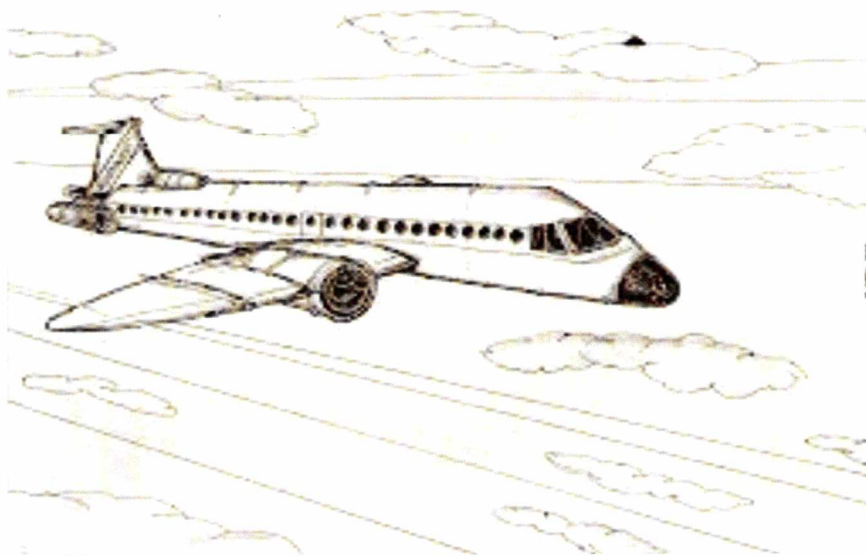


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

«ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ
ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ ΣΕ ΑΕΡΟΛΙΜΕΝΕΣ»

ΑΘΑΝΑΣΙΑ ΑΘΑΝΑΣΙΑΔΟΥ



ΒΟΛΟΣ, 2015



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 13702/1
Ημερ. Εισ.: 22-05-2015
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΜΜ
2015
ΑΘΑ

© 2015 Αθανασία Αθανασιάδου

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος εξεταστής
(Επιβλέπων)

Σαχαρίδης Γιώργος (επιβλέπων),
Λέκτορας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος εξεταστής

Λυμπερόπουλος Γιώργος,
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος εξεταστής

κ. Γιώργος Κοζανίδης
Επίκουρος Καθηγητής Μεθόδων Βελτιστοποίησης
Συστημάτων Παραγωγής/Υπηρεσιών, Τμήμα
Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αυτή η εργασία αφιερώνεται στην οικογένεια μου και στους φίλους που με στήριξαν όλα αυτά τα χρόνια και συνεχίζουν να με στηρίζουν. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, κ. Γιώργιο Σαχαρίδη, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Οφείλω ευχαριστίες και στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Καθηγητές κ. Γιώργιο Κοζανίδη και κ. Γιώργο Λυμπερόπουλο για την συμμετοχή τους και την ανάγνωση της εργασίας μου.

Αθανασία Αθανασιάδου

«ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ
ΑΝΑΘΕΣΗΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ»

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο προγραμματισμός αερολιμένων αναφέρεται στην ανάθεση των εμπορευματικών αεροσκαφών σε πτήσεις για την εξυπηρέτηση επιβατών και την διακίνηση εμπορευμάτων. Στη παρούσα διπλωματική εργασία, αρχικά, περιγράφεται το σύνολο των διαδικασιών και η λήψη των αποφάσεων που πραγματοποιούνται στα αεροδρόμια, προκειμένου να επιτευχθεί ο σωστός προγραμματισμός. Στη συνέχεια, αναπτύσσονται ορισμένοι τρόποι μοντελοποίησης του προβλήματος ανάθεσης, που αφορούν την επιλογή σωστού τύπου αεροσκάφους με γνώμονα την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους στην πρώτη περίπτωση και μεγιστοποίησης του κέρδους στην δεύτερη. Τέλος, με τη χρήση των βιβλιοθηκών CPLEX ILOG IBM σε γλώσσα προγραμματισμού C++ επιλύονται παραδείγματα βασισμένα στα προτεινόμενα μοντέλα και παρουσιάζονται τα αριθμητικά τους αποτελέσματα καθώς και συγκρίσεις μεταξύ αυτών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | | |
|--------|--|----|
| 1 | ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 1 |
| 1.1 | Η σημασία των αεροπορικών εμπορευματικών μεταφορών | 1 |
| 1.2 | Η γέννηση και η εξέλιξη των αεροπορικών μεταφορών | 3 |
| 1.3 | Ο ρόλος του αεροδρομίου στον κλάδο των αερομεταφορών | 9 |
| 1.4 | Αεροπορικές Εταιρίες | 10 |
| 1.4.1 | Υπηρεσίες αεροπορικών εταιριών..... | 13 |
| 1.5 | Αεροσκάφη μεταφοράς φορτίου | 13 |
| 1.5.1 | Τύποι αεροσκαφών..... | 13 |
| 1.5.2 | Εξοπλισμός αεροσκαφών | 14 |
| 1.6 | Αεροδρόμιο & Air Cargo | 17 |
| 1.6.1 | Κριτήρια σχεδιασμού cargo terminal | 18 |
| 1.6.2 | Λειτουργίες cargo terminal..... | 19 |
| 1.7 | Ροές & Διαχείριση εμπορευμάτων..... | 21 |
| 1.8 | Δαπάνες αερομεταφοράς φορτίου..... | 22 |
| 1.8.1 | Διάρθρωση του κόστους..... | 22 |
| 1.8.2 | Στρατηγικές τιμολόγησης | 24 |
| 1.9 | Αεροπορικές επιχειρήσεις μεταφοράς φορτίου | 28 |
| 1.9.1 | Χαρακτηριστικά επιχειρήσεων αερομεταφοράς φορτίου | 29 |
| 1.10 | Σύγχρονα μοντέλα σύνδεσης προέλευσης – προορισμού | 31 |
| 1.10.1 | Μοντέλο point to point | 31 |
| 1.10.2 | Μοντέλο Hub-and-Spoke | 31 |
| 2 | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ | 34 |
| 2.1 | Ανασκόπηση..... | 34 |
| 2.2 | Παρουσίαση πρώτης μοντελοποίησης του προβλήματος ανάθεσης αεροσκαφών – Ελαχιστοποίηση Κόστους | 35 |
| 2.3 | Παρουσίαση δεύτερης μοντελοποίησης του προβλήματος ανάθεσης αεροσκαφών – Μεγιστοποίηση Κέρδους..... | 38 |
| 2.4 | Γενικά συμπεράσματα από την παρουσίαση των δυο μοντελοποιήσεων | 41 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3 | ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ | 42 |
| 3.1 | Παρουσίαση παραδειγμάτων | 42 |
| 3.1.1 | Μοντέλο ανάθεσης αεροσκαφών –Ελαχιστοποίηση κόστους | 42 |
| 3.1.2 | Μοντέλο ανάθεσης αεροσκαφών –Μεγιστοποίηση κέρδους..... | 51 |
| 4 | Συμπεράσματα..... | 55 |
| 5 | Παράρτημα..... | 56 |
| 5.1 | Μοντέλο ελαχιστοποίησης κόστους..... | 56 |
| 5.2 | Μοντέλο μεγιστοποίησης κέρδους..... | 69 |
| 6 | Βιβλιογραφία..... Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης. | |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

| | |
|---|----|
| Εικόνα 1 Μπροστά όψη του flyer 1 | 4 |
| Εικόνα 2 Boeing 707-320c N525J, 1969..... | 6 |
| Εικόνα 3 Air Jamaica McDonnell Douglas DC-8-62H..... | 7 |
| Εικόνα 4 Κονκόρντ (Concorde) 1977 | 7 |
| Εικόνα 5 Airbus A300..... | 8 |
| Εικόνα 6 Το αεροπλάνο του 2050..... | 9 |
| Εικόνα 7 Τρόποι λειτουργίας της αεροπορικής μεταφοράς φορτίου | 12 |
| Εικόνα 9 Κύριο κατάστρωμα φόρτωσης με ράουλα..... | 15 |
| Εικόνα 8 Φόρτωση ULD container στο lower deck στη πλευρική θύρα με χρήση high loader | 15 |
| Εικόνα 10 ULD AXX για το main deck των A300F, B747F | 16 |
| Εικόνα 11 Προετοιμασία και μεταφορά παλέτας στο αεροσκάφος | 17 |
| Εικόνα 12 Οι τρεις διαφορετικές ζώνες για τον υπολογισμό του επίναυλου καυσίμου..... | 28 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|---|----|
| Πίνακας 1 Καυσίμων και Ασφαλείας για διάφορες Αεροπορικές Εταιρίες (2008) | 26 |
| Πίνακας 2 Απαιτούμενες διαδρομές ανά σύστημα δικτύου | 32 |
| Πίνακας 3 Πρόγραμμα Πτήσεων | 43 |
| Πίνακας 4 Πληροφορίες και Κόστη | 45 |
| Πίνακας 5 Λειτουργικά έξοδα για την πτήση 1 | 46 |
| Πίνακας 6 Αναμενόμενη διαρροή επιβατών και κόστη | 47 |
| Πίνακας 7 Συνολικό Κόστος | 48 |
| Πίνακας 8 Ανάθεση αεροσκαφών για τις τούρκικες αερογραμμές | 48 |
| Πίνακας 9 Βέλτιστος αριθμός των αεροσκαφών προσγειωμένα τη διάρκεια της νύχτας σε κάθε αεροδρόμιο- Αποτελέσματα Crplex | 49 |
| Πίνακας 10 Βέλτιστος αριθμός των αεροσκαφών προσγειωμένα τη διάρκεια της νύχτας σε κάθε αεροδρόμιο- Αποτελέσματα LINDO | 50 |
| Πίνακας 11 Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης-Χρόνος επίλυσης | 50 |
| Πίνακας 12 Πληροφορίες Πτήσεων | 51 |
| Πίνακας 13 Χαρακτηριστικά Αεροδρομίων | 51 |
| Πίνακας 14 Πτήσεις που εκτελεί το Airbus 310 | 52 |
| Πίνακας 15 Πτήσεις που εκτελεί το Airbus 330 | 52 |
| Πίνακας 16 Κόστος Ανάθεσης | 53 |
| Πίνακας 17 Αποτελέσματα Ανάθεσης | 53 |
| Πίνακας 18 Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης-Χρόνος επίλυσης | 53 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| | |
|---|----|
| Σχήμα 1 Μοντέλο Σύνδεσης “Σημείο-με-Σημείο” & “Hub-and-Spoke” | 32 |
| Σχήμα 2 Παγκόσμια hub-and-spoke διαμόρφωση δικτύου | 33 |
| Σχήμα 3 Παράδειγμα ισοζυγίου αεροσκαφών στον κόμβο | 37 |
| Σχήμα 4 Πτήσεις μεταξύ αεροδρομίων | 43 |
| Σχήμα 5 Κατανομή ζήτησης και οι διαρροές των επιβατών | 47 |

ΛΙΣΤΑ ΑΚΡΩΝΥΜΩΝ

- IATA = International Air Transport Association
- JIT = Just In Time
- ICAO = International Civil Aviation Organization
- QC = Quick Change
- ULD = Unit Loading Device
- MRO = Maintenance, repair and operations
- O&D = Origin&Destination
- SP = Simulated Annealing
- FAM = Fleet Assignment Model
- ASM/ASK = Available Seat Miles/Kilometers
- RASM /RASK = Revenue per Available Seat Mile
- CASM = Cost per Available Seat Mile

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μεταφορές προσώπων και αγαθών, με όλα τα μέσα, χερσαία, υδάτινα, εναέρια, αποτελούν αναπόσπαστο μέρος των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Εξυπηρετούν βασικές ανθρώπινες ανάγκες, συμβάλλουν στην παραγωγή και την ανάπτυξη, αλληλεπιδρούν με τη φύση και συνεπάγονται επιπτώσεις στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, στην ποιότητα ζωής κ.α.

Όπου υπάρχει ζωή συνεπάγεται και κίνηση, δηλαδή μεταφορές και μετακινήσεις. Τα συστήματα μεταφοράς εξυπηρετούν τις ανάγκες της ανθρωπότητας για την μεταφορά προσώπων και αγαθών, τόσο σε τοπικό όσο και σε υπερτοπικό επίπεδο. Παρουσιάζουν μια εξαιρετική τυπολογική πολυμορφία: αστικές –υπεραστικές μεταφορές προσώπων – αγαθών, οδικές – σιδηροδρομικές – εναέριας – θαλάσσιες – ειδικές – συνδυασμένες. Συστατικά στοιχεία ενός συστήματος μεταφοράς είναι η οδός κίνησης (όπως αυτοκινητόδρομους, αέρας, θαλάσσια οδός, κ.α.), οι τερματικοί σταθμοί/κόμβοι (αεροδρόμιο, σιδηροδρομικός σταθμός, κ.α.), το όχημα που χρησιμοποιείται και ο φορέας λειτουργίας του (άνθρωποι, διαδικασίες, κτλ).^a

1.1 Η σημασία των αεροπορικών εμπορευματικών μεταφορών

Οι αεροπορικές μεταφορές είναι ένας από τους πλέον αποτελεσματικούς μοχλούς παρέμβασης στην κοινωνική, οικονομική, χωροταξική - περιβαλλοντική, πληθυσμιακή, πολιτιστική και αναπτυξιακή εξέλιξη ενός τόπου.^b Σε σύγκριση με τις επιφανειακές μεταφορές, οι αερομεταφορές αποτελούν τον νεότερο και πιο σύγχρονο τρόπο μεταφοράς που έχει αναπτύξει και χρησιμοποιήσει ο άνθρωπος έως τώρα, καθιστώντας τες αναπόσπαστο στοιχείο της παγκόσμιας οικονομίας.

Το μέγεθος και το πεδίο εφαρμογής των αεροπορικών εμπορευματικών μεταφορών έχει αυξηθεί σταθερά κατά τη διάρκεια των τελευταίων τριών δεκαετιών, παρακινούμενο από την παγκοσμιοποίηση και την αύξηση των προσδοκιών των επιχειρήσεων και των καταναλωτών σε όλο τον κόσμο. Συγκεκριμένα, η Διεθνής Ένωση Αεροπορικών Μεταφορών (International Air Transport Association -IATA) κυκλοφόρησε στοιχεία που δείχνουν ότι οι αγορές εμπορευματικών αερομεταφορών τον Μάρτιο αυξήθηκαν κατά 5,9% σε σύγκριση με πριν από ένα χρόνο και η χωρητικότητα αυξήθηκε κατά 3,4%. Αν και αυτό σηματοδοτεί μια σημαντική βελτίωση στον όγκο των μεταφορών σε σύγκριση

^a Πηγή <http://symposio-poiellada.auth.gr/sites/default/files/sections/final-naniopoulos.pdf>

^b Πηγή <http://saas.gr/g-kps-v-tameio-synohis/aeroporikes-metafores>

με το Μάρτιο του 2013, μεγάλο μέρος της αύξησης έλαβε χώρα κατά το τελευταίο τρίμηνο του 2013 (πέρα και πάνω από τη συνηθισμένη αύξηση του όγκου πωλήσεων στο τέλος του έτους). Από την αρχή του έτους, ο όγκος των αεροπορικών μεταφορών φορτίου δεν έχει διακυμάνσεις. Η στασιμότητα του όγκου μεταφορών αυτή είναι σύμφωνη με την πρόσφατη παύση όσο αφορά τις βελτιώσεις στην επιχειρηματική αξιοπιστία και το παγκόσμιο εμπόριο.^c

Η εναέρια μεταφορά προσφέρει την ευκαιρία να ικανοποιούνται καλύτερα η απρόβλεπτη, η σπάνια ή η εποχιακή ζήτηση. Ο κύκλος ζωής των προϊόντων μικραίνει οπότε όσοι επιθυμούν να διακινήσουν προϊόντα απαιτούν μεγαλύτερη αξιοπιστία, χαμηλότερες τιμές, μικρότερους χρόνους παράδοσης, μεγαλύτερη ευελιξία και γενικότερα υψηλότερα επίπεδα υπηρεσιών. Η λύση στο παραπάνω πρόβλημα μπορεί να βρεθεί στη σωστή οργάνωση, τον προγραμματισμό και την υιοθέτηση της νέας τεχνολογίας στον κλάδο των επιχειρήσεων μεταφορών (Δημητριάδη & Σακαρικού, 2009, p. 12).

Αν και η αερομεταφορά φορτίου έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν μόνο για διακίνηση αγαθών μεγάλης αξίας ή ταχυμεταφορών, σήμερα μεταφέρει εμπορεύματα όλων των ειδών και είναι απαραίτητη για τη λειτουργία των παγκόσμιων αλυσίδων εφοδιασμού. Σε γενικές γραμμές, οι πιο εξέχουσες μορφές των εμπορευμάτων που αποστέλλονται μέσω του αέρα είναι προϊόντα βιομηχανικού εξοπλισμού, ηλεκτρονικών υπολογιστών και μηχανών γραφείου, καταναλωτικά προϊόντα, ημι-κατεργασμένα προϊόντα, ενδύματα, ευπαθή προϊόντα, οι μικρές συσκευασίες, έγγραφα και άλλα μεταποιημένα προϊόντα.

Η δυνατότητα γρήγορων μεταφορών, μεγάλων ποσοτήτων ,σε μεγάλες αποστάσεις μέσα ακριβείς χρόνους έκανε τις εναέριες μεταφορές να αναπτυχθούν πολύ γρήγορα τα τελευταία χρόνια. Η διαθεσιμότητα των φρέσκων φρούτων, η ακριβή ώρα παράδοσης προϊόντων (just in time delivery-JIT), οι εναέριες ταχυδρομικές παραγγελίες είναι μόνο μερικά παραδείγματα που αποδεικνύουν το πόσο σημαντικά έχουν γίνει στη ζωή μας τα συστήματα αεροπορικών μεταφορών φορτίου (Moser, 2012, p. 1).

^c Πηγή <http://www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2014-04-05-01.aspx>

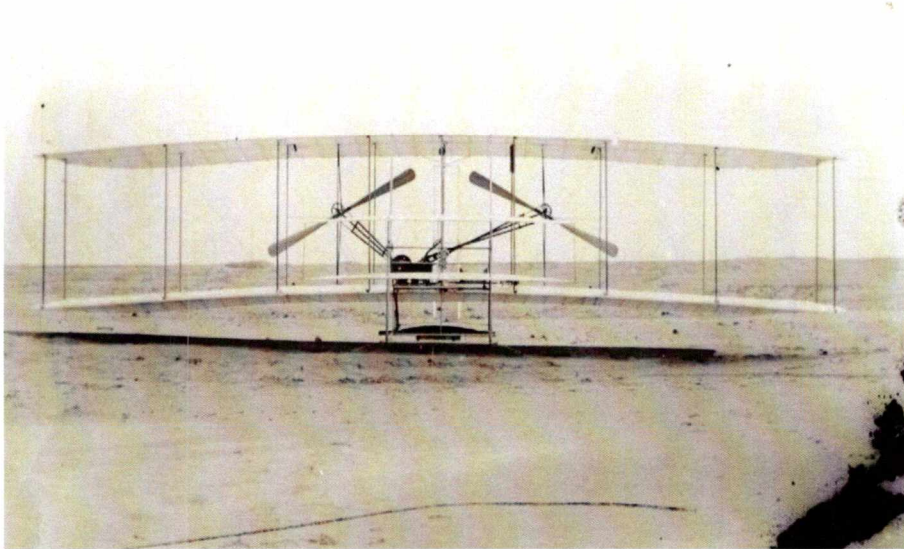
1.2 Η γέννηση και η εξέλιξη των αεροπορικών μεταφορών

Στις 17 Δεκεμβρίου του 1903 , οι αδερφοί Όρβιλ και Γουίλμπουρ Ράιτ (Orville & Wilbur Wright) δύο κατασκευαστές ποδηλάτων πέταξαν το πρώτο αεροπλάνο, αλλάζοντας τον κόσμο για πάντα. Η πρώτη πτήση των αδελφών Ράιτ διάρκεσε μόλις 12 δευτερόλεπτα και διάνυσε απόσταση 37 μέτρων, λιγότερο από το μήκος ενός σημερινού Airbus A320 ή ενός Boeing 747. Στη συνέχεια, τα δύο αδέλφια πραγματοποίησαν, εναλλάξ, τρεις ακόμα πτήσεις σε ευθεία γραμμή, με την τελευταία να διαρκεί 59 δευτερόλεπτα και να διανύει μια απόσταση 260 μέτρων. Το πεδίο των δοκιμών τους ήταν ένα παραθαλάσσιο χωριό στη Βόρεια Καρολίνα, που ονομαζόταν Κίτι Χοκ (Kitty Hawk).

Ήταν η πρώτη φορά που ο άνθρωπος πραγματοποίησε μια απολύτως ελεγχόμενη μηχανοκίνητη πτήση με ένα αεροπλάνο βαρύτερο από τον αέρα. Πριν από αυτό , οι άνθρωποι είχαν πετάξει μόνο σε μπαλόνια και ανεμόπτερα.

Το αεροπλάνο που κατασκεύασαν είχε το όνομα *Flyer 1* (*Αεροπόρος 1*). Ήταν δίπλανο και κατασκευασμένο από ξύλο ελάτης. Είχε βάρος 341 κιλά μαζί με τον πιλότο, μήκος 6,5 μέτρα, άνοιγμα πτερύγων 12,3 μέτρα, ενώ το ένα φτερό του ήταν μεγαλύτερο από το άλλο κατά μερικά εκατοστά, προκειμένου να υπάρχει μεγαλύτερη ευστάθεια στο αεροπλάνο.^d

^d Πηγή <http://www.sansimera.gr/articles/364>



Εικόνα 1 Μπροστά όψη του Flyer 1^ο

Το 1908 οι αδελφοί Ράιτ πραγματοποίησαν πτήση διάρκειας μιας ώρας χωρίς να αντιμετωπίσουν προβλήματα κατά την απογείωση και προσγείωση, προκαλώντας τον θαυμασμό σε ΗΠΑ και Ευρώπη (Ιωαννίδου, 2010, p. 4). Η πρώτη αυτή πτήση των αδελφών Ράιτ παρακίνησε και άλλους επιστήμονες να ξεκινήσουν την έρευνα για την διεξαγωγή πιο γρήγορων και ασφαλών πτήσεων, γεγονός που συνετέλεσε στη ραγδαία εξέλιξη των αεροπορικών μεταφορών.

Το ευρύ κοινό άργησε να συμφιλιωθεί με την ιδέα των αεροπορικών μεταφορών καθώς οι περισσότεροι από αυτούς φοβόντουσαν να ανέβουν στις νέες ιπτάμενες μηχανές. Οι εξελίξεις στο σχεδιασμό του αεροσκάφους προχωρούσαν αργά. Ωστόσο, με την έλευση του Α' Παγκοσμίου Πολέμου, η στρατιωτική αξία των αεροσκαφών αναγνωρίστηκε γρήγορα και η παραγωγή τους αυξήθηκε προκειμένου να ανταποκριθεί στη ραγδαία αύξηση της ζήτησης των αεροσκαφών από τις κυβερνήσεις και στις δύο πλευρές του Ατλαντικού (Παπάζογλου, 2008, p. 8).

Μετά το τέλος του Α' Παγκοσμίου Πολέμου, ουσιαστικά ξεκίνησε η παροχή των πρώτων εμπορικών υπηρεσιών. Επειδή όπως είναι φανερό τα πολεμικά αεροσκάφη δεν ήταν αξιόπιστα και κατάλληλα διαρρυθμισμένα για την ασφαλή μεταφορά επιβατών, αρχικά ικανοποιούσαν τις απαιτήσεις των εθνικών ταχυδρομικών υπηρεσιών. Έτσι οι κυβερνήσεις ξεκίνησαν να παραχωρούν συμβόλαια αεροπορικής μεταφοράς

^ο Πηγή http://www.wright-brothers.org/Information_Desk/Just_the_Facts/Airplanes/Flyer_1.html

ταχυδρομείου με τις εταιρίες, αποφέροντας σε αυτές σταθερά κέρδη και παράλληλα βελτίωναν την παροχή των υπηρεσιών τους.

Η πρώτη μεταφορά φορτίου στην Ευρώπη, είχε προγραμματιστεί από μια εμπορική αεροπορική εταιρεία η οποία εκτελούσε πτήσεις μεταξύ Παρίσι και Λιλ (Γαλλία), τον Ιούλιο του 1919. Το αεροσκάφος κατά τη διάρκεια της ημέρας εκτελούσε το δρομολόγιο μεταφέροντας τους επιβάτες ενώ το βράδυ χρησιμοποιούταν για την μεταφορά αλληλογραφίας και για εμπορευματικές μεταφορές.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, η πρώτη πρακτικά αεροπορική μεταφορά εμπορευμάτων πραγματοποιήθηκε το 1910, όταν ένα πολυκατάστημα θέλησε να αποστείλει ένα τόπι μεταξιού αεροπορικώς από την Ντεϊτόνα (Dayton) προς το Κολούμπους (Columbus), Οχάιο. Τον Ιούλιο του 1918 λειτουργεί η πρώτη εναέρια ταχυδρομική υπηρεσία από τον αμερικάνικο στρατό μεταξύ Ουάσιγκτον, Φιλαδέλφεια, και Νέα Υόρκη (Popescu, et al., 2010, pp. 210-211).

Ωστόσο η αδυναμία των αεροσκαφών να τηρήσουν τα ωράρια πτήσης λόγω έλλειψης τεχνικών μέσων ναυτιλίας και επίγειων υποδομών οδήγησε σε μια παύση της εξέλιξης τους.

Ο Β' Παγκόσμιος Πόλεμος αποτέλεσε βασικό πυλώνα ανάπτυξης των εμπορικών μεταφορών. Με την λήξη του ο κόσμος της αεροπορίας βρέθηκε με πλεόνασμα αεροσκαφών (μεταγωγικών και βομβαρδιστικών) μεγάλου μεγέθους το οποίο διατέθηκε προς αστική χρήση. Η τεχνολογική πρόοδος στον σχεδιασμό αεροσκαφών, η μεγαλύτερη κατασκευαστική εξειδίκευση και τα πληρώματα με μεγαλύτερη πτητική εμπειρία, είχαν αρχίσει να θέτουν τα θεμέλια της σύγχρονης πολιτικής αεροπορίας (Παπάζογλου, 2008, p. 9).

Οι πόλεμοι είναι κατά κάποιο τρόπο η μητέρα της εφεύρεσης για πολλές νέες συσκευές, μηχανήματα κ.λπ. Ένα τεχνολογικό επίτευγμα υψίστης σημασίας για εκείνη την εποχή ήταν το ραντάρ. Αρχικά οι πιλότοι τα χρησιμοποιούσαν στον πόλεμο προκειμένου να επικοινωνούν με τους ανθρώπους στο έδαφος μετά όμως, οι αεροπορικές εταιρείες τα χρησιμοποίησαν για να μεταδώσουν πληροφορίες για τον καιρό στους πιλότους, για την αποφυγή επικίνδυνων καιρικών φαινομένων όπως για παράδειγμα καταιγίδες, ανεμοστρόβιλους κ.α., καθιστώντας με αυτό τον τρόπο τα ταξίδια πιο ασφαλή.^f Έτσι ο κόσμος πλέον συνήθισε την ιδέα του αεροσκάφους. Η πρόοδος που σημειώθηκε στο σχεδιασμό αεροσκαφών και η μετατροπή των στρατιωτικών

^f Πηγή <http://www.airlines.org/Pages/Airline-Handbook-Chapter-1-Brief-History-of-Aviation.aspx>

αεροσκαφών σε επιβατικά οδήγησε στην αυξανόμενη χρήση και ζήτηση για το συγκεκριμένο μέσο μεταφοράς. Με αυτό τον τρόπο οι αεροπορικές βιομηχανίες εξελίχθηκαν.



Εικόνα 2 Boeing 707-320c N525J, 1969[§]

Στο τέλος του 1950 η γέννηση των κινητήρων αεριώθησης (fan jet engines) επέφερε τη δημιουργία νέων αεροσκαφών τα οποία είχαν αυξημένη εμβέλεια και υψηλότερες ταχύτητες. Στα μέσα της δεκαετίας του '60, οι εταιρείες άρχισαν να αποκτούν τα πρώτα αεριωθούμενα εμπορευματικά αεροσκάφη. Πρόκειται για το Boeing 707-320C, το οποίο μπορεί να μεταφέρει βαρύτερα και ογκωδέστερα φορτία σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τα προηγούμενα μοντέλα αεροσκαφών (Αναστασιάδης, 2002). Αργότερα κατασκευάστηκαν το Boeing 727 και τα Douglas DC-8 και DC-9, τα οποία εφοδιάστηκαν με νέους κινητήρες και απέκτησαν μακρύτερη άτρακτο σε σχέση με προγενέστερα αεροσκάφη για αύξηση της χωρητικότητας τους. (Ιωαννίδου, 2010, p. 4)

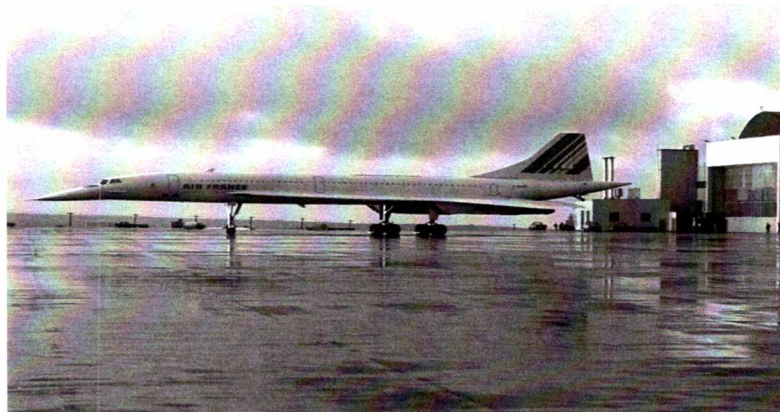
Το 1970 βιομηχανία αερομεταφορών συνέχισε να αναπτύσσεται. Είδαμε την έλευση των αεροσκαφών ευρέους κοίτους τα 747, DC-10, αεροσκάφη που είχαν δυο διαδρόμους και επέτρεπαν έως και 11 καθισμένους κατά μήκος, ανάλογα με τη διαμόρφωση και χωρητικότητα τάξης 400 επιβατών (Αναστασιάδης, 2002).

[§] Πηγή <http://iabcrew.com/1hettiedebruinspage.html>



Εικόνα 3 Air Jamaica McDonnell Douglas DC-8-62H^h

Από τέλος του 1950, τα εμπορικά αεριωθούμενα αεροπλάνα δεν έχουν βελτιωθεί όσον αφορά την ταχύτητα. Τα ταχύτερα αεροπλάνα σε κανονική χρήση σήμερα είναι περίπου τόσο γρήγορα όσο το Boeing 707. Αυτό που αποτελούσε εξαίρεση ήταν το γαλλοβρετανικό Κονκόρντ (Concorde), που πετούσε με ταχύτητα δύο φορές του ήχου (2,02 Μαχ) αλλά παρέλυσε από την πολύ φτωχή οικονομία. Μπορεί να ζύγιζε το μισό από ένα πρώτης γενιάς 747, αλλά μπορούσε να μεταφέρει μόνο το ένα τέταρτο των επιβατών και είχε εμβέλεια μικρότερη από 3.000 χιλιόμετρα.ⁱ



Εικόνα 4 Κονκόρντ (Concorde) 1977^j

^hΠηγή <http://www.airliners.net/photo/Air-Jamaica/McDonnell-Douglas-DC-8-62H/1849849/L/>

ⁱ Πηγή <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch3en/conc3en/ch3c5en.html>

^j Πηγή <http://www.dodmedia.osd.mil>

Κεφάλαιο 1 Περιγραφή διαδικασιών σε ένα εμπορευματικό αερολιμένα

Το σημαντικότερο ίσως γεγονός στον τομέα των κατασκευών της πολιτικής αεροπορίας από τις αρχές της δεκαετίας του '70 ήταν η συγκρότηση της ευρωπαϊκής κοινοπραξίας Airbus, από τη γαλλική Aerospatiale, τη βρετανική British Aerospace και τη γερμανική Deutsche Airbus. Η σειρά των αεροπλάνων που κατασκευάστηκε, φαρδιάς ατράκτου για μέσες και μικρές - μέσες αποστάσεις, είχε πολύ μεγάλη τεχνική και εμπορική επιτυχία, κατακτώντας το ένα τρίτο περίπου της παγκόσμιας αγοράς (εκτός από τις ανατολικοευρωπαϊκές χώρες), εκτοπίζοντας από τη δεύτερη θέση την Μακ Ντόνελ - Ντάγκλας και απειλώντας την ηγεμονία της Μπόινγκ. Τα Airbus, αθόρυβα, άνετα, ευέλικτα, ασφαλή και οικονομικά, παρουσίασαν πλήθος επαναστατικών καινοτομιών και επιβλήθηκαν σ' όλο τον κόσμο.

Αρχικός τύπος ήταν το Airbus A300 B (1972), ακολούθησε το Airbus A300 B4 (1974), του οποίου ο τύπος B4 - 200 έχει μέγιστο βάρος 165 τόνων και χωρητικότητα 336 επιβατών. Από το 1984 κατασκευάζεται το Airbus A300 B4 - 600, ενώ ένα χρόνο νωρίτερα άρχισαν οι παραδόσεις του νέου Airbus A310 - 200. Το 1985 παρουσιάστηκε το αεροπλάνο μεγάλων αποστάσεων Airbus A310 - 300, ενώ το 1991- 92 ολοκληρώθηκε η παραγωγή του δικινητήριου Airbus A330 και του τετρακινητήριου μεγάλων αποστάσεων Airbus A 340.»^k



Εικόνα 5 Airbus A300^l

Η Airbus παρουσίασε τις μακέτες του μελλοντικού αεροπλάνου στη διεθνή έκθεση αεροναυπηγικής του Φάρνμπορου στη Βρετανία. Το αεροσκάφος, με την (προσωρινή) ονομασία «Concept Plane», αναμένεται να πετάξει το νωρίτερο το 2030, ενώ πιο ρεαλιστική ημερομηνία θεωρείται το 2050. Αθόρυβο, ελαφρύ, άκρως οικολογικό και

^k Πηγή <http://aeroplanagenika.blogspot.gr/>

^l Πηγή <http://www.aviationsourcingsolutions.com/aircrafttype-airbus.aspx>

υπερπολυτελής, με τεχνολογικές ανέσεις για τον επιβάτη που ανήκουν σήμερα στην επιστημονική φαντασία.^m



Εικόνα 6 Το αεροπλάνο του 2050ⁿ

1.3 Ο ρόλος του αεροδρομίου στον κλάδο των αερομεταφορών

Η υποδομή που είναι απαραίτητη για την πραγματοποίηση των εμπορευματικών μεταφορών είναι οι αερολιμένες ή αεροδρόμια και τα κέντρα ελέγχου και διαχείρισης εναέριας κυκλοφορίας (Μήλιος & Μαρκουζος, 2009).

Σύμφωνα με τον ICAO^ο ο ορισμός του αεροδρομίου είναι «Ορισμένη επιφάνεια στη ξηρά ή στο νερό (θάλασσα, λίμνη κ.λπ.), που περιλαμβάνει κτίρια, εγκαταστάσεις και εξοπλισμό, που σκοπό έχει να χρησιμοποιείται καθολικά, ή εν μέρει, για την προσγείωση, απογείωση και κίνηση αεροσκαφών».

Ο όρος αερολιμένας αφορά το σύνολο των κάθε φύσεως κατασκευών και εγκαταστάσεων που εξυπηρετούν τις αεροπορικές μεταφορές ατόμων και εμπορευμάτων. Από καθαρά συγκοινωνιακή άποψη αποτελεί συγκοινωνιακό κόμβο, όπου το δίκτυο των αεροπορικών μεταφορών συνδέεται με τα δίκτυα επιφανειακών μεταφορών. Ο όρος αεροδρόμιο χρησιμοποιείται πολλές φορές ως συνώνυμος του αερολιμένα. Ωστόσο, έχει στενότερη έννοια και αναφέρεται σε σύνολο κατασκευών και εγκαταστάσεων που εξυπηρετούν την απογείωση και προσγείωση αεροσκαφών, όχι όμως, κατ' ανάγκη, και τη διακίνηση επιβατών και εμπορευμάτων (Αμπακούμκιν, 1990).

^m Πηγή <http://www.tovima.gr/world/article/?aid=354420>

ⁿ Πηγή <http://www.tovima.gr/world/article/?aid=354420>

^ο ICAO (International Civil Aviation Organization) Διεθνής Οργανισμός Πολιτικής Αεροπορίας

Ο τρόπος οργάνωσης και σχεδιασμός ενός αεροδρομίου είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για την λειτουργικότητα του καθώς καθορίζει το επίπεδο υπηρεσιών που παρέχει στον χρήστη. Στόχος κάθε σύγχρονου αεροσταθμού είναι η προσέλκυση όσο το δυνατόν περισσότερων φορτίων και η διεκπεραίωση των διαδικασιών χειρισμού των φορτίων ,να γίνεται όσο το δυνατόν ασφαλέστερα, οικονομικότερα και ταχύτερα (Σταθόπουλος & Δημητρίου, 2001).

Το υψηλό κόστος κατασκευής ή/και αναβάθμισης της υποδομής των αεροδρομίων σε συνδυασμό και με τις σημαντικές δαπάνες που συνεπάγονται οι διαδικασίες εξυπηρέτησης των αεροσκαφών αλλά και οι ευρύτερες οικολογικές και οικονομικές επιπτώσεις, που απορρέουν από την κατασκευή και λειτουργία των αεροδρομίων, έχουν οδηγήσει στην συστηματική μελέτη των θεμάτων που σχετίζονται με τον σχεδιασμό και την οργάνωση τους (Νικολαΐδης, 2000).

1.4 Αεροπορικές Εταιρίες

Η αερομεταφορά φορτίου διακρίνεται από μια ετερογενή ομάδα φορέων παροχής υπηρεσιών, κάθε ένας από τους οποίους εξυπηρετεί ποικίλες γεωγραφικές και οικονομικές αγορές. Η αερομεταφορά φορτίου περιλαμβάνει δύο τύπους φορέων λειτουργίας της βιομηχανίας:

1) Οι αερομεταφορείς οι οποίοι χρησιμοποιούν τα αεροσκάφη του στόλου τους και μεταφέρουν το φορτίο ανάμεσα στα διάφορα αεροδρόμια. Οι αερομεταφορείς διακρίνονται στις εξής τρεις κατηγορίες:

Επιβατικοί Μεταφορείς (*Passenger carriers*) Είναι οι παραδοσιακές επιβατικές αεροπορικές εταιρίες, που μεταφέρουν επιβάτες και εμπορεύματα στο αμπάρι (cargo hold). Εταιρίες τέτοιου τύπου είναι η Luxair, η Miskov, η Midland κτλ.

Συνδυασμένοι Μεταφορείς (*Combination carriers*).Είναι εταιρίες που ασχολούνται με μεταφορά επιβατών και εμπορευμάτων ταυτόχρονα και ως εκ τούτου λειτουργούν σε μεσαία κλίμακα όσον αφορά τη δέσμευση σε αεροπορικό φορτίο. Η διάρθρωση του στόλου τους αποτελείται από όλους τους τύπους των αεροσκαφών, επιβατικών και εμπορευματομεταφορικών. Παραδείγματα εταιριών είναι η Air France, η British Airways, Emirates και Lufthansa.

Μεταφορείς φορτίου (*Cargo airlines*). Όπως καταδεικνύει και το όνομα αφορά εταιρίες που ασχολούνται με την αποκλειστική μεταφορά φορτίου. Σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να διακρίνουμε δύο υποκατηγορίες:

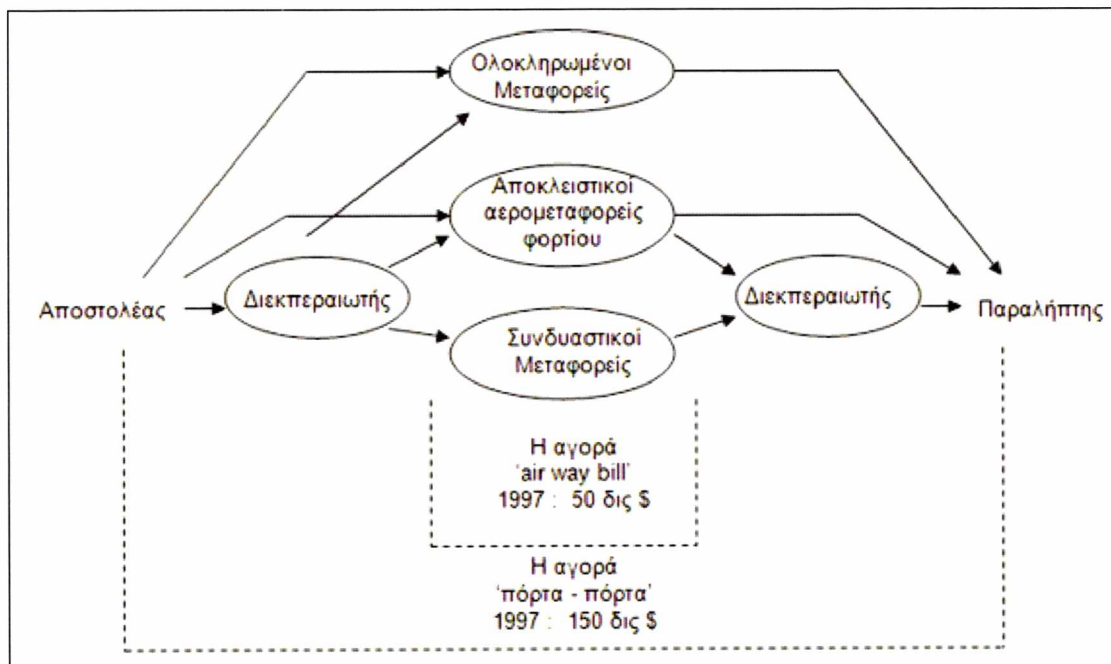
- Αποκλειστικοί αερομεταφορείς φορτίου (*All-cargo airlines*). Αεροπορικές εταιρείες που προσφέρουν υπηρεσίες ναύλωσης ή / και προγραμματισμένων υπηρεσιών. Διαθέτουν στόλο εξειδικευμένων μεταφορικών αεροσκαφών (*freighters*), λειτουργούν με τακτικά δρομολόγια και μπορούν επίσης να παρέχουν δραστηριότητες τσάρτερ (*charter*) για άλλες αεροπορικές εταιρείες. Στην περίπτωση που αποτελούν ξεχωριστή ή θυγατρική εταιρία μιας επιβατικής αεροπορικής εταιρίας, πολλές φορές διαχειρίζονται παράλληλα και το διαθέσιμο χώρο για φόρτωση και μεταφορά εμπορευμάτων στα επιβατικά αεροσκάφη της μητρικής αεροπορικής εταιρίας. Αεροπορικές εταιρείες είδους είναι η Air Hongkong , η Cargolux και η Nippon Cargo Airlines ;
- Ολοκληρωμένοι μεταφορείς (*Integrated carriers*). Εταιρείες οι οποίες παρέχουν υπηρεσίες παράδοσης ταχυμεταφοράς πόρτα-πόρτα (*door-to-door*) και χρησιμοποιούν συνήθως τόσο φορτηγά όσο και αεροπορικές πτήσεις προκειμένου να γίνει άμεσα και γρήγορα η παράδοση του φορτίου. Οι Integrators ή αλλιώς "Express" αερομεταφορείς (π.χ. DHL, UPS, TNT και FedEx) δημιουργήθηκαν κατά τη δεκαετία του '80. Αυτές οι επιχειρήσεις μεταφέρουν τα αγαθά με ένα τρόπο που προσθέτει αξία στον αποστολέα/φορτωτή ξεπερνώντας την βασική μεταφορά αγαθών ανάμεσα σε δύο αεροδρόμια. Τα διάφορα αγαθά συσκευάζονται και παραδίδονται ασφαλή, σε καθορισμένο χρόνο και μάλιστα κατ' οίκον. Οι εταιρείες αυτές έχουν δικά τους ανεξάρτητα φορτηγά, συστήματα ΤΠ (Τηλεπικοινωνιών/Πληροφορικής), εγκαταστάσεις στα αεροδρόμια και στόλο αεροσκαφών. Για όλες αυτές τις παροχές και ολοκληρωμένες υπηρεσίες οι πελάτες τους πληρώνουν τυπικά κάποιο επιπλέον ποσό. Εντούτοις, πρέπει να σημειωθεί ότι αυτού του είδους τις υπηρεσίες δεν τις παρέχουν μόνο οι express αερομεταφορείς αλλά και μερικές παραδοσιακές αεροπορικές εταιρείες (π.χ. η KLM).

2) Οι διεκπεραιωτές ή διαμεταφορείς (*forwarders*) φορτίων οι οποίοι σχεδιάζουν και πουλούν υπηρεσίες φορτίου, συλλέγουν το φορτίο από τους άμεσους αποστολείς - φορτωτές, οριστικοποιούν τις φορτωτικές για τους αερομεταφορείς και παραδίδουν τα φορτία στους παραλήπτες τους. Οι διεκπεραιωτές φορτίων λειτουργούν σαν συνδεδειγμένοι κρικοί ανάμεσα στους πελάτες - αποστολείς και τις αεροπορικές επιχειρήσεις. Έχουν στη διάθεσή τους μεγάλους αριθμούς καθημερινών πτήσεων και άλλα μέσα μεταφοράς που προσφέρονται στην αγορά, τα οποία συγκεντρώνουν ανάλογα με τις ανάγκες των

αποστολέων των φορτίων. Ορισμένοι διεκπεραιωτές διαχειρίζονται, στο πλαίσιο συμβολαίου (contract carriers), τις διαδικασίες διεθνούς αποθήκευσης, ελέγχου αποθεμάτων και καθορισμένου χρόνου (Just-in-Time) παραδόσεις, πολυεθνικών επιχειρήσεων. Οι διεκπεραιωτές φορτίου παρέχουν την πεμπτούσια της πολύμορφης υπηρεσίας μεταφοράς φορτίου, κυρίως μέσω αεροπορικών μέσων αλλά και με την χρησιμοποίηση άλλων μέσων μεταφοράς και λογιστικών ικανοτήτων. Εντούτοις δεν παρέχουν την πραγματική μεταφορά των αγαθών αεροπορικώς.

Με τον τρόπο αυτό, η ενοικιάστρια εταιρία μπορεί να προσθέσει μεταφορική ικανότητα στο υπάρχον δίκτυο της ή να προσθέσει νέους προορισμούς χωρίς να δεσμεύσει σημαντικά κεφάλαια, ιδιαίτερα εάν η ζήτηση δεν είναι εξασφαλισμένη ή ο ρυθμός μεταβολής της απρόβλεπτος. Η Express Airlines ή Atlas Airlines μπορεί θεωρηθούν παραδείγματα που να ταιριάζουν σε αυτή την ομάδα.

Οι διάφοροι τρόποι λειτουργίας της αγοράς φορτίου από τον αποστολέα μέχρι τον τελικό παραλήπτη φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα.^p



Εικόνα 7 Τρόποι λειτουργίας της αεροπορικής μεταφοράς φορτίου^q

^p Πηγή <http://www.aviationnews.gr/analysis.pl?id=14>

^q Πηγή: <http://www.aviationnews.gr/analysis.pl?id=14>

1.4.1 Υπηρεσίες αεροπορικών εταιριών

Οι αεροπορικές εταιρείες που εκτελούν εμπορευματικές πτήσεις προσφέρουν κυρίως τις παρακάτω υπηρεσίες:

1. Schedule cargo: Πρόκειται για προγραμματισμένες πτήσεις που εκτελούνται σε προκαθορισμένες ημέρες και ώρες;

2. Charter cargo: Ναυλωμένες πτήσεις που εξυπηρετούν περιοδικά τις ανάγκες μιας περιοχής;

3. Regional cargo: Περιφερειακές πτήσεις που μεταφέρουν φορτία από το διαμετακομιστικό κέντρο (hub) μιας μεγάλης αγοράς σε μικρότερα σημεία;

4. Commuter cargo: Διακίνηση φορτίων με διαρκείς συμβάσεις, συνήθως πρόκειται για ταχυμεταφορές (Μήλιος & Μαρκουίζος, 2009, pp. 120-121).

1.5 Αεροσκάφη μεταφοράς φορτίου

1.5.1 Τύποι αεροσκαφών

Προκειμένου να μεταφερθεί το φορτίο έχουν αναπτυχθεί με την πάροδο του χρόνου διάφοροι τύποι αεροπλάνων οι οποίοι μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

Passenger aircraft (επιβατικά αεροσκάφη). Κάθε επιβατικό αεροπλάνο είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε, να μπορεί να μεταφέρει στην κοιλιά του (belly) εκτός από τις αποσκευές των επιβατών, εμπορεύματα και ταχυδρομείο. Με τον τρόπο αυτό, οι εταιρείες αποκτούν ένα επιπλέον έσοδο με χαμηλό σχετικά κόστος, καθώς τα έξοδα καλύπτονται από τη μεταφορά επιβατών και επιτρέπει να μεταφέρονται εμπορεύματα από και προς απομακρυσμένες περιοχές οι οποίες δεν μπορούν να υποστηρίξουν μια αμιγώς εμπορευματική γραμμή. Αν υπάρχει αρκετός χώρος, το φορτίο τοποθετείται σε κοντέινερ και στερεώνεται στο αεροσκάφος ειδάλλως ασφαλιζονται στο αεροσκάφος χωρίς προσεκτικό χειρισμό, καθιστώντας αυτόν τον τρόπο μεταφοράς αναξιόπιστο. Κατά συνέπεια, μόνο τα επείγοντα και σημαντικά φορτία, όπως ηλεκτρονικά είδη ή φρέσκα προϊόντα ,μεταφέρονται σε επιβατικές πτήσεις.

Combination aircraft (συνδυαστικά αεροσκάφη). Πρόκειται για αεροσκάφη στα οποία το πίσω μέρος του θαλάμου επιβατών απομονώνεται και διαμορφώνεται κατάλληλα για τη μεταφορά εμπορευμάτων σε παλέτες ή εμπορευματοκιβωτίων, ενώ το μπροστινό διατηρεί τη διαμόρφωση μεταφοράς επιβατών. Με τον τρόπο αυτό υπάρχει η δυνατότητα μεταφοράς σημαντικού όγκου φορτίου αλλά και επιβατών χωρίς να

απαιτείται η χρήση δύο διαφορετικών αεροσκαφών. Μια παραλλαγή του παραπάνω τρόπου είναι η χρήση αεροσκαφών των οποίων μεταβάλλεται η διαμόρφωση της ατράκτου για τη μεταφορά επιβατών ή φορτίου (convertible). Πρόκειται για τα αεροσκάφη QC, από τα αρχικά των λέξεων Quick Change («Ταχεία Αλλαγή»). Με αυτόν τον τρόπο οι αεροπορικές εταιρείες μπορούν να ανταποκριθούν στην εποχιακή ζήτηση και να υπολογίσουν περισσότερο ή λιγότερο χώρο για τους επιβάτες. Ωστόσο, δεν είναι εφικτό όλα τα φορτία να μεταφέρονται με επιβατικά αεροσκάφη, λόγω μεγέθους ή των περιορισμών ασφάλειας.

Cargo aircraft (μεταγωγικά αεροσκάφη). Είναι αεροσκάφη σχεδιασμένα αποκλειστικά για τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ή μεγέθους φορτίων. Τις περισσότερες φορές, ταξιδεύουν μεταξύ δύο αερολιμένων σε τακτική βάση. Είναι εξοπλισμένα με ένα κατάστρωμα ρολό (roller deck) που επιτρέπει τον εύκολο χειρισμό του φορτίου και εγγυάται ότι ασφαλίζεται καλά στο αεροσκάφος. Διακρίνονται σε *converted freighters* είναι αυτά που στην αρχή σχεδιάστηκαν ως επιβατικά και στην συνέχεια μετατράπηκαν σε εμπορευματικά και σε *freighters* τα οποία σχεδιάστηκαν εξ αρχής για την μεταφορά φορτίου. Η διαφορά τους είναι σημαντική, καθώς δείχνει τις αλλαγές που γνωρίζει ο κόσμος των μεταφορών (Μήλιος & Μαρκουίτζος, 2009, pp. 111-112).

1.5.2 Εξοπλισμός αεροσκαφών

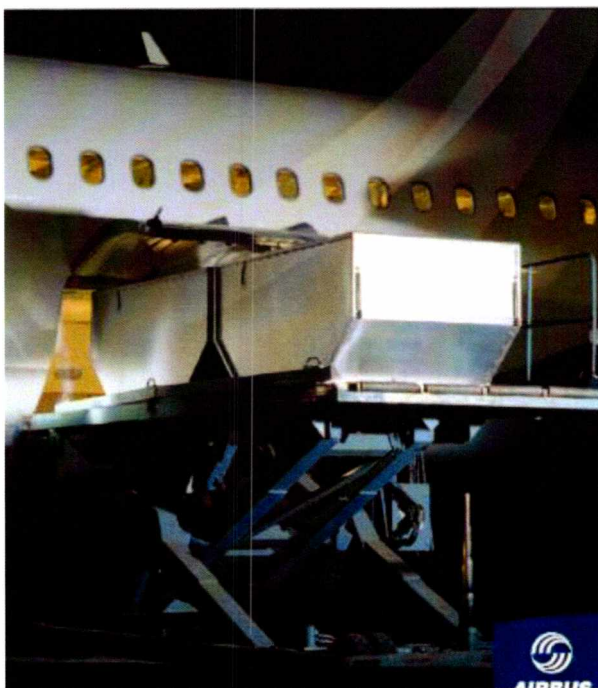
Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1960, το φορτίο μεταφερόταν με μεταγωγικά ή συνδυαστικά αεροσκάφη. Καθώς οι εμπορευματικές μεταφορές αυξήθηκαν, αυξήθηκε παράλληλα και το μέγεθος των αεροσκαφών, συνεπώς η οικονομική διαχείριση μπορούσε να διατηρηθεί περιορίζοντας τον χρόνο της φόρτωσης και εκφόρτωσης εμπορευμάτων.

Ο εξοπλισμός του αεροσκάφους αφορά τα μέσα ομαδοποίησης και μοναδοποίησης για την φόρτωση των προϊόντων στα αεροσκάφη και το σύστημα διαχείρισης τους (μετακίνηση, τοποθέτηση και ασφάλιση) εντός του αεροσκάφους. Ανάλογα με το φορτίο χρησιμοποιούνται τα ULDs (Unit Loading Devices- Μονάδα Μεταφοράς Φορτίου) Οι δύο κύριες κατηγορίες των ULDs που χρησιμοποιούνται είναι οι παλέτες (pallets) και τα εμπορευματικά κιβώτια (containers). Όλα είναι πιστοποιημένα για μεταφορά και συνδέονται άμεσα με το σύστημα φόρτωσης και ασφάλισης στο αεροσκάφος. Τα πιο συνηθισμένα μεγέθη είναι (2235mm x 3175mm) ή (88in x 125in) και (2.438mm x 3.175 mm) ή (96in x 125in).

Κεφάλαιο 1 Περιγραφή διαδικασιών σε ένα εμπορευματικό αερολιμένα

Το φορτίο των αεροσκαφών μπορεί να αποτελείται από τα εμπορευματοκιβώτια, παλέτες, ή ένα μείγμα από ULD τύπων, ανάλογα με τις απαιτήσεις. Τα διάφορα είδη ULDs τοποθετούνται είτε στο αμπάρι (lower deck) είτε στο κυρίως κατάστρωμα (main deck) των αεροσκαφών, ανάλογα με την διαμόρφωση τους (επιβατικά ή μεταφορικά). Υπάρχουν αεροσκάφη που παίρνουν και containers και παλέτες και άλλα που δεν έχουν την δυνατότητα αυτή και το φορτίο τοποθετείται χύμα στο αμπάρι.

Containers: Τα αεροπορικά containers χρησιμοποιούνται για την προστασία των αεροπορικών φορτίων διευκολύνοντας το χειρισμό πολλών μικρών, μεμονωμένων αποστολών αεροπορικού φορτίου. Έχουν κατασκευαστεί έτσι ώστε να ταιριάζουν με τις τυποποιημένες καμπύλες του αεροσκάφους, μεγιστοποιώντας την αξιοποίηση του διαθέσιμου χώρου (cargo hold). Έχουν σκελετό αλουμινίου και τοιχώματα από ελαφρά συνθετικά υλικά αντοχής. Είναι ελαφρύτερα από αυτά που χρησιμοποιούνται στις επιφανειακές μεταφορές, καθώς το αεροπλάνο μεταφέρει μικρότερο βάρος με μεγαλύτερο μοναδιαίο κόστος. Το υλικό τους τα καθιστά ευάλωτα στις καταστροφές, και απαιτούν ειδικές συσκευές χειρισμού.



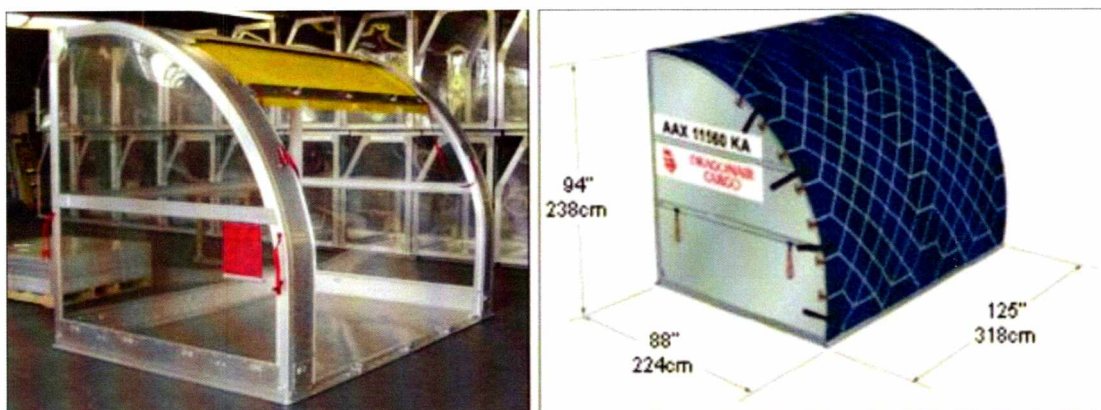
Εικόνα 9 Φόρτωση ULD container στο lower deck στη πλευρική θύρα με χρήση high loader



Εικόνα 8 Κύριο κατάστρωμα φόρτωσης με ράουλα

Σε αντίθεση με τα container των πλοίων, τα αεροπορικά δεν στοιβάζονται το ένα πάνω στο άλλο και η χρήση ανυψωτικού περνοφόρου μηχανήματος επιτρέπεται εφόσον αναγράφεται στις προδιαγραφές του, καθώς η λαμαρίνα του δαπέδου του είναι τόσο

λεπτή που οι πιλότοι του ανυψωτικού μπορούν εύκολα να του προκαλέσουν ζημιά. Κάθε αμπάρι είναι διαμορφωμένο και εξοπλισμένο με ειδικά ροδάκια (ράουλα),για να μην υποστεί καμία ζημιά η βάση κατά την μετακίνηση εντός του αμπαριού ή του καταστρώματος. Όταν τοποθετηθεί στην θέση του μια ειδική ασφάλεια το κλειδώνει και έτσι σταθεροποιείται στο αεροσκάφος.



Εικόνα 10ULD AXX για το main deck των A300F, B747F[†]

Παλέτες: Είναι συσκευές με σταθερή βάση, κατάλληλες για χρήση ανυψωτικού περνοφόρου μηχανήματος (κλαρκ). Το φορτίο συγκρατείται στη θέση του από τα δίχτυα, και το πλήρες φορτίο μπορεί να κακομεταχειριστεί ή να μετακινηθεί. Εκτός από τα δίχτυα, οι παλέτες αεροσκαφών γενικά καλύπτονται με φιλμ πολυαιθυλενίου για την προστασία από τη σκόνη και τη βροχή.

Για αεροσκάφη στενής ατράκτου (narrow body) τα οποία έχουν διάμετρο ατράκτου 3-4 μέτρα ,οι τυποποιημένες διαστάσεις παλέτας είναι $88 \times 125 \times 64$ ίντσες για αεροσκάφη μεταφορών και $88 \times 108 \times 64$ ίντσες όταν υπάρχει ανάγκη για να μετακίνηση μέσα στο αμπάρι για την απόκτηση πρόσβασης σε χώρους επιβατών. Τα αεροσκάφη ευρείας ατράκτου (wide body) με διάμετρο ατράκτου 5-6 μέτρα ,μπορούν να δεχθούν παλέτες διαστάσεων έως $96 \times 125 \times 64$ ίντσες.

[†] (Μήλιος & Μαρκουίτζος, 2009)



Εικόνα 11 Προετοιμασία και μεταφορά παλέτας στο αεροσκάφος⁵

Η διαδικασία αναγνώρισης των ULDs γίνεται σύμφωνα με τον αριθμό ULD που τους έχει δοθεί. Ένα πρόθεμα τριών γραμμάτων καθορίζει τον τύπο τους (κατηγορία, διαστάσεις βάσης, μορφή και συμβατότητα), ακολουθείται από έναν τετραψήφιο ή πενταψήφιο αριθμό για να ξεχωρίζει από τα υπόλοιπα του ίδιου τύπου και με δύο αλφαβητικούς χαρακτήρες που δηλώνουν τον ιδιοκτήτη, συνήθως την αεροπορική εταιρία. Για παράδειγμα «AKN 12345 DL» καταδεικνύει ότι είναι container τύπου LD-3 (με συγκεκριμένες εξωτερικές διαστάσεις και ικανότητες φόρτωσης ,βάσει όγκου και βάρους) που διαθέτει τρύπες για περονοφόρο ανυψωτικό με κωδικό 12345 και ανήκει στην Delta Airlines (DL: κωδικός IATA).[†]

1.6 Αεροδρόμιο & Air Cargo

Το αεροδρόμιο όσο αφορά τις εμπορευματικές μεταφορές αποτελεί το χώρο που καλείται να εξυπηρετήσει τις ακόλουθες ανάγκες:

Σε σχέση με τα αεροσκάφη:

- Προσγειοαπογειώσεις;
- Στάθμευση (κατά το χρόνο που γίνεται φόρτωση ή εκφόρτωση του air cargo και το χρόνο που δεν χρησιμοποιούνται);
- Ανεφοδιασμός και επάνδρωση;
- Καθαρισμός, συντήρηση και επισκευές.

⁵ Πηγή: <http://air-cargo-how-it-works.blogspot.gr/2011/01/forwarding-out.html>& (Μήλιος & Μαρκουίζος, 2009)

[†] Πηγή: http://en.wikipedia.org/wiki/Unit_load_device

Σε σχέση με το air cargo:

- Παραλαβή ή παράδοση;
- Έλεγχος καταλληλότητας και κατάστασης συσκευασίας;
- Έλεγχος ασφαλείας;
- Καταγραφή. ζύγιση, κατάταξη, χαρακτηρισμός;
- Προετοιμασία για φόρτωση στο αεροσκάφος;
- Διακίνηση του air cargo προς και από το αεροσκάφος.

Αν και τα περισσότερα αεροδρόμια μπορούν να διαχειριστούν ορισμένες ποσότητες εμπορευμάτων, οι παράγοντες που επηρεάζουν και διαμορφώνουν το μέγεθος των εγκαταστάσεων του cargo terminal διαφέρουν σημαντικά ανά περίπτωση και εξαρτώνται από:

1. Το μίγμα και τα χαρακτηριστικά ροής του φορτίου;
2. Τα χαρακτηριστικά των αεροσκαφών και του εξοπλισμού τους;
3. Το βαθμό κεφαλαιοποίησης και αυτοματισμού;
4. Τα συστήματα επικοινωνίας και διεκπεραίωσης των γραφειοκρατικών διαδικασιών (Ashford & Wright, 1979).

Οι απαιτήσεις της αερομεταφοράς εμπορευμάτων απαιτούν συνήθως υποδεέστερες υποδομές όσον αφορά την επίγεια εξυπηρέτηση, σε σχέση με τις επιβατικές. Οι απλές αυτές περιπτώσεις συνήθως αφορούν ναυλωμένες πτήσεις (charter), cargo πτήσεις ή «ταχυμεταφορές» (regional ή commuter cargo), οπότε τα αεροδρόμια που εμπλέκονται με τις δραστηριότητες αυτές μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες που προκύπτουν δίχως ιδιαίτερες υποδομές.

Όταν όμως αναφερόμαστε σε κομβικά αεροδρόμια (hub) μεγάλων αεροπορικών εταιριών τα πράγματα είναι πολύ διαφορετικά. Στις περιπτώσεις αυτές δεν έχουμε να κάνουμε μόνο με επίγεια εξυπηρέτηση αεροσκαφών αλλά και με διαχείριση τεραστίου όγκου εμπορευμάτων. Σε τέτοιου είδους και μεγέθους αεροδρόμια η διαχείριση εμπορευμάτων αποτελεί μία σύνθετη διαδικασία που απαιτεί την ύπαρξη αρκετών υποδομών, που μπορεί να είναι η κατασκευή μεμονωμένων εμπορευματικών σταθμών (cargo terminal), λογισμικό ελέγχου και διαχείρισης εμπορευμάτων, εξειδικευμένο προσωπικό και μηχανήματα κ.λπ.. (Remove Before Flight, 2005)

1.6.1 Κριτήρια σχεδιασμού cargo terminal

Για την εκλογή του cargo terminal θα πρέπει να εκτιμηθούν οι παρακάτω παράγοντες:

- Η θέση σε αρμονία με τη γενική διάταξη όλου του αεροδρομίου;
- Η εξασφάλιση χώρου για μελλοντικές επεκτάσεις που θα καλύψουν τις ανάγκες 20 ετών τουλάχιστον;
- Απευθείας επικοινωνία των χώρων στάθμευσης των αεροσκαφών με το cargo terminal;
- Πρόβλεψη για την εξυπηρέτηση νέων αεροσκαφών που θα κατασκευαστούν τα προσεχή έτη;
- Εύκολη επικοινωνία με τα υπάρχοντα δίκτυα επιφανειακών μεταφορών;
- Ελάχιστη απόσταση τροχοδρομήσεων;
- Επικοινωνία μεταξύ του cargo terminal και των άλλων εγκαταστάσεων, κατά προτίμηση με ανεξάρτητο οδικό δίκτυο;
- Καμιά παρενόχληση στις υπόλοιπες λειτουργίες του αεροδρομίου;
- Θεώρηση των μετεωρολογικών συνθηκών (π.χ. ανέμου) για τη διευκόλυνση των επίγειων μεταφορών (Αμπακούμκιν, 1979).

Επίσης θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ποιες λειτουργίες πραγματοποιεί και τι είδους φορτία και ροές εξυπηρετεί περισσότερο, π.χ. η εισαγωγή των εισερχομένων προς αποστολή φορτίων γίνεται σε μικρά δέματα που πρέπει να ετοιμαστούν, κυρίως χειρονακτικά, για αεροπορική μεταφορά ή έρχονται από τον αποστολέα ήδη μοναδοποιημένα σε αεροπορικά κοντέινερ, έτοιμα για φόρτωση στο αεροσκάφος.

Παράλληλα, ένα cargo terminal μπορεί να διαχωρίζεται σε περισσότερους του ενός διακριτούς αποθηκευτικούς χώρους, τους οποίους δύναται να διαχειρίζεται μια αεροπορική εταιρία ή μια εταιρία παροχής υπηρεσιών εξυπηρέτησης εδάφους και διαχείρισης φορτίου.^u

1.6.2 Λειτουργίες cargo terminal

Δεδομένου ότι το πλεονέκτημα των εμπορευματικών αερομεταφορών είναι οι μικροί χρόνοι διέλευσης, το φορτίο πρέπει να κινηθεί γρήγορα στον αερολιμένα. Οι λειτουργίες που πραγματοποιούνται από το cargo terminal ενός αεροδρομίου είναι παρόμοιες με εκείνες που εκτελούνται σε έναν επιβατικό αεροσταθμό (passenger terminal). Το cargo terminal εξυπηρετεί 4 βασικές λειτουργίες:

1. *Ομαδοποίηση και μοναδοποίηση.* Σε αυτό το στάδιο πραγματοποιείται αλλαγή μεγέθους του φορτίου συνδυάζοντας πολλά μικρά φορτία μαζί σε ένα μεγαλύτερο φορτωμένο σε εμπορευματοκιβώτιο ή παλέτα, τα οποία μπορούν να χειριστούν με μεγαλύτερη ευκολία, ασφάλεια και ταχύτητα.

^u 3rd party ground handling

2. *Διαλογή*. Γίνεται διαλογή διότι το cargo terminal δέχεται συνέχεια πολλά μικρά φορτία για διαφορετικούς προορισμούς το καθένα. Οι φορτοεκφορτωτές στο αεροδρόμιο θα πρέπει να εξασφαλίζουν τον αποτελεσματικό και ασφαλή χειρισμό του φορτίου που θα επιτρέπει στις αεροπορικές εταιρείες να ανταγωνίζονται μεταξύ τους. Όταν ο όγκος του φορτίου είναι αρκετά μικρός πρέπει να παρέχεται κατάλληλος εξοπλισμός για την εκφόρτωση των διαφόρων τύπων αεροσκαφών.
3. *Αποθήκευση*. Πολλές εγκαταστάσεις αποθήκευσης σε μικρότερα και παλιότερα αεροδρόμια καλύπτουν τα βασικά. Αυτό έχει μικρό αντίκτυπο στην αποθήκευση του φορτίου δεδομένου ότι το περισσότερο φορτίο δεν μένει στα αεροδρόμια. Σε γενικές γραμμές οι εξαγωγές είναι ευαίσθητες στον παράγοντα χρόνο, και οι εισαγωγές είναι υψηλής αξίας και γρήγορης κίνησης αγαθά. Είναι απαραίτητο για να γίνεται η διαχείριση των εισερχόμενων και εξερχόμενων φορτίων, αφού αυτή δεν είναι συνεχής εκατέρωθεν.

Οι σύγχρονες αποθήκες έχουν αποβάθρες φόρτωσης για την επιτάχυνση ανάκαμψης φορτηγών και ελαχιστοποίηση των κατακόρυφων κινήσεων του φορτίου. Οι διευκολύνσεις ισχύουν για τις εξαγωγές όπου έχουν μεγάλους χώρους για τη σάρωση, την επιθεώρηση, την σύνθεση παλετών, και τη συγκέντρωση του φορτίου για ειδικές πτήσεις. Για τις εισαγωγές υπάρχουν ξεχωριστές εγκαταστάσεις με γραφεία και χώρους επιθεώρησης για τη διευκόλυνση των διαδικασιών εκτελωνισμού επιτρέποντας τον διαχωρισμό του φορτίου σε φορτία. Για ευπαθή εμπορεύματα, αυτές οι αποθήκες έχουν ελεγχόμενης θερμοκρασίας δωμάτια για τη διατήρηση της ψυκτικής αλυσίδας μεταξύ του φορτηγού και του αεροσκάφους. Αυτές οι αποθήκες παρέχουν αποθήκευση για υψηλής αξίας φορτίου.

4. *Τεκμηρίωση και διεκπεραίωση εγγράφων*. Έγγραφα πτήσης, συνοδευτικά φορτίου τελωνειακές διαδικασίες κτλ., τεκμηριώνονται και διεκπεραιώνονται στο cargo terminal, αφού αυτός είναι ο χώρος που γίνεται η φυσική διαχείριση των εμπορευμάτων και όπου είναι συνήθως εγκατεστημένο το τελωνείο. Σε ορισμένες χώρες, η τελωνειακή αρχή στο αεροδρόμιο χρησιμοποιεί τις ίδιες διαδικασίες και συστήματα, όπως και σε άλλες διεθνείς πύλες, και τα εισερχόμενα φορτία μπορεί να διαρκέσει έως και μία μέρα να εκτελωνιστεί. Σε άλλες περιπτώσεις οι διαδικασίες προσαρμόζονται στις απαιτήσεις των αεροπορικών μεταφορών φορτίου, με όλες τις συναλλαγές που πραγματοποιούνται ηλεκτρονικά και φορτίου εκκαθαρίζονται εντός ενός ή δύο ωρες σε 24ωρη βάση. Δεδομένου ότι το φορτίο δεν μπορεί να κινηθεί χωρίς τεκμηρίωση, η χρήση του υπολογιστή για τον εντοπισμό και την

νημέρωση της εξέλιξης του απεσταλμένου φορτίου μέσω της πολύπλοκης διαδικασίας διακίνησης του, έχει προσφέρει σημαντικά οφέλη στους φορτωτές, στους πράκτορες, στους μεταφορείς, και στους πελάτες. Η εξακρίβωση της προέλευσης και η κίνηση των εγγράφων με ηλεκτρονικά μέσα έχει απλουστευτεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων 30 ετών (The World Bank, 2009).

1.7 Ροές & Διαχείριση εμπορευμάτων

Τα φορτία σε ένα cargo terminal μπορεί να είναι εισερχόμενα ή εξερχόμενα. Ανάλογα με το είδος τους ακολουθούνται οι ανάλογες διαδικασίες οι οποίες είναι οι εξής:

❖ Τα εξερχόμενα φορτία:

1. Περνούν μέσα από το χώρο υποδοχής;
2. Κινούνται μέσα από την περιοχή τεκμηρίωσης (όπου υποβάλλονται σε ελέγχους ακτινοσκόπησης, ζύγισης, μέτρησης και σήμανσης), και
 - διοχετεύονται απευθείας για ένα προκαταρκτικό έλεγχο συναρμολόγησης ή
 - τοποθετούνται σε βραχυπρόθεσμη περιοχή αποθήκευσης, από την οποία τελικά μεταφέρονται σε συναρμολόγηση προκαταρκτικού ελέγχου;
3. Μεταφέρονται στην περιοχή συναρμολόγησης. Ανάλογα με τον τύπο του αεροσκάφους στο οποίο θα φορτωθούν ομαδοποιούνται είτε με άλλα χύμα φορτία (bulk or loose freight) είτε φορτώνονται σε container ή παλέτα;
4. Διακινούνται με μέσω της ποδιάς (apron) του αεροδρομίου έως τον χώρο στάθμευσης του αεροσκάφους στο οποίο πρόκειται να φορτωθούν.

❖ Τα εισερχόμενα φορτία

1. Κατά την άφιξή τους, γίνεται η εκφόρτωση από τον υπεύθυνο εξυπηρέτησης εδάφους στην πλευρά αέρα (ramp handling agent) και εισέρχονται σε έναν αρχικό χώρο αναμονής πριν από τη διαλογή και το check-in;
2. Στη συνέχεια μεταφέρονται στις εγκαταστάσεις διαχείρισης φορτίου (cargo handling agent) όπου γίνεται η καταγραφή των εισερχόμενων φορτίων και ο έλεγχος της συσκευασίας τους. Ελέγχεται δηλαδή η κατάσταση της συσκευασίας κατά την παραλαβή στην αποθήκη και καταγράφονται οποιεσδήποτε φθορές ή καταστροφές.
3. Έπειτα γίνεται η διαλογή των εμπορευμάτων και ο διαχωρισμός τους σε κοινοτικά ή μη

- Αν είναι κοινοτικά, δεν απαιτείται ο εκτελωνισμός τους οπότε προχωρούν απ 'ευθείας προς έξοδο από την αποθήκη, όπου παραμένουν μέχρι να κανονιστεί η παράδοση τους .
- Στην αντίθετη περίπτωση απαιτείται τελωνειακός έλεγχος και τα φορτία αποθηκεύονται σε ασφαλή χώρο μέχρι να πραγματοποιηθούν οι προβλεπόμενες τελωνειακές διαδικασίες και εν τέλει να απελευθερωθούν και να δοθούν στους παραλήπτες-πελάτες.

Επίσης θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι οι αεροπορικές εταιρείες προσφέρουν συχνά την διακίνηση φορτίων τους ως εμπορική υπηρεσία σε άλλες αεροπορικές εταιρείες (interline transfer). Ο υπεύθυνος διαχείρισης (handling agent) φροντίζει για τη διακίνηση του αερομεταφερόμενου φορτίου από το αεροδρόμιο, από και προς το αεροσκάφος.^v Αυτό το είδος μεταφοράς είναι εξαιρετικά σημαντικός σε ορισμένα ευρωπαϊκά αεροδρόμια, καθώς η μεταφορά εμπορευμάτων μπορεί να ευθύνεται για ένα μεγάλο ποσοστό της εισερχόμενης κίνησης. Σε ορισμένα κομβικά αεροδρόμια (hub airports), περισσότερο από το ήμισυ του συνόλου των εισερχόμενων εμπορευμάτων μεταφέρεται σε εξερχόμενες πτήσεις ,οπότε ο σχεδιασμός των terminal αντανακλούν αυτές τις εξειδικευμένες ανάγκες (Ashford & Wright, 1979, pp. 458-465).

1.8 Δαπάνες αερομεταφοράς φορτίου

Ο προσδιορισμός του κόστους του φορτίου των αεροπορικών δραστηριοτήτων είναι σχετικά πολύπλοκος και ρευστός λόγω τεσσάρων παραγόντων:

1. Τεχνολογία αεροσκαφών;
2. Τα χαρακτηριστικά της διαδρομής;
3. Δομή των λειτουργιών;
4. Ευαισθησία στην διακύμανση των τιμών καυσίμων.

1.8.1 Διάρθρωση του κόστους

Οι κύριες συνιστώσες του κόστους για την αεροπορική μεταφορά εμπορευμάτων είναι:

- το κεφάλαιο και οι άμεσες λειτουργικές δαπάνες του αεροσκάφους;
- τα τέλη αεροδρομίου και πλοήγησης;
- τα τέλη επίγειας εξυπηρέτησης;

^v Πηγή: <http://air-cargo-how-it-works.blogspot.gr/search/label/handling%20agent>

- το κόστος για τη διοίκηση των αεροπορικών εταιρειών.

Το κόστος κεφαλαίου περιλαμβάνει την υποτίμηση και την απόσβεση για την αγορά αεροσκάφους και την ενοικίαση μισθωμένων αεροσκαφών. Το άμεσο κόστος λειτουργίας αφορά κατά κύριο λόγο τα καύσιμα, τη συντήρηση, το πλήρωμα και την ασφάλιση του. Τα έξοδα του πληρώματος και η ασφάλιση είναι σταθερά. Οι δαπάνες συντήρησης είναι μεταβλητές και περιλαμβάνουν την ρουτίνα συντήρησης, καθώς επίσης και μεγάλες γενικές επισκευές της ατράκτου και των μηχανών. Τα χρονοδιαγράμματα για την συντήρηση και την αντικατάσταση των εξαρτημάτων συνδέονται με τους κύκλους της πτήσης ή τις ώρες λειτουργίας. Για τα αεροσκάφη πλήρους μίσθωσης (wet lease) ή τσάρτερ (charter), τα έξοδα ενοικίασης περιλαμβάνονται το πλήρωμα και τη συντήρηση^w. Τα τέλη αεροδρομίου είναι κυρίως τέλη προσγείωσης και στάθμευσης. Το κόστος υπηρεσιών εδάφους περιλαμβάνουν τα τέλη διεκπεραίωσης για το αεροσκάφος και το φορτίο. Τα έξοδα διοίκησης εξαρτάται από το αν η αεροπορική εταιρεία είναι all-cargo ή combination και αν παρέχει προγραμματισμένες ή ναυλωμένες πτήσεις ή και τα δύο.

Οι δαπάνες για το πλήρωμα και της συνήθους συντήρησης ποικίλουν ανάλογα με τη χώρα, αλλά άλλες δαπάνες ρυθμίζονται λόγω του διεθνούς ανταγωνισμού. Επειδή ο αριθμός των μελών του πληρώματος στο αεροσκάφος είναι σχετικά μικρός, η μεταβολή του κόστους εργασίας για τις διάφορες περιφέρειες έχει σχετικά μικρή επίπτωση στο συνολικό λειτουργικό κόστος. Το μεγαλύτερο μέρος του κόστους σχετίζεται με τη συντήρηση των αεροσκαφών που εκτελείται σε ειδικά πιστοποιημένα κέντρα (MRO-Maintenance, Repair and Operations) που βρίσκονται σε όλο τον κόσμο. Υπάρχει επαρκής ανταγωνισμός μεταξύ αυτών ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι περιφερειακές διαφορές όσον αφορά το κόστος. Το πιο σημαντικό κόστος, τα καύσιμα, είναι επίσης σχετικά ομοιόμορφο σε όλο τον κόσμο. Υπάρχουν μερικές παραλλαγές λόγω των φόρων και επιχορηγήσεων (κυρίως στη Μέση Ανατολή), αλλά αυτά συνήθως είναι βραχύβια, επειδή τα αεροσκάφη που λειτουργούν σε μικρότερες αποστάσεων έχουν επιλογή από που λαμβάνουν καύσιμα.

^w Μια τυπική μίσθωση αεροσκάφους είναι ένα wet lease. Ο εκμισθωτής παρέχει το αεροσκάφος, ένα ή περισσότερα πλήρη πληρώματα (θάλαμο διακυβέρνησης, συνοδούς και μηχανικούς), συμπεριλαμβανομένων των μισθών τους, αλλά όχι τις ημερήσιες αποζημιώσεις τους, τις εργασίες συντήρησης και ασφάλισης του αεροσκάφους, στον τομέα της ολοκληρωμένης παροχής υπηρεσιών ως επί το πλείστον ειδικεύονται οι third-party logistics. Ο μισθωτής παρέχει τα καύσιμα, την πλοήγηση και τα τέλη αεροδρομίου, καθώς και εν πτήσει υπηρεσίες, ασφάλιση φορτίου και, σε ορισμένες περιπτώσεις, την ασφάλιση κατά κινδύνων πολέμου. Ο μισθωτής χρεώνεται ανά block hour (είναι ο χρόνος από τη στιγμή που η θύρα του αεροσκάφους κλείνει κατά την αναχώρηση της πτήσης εσόδων μέχρι τη στιγμή που η θύρα του αεροσκάφους ανοίγει στην πύλη αφίξεων μετά από την προσγείωσή του) με συγκεκριμένο όριο σε ώρες λειτουργίας ανά μήνα. Η περίοδος εκμίσθωσης είναι συνήθως ένα με δύο έτη

Κεφάλαιο 1 Περιγραφή διαδικασιών σε ένα εμπορευματικό αερολιμένα

Το μέσο κόστος μονάδας ανά τόνο-χιλιόμετρο για τη μεταφορά εμπορευμάτων εξαρτάται από το είδος της επιχείρησης, τη διαδρομή και τον συντελεστή φορτίου. Με τα μεταγωγικά αεροσκάφη στον υπολογισμό των δαπανών για τη μεταφορά φορτίου περιλαμβάνεται το κεφάλαιο και το άμεσο κόστος λειτουργίας, ενώ με τα επιβατικά αεροσκάφη που τα φορτία που μεταφέρονται στην κοιλιά, τα έξοδα μεταφοράς περιορίζονται στο οριακό κόστος για την επίγεια εξυπηρέτηση και τα καύσιμα.

Το μήκος της διαδρομής επηρεάζει το μοναδιαίο κόστος. Λόγω του χρόνου που απαιτείται για τη φόρτωση και την εκφόρτωση, τα αεροσκάφη εκτελούν συνήθως μόνο μία ή το πολύ δύο πτήσεις την ημέρα. Για μικρότερες εγχώριες και ενδοπεριφερειακές διαδρομές, οι ετήσιες ώρες λειτουργίας των αεροσκαφών είναι το πολύ 2000 ώρες, ενώ για τις διηπειρωτικές διαδρομές το όριο λειτουργίας είναι συνήθως 4000 ώρες ή περισσότερο. Το αποτέλεσμα είναι η διακύμανση του μοναδιαίου κόστους του εμπορεύματος ανά χιλιομετρικό τόνο, για το κεφάλαιο και το κόστος πληρώματος.

Ο συντελεστής φορτίου είναι σημαντικός για τον καθορισμό του μέσου μοναδιαίου κόστους όχι μόνο επειδή αποτελεί σημαντικό μέρος του πάγιου κόστους, αλλά γιατί η κατανάλωση καυσίμου ποικίλλει ανάλογα με το συνολικό βάρος του αεροσκάφους. Από την στιγμή που οι πτήσεις τσάρτερ έχουν υψηλότερους συντελεστές πληρότητας έναντι των τακτικών αεροπορικών μεταφορών φορτίου, τείνουν να έχουν χαμηλότερο μέσο κόστος ανά μονάδα για ένα παρόμοιο αριθμό των ωρών λειτουργίας. Τις τελευταίες δεκαετίες, οι αεροπορικές εταιρείες παρέχουν τακτικές και ναυλωμένες πτήσεις, προκειμένου να μεγιστοποιηθεί ο συντελεστής φορτίου του στόλου τους. Κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλής ζήτησης σε συγκεκριμένες διαδρομές, οι αεροπορικές εταιρείες ανακατανέμουν τα αεροσκάφη μεταξύ των τακτικών και μη δρομολογίων χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό ιδιόκτητων ή μισθωμένων αεροσκαφών. Οι μέσοι συντελεστές φορτίου κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 68%-73%, αλλά έχουν μειωθεί κατά την τελευταία δεκαετία με την αύξηση της αναλογίας των τακτικών γραμμών. (The World Bank, 2009)

1.8.2 Στρατηγικές τιμολόγησης

Η τιμολόγηση των αεροπορικών μεταφορών φορτίου καθορίζεται από τις συνθήκες της αγοράς. Το δασμολόγιο IATA προκύπτει έπειτα από περιφερειακές συναντήσεις με τα μέλη της, περιλαμβάνοντας διμερείς συμφωνίες αεροπορικών μεταφορών. Ωστόσο, τα ποσοστά αυτά δεν εφαρμόζονται πλέον και ισχύουν μόνο για μικρές αποστολές ή για τις διαδρομές με σχετικά μικρή κίνηση. Τα μέλη της IATA καθορίζουν τις δικές τους τιμές συχνά ανά φορτίο (The World Bank, 2009).

Η βάση της παραγωγής δασμολογίων είναι η σχέση μεταξύ του βάρους και του όγκου σύμφωνα με το γεγονός ότι ένας τόνος είναι ίσος με 6 κυβικά μέτρα. Ως εκ τούτου, ο πραγματικός όγκος διαιρείται δια του 6 για τη διατήρηση του βάρους που χρησιμεύει η βάση για την παραγωγή δασμολογίων.

- Το δασμολόγιο IATA που είναι υποχρεωτικό σε γενικές γραμμές, μπορεί να υποβληθεί σε μειώσεις σύμφωνα με τον όγκο. Αυτό είναι ένα τιμολόγιο για κάθε κλίμακα βάρους που μειώνεται και που αλλάζει από μια χώρα σε άλλη. Ένας κατ'ελάχιστον φόρος εφαρμόζεται στις μικρές αποστολές. Οι αεροπορικές εταιρείες εφαρμόζουν τον κανόνα «paying for» που συνίσταται στην πληρωμή για το βάρος που είναι υψηλότερο από το πραγματικό βάρος, λαμβάνοντας υπόψη τον έντονα μειωμένο χαρακτήρα του δασμολογίου.
- Το δασμολόγιο ULD (Unit Load Device = πληρωτέα μονάδα). Σε αυτήν την περίπτωση, κάθε μονάδα φόρτωσης έχει μια ελάχιστη τιμή. Το δασμολόγιο ULD είναι μια συμβατική δαπάνη που συμφωνείται για συγκεκριμένα ταξίδια. Λέμε ότι σε αυτό αντιστοιχεί «το βάρος-άξονα». Εάν το βάρος υπερβεί το συμβατικό βάρος, τα πρόσθετα κιλά θα φορολογηθούν σε ένα πολύ ευνοϊκό δασμολόγιο (ένα συμφέρον δασμολόγιο στην έκταση στην οποία το περιεχόμενο/τα εμπορευματοκιβώτια όπως οι παλέτες, τα ξύλινα κιβώτια ή τα κοντέινερ δεν φορολογούνται).
- Πρόσθετα δασμολόγια = συγκεκριμένα ποσοστά επί των προϊόντων. Αυτά είναι τα προνομιακά δασμολόγια που υπολογίζονται βάσει της κατηγορίας των εμπορευμάτων που στέλνονται με πλοίο κατ'ελάχιστο στα 100 κιλά, σε μονάδα 300 κιλά ή 500 κιλά για κάποια άλλα.^x

Η μεταφορά air cargo πληρώνεται συναρτήσει του βάρους (σε κιλά) και της απόστασης (σε μίλια).). Ο αεροπορικός ναύλος περιλαμβάνει : (α) τη βασική χρέωση (net value), (β) τον επίναυλο ασφαλείας (security surcharge) και (γ) τον επίναυλο καυσίμων (fuel surcharge). Ο επίναυλος ασφαλείας είναι μία σταθερή χρέωση που κυμαίνεται στα 0,15€/kg ανεξαρτήτου της απόστασης μεταφοράς και εφαρμόστηκε μετά την 11^η Σεπτεμβρίου 2001, όταν αυξήθηκαν τα ασφάλιστρα των αεροσκαφών για λόγους ασφάλειας των πτήσεων. Ανάλογα με την αεροπορική εταιρία και τον πελάτη είναι δυνατόν ο επίναυλος καυσίμου να έχει μηδενική τιμή. Ο επίναυλος καυσίμων άρχισε να εφαρμόζεται από τη στιγμή που ξεκίνησε η άνοδος της τιμής των καυσίμων και συνεχίζεται ως πρακτική μέχρι σήμερα. Ανάλογα με την εταιρία, αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό ποσοστό της τιμής του συνολικού αεροπορικού ναύλου.

^xΠηγή: <http://www.alphainternationaltrade.com/gr/methods/international-transport>

Πίνακας 1 Καυσίμων και Ασφαλείας για διάφορες Αεροπορικές Εταιρίες (2008)^γ

| AIRLINE | CODE | FUEL | SECURITY |
|----------------------|------|------|----------|
| ADRIA | ADR | 0.70 | 0.15 |
| AEGEAN domestic | A3 | 0.20 | 0.10 |
| AEGEAN international | A3 | 0.40 | 0.15 |
| AEGEAN to Cyprus | A3 | 0.30 | 0.10 |
| AEROFLOT | SU | 0.58 | 0.00 |
| AEROSWEET | VV | 0.40 | 0.00 |
| AIR BALTIC | BT | 1.00 | 0.15 |
| AIR FRANCE | AF | 1.25 | 0.14 |
| AIR MALTA | KM | 0.70 | 0.00 |
| AIR MOLDOVA | 9U | 0.30 | 0.00 |
| AIR TRANSAT | TS | 0.25 | 0.15 |
| ALITALIA | AZ | 1.00 | 0.15 |
| ARMAVIA | UB | 0.00 | 0.00 |
| AUSTRIAN AIRLINES | OS | 0.95 | 0.15 |
| BRITISH AIRWAYS | BA | 1.30 | 0.15 |
| BURAQ AIR TRANSPORT | UZ | 0.25 | 0.00 |
| CARGOLUX AIRLINES | CV | 1.25 | 0.00 |
| CONTINENTAL AIRLINES | CO | 1.05 | 0.15 |
| CZECH AIRLINES | OK | 0.85 | 0.15 |
| CYPRUS AIRWAYS | CY | 0.30 | 0.10 |
| DELTA AIRLINES | DL | 1.15 | 0.00 |
| DHL | BCS | | |
| EAT | EAT | 1.25 | 0.15 |
| EGYPTAIR | MS | 1.05 | 0.07 |
| EL AL | LY | 1.05 | 0.18 |
| EMIRATES | EK | 1.20 | 0.15 |
| FINNAIR | AY | 0.50 | 0.15 |
| GULF AIR | GF | 0.50 | 0.21 |
| HELIOS | ZU | 0.10 | 0.10 |
| HELLAS JET | T4 | 0.10 | 0.10 |
| KLM | KL | 1.25 | 0.14 |
| LOT | LO | 0.25 | 0.15 |
| LTU | LT | 0.85 | 0.15 |
| LUFTHANSA | LH | 1.30 | 0.17 |
| MAERSK AIR | DM | 0.40 | 0.10 |
| MALEV | MA | 0.20 | 0.15 |
| MIDDLE EAST AIRLINES | ME | 0.20 | 0.014 |
| NAS | XY | 0.30 | 0.10 |
| OLYMPIC AIRLINES | OA | 0.25 | 0.15 |
| PAKISTAN AIRLINES | PK | 0.45 | 0.15 |
| QATAR AIRWAYS | QR | 0.40 | 0.15 |
| ROYAL JORDANIAN | RJ | 0.20 | 0.15 |
| RUSSIAN AIRLINES | FV | 0.00 | 0.00 |
| SKANDINAVIAN | SK | 1.20 | 0.15 |
| SAUDIA | SV | 1.20 | 0.15 |
| SINGAPORE | SQ | 0.45 | 0.15 |
| SYRIAN AIRLINES | RB | 0.15 | 0.05 |
| SWISS AIRLINES | LX | 1.30 | 0.15 |
| TAROM | RO | 0.20 | 0.15 |
| THAI | TG | 0.20 | 0.12 |
| TNT | 3V | 0.30 | 0.00 |
| TUNISAIR | TU | 0.35 | 0.15 |
| TURKISH AIRLINES | TK | 0.30 | 0.15 |
| UPS | 5X | 1.25 | 0.05 |
| VIRGIN ATLANTIC | VS | 0.20 | 0.15 |

Τυπικές τιμές αερομεταφοράς για τις μεγαλύτερες εμπορικές οδούς παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Αυτές έχουν αυξηθεί με την αύξηση των τιμών καυσίμων σε σημείο που μερικές φορές ο επίναυλος καυσίμων υπερβαίνει το βασικό επιτόκιο εμπορευματικών μεταφορών. Οι περισσότερες αεροπορικές εταιρίες έχουν μειώσει, από τη στιγμή που επιβλήθηκε ο επίναυλος καυσίμων, την τιμή του βασικού ναύλου για να παραμείνει η συνολική τιμή του αεροπορικού ναύλου εντός λογικών και ανταγωνιστικών επιπέδων.

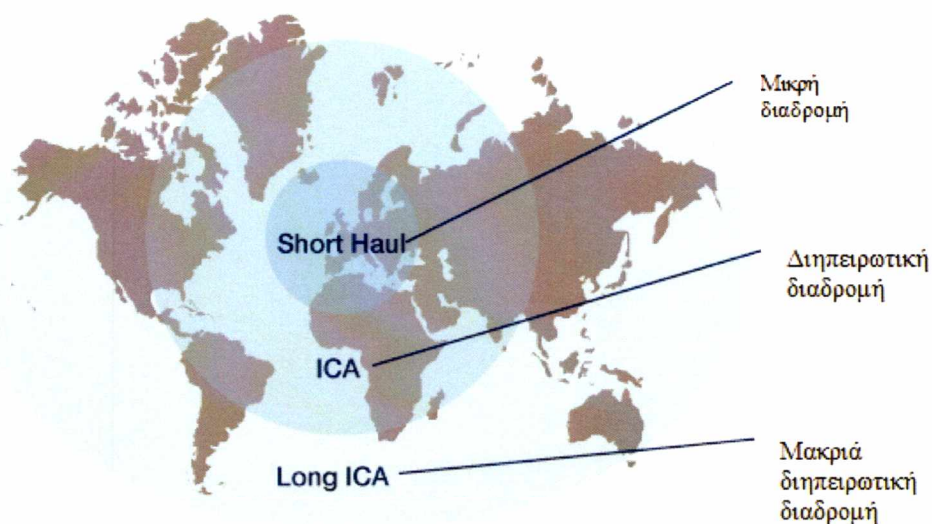
^γ (Παπάζογλου, 2008)

Παρατηρούμε τις πολύ μεγάλες διαφορές στις τιμές του επίναυλου καυσίμων μεταξύ των διαφόρων εταιριών, π.χ. Lufthansa 1,30€/kg, Olympic Airlines 0,25€/kg. Οι περισσότερες εταιρίες χρεώνουν αυτήν την τιμή του επίναυλου καυσίμων ανεξάρτητα από την απόσταση που θα μεταφερθεί το φορτίο. Το γεγονός αυτό έχει προκαλέσει προβληματισμό και αντιδράσεις, διότι με την θέσπιση και την εφαρμογή του επίναυλου καυσίμων φαίνεται να βγαίνουν κερδισμένες αποκλειστικά οι αεροπορικές εταιρίες και χαμένοι όλοι οι υπόλοιποι εμπλεκόμενοι και ο πελάτης.

Οι διαμεταφορείς (forwarders) πληρώνονται για τις υπηρεσίες τους με ένα ποσοστό επί της βασικής μόνον χρέωσης του αεροπορικού ναύλου. Οπότε εάν η αεροπορική εταιρία αυξάνει την τιμή του επίναυλου καυσίμων και μειώνει τη βασική χρέωση, για να κρατήσει περίπου σταθερή τη συνολική τιμή του αεροπορικού ναύλου, τότε ο διαμεταφορέας χάνει έσοδα. Επιπλέον, δεν είναι λογικό να μην υπάρχει κατηγοριοποίηση στην τιμή του επίναυλου καυσίμων ανάλογα με την απόσταση μεταφοράς του φορτίου, αφού ουσιαστικά η αύξηση της τιμής των καυσίμων επηρεάζει βέβαια το κόστος μεταφοράς αλλά ανάλογα με την κατανάλωση λόγω διανυόμενης απόστασης.

Από την 1^η Σεπτεμβρίου του 2008 καταργήθηκε το παλιό σύστημα υπολογισμού του επίναυλου καυσίμου. Σύμφωνα με την καινούργια μέθοδο, η νέα τιμή έχει σαν νομισματική βάση υπολογισμού το δολάριο και στη συνέχεια μετατρέπει τις τιμές στο τοπικό νόμισμα βάσει της τρέχουσα αναλογίας συναλλάγματος. Το κόστος των καυσίμων ενσωματώθηκε στην βασική χρέωση του αεροπορικού ναύλου, προκειμένου να μην υπάρξει περαιτέρω αύξηση της συνολικής τιμής του ναύλου αλλά μεταβολή της σχετικής αναλογίας μεταξύ τους. Για να υπάρχει σταθερότητα στην τιμή του ναύλου, πέρα από τις βραχυπρόθεσμες αυξομειώσεις στις τιμές των καυσίμων, υπολογίζεται ένας μηνιαίος μέσος όρος για την τιμή των αεροπορικών καυσίμων.

Όσον αφορά την απόσταση της πτήσης, η οποία λαμβάνει υπόψη τη σχετική κατανάλωση καυσίμου, καθορίζονται 3 ζώνες απόστασης. Short-Haul (μικρή διαδρομή διάρκεια 4 ωρών περίπου), ICA (InterContinental Aviation zone-Διεπειρωτική, διάρκεια 4-9 ωρών) και Long ICA (μακριά διεπειρωτική, διάρκεια άνω των 9 ωρών). (Παπάζογλου, 2008). Οι τιμές σύμφωνα με την ανακοίνωση της AF/KLM Cargo από την 11^η Σεπτεμβρίου του 2012 έχει ως εξής: Long ICA=1.03 €, ICA=0,83€, Short Haul=0,52€.



Εικόνα 12 Οι τρεις διαφορετικές ζώνες για τον υπολογισμό του επανάυλου καυσίμου^z

Βραχυπρόθεσμα, η αύξηση των ναύλων θα συνεχιστεί από τις κατευθυνόμενα αυξανόμενες ανισορροπίες στο διεθνές εμπόριο και την αναμενόμενη αύξηση του ποσοστού των φορτίων που μεταφέρονται με αεροσκάφη. Η κυριαρχία των ροών από την Ασία προς τη Βόρεια Αμερική και την Ευρώπη θα συνεχίσει να δημιουργεί / διευρύνει τις ανισορροπίες που θα αυξήσει το κόστος των αεροπορικών μεταφορών. Την ίδια στιγμή, ένα αυξανόμενο μερίδιο των εναέριων ασιατικών εξαγωγών θα ρέει μέσω ενός περιορισμένου αριθμού των κινεζικών αερολιμένων. Αυτό θα δημιουργήσει νέες ευκαιρίες για τις τακτικές αεροπορικές εταιρίες εμπορευματικών μεταφορών να ανταγωνιστούν. Το ποσοστό των αεροπορικών μεταφορών φορτίου που μεταφέρονται με επιβατικά αεροσκάφη ευρείας ατράκτου αναμένεται να μειωθεί, αν υποθεθεί ότι η επιβατική κίνηση θα συνεχίσει να αυξάνεται πιο αργά από ό, τι αερομεταφοράς (The World Bank, 2009).

1.9 Αεροπορικές επιχειρήσεις μεταφοράς φορτίου

Μια εταιρεία φορτίου προσφέρει την απλή υπηρεσία για τη μεταφορά εμπορευμάτων από κάποιο σημείο προέλευσης σε κάποιο σημείο προορισμού εντός ενός ορισμένου χρονικού διαστήματος σε μια δεδομένη τιμή. Για αυτό σκοπό αυτό, η αεροπορική εταιρεία διατηρεί ένα στόλο των αεροσκαφών και λειτουργεί μια σειρά πτήσεων που δημοσιεύονται στο πρόγραμμα πτήσεων. Σημειώστε ότι υπάρχουν λεπτές αλλά σημαντικές διαφορές μεταξύ της μεταφοράς των επιβατών και τη μεταφορά του φορτίου: ενώ οι επιβάτες συνήθως κλείνουν εισιτήρια επιστροφής, η κράτηση του φορτίου είναι μιας διαδρομής που να οδηγεί ενδεχομένως σε μη ισορροπημένες αγορές. Ενώ οι

^z Πηγή: <http://www.af-klm.com/cargo/portalb2b/conditions>

επιβάτες κλείνουν πλήρεις διαδρομές, δηλαδή ακολουθίες σκελών/ποδιών (leg)^{aa} από το σημείο προέλευσης προς το σημείο προορισμού, η κράτηση του φορτίου είναι συνήθως μόνο ένα ζεύγος προέλευσης-προορισμού με χρονικό περιορισμό και, συνεπώς, η αεροπορική εταιρεία έχει μια ελευθερία για την επιλογή διαδρομής των εμπορευμάτων της. Έτσι, στην αγορά η ζήτηση μπορεί να περιγραφεί ως ένα σύνολο από O&Ds ή O&D-ζεύγη^{bb}.

1.9.1 Χαρακτηριστικά επιχειρήσεων αερομεταφοράς φορτίου

1.9.1.1 Πρόγραμμα πτήσης

Ένα πρόγραμμα πτήσεων καθορίζει τη δυνατότητα μεταφοράς της αεροπορικής εταιρείας, καθώς επίσης και τις απαιτήσεις των πόρων του και την κατανάλωση αυτών. Έτσι ο κεντρικός φορέας σχεδιασμού και για τα δύο είναι προσανατολισμένος σύμφωνα με την αγορά και παραγωγή. Το πρόγραμμα περιγράφει το δίκτυο μεταφορών, δηλαδή ποιοι αερολιμένες συνδέονται με απευθείας πτήση και ποια O&D-ζεύγη μπορούν να συνδεθούν από ένα μονοπάτι των ποδιών, καθώς επίσης και την κίνηση στο δίκτυο, δηλαδή το πότε (χρόνος) και το πόσο συχνά (συχνότητα) μπορούν να λειτουργούν οι συνδέσεις (legs) κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας. Καθορίζει τον τύπο του αεροσκάφους για τη σύνδεση σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, καθώς και τη παραγωγική διαδικασία, δηλαδή την ακολουθία των συνδέσεων-πτήσεων που εξυπηρετούνται από το ίδιο αεροπλάνο, προκειμένου να καταστεί δυνατό ένα σταθερό για εβδομάδες πρόγραμμα κατά την περίοδο σχεδιασμού. Μόλις δημοσιευθεί, η εν δυνάμει απόδοση και το κόστος λειτουργίας είναι προκαθορισμένα δεδομένου ότι το πρόγραμμα πτήσεων μπορεί να τροποποιηθεί μόνο οριακά ή / και με υψηλό κόστος. Ο σχεδιασμός ενός κερδοφόρου και εφικτού χρονοδιαγράμματος είναι εξαιρετικά περίπλοκος σε έκταση και μέγεθος, δεδομένου ότι επηρεάζει τις αποφάσεις σχετικά με όλους τους πόρους και συνεπώς "περιλαμβάνει συνήθως το σύνολο της αεροπορικής εταιρείας". Ως εκ τούτου, οι Etschmaier και Mathaisel (1985) έχουν διαδώσει την ιδέα μιας επαναληπτικής διαδικασίας σχεδιασμού που βασίζεται σε δύο φάσεις, στην κατασκευή χρονοδιαγράμματος και την αξιολόγησή του (Derig & Friederich, 2012).

Οι σχεδιαστές θέλουν να κατασκευάσουν ένα πρόγραμμα, το οποίο να είναι ουσιαστικά μια λίστα των δρομολογίων και σταδιακά να το χτίσουν από ένα πρόγραμμα βάσης. Το πρόγραμμα βάσης τροποποιείται μέχρι να βρεθεί το καλύτερο πρόγραμμα. Σε κάθε επανάληψη, το μοντέλο λαμβάνει ως είσοδο μια λίστα πτήσεων, που αποτελείται

^{aa} Ένα πόδι/σκέλος (leg) αναφέρεται σε ένα σχέδιο πτήσης που ορίζεται μεταξύ δύο ακραίων σημείων.

^{bb} O&D (Original Destination). Σε συντομογραφία προέλευση-προορισμός

από υποχρεωτικές και προαιρετικές πτήσεις. Οι υποχρεωτικές πτήσεις (mandatory flights), είναι σταθερές, δηλαδή πρέπει να είναι μέρος του τελικού προγράμματος ενώ προαιρετικές πτήσεις (optional flights) περιλαμβάνονται μόνο εάν παράγουν μια πρόσθετη συνεισφορά στα κέρδη. Εκτός από τις υποχρεωτικές και προαιρετικές πτήσεις φορτίου, μια αεροπορική εταιρεία φορτίου μπορεί να έχει πρόσβαση σε εξωτερικές πτήσεις, δηλαδή πτήσεις που προέρχονται από το στόλο μιας αεροπορικής εταιρείας μεταφοράς επιβατών, από συνεργαζόμενες αεροπορικές εταιρείες, ή από τις υπηρεσίες οδικής τροφοδοσίας (road feeder service^{cc}). Ο συνδυασμός, υποχρεωτικών, προαιρετικών, καθώς και οι εξωτερικών πτήσεων σχηματίζουν μια λίστα πτήσεων που μεγιστοποιεί το κέρδος των αεροπορικών εταιρειών.

Καλό είναι στο τελικό πλάνο πτήσεων τα δρομολόγια να ξεκινούν και να καταλήγουν σε διαφορετικό αεροδρόμιο. Το μοντέλο πρέπει να είναι σχεδιασμένο για μια αεροπορική εταιρία, η οποία επιθυμεί να βελτιστοποιήσει ένα υποσύνολο του πραγματικού τους προγράμματος με την εισαγωγή νέων πτήσεων ή την διαγραφή μη κερδοφόρων πτήσεων. Άλλωστε ένα χαρακτηριστικό των εμπορευματικών μεταφορών είναι ότι συχνά δεν πραγματοποιούν πτήσεις επιστροφής προς την ίδια κατεύθυνση. Αντίθετα εξυπηρετούν μια σειρά από προορισμούς σε διάφορες χώρες κρατώντας πάντα την ίδια φορά. Για παράδειγμα μια συνηθισμένη πτήση μπορεί να είναι Λουξεμβούργο-Τόκιο-Χονγκ Κονγκ-Άμπου Ντάμπι- Λουξεμβούργο (Derig & Friederich, 2012) (Παπάζογλου, 2008) (Rabetanety, 2006).

1.9.1.2 Νυχτερινές πτήσεις

Οι αμιγώς εμπορικές πτήσεις γίνονται το βράδυ. Ο κύριος λόγος είναι ότι με αυτόν τον τρόπο τα προϊόντα μπορούν να φτάσουν στον προορισμό τους και να παραδοθούν στον παραλήπτη νωρίς το πρωί ,ειδικά εάν αφορά ταχυδρομείο η express εμπορεύματα. Επιπλέον δεν υπάρχει πρόβλημα αναχώρησης ή άφιξης σε πολύ πρωινές πτήσεις για τις επιβατικές πτήσεις ,ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις και τα τέλη προσγείωσης αυτές τις ώρες είναι χαμηλότερα σε κάποια αεροδρόμια. Έτσι ,η δραστηριότητα γύρω από τους εμπορευματικούς σταθμούς αρχίζει με το τέλος της εργάσιμης μέρας ,καθώς συγκεντρώνονται εμπορεύματα και ταχυδρομείο.

^{cc} Μια υπηρεσία που προσφέρεται από προγραμματισμένο χειριστή φορτίου να μεταφέρει τα εμπορεύματα προς και από το αεροσκάφος και / ή στο terminal μέσω οδικών υπηρεσιών. Επιτρέπει ένα φορέα να προσφέρει υπηρεσίες σε μια πόλη στην οποία δεν πετούν τα αεροσκάφη. Σε τέτοιες υπηρεσίες έχει χορηγηθεί ένας αριθμός αεροπορικών πτήσεων.

1.10 Σύγχρονα μοντέλα σύνδεσης προέλευσης – προορισμού

Επισημώς οι αεροπορικές εταιρίες ακολουθούν δύο μορφές επιχειρησιακών μοντέλων: το μοντέλο σημείο με σημείο (point to point) και το μοντέλο κόμβος & ακτίνες (Hub-and-Spoke).

1.10.1 Μοντέλο point to point

Αυτό το απλοποιημένο μοντέλο βασίζεται σε πτήσεις που παρέχονται προς και από μια πόλη. Το κόστος μονάδας είναι χαμηλότερο καθώς το αεροσκάφος αξιοποιείται περισσότερο συχνά καθώς δεν χρειάζεται να περιμένει για συνδεδεμένες πτήσεις (connecting flights) μειώνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο τα σταθερά έξοδα, τα οποία συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στις λειτουργικές δαπάνες των αεροπορικών εταιριών. Οι δαπάνες διαχέονται σε πολλές ώρες πτήσεων μειώνοντας έτσι το κόστος ανά μονάδα. Οι αερομεταφορείς χαμηλού κόστους, όπως η Southwest και η Jetblue ακολουθούν το μοντέλο point to point.

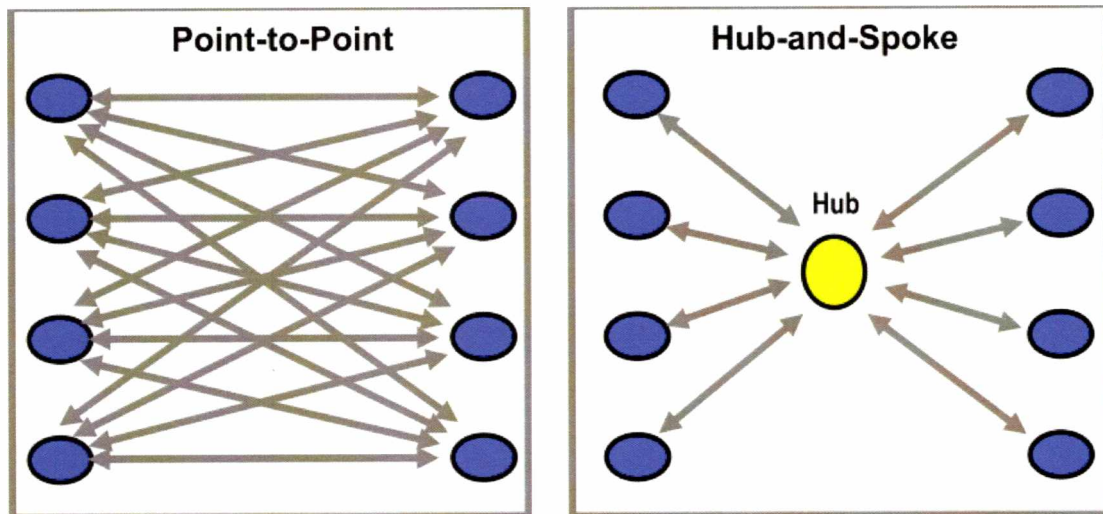
1.10.2 Μοντέλο Hub-and-Spoke

Αυτό χρησιμοποιείται από τους περισσότερους μεγάλους, «παραδοσιακούς» αερομεταφορείς προγραμματισμένων πτήσεων. Το σύστημα Hub and Spoke επιτρέπει στις αεροπορικές εταιρίες να μεγιστοποιήσουν τον συντελεστή πληρότητας (Load Factor) σε κάθε πτήση προσφέροντας συνδέσεις προς προορισμούς εσωτερικού και διεθνείς. Αυτό το πιο σύνθετο σύστημα διαδρομών προσφέρει στους πελάτες έναν μεγαλύτερο αριθμό επιλογών μεγιστοποιώντας παράλληλα τις δυνατότητες για αύξηση των εσόδων. Το αρνητικό στοιχείο ως προς αυτή την επιλογή σχετίζεται με την αύξηση του χρόνου παραμονής του αεροσκάφους σε κάποιο αεροδρόμιο, γεγονός που συμβάλλει στην αύξηση του κόστους ανά μονάδα (Αβραμόπουλος, 2011).

Θα εστιάσουμε στην περίπτωση του «Hub & Spoke» καθώς είναι το μοντέλο με την μεγαλύτερη εφαρμογή στον κλάδο της αερομεταφοράς φορτίου. Με την διανομή τέτοιου τύπου αντί για απευθείας αποστολές, η διανομή πραγματοποιείται μέσα από ένα δίκτυο το οποίο δομείται από το βασικό κέντρο διανομής (που λειτουργεί ως κόμβος) και τροφοδοτεί μια σειρά από μικρότερα, περιφερειακά κέντρα διανομής. Αυτά τα μικρότερα κέντρα διανομής ενδέχεται, μάλιστα, να τροφοδοτούν με τη σειρά τους ακόμη μικρότερα κέντρα διανομής δημιουργώντας έτσι τοπικά συστήματα. Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, πλήρη φορτία παραλαμβάνονται από τα περιφερειακά κέντρα διανομής, ανοίγονται και δημιουργούνται νέες παρτίδες, οι οποίες προορίζονται προς τις τοπικές εγκαταστάσεις μικρότερου μεγέθους της εταιρείας σε καθημερινή βάση. Εκτός από τις κεντρικές εγκαταστάσεις, απόθεμα κωδικών προϊόντων που κινούνται αργά διατηρείται και στα περιφερειακά κέντρα διανομής, ενώ τα μικρότερα λειτουργούν μόνο με τους ταχέως

κινούμενους κωδικούς. Απαραίτητη είναι η τήρηση αποθέματος αργών κωδικών στα περιφερειακά κέντρα διανομής, ώστε να είναι δυνατή η άμεση ανταπόκριση στη ζήτηση. (Tanel, 2007)

Είναι αρκετά περίπλοκο να λειτουργήσει αποδοτικά ένα σύστημα Hub and Spoke διότι πρέπει να ληφθούν υπόψη μια σειρά αστάθμητων παραγόντων που έχουν κάνουν με καθυστερήσεις, περιορισμό χωρητικότητας, ευαισθησία σε εξωτερικούς παράγοντες όπως για παράδειγμα κακοκαιρία κτλ.



Σχήμα 1 Μοντέλο Σύνδεσης “Σημείο-με-Σημείο” & “Hub-and-Spoke”^{dd}

Πίνακας 2 Απαιτούμενες διαδρομές ανά σύστημα δικτύου^{ee}

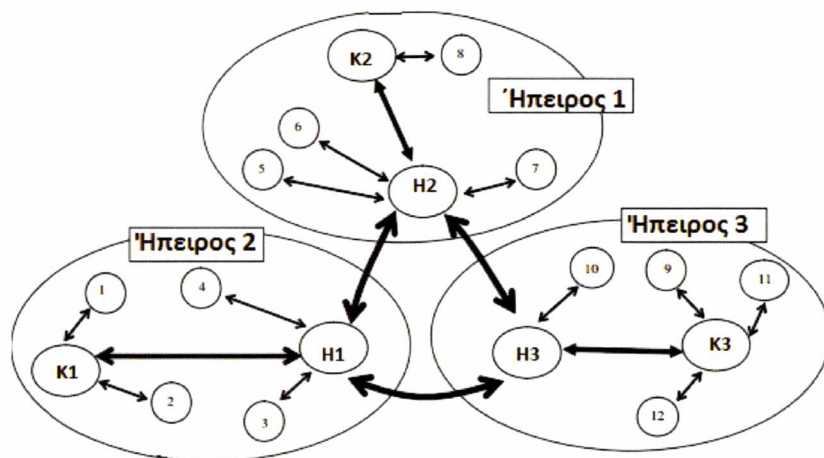
| Πόλεις | Διαδρομές | Διαδρομές |
|--------|----------------|---------------|
| | Point to Point | Hub and Spoke |
| 2 | 1 | 1 |
| 6 | 15 | 5 |
| 10 | 45 | 9 |
| 30 | 435 | 29 |
| 50 | 1225 | 49 |
| 100 | 4950 | 99 |

Οι αεροπορικές εταιρίες ανάλογα με τη θέση της κύριας βάσης τους, την ζήτηση, το μεταφορικό τους έργο, τα δρομολόγια των πτήσεων ,τα λειτουργικά κόστη, και τις

^{dd} Πηγή: <https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch1en/conc1en/hubnetwork.html>

^{ee} Πηγή: <http://prezi.com/vpkm7xhm9rlm/copy-of-aerometafores-pt-2/>

προσφορές των αεροδρομίων επιλέγουν και χρησιμοποιούν κάποια κομβικά αεροδρόμια ανά ήπειρο, τα οποία συνδέονται τόσο μεταξύ τους όσο και με περιφερειακά αεροδρόμια (εικόνα 14). Εκμεταλλεζόμενες λοιπόν, το κομβικό τους δίκτυο ως βάση διαχείρισης και ανάπτυξης της εμπορευματικής τους δραστηριότητας άρχισαν να αναπτύσσονται σημαντικά. Αφού συγκεντρώσουν τα εμπορεύματα στα αεροδρόμια, τα κατηγοριοποιούν ανά προορισμό και τα ενσωματώνουν σε μεγάλες αποστολές φορτίου επιτυγχάνοντας έτσι μείωση στο κόστος μεταφοράς ανά μεταφερόμενο κιλό.



Σχήμα 2 Παγκόσμια hub-and-spoke διαμόρφωση δικτύου^{ff}

Στην Ευρώπη, το 2012 διακρίθηκαν τρεις μεγάλες αεροπορικές εταιρίες που λειτουργούν με πολυ-κομβικό (multi-hub) δίκτυο. Αποτελείται από τα δίκτυα πολλαπλών κόμβων που ανήκουν στην ίδια εταιρεία: το δίκτυο της Air France-KLM, που επικεντρώνεται γύρω από το Παρίσι (CDG) και του Άμστερνταμ, το δίκτυο IAG γύρω από το Χίθροου (Heathrow), Μαδρίτη και τη Βαρκελώνη και ο όμιλος της Lufthansa, χρησιμοποιώντας διάφορα ευρωπαϊκά κέντρα. Αυτά τα τρία δίκτυα είναι αρκετά συγκρίσιμα σε μέγεθος κάλυψης δικτύου μεγάλων αποστάσεων, με την Lufthansa να είναι η μεγαλύτερη και από τις τρεις (Burghouwt, 2013).

^{ff} Πηγή: http://ac.els-cdn.com/S0191261506000907/1-s2.0-S0191261506000907-main.pdf?_tid=98eb5622-1017-11e4-a378-00000aacb35e&acdnat=1405865606_5c20d65e3e7a55c962b498e3adb7dda2

2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Ξεκινώντας, στην ενότητα 2.1, πραγματοποιείται μια συνοπτική ανασκόπηση για μερικά από τα υπάρχοντα υπολογιστικά μοντέλα στην ανάθεση και δρομολόγηση στόλου (fleet assignment and aircraft routing). Στην ενότητα 2.2, περιγράφεται το βασικό μοντέλο ανάθεσης που προτάθηκε από τον (Hane, et al., 1995) με στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους ανάθεσης επιβατικών αεροσκαφών. Στην ενότητα 2.3 το πρόβλημα προσεγγίζεται και εξετάζεται με στόχο την μεγιστοποίηση του κέρδους μια εταιρίας εμπορευματομεταφορών. Τέλος, στην ενότητα 2.4 παρουσιάζονται κάποια γενικά συμπεράσματα από την παρουσίαση των δυο μοντελοποιήσεων.

2.1 Ανασκόπηση

Το πρόβλημα ανάθεσης στόλου είναι ένα από τα σημαντικότερα και δυσκολότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι αεροπορικές εταιρίες. Κατά καιρούς έχουν γίνει προσπάθειες με την χρήση διάφορων υπολογιστικών προγραμμάτων βελτιστοποίησης για την εύρεση εφικτών λύσεων. Οι (Belanger, et al., 2006) παρουσίασαν ένα μοντέλο γραμμικού μεικτού ακέραιου με ομοιογένεια και έδειξαν ότι είναι δυνατόν να παράγουν λύσεις πολύ καλής ποιότητας χρησιμοποιώντας ευρετικές μεθόδους προσέγγισης. Ο (Abara, 1989), διατύπωσε τη λύση στο πρόβλημα ως ακέραιου προγραμματισμού και επέτρεψε την ταυτόχρονη εκχώρηση δύο ή περισσότερων τύπων αεροσκαφών σε ένα πρόγραμμα πτήσεων. Οι (Belanager, et al., 2006) πρότειναν ένα μοντέλο ανάθεσης με χρονικά παράθυρα (time windows), με καθορισμένες ώρες αναχώρησης. Τα προσδοκώμενα κέρδη εξαρτώνται από το χρονοδιάγραμμα και την επιλογή των τύπων αεροσκαφών. Ένα εβδομαδιαίο μοντέλο ανάθεσης στόλου παρουσιάζεται από τους (Kliewer & Tschöke, 2002). Χρησιμοποίησαν έναν αλγόριθμο προσομοιωμένης απόπτησης (Simulated Annealing- SP) για να αντιμετωπίσουν την υψηλή πολυπλοκότητα του προβλήματος. Τέλος οι (Chung & Chung, 2002) προσπάθησαν να λύσουν το πρόβλημα με γενετικούς αλγορίθμους

Ένα άλλο βήμα της διαδικασίας του αεροπορικού σχεδιασμού είναι η δρομολόγηση των αεροσκαφών. Αρχικά παρουσιάστηκε από τον (Haouari, et al., 2009) ένας ευρετικός αλγόριθμος δύο φάσεων που απαιτεί την συνεχή επίλυση προβλημάτων ροής ελάχιστου κόστους. Ο (Papadakos, 2006) εισήγαγε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο προγραμματισμού αεροσκαφών, του οποίου το μέγεθος μειώνεται με την εφαρμογή ενός αλγορίθμου που

ονομάζεται *benders decomposition*^{eg} σε συνδυασμό με μια τεχνική παραγωγής στηλών (column generation).

Στη συνέχεια οι (Desaulniers, et al., 1997) ενσωμάτωσαν στο πρόβλημα ανάθεσης και την δρομολόγηση στόλου και αργότερα (Barnhart, et al., 1998) προστέθηκε επιπλέον η συντήρηση των αεροσκαφών. Ο (Bazargan, 2004) εισήγαγε επιπλέον το κόστος λειτουργίας του στόλου, το κόστος από τη διαρροή των πελατών (passenger spill costs) αλλά και το ποσοστό αυτών που τελικά επιστρέφουν (recapture rate) κλπ.

2.2 Παρουσίαση πρώτης μοντελοποίησης του προβλήματος ανάθεσης αεροσκαφών – Ελαχιστοποίηση Κόστους

Το μοντέλο που αναφέρεται παρακάτω ως το βασικό μοντέλο ανάθεσης αεροσκαφών (Fleet Assignment Model-FAM), είναι μια απλοποιημένη έκδοση του μοντέλου που προτάθηκε από (Hane, et al., 1995).

Στόχος του μοντέλου είναι η ανάθεση του κατάλληλου τύπου αεροσκάφους στο υπάρχον σχέδιο πτήσης, βελτιστοποιώντας παράλληλα την αντικειμενική συνάρτηση κόστους και ικανοποιώντας διαφόρους λειτουργικούς περιορισμούς. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο σχεδιασμός αφορά τον στόλο των αεροσκαφών ως σύνολο, και όχι κάποιο συγκεκριμένο τύπο.

Στο παρακάτω πίνακες, παραθέτουμε τα δεδομένα και τις μεταβλητές απόφασης που χρησιμοποιήσαμε για την σύνθεση του μαθηματικού μοντέλου.

Σετ

| | |
|---|--|
| F | Σύνολο πτήσεων; |
| K | Σύνολο αεροσκαφών όλων των τύπων; |
| M | Σύνολο των κόμβων στο σύστημα; |
| C | Σύνολο των τελευταίων κόμβων του συστήματος. Αντιπροσωπεύει το σύνολο των κόμβων στους οποίους διανυκτερεύουν τα αεροσκάφη στο τέλος του ημερήσιου σχεδίου πτήσης; |

^{eg} Πρόκειται για μια διαδικασία κατά την οποία ένα μικτό πρόβλημα ακέραιων αριθμών αποσυντίθεται σε δύο προβλήματα που λύνονται επαναληπτικά –ένα κύριο πρόβλημα ακεραίων αριθμών και ένα γραμμικό υποπρόβλημα.

Κεφάλαιο 2 Περιγραφή και μοντελοποίηση

Δείκτες

| | |
|---|-----------------------------------|
| i | Δηλώνει την πτήση; |
| j | Δηλώνει τον τύπο του αεροσκάφους; |
| k | Δηλώνει τους κόμβους στο σύστημα; |

Παράμετροι

| | |
|----------|--|
| C_{ij} | Κόστος ανάθεσης του αεροσκάφους τύπου j στην πτήση i; |
| N_j | Αριθμός των διαθέσιμων αεροσκαφών ανά τύπο; |
| S_{ik} | Ισούται με 1 εάν η πτήση είναι άφιξης στον κόμβο k και με -1 εάν η πτήση αναχωρεί από τον κόμβο k; |

Μεταβλητές Απόφασης

| | |
|----------|--|
| X_{ij} | Ισούται με 1 εάν η πτήση i ανατεθεί στο αεροσκάφος τύπου j, αλλιώς 0; |
| G_{kj} | Ακέραιο μεταβλητή απόφασης που αντιπροσωπεύει τον αριθμό των αεροσκαφών τύπου j στο έδαφος στον κόμβο k; |

Με τους παραπάνω ορισμούς των μεταβλητών και των συμβόλων, τώρα παρουσιάζουμε τη μαθηματικό μοντέλο για το πρόβλημα ανάθεσης αεροσκαφών:

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in F} \sum_{j \in K} C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

Περιορισμοί

$$\sum_{j \in K} X_{ij} = 1, \quad \forall i \in F \quad (2)$$

$$G_{k-1,j} + \sum S_{ik} X_{i,j} = G_{k,j} \quad \forall k \in M, j \in K \quad (3)$$

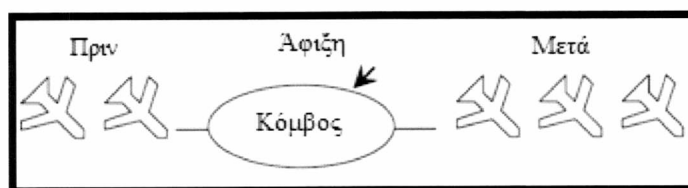
$$\sum G_{k,j} \leq N_j \quad \forall j \in K \quad (4)$$

$$G_{k,j} \in Z^* \quad \forall i \in F, j \in K \quad (5)$$

$$X_{ij} = \{0,1\} \quad \forall i \in F, j \in K \quad (6)$$

Στο παραπάνω μοντέλο, η αντικειμενική συνάρτηση (1) επιδιώκει να ελαχιστοποιήσει το συνολικό κόστος ανάθεσης των διαφόρων τύπων αεροσκαφών σε όλες τις πτήσεις του προγράμματος. Ο περιορισμός (2) είναι ο λεγόμενος περιορισμός κάλυψης πτήσεων (flight cover constrain). Εξασφαλίζει ότι κάθε πτήση μπορεί να εκτελεστεί μόνο από ένα αεροσκάφος ενός συγκεκριμένου τύπου. Η διατήρηση ισορροπίας στους κόμβους (aircraft balance constrain) περιγράφεται από τον περιορισμό (3). Διασφαλίζει ότι ο κατάλληλος τύπος αεροσκάφους θα είναι διαθέσιμος στο σωστό μέρος και τη σωστή στιγμή. Θα μπορούσαμε να αναλύσουμε την μαθηματική εξίσωση ως εξής: ο αριθμός των αεροσκαφών ενός συγκεκριμένου τύπου j σε ένα κόμβο k στο έδαφος ισούται με τον αριθμό των αεροσκαφών του ίδιου τύπου j που υπήρχε μια στιγμή πριν από τον κόμβο k , δηλαδή στον κόμβο $k-1 +$ (συν) το αεροσκάφος του ίδιου τύπου j που αφικνείται στον κόμβο $k -$ (μείον) το αεροσκάφος του ίδιου τύπου j που αναχωρεί από τον κόμβο k .

Το παραπάνω ισοζύγιο γίνεται εύκολα αντιληπτό με την χρήση του παρακάτω σχήματος.



Σχήμα 3 Παράδειγμα ισοζυγίου αεροσκαφών στον κόμβο

Ο τελικός αριθμός του αεροσκάφους τύπου j στον κόμβο ισούται με 3. Το αποτέλεσμα προκύπτει εύκολα αν από τα 2 αεροσκάφη που προϋπήρχαν στον κόμβο προσθέσουμε το 1 αεροσκάφος που αφικνείται στον κόμβο και αφαιρέσουμε τον αριθμό των αεροσκαφών που αποχωρούν από τον κόμβο, που στην προκειμένη περίπτωση ισούται με μηδέν.

Ο περιορισμός (4) αντιπροσωπεύει το μέγεθος του στόλου. Μετρά τον διαθέσιμο αριθμό των αεροσκαφών στο δίκτυο ανά τύπο, για να εξασφαλιστεί ότι η ποσότητα των αεροσκαφών που χρησιμοποιείται δεν υπερβαίνει το διαθέσιμο μέγεθος του στόλου. Για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει να υπολογιστεί ο αριθμός των αεροσκαφών συγκεκριμένου

τύπου που είναι προσγειωμένα κατά τη διάρκεια της νύχτας στα διάφορα αεροδρόμια του συστήματος που εξετάζεται.

Τέλος, οι περιορισμοί (5) και (6) αντιπροσωπεύουν το δυαδικό και ακέραιο χαρακτήρα των μεταβλητών απόφασης. Το Z^* είναι το σύνολο των θετικών ακεραίων.

Με τη θεωρία βελτιστοποίησης, αλγορίθμους και υπολογιστικό υλικό, οι ερευνητές είναι σε θέση πλέον να λύσουν πιο σύνθετα προβλήματα, να αναπτύξουν προσεγγίσεις και να ενσωματώσουν επιμέρους προβλήματα στην λύση.

Το μαθηματικό μοντέλο που παρουσιάστηκε παραπάνω είναι ένα μοντέλο βελτιστοποίησης που αφορά την ανάθεση αεροσκαφών. Το μοντέλο βασίζεται σε προκαθορισμένο σχέδιο πτήσης, με υπολογισμένους τους χρόνους και τις τοποθεσίες άφιξης και αναχώρησης. Ο χρονικός ορίζοντας του προβλήματος είναι μια τυπική ημέρα. Για εβδομαδιαίο προγραμματισμό, το μοντέλο γίνεται πιο περίπλοκο και χρίζει διαφορετική αντιμετώπιση (Ozdemir, et al., 2011).

2.3 Παρουσίαση δεύτερης μοντελοποίησης του προβλήματος ανάθεσης αεροσκαφών – Μεγιστοποίηση Κέρδους

Το πρόβλημα καταμερισμού του στόλου σχετίζεται με την ανάθεση διαφόρων τύπου αεροσκαφών, που το καθένα έχει διαφορετικές χωρητικότητες, στις προγραμματισμένες πτήσεις, σύμφωνα με τις ικανότητες και τις δυνατότητες του εξοπλισμού, τις λειτουργικές δαπάνες, καθώς και τα πιθανά έσοδα. Η επιλογή του τύπου του αεροσκάφους έχει επιπτώσεις στα έσοδα της αεροπορικής εταιρείας και ως εκ τούτου, αποτελεί ουσιώδη συνιστώσα της συνολικής διαδικασίας προγραμματισμού της.

Λαμβάνοντας υπόψη έναν ετερογενή στόλο αεροσκαφών και ένα σύνολο από πτήσεις που πρέπει να καλυφθούν ημερησίως με συγκεκριμένη ώρα αναχώρησης, διάρκεια και κόστος/κέρδος που απορρέει από την χρήση συγκεκριμένου τύπου αεροσκάφους ανά πτήση, θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα σχέδιο πτήσης το οποίο να μεγιστοποιεί τα κέρδη της εταιρείας ικανοποιώντας ορισμένους πρόσθετους περιορισμούς.

Για την μορφοποίηση του προβλήματος χρησιμοποιήσαμε την ακόλουθη σημειογραφία.

Κεφάλαιο 2 Περιγραφή και μοντελοποίηση

Σετ

| | |
|---|-------------------------------------|
| L | Σύνολο πτήσεων; |
| T | Σύνολο αεροσκαφών όλων των τύπων; |
| P | Σύνολο των αεροδρομίων στο σύστημα; |

Δείκτες

| | |
|---|------------------------------------|
| i | Δηλώνει τον τύπο του αεροσκάφους; |
| j | Δηλώνει την πτήση; |
| l | Δηλώνει συγκεκριμένο πλάνο πτήσης; |

Παράμετροι

| | |
|-------------|--|
| Π_{ijl} | Κέρδος ανάθεσης του αεροσκάφους τύπου i στην πτήση j για το πλάνο πτήσης l; |
| M_i | Αριθμός των διαθέσιμων αεροσκαφών ανά τύπο i; |
| P_i | Το υποσύνολο των αεροδρομίων που έχουν εγκαταστάσεις για την υποδοχή αεροσκαφών τύπου i; |
| L_i | Το σύνολο των πτήσεων που μπορεί να πετάξει ένα αεροσκάφος τύπου i; |
| S_i | Το σύνολο των εφικτών προγραμμάτων πτήσης για ένα αεροσκάφος τύπου i; |
| O_{ipl} | Ισούται με 1 εάν η πτήση j ξεκινάει από το αεροδρόμιο p για το πλάνο l, 0 εάν όχι; |
| D_{ipl} | Ισούται με 1 εάν ο τελικός προορισμός της πτήσης j είναι το αεροδρόμιο p για το πλάνο l, αλλιώς 0; |

Μεταβλητές Απόφασης

X_{ijl} Ισούται με 1 εάν η πτήση j ανατεθεί στο αεροσκάφος τύπου i για το πλάνο πτήσης l , αλλιώς 0;

Ο προγραμματισμός της καθημερινής δρομολόγησης αεροσκαφών μπορεί τώρα να διατυπωθεί μαθηματικά ως εξής:

$$Max Z = \sum_{i \in T} \sum_{l \in S_i} \pi_{il} X_{il} \quad (7)$$

Περιορισμοί

$$\sum_{l \in S_j} \sum_{i=1}^T a_{ijl} X_{il} = 1, \quad \forall j \in L \quad (8)$$

$$\sum_{l \in S_i} X_{il} = m_i, \quad \forall i \in T \quad (9)$$

$$\sum_{l \in S_i} (d_{ipl} - o_{ipl}) X_{il} = 0, \quad \forall i \in T, \forall p \in P_i \quad (10)$$

$$X_{il} = \{0,1\} \quad \forall i \in T, l \in S_i \quad (11)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση (7) μεγιστοποιεί το συνολικό αναμενόμενο κέρδος που απορρέει από την κάλυψη πτήσεων από συγκεκριμένο τύπο αεροσκάφους. Ο περιορισμός (8) εξασφαλίζει ότι κάθε πτήση μπορεί να ικανοποιηθεί μόνο μια φορά από αεροσκάφος συγκεκριμένου τύπου. Ο περιορισμός (9) καθορίζει το μέγιστο αριθμό των αεροσκαφών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κάθε τύπο. Η διατήρηση της ροής στην αρχή και στο τέλος της ημέρας σε κάθε αεροδρόμιο για κάθε τύπο αεροσκάφους περιγράφεται από τον περιορισμό (10). Ο περιορισμός (11) εξασφαλίζει το δυαδικό και ακέραιο χαρακτήρα της μεταβλητής απόφασης. Το Z^* είναι το σύνολο των θετικών ακεραίων (Karaoglan, et al., 2011).

Το μαθηματικό μοντέλο που παρουσιάστηκε παραπάνω είναι ένα μοντέλο βελτιστοποίησης που αφορά την ανάθεση αεροσκαφών μεταφοράς φορτίου αλλά και επιβατών. Το μοντέλο βασίζεται σε προκαθορισμένο σχέδιο πτήσης, με υπολογισμένους τους χρόνους και τις τοποθεσίες άφιξης και αναχώρησης. Τα κέρδη που απορρέουν από την ανάθεση συγκεκριμένου τύπου αεροσκάφους είναι υπολογισμένα σύμφωνα με

δεδομένα από εταιρίες μεταφοράς φορτίων προκειμένου να ανταποκρίνονται όσο το δυνατόν στην πραγματικότητα αλλά κατόπιν ορισμένων παραδοχών. Ο χρονικός ορίζοντας του προβλήματος είναι μια τυπική ημέρα (Karaoglan, et al., 2011).

2.4 Γενικά συμπεράσματα από την παρουσίαση των δυο μοντελοποιήσεων

Τα δύο μοντέλα ανάθεσης που αναφέραμε αναπτύχθηκαν έτσι ώστε να ικανοποιούν τρεις βασικές αρχές που διέπουν το πρόβλημα ανάθεσης στόλου. Εμφανίζονται ως περιορισμοί στο πρόβλημα και αφορούν:

1. Την διατήρηση ροής στους κόμβους (flow conservation);
2. Την κάλυψη των πτήσεων (flight coverage);
3. Την διατήρηση του ισοζυγίου στο μέγεθος του στόλου (fleet size balance).

Οι ερευνητές είναι σε θέση να χρησιμοποιούν ένα εύρος αντικειμενικών συναρτήσεων προκειμένου να εξετάσουν ένα πρόβλημα ανάθεσης από διάφορες οπτικές γωνίες. Στην συγκεκριμένη εργασία προσεγγίσαμε το πρόβλημα αρχικά με γνώμονα την ελαχιστοποίηση του κόστους ενώ στη συνέχεια με σκοπό την μεγιστοποίηση του κέρδους. Άλλοι τρόποι προσέγγισης θα μπορούσαν να είναι η βέλτιστη αξιοποίηση συγκεκριμένου τύπου αεροσκάφους, η ελαχιστοποίηση του συνολικού αριθμού αεροσκαφών κτλ.

Με την προσθήκη περιορισμών που αφορούν την ηχορύπανση, την συντήρηση των αεροσκαφών, τον συντονισμό και την ανάθεση του πληρώματος κτλ, το πρόβλημα θα γινόταν πιο ρεαλιστικό αλλά θα αύξανε την πολυπλοκότητα επίλυσης. Συνεπώς, η απόφαση για την προσθήκη περιορισμών εξαρτάται από την αξία της επιπλέον ακρίβειας που αποκτήθηκε σε σχέση με την επιπλέον προσπάθεια που καταβλήθηκε.

3 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα μοντέλα που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 2 επιλύονται αριθμητικά σε αυτήν την ενότητα. Η επίλυση όλων των παρακάτω παραδειγμάτων έγινε στο εργαστήριο Οργάνωσης Παραγωγής και Βιομηχανικής Διοίκησης του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Τα χαρακτηριστικά του υπολογιστή που χρησιμοποιήθηκε ήταν τα εξής:

1. Επεξεργαστής: Intel(R) Core(TM) i5-3330 CPU @3.00GHz;
2. Εγκατεστημένη μνήμη: 16.00 GB;
3. Λογισμικό: Windows 7 Professional 64-bit.

Χρησιμοποιήθηκαν οι βιβλιοθήκες CPLEX ILOG IBM σε γλώσσα προγραμματισμού C++ και σε γραφικό περιβάλλον Microsoft Visual Studio 2010.

3.1 Παρουσίαση παραδειγμάτων

Παρακάτω παρουσιάζονται για τα δύο μοντέλα, που αναφέρθηκαν στις ενότητες 2.2 και 2.3 του κεφαλαίου 2, ορισμένα από τα αριθμητικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Τα δεδομένα είναι ρεαλιστικά και προέρχονται από μεταφορικές αεροπορικές εταιρίες.

3.1.1 Μοντέλο ανάθεσης αεροσκαφών –Ελαχιστοποίηση κόστους

3.1.1.1 Δεδομένα

Σε αυτή την περίπτωση, μελετάμε ένα πρόβλημα ανάθεσης στόλου το οποίο έχει συσταθεί με βάση τα στοιχεία των Τουρκικών Αερογραμμών (Turkish Airlines). Το αεροδρόμιο Ατατούρκ της Κωνσταντινούπολης (Istanbul) έχει επιλεγεί ως το κεντρικό αεροδρόμιο (hub) από το οποίο εκτελούνται πτήσεις προς Αττάλεια (Antalya), Σμύρνη (Izmir), Άγκυρα (Ankara), Άδανα (Adana), Τραπεζούντα (Trabzon), Ερζερούμ (Erzurum), Γκαζιαντέπ (Gaziantep) και Χατάν (Hatay), όπως φαίνεται στο Σχήμα 4. Πρέπει να σημειωθεί ότι πτήσεις μεταξύ των περιφερειακών αεροδρομίων δεν εκτελούνται, μόνο προς και από το αεροδρόμιο της Ιστανμπούλ.

Στην περίπτωσή μας, υπάρχουν 25 αεροσκάφη τύπου A320, 21 αεροσκάφη τύπου A321, 14 αεροσκάφη τύπου B737 και 52 αεροσκάφη τύπου B738. Το ημερήσιο πρόγραμμα πτήσεων περιλαμβάνει 46 πτήσεις και παρουσιάζεται στον Πίνακα 3. Υποτίθεται ότι η ζήτηση για κάθε πτήση είναι κανονικά κατανομημένη με δεδομένες τις τιμές της μέσης και την τυπικής απόκλισης, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3. Επίσης στον ίδιο πίνακα παρουσιάζεται και η κατανομή της ζήτησης για κάθε πτήση, όπως επίσης και

Κεφάλαιο 3 Αριθμητικά αποτελέσματα

οι αποστάσεις μεταξύ των πόλεων. Ο μέσος όρος της ζήτησης και η τυπική απόκλιση είναι εκτιμημένα κατόπιν συλλογής στοιχείων 2 ετών.



Σχήμα 4 Πτήσεις μεταξύ αεροδρομίων

Πίνακας 3 Πρόγραμμα Πτήσεων

| Αριθμός Πτήσης | Αναχώρηση | Ώρα Αναχώρησης | Αφιξη | Ώρα Αφίξης | Ζήτηση | Κανονική Κατανομή | Απόσταση (μίλια) |
|----------------|------------|----------------|------------|------------|--------|-------------------|------------------|
| 1 | Άγκυρα | 6:15 | Ιστανμπούλ | 7:20 | 157 | 31 | 227 |
| 2 | Τράμπζον | 7:00 | Ιστανμπούλ | 8:50 | 207 | 42 | 572 |
| 3 | Άγκυρα | 7:30 | Ιστανμπούλ | 8:35 | 147 | 29 | 227 |
| 4 | Ιστανμπούλ | 7:35 | Γκαζιαντέπ | 9:10 | 113 | 21 | 542 |
| 5 | Αττάλεια | 8:25 | Ιστανμπούλ | 9:40 | 190 | 38 | 300 |
| 6 | Ιστανμπούλ | 8:30 | Άδανα | 10:00 | 141 | 28 | 443 |
| 7 | Άγκυρα | 9:00 | Ιστανμπούλ | 10:05 | 157 | 31 | 227 |
| 8 | Ιστανμπούλ | 9:00 | Άγκυρα | 10:05 | 145 | 29 | 227 |
| 9 | Άγκυρα | 10:00 | Ιστανμπούλ | 11:05 | 159 | 32 | 227 |
| 10 | Γκαζιαντέπ | 10:00 | Ιστανμπούλ | 11:45 | 175 | 35 | 542 |
| 11 | Ιστανμπούλ | 10:00 | Αττάλεια | 11:15 | 126 | 25 | 300 |
| 12 | Ιστανμπούλ | 10:00 | Τράμπζον | 11:50 | 113 | 21 | 572 |
| 13 | Ιστανμπούλ | 10:45 | Ερζερούμ | 12:25 | 120 | 24 | 653 |
| 14 | Ιστανμπούλ | 11:00 | Σμύρνη | 12:05 | 129 | 25 | 204 |
| 15 | Σμύρνη | 11:00 | Ιστανμπούλ | 12:05 | 143 | 29 | 204 |
| 16 | Χατάυ | 11:05 | Ιστανμπούλ | 12:50 | 159 | 32 | 513 |
| 17 | Ιστανμπούλ | 11:30 | Αττάλεια | 12:45 | 152 | 30 | 300 |
| 18 | Ιστανμπούλ | 13:00 | Άγκυρα | 14:05 | 107 | 21 | 227 |
| 19 | Ερζερούμ | 13:00 | Ιστανμπούλ | 14:40 | 138 | 27 | 653 |

Κεφάλαιο 3 Αριθμητικά αποτελέσματα

| | | | | | | | |
|----|------------|-------|------------|-------|-----|----|-----|
| 20 | Αττάλεια | 13:20 | Ιστανμπούλ | 14:45 | 172 | 34 | 300 |
| 21 | Ιστανμπούλ | 14:15 | Άδανα | 15:45 | 121 | 24 | 443 |
| 22 | Άγκυρα | 15:00 | Ιστανμπούλ | 16:05 | 186 | 36 | 227 |
| 23 | Ιστανμπούλ | 15:00 | Άγκυρα | 16:05 | 156 | 30 | 227 |
| 24 | Ιστανμπούλ | 15:00 | Σμύρνη | 16:05 | 128 | 27 | 204 |
| 25 | Ιστανμπούλ | 15:30 | Χατάυ | 17:15 | 150 | 30 | 513 |
| 26 | Ιστανμπούλ | 16:00 | Άγκυρα | 17:05 | 188 | 37 | 227 |
| 27 | Άδανα | 16:45 | Ιστανμπούλ | 18:25 | 150 | 29 | 443 |
| 28 | Ιστανμπούλ | 17:00 | Άδανα | 18:30 | 138 | 27 | 443 |
| 29 | Σμύρνη | 17:00 | Ιστανμπούλ | 18:05 | 182 | 35 | 204 |
| 30 | Ιστανμπούλ | 17:30 | Γκαζιαντέπ | 19:05 | 147 | 29 | 542 |
| 31 | Χατάυ | 18:00 | Ιστανμπούλ | 19:45 | 159 | 32 | 513 |
| 32 | Ιστανμπούλ | 18:00 | Άγκυρα | 19:05 | 126 | 25 | 227 |
| 33 | Άδανα | 18:25 | Ιστανμπούλ | 20:05 | 124 | 25 | 443 |
| 34 | Ιστανμπούλ | 18:30 | Αττάλεια | 17:45 | 130 | 25 | 300 |
| 35 | Άγκυρα | 19:00 | Ιστανμπούλ | 20:05 | 136 | 27 | 653 |
| 36 | Ιστανμπούλ | 19:00 | Ερζερούμ | 20:40 | 131 | 26 | 300 |
| 37 | Ιστανμπούλ | 19:10 | Αττάλεια | 20:25 | 118 | 24 | 227 |
| 38 | Άδανα | 19:15 | Ιστανμπούλ | 20:55 | 125 | 25 | 443 |
| 39 | Αττάλεια | 19:20 | Ιστανμπούλ | 20:35 | 117 | 23 | 300 |
| 40 | Τράμπζον | 19:55 | Ιστανμπούλ | 21:45 | 176 | 35 | 572 |
| 41 | Ιστανμπούλ | 21:00 | Άγκυρα | 22:05 | 110 | 21 | 227 |
| 42 | Γκαζιαντέπ | 21:00 | Ιστανμπούλ | 22:45 | 141 | 28 | 542 |
| 43 | Ιστανμπούλ | 21:00 | Χατάυ | 22:45 | 140 | 27 | 513 |
| 44 | Ερζερούμ | 21:00 | Ιστανμπούλ | 22:40 | 133 | 26 | 653 |
| 45 | Αττάλεια | 21:10 | Ιστανμπούλ | 22:25 | 131 | 25 | 300 |
| 46 | Ιστανμπούλ | 22:00 | Τράμπζον | 23:50 | 136 | 27 | 572 |

3.1.1.2 Υπολογισμός Κόστους

Για την καλύτερη κατανόηση του τρόπου υπολογισμού του κόστους, θα γίνει κάποια αρχικά μια επεξήγηση σε ορισμένους δείκτες που συνήθως χρησιμοποιούνται στον κλάδο των αερομεταφορών:

1. ASM/ASK (Available Seat Miles/Kilometers). Είναι ένα μέτρο που αναφέρεται στην ικανότητα προσφοράς θέσεων μιας αεροπορικής εταιρείας για την μεταφορά επιβατών ετησίως. Προκύπτει εάν πολλαπλασιάσουμε τον αριθμό των διαθέσιμων θέσεων με τον αριθμό των μιλίων ή χιλιομέτρων.
2. RASM /RASK (Revenue per Available Seat Mile). Αντιπροσωπεύει το κέρδος μιας αεροπορικής εταιρείας που προκύπτει από τις διαθέσιμες θέσεις που παρασχέθηκαν. Υπολογίζεται διαιρώντας τα συνολικά λειτουργικά

έσοδα με τα διαθέσιμα καθίσματα ανά μίλι ή χιλιόμετρο δηλαδή με το ASM (ASK).

3. CASM (Cost per Available Seat Mile). Αντιπροσωπεύει το «μοναδιαίο κόστος» και αφορά το μέσο κόστος μεταφοράς ενός καθίσματος (seat) για ένα μίλι. Υπολογίζεται διαιρώντας το συνολικό λειτουργικό κόστος με το ASM (ASK).

Λειτουργικά έξοδα (operating cost). Τα λειτουργικά για μια πτήση εξαρτώνται κυρίως από τον τύπο του αεροσκάφους που διατίθεται για τη συγκεκριμένη πτήση. Χρησιμοποιώντας τον εξής τύπο μπορούμε να τα υπολογίσουμε για κάθε πτήση:

Λειτουργικά έξοδα της πτήσης = CASM στόλου × απόσταση × αριθμός των θέσεων στο αεροσκάφος

Για τους τέσσερις τύπους του στόλου, A320, A321, B737 και B738, η χωρητικότητα σε καθίσματα είναι 159, 192, 142, και 165 αντίστοιχα. Επιπλέον, σύμφωνα με την αεροπορική εταιρεία το κόστος ανά μίλι διαθέσιμου καθίσματος (CASM) για A320, A321, B737 και B738 είναι \$ 0,046 (4,6 σεντς), \$ 0,048 (4,8 σεντς), \$ 0,045 (4,5 σεντς) και \$ 0,047 (4,7 σεντς) αντίστοιχα. Τα έσοδα από τα καθίσματα ανά διαθέσιμο μίλι (RASM) είναι 0,20 δολάρια (20 σεντς). Οι πληροφορίες εμφανίζονται συγκεντρωτικά τον πίνακα 4:

Πίνακας 4 Πληροφορίες και Κόστη

| Τύπος | Αριθμός Αεροσκαφών | Αριθμός Καθισμάτων | CASM | RASM |
|-------------|--------------------|--------------------|----------|---------|
| A320 | 25 | 159 | \$ 0,046 | \$ 0,20 |
| A321 | 21 | 192 | \$0,048 | \$ 0,20 |
| B737 | 14 | 142 | \$0,045 | \$ 0,20 |
| B738 | 52 | 165 | \$ 0.047 | \$ 0,20 |

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω πληροφορίες μπορούμε να καθορίσουμε το λειτουργικό κόστος για κάθε πτήση και για τους τέσσερις τύπους αεροσκαφών. Για παράδειγμα, έστω ότι θέλουμε να υπολογίσουμε τα λειτουργικά έξοδα για την πτήση No1 (Αγκυρα - Ιστανμπούλ). Σύμφωνα με τον πίνακα 3 η απόσταση που καλύπτεται είναι 227 μίλια, συνεπώς προκύπτει:

$$\text{Λειτουργικά έξοδα (A320, πτήση 1)} = \$ 0,046 \times 227 \text{ μίλια} \times 159 \text{ καθίσματα} = \$1,660.28$$

Ομοίως υπολογίζονται τα έξοδα και για τους υπόλοιπους τύπους αεροσκαφών που είναι διαθέσιμα για αυτή την πτήση όπως φαίνεται στον πίνακα 4 και κατ' επέκταση τα

λειτουργικά έξοδα όλων των τύπων αεροσκαφών για όλες τις πτήσεις που περιλαμβάνει το πρόγραμμα πτήσεων.

Πίνακας 5 Λειτουργικά έξοδα για την πτήση 1

| Τύπος Αεροσκάφους | Λειτουργικά Έξοδα |
|-------------------|-------------------|
| A320 | \$1,660.28 |
| A321 | \$2,092.03 |
| B737 | \$1,450.53 |
| B738 | \$1,760.39 |

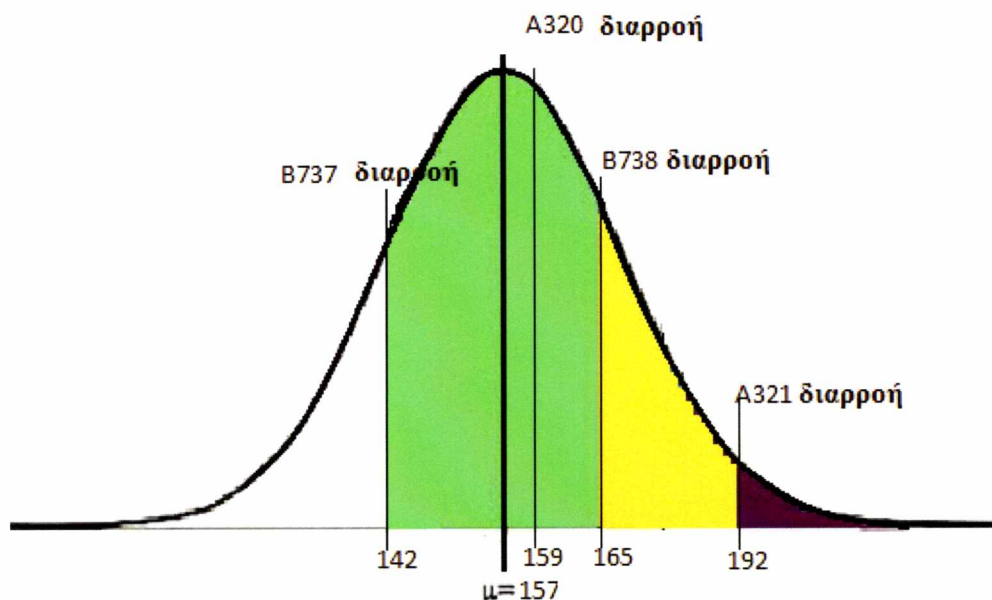
Κόστος διαρροής των επιβατών (passenger spill cost). Η ζήτηση των επιβατών είναι ένα σημαντικό ζήτημα για την εκχώρηση αεροσκαφών σε κάθε πτήση. Η εκχώρηση αεροσκαφών μεγάλης χωρητικότητας σε πτήσεις με χαμηλή ζήτηση οδηγεί σε χαμηλή χρησιμοποίηση και κατά συνέπεια σε χαμηλό έσοδα για την αεροπορική εταιρεία. Αντίθετα, η ανάθεση μικρών αεροσκαφών σε πτήσεις με υψηλή ζήτηση οδηγεί σε διαρροές των επιβατών. Διαρροή (spill) έχουμε δηλαδή όταν ο βαθμός της μέσης ζήτησης υπερβαίνει την προσφορά. Το κόστος διαρροής είναι, ως εκ τούτου τα έσοδα των χαμένων επιβάτες, εξαιτίας της ανεπαρκούς χωρητικότητας του αεροσκάφους. Υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Κόστος διαρροής} = \text{Αναμενόμενος αριθμός διαρροής επιβατών} \times \text{RASM} \times \text{απόσταση}$$

$$\text{Όπου ο αναμενόμενος αριθμός διαρροής επιβατών} = \int_c^{\infty} (x - c)f(x)dx.$$

Το c συμβολίζει την χωρητικότητα ενώ η $f(x)$ είναι η συνάρτηση κατανομής πιθανότητας της ζήτησης. Το παραπάνω ολοκλήρωμα επιλύθηκε με τη χρήση υπολογιστικού φύλλου MS Excel για την προσέγγιση του αναμενόμενου αριθμού των χαμένων επιβατών χρησιμοποιώντας προσομοίωση.

Στην περίπτωση της πτήσης No1 (Άγκυρα- Ιστανμπούλ) τα δεδομένα δείχνουν ότι η ζήτηση για αυτή τη πτήση είναι κανονικά κατανεμημένη με μέση τιμή 157 και μια τυπική απόκλιση 31 επιβάτες (Πίνακας 3). Το Σχήμα 5 δείχνει την κατανομή της ζήτησης για τη συγκεκριμένη πτήση. Οι σκιασμένες περιοχές δείχνουν την πιθανότητα διαρροές των επιβατών για τους τέσσερις τύπους του στόλου. Η διαρροή είναι βασικά η κολόβωση της κατανομής της ζήτησης πέρα από την ικανότητα του αεροσκάφους.



Σχήμα 5 Κατανομή ζήτησης και οι διαρροές των επιβατών

Με τη χρήση των λειτουργιών του MS Excel, ο αναμενόμενος αριθμός των επιβατών που θα διαρρεύσει από ένα αεροσκάφος τύπου A320 (159 θέσεις), μπορεί να προσδιοριστεί σύμφωνα με τη ζήτηση της πτήσης. Εάν η ζήτηση υπερβεί στην προσομοίωση την ικανότητα του αεροσκάφους, υπολογίζεται η διαφορά (διαρροή = ζήτηση θέσεων - θέσεις αεροσκάφους), διαφορετικά δεν υπάρχει καμία διαρροή.

Χρησιμοποιώντας αυτήν την μέθοδο, ο Πίνακας 6 περιλαμβάνει για την πτήση No1 τον αναμενόμενο αριθμό διαρροής επιβατών με τα αντίστοιχα κόστη και για τα τέσσερα είδη αεροσκαφών. Ομοίως υπολογίζονται τα κόστη και για τις 45 υπόλοιπες πτήσεις.

Πίνακας 6 Αναμενόμενη διαρροή επιβατών και κόστη

| Τύπος Αεροσκάφους | Αριθμός Καθισμάτων | Αναμενόμενη διαρροή επιβατών | Αναμενόμενο κόστος διαρροής |
|-------------------|--------------------|------------------------------|-----------------------------|
| A320 | 159 | 11.5 | \$522.61 |
| A321 | 192 | 0 | 0 |
| B737 | 142 | 28.5 | \$1,294.41 |
| B738 | 165 | 5.5 | \$250.21 |

Κέρδος από επανάκτηση επιβατών (Recapture Rate). Είναι ένας δείκτης στενά συνδεδεμένος με το κόστος διαρροής και αντιπροσωπεύει το ποσοστό των επιβατών που διέρρευσαν, αλλά θα μπορούσαν να φιλοξενηθούν ή να απορροφηθούν εκ νέου σε άλλες πτήσεις από την ίδια εταιρεία. Στη περίπτωση μας, λόγω της χαμηλής συχνότητας πτήσεων το ποσοστό επανάκτησης είναι χαμηλό, περίπου 15%, και για αυτό δεν θα ληφθεί υπόψη.

Κεφάλαιο 3 Αριθμητικά αποτελέσματα

Συνοψίζοντας το συνολικό κόστος ισούται με το άθροισμα των λειτουργικών δαπανών και το κόστος που απορρέει από την διαρροή.

$$\text{Συνολικό Κόστος} = \text{Λειτουργικές δαπάνες} + \text{Κόστος διαρροής επιβατών}$$

Επιστρέφοντας στο παράδειγμα μας και λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα που παρουσιάσαμε στους Πίνακες 5 και 6 , προκύπτει ο Πίνακας 7 που όπου παρουσιάζεται το συνολικό κόστος για την πτήση Νο1.

Πίνακας 7 Συνολικό Κόστος

| Τύπος Αεροσκάφους | Συνολικό Κόστος |
|-------------------|-----------------|
| A320 | \$3,443.14 |
| A321 | \$2,376.69 |
| B737 | \$4,005.19 |
| B738 | \$3,270.84 |

Ομοίως υπολογίζεται το συνολικό κόστος για τις πτήσεις που υπολείπονται.

3.1.1.3 Αποτελέσματα Ανάθεσης

Πίνακας 8 Ανάθεση αεροσκαφών για τις τούρκικες αερογραμμές

| Αριθμός Πτήσης | Αναχώρηση | Άφιξη | Ανάθεση Επίλυση Cplex | Ανάθεση Επίλυση LINDO |
|----------------|------------|------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 | Άγκυρα | Ιστανμπούλ | A320 | B738 |
| 2 | Τράμπζον | Ιστανμπούλ | A321 | A321 |
| 3 | Άγκυρα | Ιστανμπούλ | A321 | B737 |
| 4 | Ιστανμπούλ | Γκαζιαντέπ | B737 | B737 |
| 5 | Αττάλεια | Ιστανμπούλ | A320 | A321 |
| 6 | Ιστανμπούλ | Άδανα | B737 | A320 |
| 7 | Άγκυρα | Ιστανμπούλ | A320 | A320 |
| 8 | Ιστανμπούλ | Άγκυρα | B737 | B738 |
| 9 | Άγκυρα | Ιστανμπούλ | A320 | B737 |
| 10 | Γκαζιαντέπ | Ιστανμπούλ | A321 | A321 |
| 11 | Ιστανμπούλ | Αττάλεια | B737 | B737 |
| 12 | Ιστανμπούλ | Τράμπζον | B737 | A320 |
| 13 | Ιστανμπούλ | Ερζερούμ | B737 | B737 |
| 14 | Ιστανμπούλ | Σμύρνη | A320 | B738 |
| 15 | Σμύρνη | Ιστανμπούλ | A320 | B737 |
| 16 | Χατάυ | Ιστανμπούλ | A321 | A320 |

Κεφάλαιο 3 Αριθμητικά αποτελέσματα

| | | | | |
|----|------------|------------|------|------|
| 17 | Ιστανμπούλ | Αττάλεια | B737 | A321 |
| 18 | Ιστανμπούλ | Άγκυρα | B737 | B737 |
| 19 | Ερζερούμ | Ιστανμπούλ | B737 | B737 |
| 20 | Αττάλεια | Ιστανμπούλ | A321 | A320 |
| 21 | Ιστανμπούλ | Άδανα | B737 | B737 |
| 22 | Άγκυρα | Ιστανμπούλ | A321 | A321 |
| 23 | Ιστανμπούλ | Άγκυρα | B737 | A320 |
| 24 | Ιστανμπούλ | Σμύρνη | B737 | B737 |
| 25 | Ιστανμπούλ | Χατάυ | A320 | B738 |
| 26 | Ιστανμπούλ | Άγκυρα | A321 | A321 |
| 27 | Άδανα | Ιστανμπούλ | A321 | A320 |
| 28 | Ιστανμπούλ | Άδανα | A320 | A320 |
| 29 | Σμύρνη | Ιστανμπούλ | B738 | B737 |
| 30 | Ιστανμπούλ | Γκαζιαντέπ | A320 | B738 |
| 31 | Χατάυ | Ιστανμπούλ | A321 | A321 |
| 32 | Ιστανμπούλ | Άγκυρα | B737 | B738 |
| 33 | Άδανα | Ιστανμπούλ | B738 | B737 |
| 34 | Ιστανμπούλ | Αττάλεια | B737 | A320 |
| 35 | Άγκυρα | Ιστανμπούλ | B738 | B737 |
| 36 | Ιστανμπούλ | Ερζερούμ | B737 | B737 |
| 37 | Ιστανμπούλ | Αττάλεια | A320 | B737 |
| 38 | Άδανα | Ιστανμπούλ | B737 | B737 |
| 39 | Αττάλεια | Ιστανμπούλ | A320 | B737 |
| 40 | Τράμπζον | Ιστανμπούλ | A320 | A320 |
| 41 | Ιστανμπούλ | Άγκυρα | A320 | B737 |
| 42 | Γκαζιαντέπ | Ιστανμπούλ | B737 | B737 |
| 43 | Ιστανμπούλ | Χατάυ | B737 | A320 |
| 44 | Ερζερούμ | Ιστανμπούλ | A320 | B737 |
| 45 | Αττάλεια | Ιστανμπούλ | A320 | B737 |
| 46 | Ιστανμπούλ | Τράμπζον | B737 | A320 |

Πίνακας 9 Βέλτιστος αριθμός των αεροσκαφών προσγειωμένα τη διάρκεια της νύχτας σε κάθε αεροδρόμιο- Αποτελέσματα Cplex

| Αεροδρόμιο | A320 | A321 | B737 | B738 |
|------------|------|------|------|------|
| Άδανα | 3 | 1 | - | - |
| Άγκυρα | 3 | 2 | - | 1 |
| Αττάλεια | - | 2 | 1 | 2 |
| Ερζερούμ | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Γκαζιαντέπ | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Χατάυ | 4 | 2 | 2 | 2 |
| Ιστανμπούλ | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Σμύρνη | 2 | - | 3 | 1 |
| Τράμπζον | 4 | 2 | 2 | 2 |

Πίνακας 10 Βέλτιστος αριθμός των αεροσκαφών προσγειωμένα τη διάρκεια της νύχτας σε κάθε αεροδρόμιο- Αποτελέσματα LINDO

| Αεροδρόμιο | A320 | A321 | B737 | B738 |
|------------|------|------|------|------|
| Αδανα | - | - | - | - |
| Άγκυρα | 1 | 1 | 2 | 1 |
| Αττάλεια | 1 | 1 | - | - |
| Ερζερούμ | - | - | - | - |
| Γκαζιαντέπ | - | 1 | - | - |
| Χατάν | - | - | - | 1 |
| Ιστανμπούλ | 2 | - | 6 | 2 |
| Σμύρνη | 1 | - | 1 | - |
| Τράμπζον | 1 | 1 | - | - |

Πίνακας 11 Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης-Χρόνος επίλυσης

| Λογισμικό επίλυσης | Τιμή αντικειμενικής | Χρόνος Επίλυσης (sec) |
|--------------------|---------------------|-----------------------|
| Cplex | \$142,994.6 | 0.22 |
| LINDO | \$151,311.8 | 0.45 |

3.1.1.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Όπως είναι φανερό τα αποτελέσματα από τις 2 μεθόδους επίλυσης δεν συμπίπτουν σε όλες τις περιπτώσεις. Όσο αφορά την εκχώρηση του στόλου, μόνο 19 στις 46 πτήσεις συμπίπτουν ενώ στις υπόλοιπες έχει γίνει διαφορετική ανάθεση. Επίσης, ο αριθμός των αεροσκαφών που διανυκτερεύουν στα αεροδρόμια είναι μεγαλύτερος στις περισσότερες περιπτώσεις σε σχέση με τα αποτελέσματα που παρέχει το paper.

Οι διαφορές αυτές πιθανότατα προκύπτουν από το γεγονός ότι α) τα κόστη ανά τύπο αεροσκάφους προέκυψαν από στήλη παραγωγής τυχαίας ζήτησης στο excel με αποτέλεσμα το κόστος ανάθεσης να διαφοροποιείται σε κάθε περίπτωση και β) η καταμέτρηση των αεροσκαφών προς διανυκτέρευση ίσως να πραγματοποιείται μια χρονική στιγμή που υπάρχουν ακόμη αεροσκάφη στον αέρα, με αποτέλεσμα να μην συνυπολογίζονται.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω μπορούμε να κατανοήσουμε την διαφορά και στην τελική τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης.

3.1.2 Μοντέλο ανάθεσης αεροσκαφών –Μεγιστοποίηση κέρδους

3.1.2.1 Δεδομένα

Το μοντέλο που αναλύεται σε αυτήν την περίπτωση αφορά μια εταιρεία που δραστηριοποιείται στις εγχώριες μεταφορές φορτίου με έδρα την Κωνσταντινούπολη. Το κέρδος μεγιστοποιείται υπό την προϋπόθεση ότι όλες οι καθορισμένες πτήσεις θα διεξάγονται χρησιμοποιώντας όλα τα αεροσκάφη του στόλου, τα οποία θα επιστρέφουν στην Κωνσταντινούπολη στο τέλος της ημέρας.

Υπάρχουν τέσσερα διαθέσιμα αεροσκάφη, τρία Airbus 310 και ένα αεροσκάφος Airbus 310, τα οποία πρέπει να εκτελέσουν 11 πτήσεις στη διάρκεια μιας ημέρας. Τα δεδομένα πτήσεων δηλαδή τα ονόματα των πόλεων, οι ώρες αναχώρησης των αεροσκαφών για κάθε πτήση και οι χρόνοι πτήσης για κάθε διαδρομή δίνονται στον Πίνακα 12 ενώ τα χαρακτηριστικά των αεροδρομίων δίνονται στον Πίνακα 13. Τα αεροδρόμια είναι:

1. Αεροδρόμιο της Κωνσταντινούπολης
2. Αεροδρόμιο της Άγκυρας
3. Αεροδρόμιο της Σμύρνης
4. Αεροδρόμιο της Άδανα

Πίνακας 12 Πληροφορίες Πτήσεων

| Διαδρομή | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------|-----------|-----------|
| Πόλεις | 1-2 | 2-1 | 1-2 | 1-4 | 1-3 | 2-1 | 1-2 | 3-1 | 4-1 | 2-3 | 3-1 |
| Διάρκεια | 1ώρα α | 1ώρα α | 1ώρα α | 1ώρα 35λεπ τά | 1ώρα α | 1ώρα α | 1ώρα α | 1ώρα α | 1ώρα 35λεπ τά | 1ώρα α | 1ώρα α |
| Αναχώρη ση | 08:0 0 | 10:3 0 | 12:3 0 | 13:00 | 15:0 0 | 16:0 0 | 17:0 0 | 18:0 0 | 19:00 | 20:0 0 | 22:3 0 |

Πίνακας 13 Χαρακτηριστικά Αεροδρομίων

| Αριθμός Αεροδρομίων | 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Αεροδρόμιο | Κων/πολη | Άγκυρα | Σμύρνη | Άντανα |
| Διαστάσεις | 3000 x 45 | 3750 x 45 | 3240 x 45 | 2750 x 45 |
| Διαδρόμους | 3000 x 45 2300 x 60 | 3750 x 60 | 3240 x 45 | |

Κεφάλαιο 3 Αριθμητικά αποτελέσματα

Κατά την ανάπτυξη των διαγραμμάτων πτήσης, λήφθηκε υπόψη θα πρέπει να ικανοποιούνται ορισμένα κριτήρια. Τα κριτήριά μας είναι τα εξής:

- Υλοποίηση κάθε πτήσης;
- Αξιοποίηση όλων των αεροσκαφών;
- Χαρακτηριστικά του αεροσκάφους;
- Επιστροφή των αεροσκαφών στο αεροδρόμιο, στο τέλος της ημέρας, από όπου απογειώθηκε.

Ο Πίνακας 14 δείχνει ποιές πτήσεις εκτελούνται από το Airbus 310 ανάλογα το πλάνο πτήσης που επιλέγεται, καθώς κάθε σενάριο πραγματοποιεί ένα συγκεκριμένο σύνολο πτήσεων. Ομοίως ο Πίνακας 15 παρουσιάζει τις πτήσεις που εκτελούνται το Airbus 330.

Πίνακας 14 Πτήσεις που εκτελεί το Airbus 310

| Αριθμός Πτήσης/ Πρόγραμμα | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| α^1_{1j} | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| α^2_{1j} | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| α^3_{1j} | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| α^4_{1j} | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| α^5_{1j} | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| α^6_{1j} | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| α^7_{1j} | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| α^8_{1j} | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| α^9_{1j} | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| α^{10}_{1j} | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| α^{11}_{1j} | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| α^{12}_{1j} | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| α^{13}_{1j} | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| α^{14}_{1j} | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

Πίνακας 15 Πτήσεις που εκτελεί το Airbus 330

| Αριθμός Πτήσης/ Πρόγραμμα | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| α^1_{2j} | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| α^2_{2j} | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

3.1.2.2 Κόστος Ανάθεσης

Ο πίνακας 16 παρουσιάζει τα κόστη ανάθεσης εκφρασμένα σε τούρκικες λίρες (TL^{hh}) των αεροσκαφών, τα οποία είναι υπολογισμένα και δίνονται κατευθείαν από το paper. Προέκυψαν αφότου συνυπολογιστήκαν κόστη όπως κατανάλωσης καυσίμου, διανυκτέρευσης, φόρτωσης-εκφόρτωσης, μεταφοράς ειδικών φορτίων με ULD κ.λπ..

Πίνακας 16 Κόστος Ανάθεσης

| Πλάνο πτήσης | Κέρδος Airbus 310 | Κέρδος Airbus 330 |
|--------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 4.504,07 TL | 9.379,23 TL |
| 2 | 4.744,49 TL | 8.555,17 TL |
| 3 | 6.428,25 TL | 0 |
| 4 | 6.403,82 TL | 0 |
| 5 | 9.794,88 TL | 0 |
| 6 | 3.099,96 TL | 0 |
| 7 | 8.474,81 TL | 0 |
| 8 | 9.794,88 TL | 0 |
| 9 | 3.124,39 TL | 0 |
| 10 | 8.474,81 TL | 0 |
| 11 | 8.501,36 TL | 0 |
| 12 | 3.301,74 TL | 0 |
| 13 | 3.277,31 TL | 0 |
| 14 | 1.593,00 TL | 0 |

3.1.2.3 Αποτελέσματα Ανάθεσης

Ο πίνακας 17 παρουσιάζει την ανάθεση των 4 αεροσκαφών της εταιρίας μεταφορών κατόπιν επίλυσης με λογισμικό LINDO και Cplex ενώ ο πίνακας 18 την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης.

Πίνακας 17 Αποτελέσματα Ανάθεσης

| Λογισμικό επίλυσης | Ανάθεση A310 | Ανάθεση A330 |
|--------------------|--------------|--------------|
| Cplex | 9,11,12 | 1 |
| LINDO | 11,12,14 | 1 |

Πίνακας 18 Τιμή αντικειμενικής συνάρτησης-Χρόνος επίλυσης

| Λογισμικό επίλυσης | Τιμή αντικειμενικής | Χρόνος Επίλυσης (sec) |
|--------------------|---------------------|-----------------------|
| Cplex | 23.482,7 TL | 0,03 |
| LINDO | 22,775,89 TL | 0,54 |

^{hh} 1.00 TRY = 0.36 EUR

3.1.2.4 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα επίλυσης που προέκυψαν με την Cplex σε αυτή την περίπτωση είναι ευνοϊκότερα από αυτά που προσφέρει το LINDO. Η αντικατάσταση του σεναρίου 14 με το 9 αύξησε την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης από τις 22,775,89 TL στις 23.482,7 TL. Μπορεί η διαφορά να είναι μικρή (706,81 TL) αλλά αφορά το κέρδος από την εκτέλεση 11 πτήσεων κατά την διάρκεια μιας ημέρας. Σε χρονικό ορίζοντα ενός μήνα (30 ημέρες) το κέρδος από την βελτιωμένη λύση ανέρχεται στις 21.183,3 TL, που είναι ουσιαστικό κέρδος για την εταιρεία.

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε η περιγραφή, η επίλυση και η σύγκριση δύο διαφορετικών μοντελοποιήσεων του προβλήματος ανάθεσης αεροσκαφών. Για τα παραδείγματα που αναπτύχθηκαν στην ενότητα 3, η δεύτερη μοντελοποίηση είναι αποτελεσματικότερη, αποδίδοντας καλύτερη λύση σε ορισμένα δευτερόλεπτα. Η πρώτη μοντελοποίηση είναι δυνατόν να επιλυθεί καλύτερα κατόπιν ορισμένων διευκρινήσεων όσο αφορά την διανυκτέρευση των αεροσκαφών.

Και οι δύο μοντελοποιήσεις αποτελούν έναν σωστό και γρήγορο τρόπο επίλυσης του προβλήματος ανάθεσης, με τη δεύτερη να είναι σε ελάχιστο βαθμό καλύτερη από τη πρώτη ,κατόπιν σύγκρισης των αποτελεσμάτων σύμφωνα πάντα με αυτά που δόθηκαν από τις εξεταζόμενες περιπτώσεις.

5 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρακάτω παρουσιάζονται οι κώδικες που δημιουργήθηκαν για την επίλυση των δύο μοντελοποιήσεων.

5.1 Μοντέλο ελαχιστοποίησης κόστους

```
#include <ilcplex/ilocplex.h>

ILOSTLBEGIN

int i,j,k;

const int imax=46;//Index for flights

const int jmax=4;// Index for fleet type

const int kmax=66;//Index for nodes

int

main (int argc, char **argv)

{

double C[imax][jmax]; // Cost of assigning fleet typej to flight i

double N[jmax];// Number of available aircraft in fleet type j

double S[imax][kmax];// +1 if flight is an arrival,-1 if it is a departure

for (i=0;i<imax;i++){

    for (j=0;j<jmax;j++){

        C[i][j]=0;

    }

}
```

| | | |
|---------------|----------------|-----------------|
| C[0][0]=3443; | C[6][0]=1736; | C[12][0]=4776; |
| C[0][1]=2376; | C[6][1]=2092; | C[12][1]=6018; |
| C[0][2]=4005; | C[6][2]=2298; | C[12][2]=4172; |
| C[0][3]=3270; | C[6][3]=1760; | C[12][3]=5064; |
| C[1][0]=4333; | C[7][0]=1660; | C[13][0]=1492; |
| C[1][1]=5271; | C[7][1]=2092; | C[13][1]=1880; |
| C[1][2]=5749; | C[7][2]=1450; | C[13][2]=1303; |
| C[1][3]=4435; | C[7][3]=1760; | C[13][3]=1582; |
| C[2][0]=4252; | C[8][0]=1660; | C[14][0]=1492; |
| C[2][1]=3186; | C[8][1]=2092; | C[14][1]=1880; |
| C[2][2]=4814; | C[8][2]=1450; | C[14][2]=1303; |
| C[2][3]=4080; | C[8][3]=1760; | C[14][3]=1582; |
| C[3][0]=3964; | C[9][0]=6576; | C[15][0]=10259; |
| C[3][1]=4995; | C[9][1]=4995; | C[15][1]=7849; |
| C[3][2]=3463; | C[9][2]=7918; | C[15][2]=11529; |
| C[3][3]=4203; | C[9][3]=6164; | C[15][3]=9870; |
| C[4][0]=4094; | C[10][0]=2194; | C[16][0]=2194; |
| C[4][1]=2764; | C[10][1]=2764; | C[16][1]=2764; |
| C[4][2]=4837; | C[10][2]=1917; | C[16][2]=1917; |
| C[4][3]=3867; | C[10][3]=2326; | C[16][3]=2326; |
| C[5][0]=3240; | C[11][0]=4183; | C[17][0]=1660; |
| C[5][1]=4082; | C[11][1]=5271; | C[17][1]=2090; |
| C[5][2]=2830; | C[11][2]=3655; | C[17][2]=1450; |
| C[5][3]=3435; | C[11][3]=4435; | C[17][3]=1760; |

| | | |
|----------------|-----------------|----------------|
| C[18][0]=4776; | C[24][0]=3752; | C[30][0]=5449; |
| C[18][1]=6018; | C[24][1]=4727; | C[30][1]=4727; |
| C[18][2]=4172; | C[24][2]=4896; | C[30][2]=6720; |
| C[18][3]=5064; | C[24][3]=3978; | C[30][3]=5060; |
| C[19][0]=4161; | C[25][0]=6176; | C[31][0]=1660; |
| C[19][1]=2764; | C[25][1]=5110; | C[31][1]=2092; |
| C[19][2]=4904; | C[25][2]=6738; | C[31][2]=1450; |
| C[19][3]=3934; | C[25][3]=6004; | C[31][3]=1760; |
| C[20][0]=3240; | C[26][0]=9796; | C[32][0]=3691; |
| C[20][1]=4082; | C[26][1]=7714; | C[32][1]=4082; |
| C[20][2]=2830; | C[26][2]=10892; | C[32][2]=4788; |
| C[20][3]=3435; | C[26][3]=9459; | C[32][3]=3435; |
| C[21][0]=3786; | C[27][0]=3335; | C[33][0]=2194; |
| C[21][1]=2720; | C[27][1]=4082; | C[33][1]=2764; |
| C[21][2]=4348; | C[27][2]=4432; | C[33][2]=1917; |
| C[21][3]=3614; | C[27][3]=3435; | C[33][3]=2326; |
| C[22][0]=1660; | C[28][0]=1988; | C[34][0]=6466; |
| C[22][1]=2092; | C[28][1]=1880; | C[34][1]=6018; |
| C[22][2]=1450; | C[28][2]=2493; | C[34][2]=8083; |
| C[22][3]=1760; | C[28][3]=1834; | C[34][3]=5970; |
| C[23][0]=1492; | C[29][0]=3964; | C[35][0]=2194; |
| C[23][1]=1880; | C[29][1]=4995; | C[35][1]=2764; |
| C[23][2]=1303; | C[29][2]=4496; | C[35][2]=1917; |
| C[23][3]=1582; | C[29][3]=4203; | C[35][3]=2326; |

```

C[36][0]=1660;          C[39][2]=5080;          C[43][0]=4776;
C[36][1]=2092;          C[39][3]=4435;          C[43][1]=6018;
C[36][2]=1450;          C[40][0]=1660;          C[43][2]=6317;
C[36][3]=1760;          C[40][1]=2092;          C[43][3]=5064;
C[37][0]=3240;          C[40][2]=1450;          C[44][0]=2194;
C[37][1]=4082;          C[40][3]=1760;          C[44][1]=2764;
C[37][2]=2830;          C[41][0]=3964;          C[44][2]=1917;
C[37][3]=3435;          C[41][1]=4995;          C[44][3]=2326;
C[38][0]=2194;          C[41][2]=3463;          C[45][0]=4183;
C[38][1]=2764;          C[41][3]=4203;          C[45][1]=5271;
C[38][2]=1917;          C[42][0]=3751;          C[45][2]=3655;
C[38][3]=2326;          C[42][1]=4727;          C[45][3]=4435;
C[39][0]=4183;          C[42][2]=3278;
C[39][1]=5271;          C[42][3]=3978;

for (j=0;j<jmax;j++){
    N[j]=0;
}

N[0]=25;
N[1]=21;
N[2]=14;
N[3]=52;

```

```

for (i=0;i<imax;i++){
    for (k=0;k<kmax;k++){
        S[i][k]=0;
    }
}

S[0][0]=-1;           S[9][19]=1;
S[0][2]=1;           S[10][12]=-1;
S[1][1]=-1;          S[10][17]=1;
S[1][8]=1;           S[11][12]=-1;
S[2][3]=-1;          S[11][20]=1;
S[2][7]=1;           S[12][14]=-1;
S[3][4]=-1;          S[12][22]=1;
S[3][10]=1           S[13][15]=-1;
S[4][5]=-1;          S[13][21]=1;
S[4][11]=1;          S[14][15]=-1;
S[5][6]=-1;          S[14][21]=1;
S[5][12]=1;          S[15][16]=-1;
S[6][9]=-1;          S[15][24]=1;
S[6][13]=1;          S[16][18]=-1;
S[7][9]=-1;          S[16][23]=1;
S[7][13]=1;          S[17][25]=-1;
S[8][12]=-1;          S[17][27]=1;
S[8][16]=1;          S[18][25]=-1;
S[9][12]=-1;          S[18][29]=1;

```


S[19][26]=-1; S[32][43]=-1;
S[19][30]=1; S[32][52]=1;
S[20][28]=-1; S[33][44]=-1;
S[20][33]=1; S[33][50]=1;
S[21][31]=-1; S[34][45]=-1;
S[21][35]=1; S[34][52]=1;
S[22][31]=-1; S[35][45]=-1;
S[22][35]=1; S[35][55]=1;
S[23][31]=-1; S[36][47]=-1;
S[23][35]=1; S[36][53]=1;
S[24][32]=-1; S[37][48]=-1;
S[24][39]=1; S[37][56]=1;
S[26][36]=-1; S[38][49]=-1;
S[26][43]=1; S[38][54]=1;
S[27][37]=-1; S[39][51]=-1;
S[27][44]=1; S[39][59]=1;
S[28][37]=-1; S[40][57]=-1;
S[28][42]=1; S[40][61]=1;
S[29][40]=-1; S[41][57]=-1;
S[29][46]=1; S[41][64]=1;
S[30][41]=-1; S[42][57]=-1;
S[30][50]=1; S[42][64]=1;
S[31][41]=-1; S[43][57]=-1;
S[31][46]=1; S[43][61]=1;

```

S[44][58]=-1;

S[44][62]=1;

S[45][60]=-1;

S[45][65]=1;

IloEnv env;

    try {

        IloModel model (env);

typedef IloArray<IloNumArray> IloNumMatrix2x2;

//typedef IloArray<IloNumMatrix2x2> IloNumMatrix3x3;

//typedef IloArray<IloNumMatrix3x3> IloNumMatrix4x4;

typedef IloArray<IloNumVarArray> IloNumVarMatrix2x2;

typedef IloArray<IloNumVarMatrix2x2> IloNumVarMatrix3x3;

typedef IloArray<IloNumVarMatrix3x3> IloNumVarMatrix4x4;

typedef IloArray<IloRangeArray> IloRangeMatrix2x2;

typedef IloArray<IloRangeMatrix2x2> IloRangeMatrix3x3;

typedef IloArray<IloRangeMatrix3x3> IloRangeMatrix4x4;

IloCplex cplex(env);

//-----

//-----METAVLITES APOFASIS -----

```

```

//-----
//-----Xij-----
IloNumVarMatrix2x2 Xij(env,0);

for (i=0;i<imax;i++){

    IloNumVarArray Xj(env,0);

    for (j=0;j<jmax;j++){

        char Ana8esh[70];

        sprintf(Ana8esh,"Xij(i%d,j%d)",i,j);

        IloNumVar X(env,0,1,ILOINT,Ana8esh);

        Xj.add(X);

    }

    Xij.add(Xj);

}

cout<<1<<endl;

//-----Gkj-----

IloNumVarMatrix2x2 Gkj(env,0);

for (k=0;k<kmax;k++){

    IloNumVarArray Gj(env,0);

    for (j=0;j<jmax;j++){

        char Ground[70];

        sprintf(Ground,"Gkj(k%d,j%d)",k,j);

        IloNumVar G(env,0,1000000,ILOFLOAT,Ground);

        Gj.add(G);

    }

}

```

```

    }

    Gkj.add(Gj);

}

cout<<2<<endl;

//-----Constrain_1-----
//-----Flight cover-----
//----- SXij=1,gia kathe i-----

IloRangeArray Constrain_1i(env,0);

    for (i=0;i<imax;i++){

        IloExpr expr(env,0);

        for (j=0;j<jmax;j++){

            expr+=Xij[i][j];

        }

        char Flight_Cover[60];

        sprintf(Flight_Cover,"Constrain_1(i%d)",i);

        float LB=1,UB=1;

        IloRange Constrain_1(env,LB,expr,UB,Flight_Cover);

        expr.end();

        model.add(Constrain_1);

        Constrain_1i.add(Constrain_1);

    }

cout<<3<<endl;

```

```

//-----Constrain_2-----
//-----Aircraft_Balance-----
//-----Gk-1,j+S(Sik * Xij)= Gkj,gia kathe k,j-----

//-----(allagi)-----Gk,j+S(Si,k+1 * Xij)= Gk+1,j,gia kathe k,j-----

IloRangeMatrix2x2 Constrain_2kj(env,0);

for (k=1;k<kmax;k++){

    IloRangeArray Constrain_2j(env,0);

    for (j=0;j<jmax;j++){

        IloExpr expr1(env,0);

        IloExpr expr2(env,0);

        for (i=0;i<imax;i++){

            expr1+=S[i][k]*Xij[i][j];

        }

        expr2=expr1+Gkj[k-1][j]-Gkj[k][j];

        char Aircraft_Balance[60];

        sprintf(Aircraft_Balance,"Constrain_2(k%d,j%d)",k,j);

        float LB=0,UB=0;

        IloRange
Constrain_2(env,LB,expr2,UB,Aircraft_Balance);//na expr2?

        expr1.end();

        expr2.end();

```



```

        model.add(Constrain_2);

        Constrain_2j.add(Constrain_2);

    }

    Constrain_2kj.add(Constrain_2j);

}

cout<<4<<endl;

//-----Constrain_3-----

//-----Fleet_size-----

//-----S Gkj<=Nj,gia kathe j-----

//IloNumVarArray Constrain_3j(env,0);

    IloRangeArray Constrain_3j(env,0);

    for (j=0;j<jmax;j++){

        IloExpr expr(env,0);

        //for (k=0;k<kmax;k++){

            expr+=Gkj[37][j]+Gkj[48][j]+Gkj[57][j]+Gkj[58][j]+Gkj[58][j]+Gkj[61][j]+Gkj[64][
j]+Gkj[64][j]+Gkj[65][j];

            //}

        char Flight_Size[60];

        sprintf(Flight_Size,"Constrain_3(k%d,j%d)",k,j);

        float LB=0,UB=N[j];

        IloRange Constrain_3(env,LB,expr,UB,Flight_Size);

        expr.end();

```

```

        model.add(Constrain_3);

        Constrain_3j.add(Constrain_3);
    }

    cout<<5<<endl;

//Constrain_3kj.add(Constrain_3j);

//}

//-----
//-----Objective Function -----
//-----

IloExpr expr1(env);
for (i=0;i<imax;i++){
    for (j=0;j<jmax;j++){
        expr1+=C[i][j]*Xij[i][j];
    }
}

model.add(IloMinimize(env, expr1));

expr1.end();

cplex.extract(model);

cplex.exportModel("fam.lp");

cplex.solve();

```

```

if (!cplex.solve ()) {

    env.error() << "Failed to optimize LP." << endl;

    throw(-1);

}

env.out() << "Solution status = " << cplex.getStatus() << endl;

env.out() << "Solution value = " << cplex.getObjValue() << endl;

//-----

//-----SHOW DECISION VARIABLES-----

for (i=0; i<imax; i++) {

    for (j=0; j<jmax; j++) {

        int g = cplex.getValue(Xij[i][j]);

        if (g!=0)

cout << "Xij" << "(" << i << ", " << j << ")" << "=" << g << endl;

    }

}

for (k=0; k<kmax; k++) {

    for (j=0; j<jmax; j++) {

        int g = cplex.getValue(Gkj[k][j]);

```

```

        if(g!=0)
cout<<"Gkj"<<"("<<k<<" "<<j<<"")<<"="<<g<<endl;

        }

    }

//cout<<"-----";

//cout<<gg;

//cout<<endl;

}

catch ( IOException& e){

    cerr << "concert exception caught:"<<e<<endl;

}

catch (...){

    cerr<<"Unknown exception caught" <<endl;

}

env.end();

return 0;

} //End main

```

5.2 Μοντέλο μεγιστοποίησης κέρδους

```
#include <ilcplex/ilocplex.h>
```

```
ILOSTLBEGIN
```

```
int i,j,p,l;
```

```

const int imax=2;//Index for fleet type

const int jmax=11;// Index for flights

const int lmax=14;//Index for schedules

const int pmax=4; // Index for airports

int

main (int argc, char **argv)

{

double k[imax][lmax]; // Profit of assigning fleet type i to schedule l

double N[imax]; // Number of available aircraft in fleet type i

double o[imax][pmax][lmax]; // 1 if flight is origin to airport

double d[imax][pmax][lmax]; // 1 if flight depart

double a[imax][jmax][lmax]; // flight chart

for (i=0;i<imax;i++){

    for (l=0;l<lmax;l++){

        k[i][l]=0;

    }

}

k[0][0]=4504.07;

k[0][1]=4744.49;

k[0][2]=6428.25;

```

```

k[0][3]=6403.82;
k[0][4]=9794.88;
k[0][5]=3099.96;
k[0][6]=8474.81;
k[0][7]=9794.88;
k[0][8]=3124.39;
k[0][9]=8474.81;
k[0][10]=8501.36;
k[0][11]=3301.74;
k[0][12]=3277.31;
k[0][13]=1593;
k[1][0]=9379.23;
k[1][1]=8555.17;
for (i=0;i<imax;i++){
    N[i]=0;
}
N[0]=3;
N[1]=1;

for (i=0;i<imax;i++){
    for (j=0;j<jmax;j++){
        for (l=0;l<lmax;l++){
            a[i][j][l]=0;
        }
    }
}

```



```
    }  
}
```

```
a[0][0][0]=1;      a[0][3][1]=1;      a[0][9][9]=1;  
a[0][0][1]=1;      a[0][3][13]=1;     a[0][9][10]=1;  
a[0][0][2]=1;      a[0][4][2]=1;      a[0][10][3]=1;  
a[0][0][3]=1;      a[0][4][3]=1;      a[0][10][4]=1;  
a[0][0][4]=1;      a[0][4][11]=1;     a[0][10][6]=1;  
a[0][0][5]=1;      a[0][4][12]=1;     a[0][10][7]=1;  
a[0][0][6]=1;      a[0][5][0]=1;      a[0][10][9]=1;  
a[0][0][7]=1;      a[0][5][5]=1;      a[0][10][10]=1;  
a[0][1][0]=1;      a[0][5][8]=1;      a[0][10][12]=1;  
a[0][1][1]=1;      a[0][6][4]=1;      a[1][0][0]=1;  
a[0][1][2]=1;      a[0][6][10]=1;     a[1][0][1]=1;  
a[0][1][3]=1;      a[0][7][2]=1;      a[1][1][0]=1;  
a[0][1][4]=1;      a[0][7][11]=1;     a[1][1][1]=1;  
a[0][0][7]=1;      a[0][8][1]=1;      a[1][2][0]=1;  
a[0][2][0]=1;      a[0][8][13]=1;     a[1][3][1]=1;  
a[0][2][7]=1;      a[0][9][4]=1;      a[1][5][0]=1;  
a[0][2][8]=1;      a[0][9][6]=1;      a[1][8][1]=1;  
a[0][2][9]=1;      a[0][9][7]=1;
```

```

for (i=0;i<imax;i++){
    for (p=0;p<pmax;p++){
        for (l=0;l<lmax;l++){
            o[i][p][l]=0;
        }
    }
}

o[0][0][0]=1;
o[0][0][1]=1;
o[0][0][2]=1;
o[0][0][3]=1;
o[0][0][4]=1;
o[0][0][5]=1;
o[0][0][6]=1;
o[0][0][7]=1;
o[0][0][8]=1;
o[0][0][9]=1;
o[0][0][10]=1;
o[0][0][11]=1;
o[0][0][12]=1;
o[0][0][13]=1;
o[1][0][0]=1;
o[1][0][1]=1;

```

```

for (i=0;i<imax;i++){
    for (p=0;p<pmax;p++){
        for (l=0;l<lmax;l++){
            d[i][p][l]=0;
        }
    }
}

d[0][0][0]=1;
d[0][0][1]=1;
d[0][0][2]=1;
d[0][0][3]=1;
d[0][0][4]=1;
d[0][0][5]=1;
d[0][0][6]=1;
d[0][0][7]=1;
d[0][0][8]=1;
d[0][0][9]=1;
d[0][0][10]=1;
d[0][0][11]=1;
d[0][0][12]=1;
d[0][0][13]=1;
d[1][0][0]=1;
d[1][0][1]=1;

```

```

IloEnv env;

    try {

        IloModel model (env);

typedef IloArray<IloNumArray> IloNumMatrix2x2;

typedef IloArray<IloNumMatrix2x2> IloNumMatrix3x3;

typedef IloArray<IloNumMatrix3x3> IloNumMatrix4x4;

typedef IloArray<IloNumVarArray> IloNumVarMatrix2x2;

typedef IloArray<IloNumVarMatrix2x2> IloNumVarMatrix3x3;

typedef IloArray<IloNumVarMatrix3x3> IloNumVarMatrix4x4;

typedef IloArray<IloRangeArray> IloRangeMatrix2x2;

typedef IloArray<IloRangeMatrix2x2> IloRangeMatrix3x3;

typedef IloArray<IloRangeMatrix3x3> IloRangeMatrix4x4;

IloCplex cplex(env);

//-----

//-----METAVLITES APOFASIS -----

//-----

//-----Xil-----

IloNumVarMatrix2x2 Xil(env,0);

for (i=0;i<imax;i++){

```

```

IloNumVarArray Xl(env,0);

for (l=0;l<lmax;l++){

    char Ana8esh[70];

    sprintf(Ana8esh,"Xil(i%d,l%d)",i,l);

    IloNumVar X(env,0,1,ILOINT,Ana8esh);

    Xl.add(X);

}

Xil.add(Xl);

}

cout<<l<<endl;

```

```

//-----Constrain_1-----
//-----Flight cover-----
//----- S aijl*Xij=1,gia kathe j-----

```

```

IloRangeArray Constrain_1j(env,0);

for (j=0;j<jmax;j++){

    IloExpr expr(env,0);

    for (i=0;i<imax;i++){

        for (l=0;l<lmax;l++){

            expr+=a[i][j][l]*Xil[i][l];

        }

    }

}

```

```

    }

    char Flight_Cover[60];

    sprintf(Flight_Cover,"Constrain_1(j%d)",j);

    float LB=1,UB=1;

    IloRange Constrain_1(env,LB,expr,UB,Flight_Cover);

    expr.end();

    model.add(Constrain_1);

    Constrain_1j.add(Constrain_1);

}

cout<<2<<endl;

//-----Constrain_2-----
//----- SXil=,Ni gia kathe i-----

IloRangeArray Constrain_2i(env,0);

for (i=0;i<imax;i++){

    IloExpr expr(env,0);

    for (l=0;l<lmax;l++){

        expr+=Xil[i][l];

    }

    char Flight_Size[60];

    sprintf(Flight_Size,"Constrain_2(i%d)",i);

    float LB=N[i],UB=N[i]; //nomizw gia to LB

    IloRange Constrain_2(env,LB,expr,UB,Flight_Size);

```



```

        expr.end();

        model.add(Constrain_2);

        Constrain_2i.add(Constrain_2);

    }

cout<<3<<endl;

//-----Constrain_3-----
//-----flow conservation-----
//-----S (dipl-oipl)Xil=0 gia kathe i p-----

IloRangeMatrix2x2 Constrain_2ip(env,0);

    for (i=1;i<imax;i++){

        IloRangeArray Constrain_2p(env,0);

        for (p=0;p<pmax;p++){

            IloExpr expr(env,0);

            for (l=0;l<lmax;l++){

                expr+=(d[i][p][l]-

o[i][p][l])*Xil[i][l];

            }

            char Aircraft_Balance[60];

            sprintf(Aircraft_Balance,"Constrain_3(i%d,p%d)",i,p);

```

```

float LB=0,UB=0;

IloRange
Constrain_2(env, LB, expr, UB, Aircraft_Balance);

expr.end();

model.add(Constrain_2);

Constrain_2p.add(Constrain_2);

}

Constrain_2ip.add(Constrain_2p);

}

cout<<4<<endl;

```

```

//Constrain_3kj.add(Constrain_3j);

//}

//-----
//-----Objective Function -----
//-----

```

```

IloExpr expr1(env);

for (i=0;i<imax;i++){

    for (l=0;l<lmax;l++){

        expr1+=k[i][l]*Xil[i][l];
    }
}

```

```

    }
}

model.add(IloMaximize(env, expr1));

expr1.end();

cplex.extract(model);

cplex.exportModel("fam.lp");

cplex.solve();

if (!cplex.solve ()) {
    env.error() << "Failed to optimize LP." << endl;
    throw(-1);
}

env.out() << "Solution status = " << cplex.getStatus() << endl;
env.out() << "Solution value = " << cplex.getObjValue() << endl;

//-----
//-----SHOW DECISION VARIABLES-----

for (i=0;i<imax;i++){
    for (l=0;l<lmax;l++){
        int g = cplex.getValue(Xil[i][l]);

```

```

        if(g!=0)
cout<<"Xil"<<"("<<i<<","<<l<<")"<<"="<<g<<endl;

        }

    }

//cout<<"-----";

//cout<<gg;

//cout<<endl;

}

catch ( IloException& e){

    cerr << "concert exception caught:"<<e<<endl;

}

catch (...){

    cerr<<"Unknown exception caught" <<endl;

}

env.end();

return 0;

} //End main

```

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abara, J., 1989. Applying integer linear programming to the fleet assignment problem. *Interfaces*, 4 19, pp. 20-28.
- Ashford, N. J. & Wright, P. H., 1979. *Airport Engineering*. 3th ed. New Jersey: Wiley-Interscience.
- Barnhart, C. και συν., 1998. Flight string models for aircraft fleet and routing. *Transportation Science*, 32(3), pp. 208-220.
- Bazargan, M., 2004. *Airline Operations and Scheduling*. 2nd ed. USA: Ashgate.
- Belanger, N., Desaulniers, G., Soumis, F. & Desrosiers, J., 2006. Periodic airline fleet assignment with time windows, spacing constraints and time dependent revenues. *European Journal of Operational Research*, Issue 175, pp. 1754-1766.
- Belanger, N. και συν., 2006. Weekly airline fleet assignment with homogeneity. *Transportation Research*, II(40), pp. 306-318.
- Burghouwt, G., 2013. *Airport Capacity Expansion Strategies in the Era of Airline Multi-hub Networks*. Paris, OECD.
- Chung, T. & Chung, J., 2002. *Airline fleet assignment using genetic algorithms*. New York, Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO2002).
- Derig, U. & Friederich, S., 2012. Air Cargo Scheduling Part I: Planning paradigms, problems and integrated models. *Or spectrum*, 12 Ιούλιος, p. 49.
- Desaulniers, G. και συν., 1997. Daily aircraft routing and scheduling. *Management Science*, 43(6), pp. 841-855.
- Hane, C. και συν., 1995. The fleet assignment problem: solving a large-scale integer program. *Mathematical Programming*, 20 10, 70(1-3), pp. 211-232.
- Hane, C. και συν., 1995. The fleet assignment problem: solving a large-scale integer program. *Mathematical Programming*. Στο: s.l.:s.n., pp. 70:211-232.
- Haouari, M., Aissaoui, N. & Mansour, F., 2009. Network flow-based approaches for integrated. *European Journal of Operational Research*, Issue 193, pp. 591-599.

Karaoglan, A. D., Gonen, D. & Ucmus, E., 2011 . Aircraft Routing and Scheduling: a Case Study in an Airline Company . Στο: *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications*. Turkey: IJOCTA, pp. 27-43 .

Karaoglan, A., Gonen, D. & Ucmus, E., 2011. *Aircraft routing and scheduling: a case study in an airline company*, Turkey: Balikesir University.

Kliewer, G. & Tschöke, S., 2002. *A general parallel simulated annealing library and its application in airline industry Proceedings of the 14th International Parallel and Distributed Processing Symposium*. New York, IPDPS 2000.

Moser, R., 2012. *Development of air cargo operations based on AB statistics since 1998 and the impact of 9/11 or economic crises on airline profitability*, Vienna: Bachelor Thesis.

Ozdemir, Y., Basligil, H. & Nalbant, K., 2011. Optimization of fleet assignment: A case study in Turkey. Στο: *An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications*. Turkey: IJOCTA, pp. 59-71.

Papadakos, N., 2006. *Integrated Airline Scheduling: Decomposition and Acceleration Techniques*, Imperial College London UK: IC-PARC (centre for Planning and Resource Control).

Popescu, A., Keskinocak, P. & Al Mutawaly, I., 2010. The Air Cargo Industry. Στο: *Intermodal transportation: Moving Freight in a Global Economy*. s.l.:Intermodal Transportation: Moving Freight in a Global Economy.

Rabetanety, A., 2006. *Airline Schedule Planning Integrated Flight Schedule Design and Product Line Design*, Karlsruhe: University of Karlsruhe (TH).

Remove Before Flight, 2005. Top 10 World Cargo Carriers. *Remove Before Flight*, 09 10, pp. 22-31.

Tanel, T. L., 2007. *AQS Advanced Quality Services Ltd.*. [Ηλεκτρονικό] Available at: http://www.aqs.gr/?cat_id=570&article_id=103 [Πρόσβαση 20 Ιούλιος 2014].

The World Bank, 2009. *Air Freight: A Market Study with Implications for Landlocked Countries*, Washington: The World Bank.

The World Bank, 2009. *Air Freight: Potential Role in Landlocked Countries*. [Ηλεκτρονικό]

Available at: <http://web.worldbank.org>
[Πρόσβαση 20 Ιούλιος 2014].

Αβραμόπουλος, Α. Δ., 2011. *Οι στρατηγικές ανάπτυξης και επέκτασης των αεροπορικών εταιριών χαμηλού κόστους και ο ελληνικός τουρισμός*, Πανεπιστήμιο Πάτρας: Διδακτορική διατριβή.

Αμπακούμιν, Κ., 1979. *Σημειώσεις Αεροδρόμια*, Αθήνα: Ε.Μ.Π.

Αμπακούμιν, Κ., 1990. *Αεροδρόμια*. Αθήνα: Συμμετρία.

Αναστασιάδης, Τ., 2002. *Αεροπορικά Φορτία. Πτήση και Διάστημα*, pp. 64-70.

Δημητριάδη, Χ. Ι. & Σακαρικού, Ε.-Ι. Λ., 2009. *Βελτιστοποίηση Κόστους Εμπορευματικών Μεταφορών*, Ηράκλειο: Πτυχιακή Εργασία.

Ιωαννίδου, Β. Π., 2010. *Η επίδραση του Νέου Διεθνούς Αερολιμένα Αθηνών «Ελευθέριος Βενιζέλος» στην ανάπτυξη του συνεδριακού τουρισμού της Αθήνας*, Πειραιάς: Πτυχιακή Εργασία.

Μήλιος, Κ. & Μαρκουίτζος, Χ., 2009. *Οι μεταφορές των εμπορευμάτων στην Ελλάδα (Οδικό, Σιδηροδρομικό, Αεροπορικό, Θαλάσσιο δίκτυο)*, Θεσσαλονίκη: Πτυχιακή Εργασία.

Νικολαΐδης, Α. Φ., 2000. *«Αεροδρόμια: Μελέτη και Κατασκευή»*. 1η Έκδοση επιμ. Θεσσαλονίκη: Νικολαΐδης Αθανάσιος.

Παπάζογλου, Π. Χ., 2008. *Αεροπορικές Εμπορευματικές Μεταφορές*, Θεσσαλονίκη: Πτυχιακή Εργασία.

Σταθόπουλος, Α. & Δημητρίου, Λ., 2001. *Αεροπορικές Μεταφορές και Αεροδρόμια - Εξελίξεις στον 21ο αιώνα*. Πάτρα: Διεθνές Συνέδριο.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000124383