7.

- Tilanus, B., 1997. *Information Systems in Logistics and Transportation*. s.l.:Elsevier Science Ltd., UK..
- Tirado, G., Hvattum, L., Fagerholt, K. & Fagerholt, J.-F., 2013. Heuristics for dynamic and stochastic routing in industrial shipping. *Computers & Operations Research*, Τόμος 40 (1), p. 253–263.
- Toth, P. & Vigo, D., 1996. Fast local search algorithms for the handicapped persons transportation problem. Στο: I. Osman & J. Kelly, επιμ. *Meta-heuristics: Theory Appl*. Kluwer, Boston: s.n., p. 677–690.
- Travers, D., Bowling, J. M. & Flowers, D., 2002. Five-level triage system more effective than three-level in tertiary emergency department. *Journal of Emergency Nursing*, p. 395–400.
- Tripathy, B. K., T., R. S. & Mohanty, R. K., 2018. Memetic Algorithms and Their Applications in Computer Science. Στο: S. Dash, B. Tripathy & A. Rahman, επιμ. *Handbook of Research on Modeling, Analysis, and Application of Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms*. s.l.:IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-2857-9.ch004>, pp. 73-93.
- TSENG, Y.-y., YUE, W. L. & TAYLOR, M., 2005. THE ROLE OF TRANSPORTATION IN LOGISTICS CHAIN. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Τόμος 5, pp. 1657 - 1672.
- Tulach, P. & Foltin, P., 2019. Research methods in humanitarian logistics—current approaches and future trends. *Business logistics in modern management*, 10 10, pp. 459 - 474.
- Vasalakis, S. & Spyridakos, A., 2023. Prioritizing Mobility of Ambulances Based on a Bi-criterion and Multistage Approach in Overload Situations. Στο: N. K. F. M. M. K. M. Matsatsinis, επιμ. *Operational Research in the Era of Digital Transformation and Business Analytics. BALCOR 2020. Springer Proceedings in Business and Economics..* s.l.:Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24294-6_5, p. 39–47.
- Vlad, L., 2016. The Principle of Responsibility towards the Human Non-Presence or the Non-Human Presence. *Central And Eastern European Online Library*, Issue 2, pp. 79-89.
- Von Frisch, K., 1967. *The Dance Language and Orientation of Bees*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Waller, M. A. & Fawcett, S. E., 2013. Data science, predictive analytics, and big data: a revolution that will transform supply chain design and management. *Journal of Business Logistics*, Τόμος 34, p. 77–84.
- Wassan, N. A. & Osman, I. H., 2002. Tabu Search Variants for the Mix Fleet Vehicle Routing Problem. *Journal of the Operational Research Society* 53, p. 768 – 782.
- Watson, J., 2021. *Nash, John Forbes (1928–2015)*. UC San Diego: University of California.
- Weinick, M. R., Burns, R. M. & Mehrotra, A., 2010. Many Emergency Department Visits Could Be Managed At Urgent Care Centers And Retail Clinics. Στο: vol. 29 no. 9 επιμ. s.l.:HealthAffairs, pp. 1630-1636.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T. & Davis, I., 2004. *At Risk - Natural hazards, people's vulnerability and disasters*. s.l.:Routledge. ISBN ISBN 0-415-25216-4..

Wolfler, C. R. & Colorni, A., 2007. An effective and fast heuristic for the dial-a-ride problem. Στο: *4OR Q J Oper Res*. s.l.:s.n., p. 61–73.

Wood, S., 1999. Human resource management and performance. *International Journal of Management Reviews*, 1(4), p. 367–413.

Woolhouse, M. E. & Gowtage-Sequeria, S., 2005. Host Range and Emerging and Reemerging Pathogens. *Emerg Infect Dis*, 11 December, p. 1842–1847. doi: 10.3201/eid1112.050997.

World Health Organization, 2007. *lib.riskreductionafrica.org*. [Ηλεκτρονικό]

Available at:

<http://lib.riskreductionafrica.org/bitstream/handle/123456789/445/emergency%20preparedness%20and%20risk%20management.%20who%20five-year%20strategy.pdf?sequence=1>

Yakowitz, S., 1982. Dynamic Programming Applications in Water Resources. *Water resources research*, vol. 18, No.4, August, pp. 673 - 696.

Yan, Q. & Zhang, Q., 2015. The Optimization of Transportation Costs in Logistics Enterprises with Time-Window Constraints. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, pp. 1 - 10.

Yates, A. K., Moorhead, P. J. & Adams, A. P., 1990. *ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΘΕΡΑΠΕΙΑ*. Αθήνα: Επισημονικές εκδόσεις Γρ. Παρισιάνου.

Zhang, Z., Liu, M. & Lim, A., 2015. A memetic algorithm for the patient transportation problem. Στο: *Omega* 54. s.l.:s.n., p. 60–71.

Zhao, W., Chen, J. J. & Perkins, R., 2015. A heuristic approach to determine an appropriate number of topics in topic modeling. Στο: *BMC Bioinformatics* 16. s.l.:<https://doi.org/10.1186/1471-2105-16-S13-S8>.

Zhiguang, C., Siwei, J., Jie, Z. & Hongliang, G., 2016. A Unified Framework for Vehicle Rerouting and Traffic Light Control to Reduce Traffic Congestion. Στο: *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS*. s.l.:s.n.

Zimmermann, K. A., 2015. *Hurricane Katrina: Facts, Damage & Aftermath*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://www.livescience.com/22522-hurricane-katrinafacts.html>

Αποστολοπούλου, Μ. Σ., 2011. *Μαθηματικές μέθοδοι μεγιστοποίησης προβλημάτων μεγάλης κλίμακας*. s.l.:Διδακτορική διατριβή Πανεπιστημίου Πατρών.

Ασκητοπούλου, Ε., 1991. Επείγουσα και εντατική ιατρική. Στο: Αθήνα: Εκδόσεις Λίτσας, p. 27.

Ασκητοπούλου, Ε., 2009. Τμήμα Επειγόντων Περιστατικών: Οργάνωση & Ανάπτυξη. Στο: s.l.:s.n., pp. 2-5, 8-9, 11-12, 13-16, 17-18, 21-22.

Γεωργακόπουλος, Θ., 2016. *Η Προστασία Των Κρίσιμων Υποδομών Της Ελλάδας -Μια Έρευνα*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: https://www.dianeosis.org/2016/06/critical_infrastructure_synopsis/

- Γεωργίου, Α., Κωνσταντάρας, Ι. & Καπάρης, Κ., 2015. *Εισαγωγή στα Μοντέλα Προσομοίωσης*. s.l.: Εκδόσεις Κάλλιπος.
- Γκριτζαλής, Δ. και συν., 2016. *Ολιστική Προστασία Κρίσιμων Υποδομών. Μέρος Α' Καταγραφή Εθνικών Κρίσιμων Υποδομών Και Διασυνδέσεων*. Αθήνα: Εργαστήριο Ασφάλειας Πληροφοριών και Προστασίας Κρίσιμων Υποδομών, Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Δελλαδέτσιμας, Π. Μ., 2009. *Οι Ασφαλείς Πόλεις*. Αθήνα: Εξάντας.
- Κολοκάθη, Β. & Τζέκου, Θ., 2002. *Διαχειριστική συστηματοποίηση. Μελέτη περίπτωσης Μ.Ε.Θ. Γ.Π.Α.Ν. Μεταξά*. Αθήνα: Πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ Αθήνας, Σ.Δ.Ο., Δ.Μ.Υ.Π..
- Κουϊκόγλου, Β. Σ., 2002. *ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ*. s.l.: Σημειώσεις Μαθήματος Πολυτεχνείου Κρήτης.
- Κύρκος, Ε., 2015. *Επιχειρηματική ευφυΐα και εξόρυξη δεδομένων*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <http://hdl.handle.net/11419/1226>
- Λαμπρόπουλος, Β. Γ., 2018. Πιθανές διώξεις σε τουλάχιστον 15-20 άτομα για την τραγωδία στο Μάτι. *Το Βήμα*, Issue 11 Αυγούστου.
- Λάμπρου, Π., 2005. Τμήμα Επειγόντων Περιστατικών: οργάνωση και λειτουργία. Στο: Αθήνα: Έκδοση Α': Mediforce, pp. 50-56.
- Λανάρα, Β. Α., 1997. Διοίκηση Νοσηλευτικών Υπηρεσιών. Θεωρ και οργανωτικό πλαίσιο. Στο: Αθήνα: Γραφικές τέχνες Γ. Παπανικολάου ΑΒΕΕ, Δ' Έκδοση, pp. 203, 257.
- Λέκκας, Ε. Λ., 2000. *Φυσικές & Τεχνολογικές καταστροφές*. s.l.: Εκδόσεις Access. ISBN: 960 - 90329 - 0 - 7.
- Μακρόπουλος, Κ., 2006. *Φυσικές Καταστροφές Σεισμοί και Μέτρα Προστασίας - 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: http://library.tee.gr/digital/m2173/m2173_makropoulos.pdf
- Μαλινδρέτος, Γ., 2015. *Ιστορική επισκόπηση και βασικές έννοιες της Εφοδιαστικής [ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1]*. s.l.: Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.
- Μέντωρ Διαμεσολαβητής, 2017. *Πώς καλύπτουν νοσηλεία και ΜΕΘ οι ασφαλιστικές εταιρίες; Δείτε παραδείγματα 10 εταιριών!*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.nextdeal.gr/asfalistis/diamesolavisi/85102/pos-kalyptoyn-nosileia-kai-meth-oi-asfalistikes-etairies-deite>
- Μέντωρ Διαμεσολαβητής, 2018. *Σε τι διαφέρει η Μονάδα Εντατικής Θεραπείας από την Μονάδα Αυξημένης Φροντίδας;*. [Ηλεκτρονικό]
Available at: <https://www.nextdeal.gr/asfalistis/diamesolavisi/86054/se-ti-diaferai-i-monada-entatikis-therapeias-apo-tin-monada-ayximenis>
- Μουλούδη, Ε. & Γεωργόπουλος, Δ., 2001. Ο ρόλος της Μονάδας Εντατικής Θεραπείας στο σύγχρονο νοσοκομείο. *Ιατρική του σήμερα*, Ιαν.-Απρ, pp. 5-6.

Μπαϊνούζη, Σ., 2015. *Βελτίωση της ποιότητας στο ΤΕΠ (Τμήμα Επειγόντων Περιστατικών): Καλές Πρακτικές*. s.l.:Διπλωματική Εργασία στο Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στην Διοίκηση Επιχειρήσεων.

Μπιλάλης, Δ., 1983. *Επείγουσα και εντατική ιατρική*. Αθήνα: Σημειώσεις, pp.5.

Ναθαναήλ, Ε. Γ., 2017. *Διαδικασία πολυκριτήριας ανάλυσης - Αναλυτική ιεραρχική μέθοδος*. s.l.:Σημειώσεις Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Νινίκας, Γ., 2014. *THE DYNAMIC VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH MIXED BACKHAULS*. Στο: *Solving the dynamic vehicle routing problem with mixed backhauls through re-optimization (PhD Thesis)*. s.l.:s.n., pp. 34 - 44.

Νομικός, Α. Κ., 1998. *Οργάνωση και διοίκηση μονάδων υγείας III*. Αθήνα: Διδακτικές σημειώσεις, pp. 86.

Παπαδόπουλος, Γ., 2000. *Η Πολιτική Προστασία στην Ελλάδα Αντιμετώπιση Φυσικών και Τεχνολογικών Καταστροφών*. Αθήνα: Ίων.

Παπακώστα & Παπαδημητρίου, 1984. *Μονάδες Εντατικής Θεραπείας - Οργάνωση*. *Βιοιατρική τεχνολογία*, Οκτ-Δεκ, pp. 513-514.

Πουλοπούλου, Μ., 2002. *Οργάνωση, Δομή και λειτουργία της Μονάδας Εντατικής Θεραπείας του Γ.Π.Ν. Τρίπολης «Η Ευαγγελίστρια»*. Καλαμάτα: Πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ Καλαμάτας, Σ.Δ.Ο..

Σαρίδης, Ι. Ν., Σχίζα, Ε. Κ. & Τσιμπούκας, Κ. Β., 2010. *Μελέτη καινοτόμων τεχνολογιών για τη πρόληψη και αντιμετώπιση των φυσικών καταστροφών*. Καβάλα: s.n.

Σινάκος, Α. Κ., 2017. *Ξηρασίες, επιδρομές ακρίδων, λιμοί και κρίσεις επιβίωσης στο Βυζάντιο (4ος-6ος αι.)*. s.l.:ISBN 978-618-82931-9-9.