ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΓΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΛΟΥ ΕΠΙΧΕΙΡΕΣΙΑΚΩΝ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

υπό

ΣΙΑΜΠΑΛΗ ΔΙΟΝΥΣΙΟΥ

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Κοζανίδη, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Η συμπεριφορά του κατά τη διάρκεια της συνεργασίας μας ήταν υποδειγματική.

Ευχαριστώ τους φίλους μου Ξηροπαίδη Άγγελο, Ηλιόπουλο Σπήλιο, Μουρτζανό Αντώνη και Δάλλα Πέτρο για την ηθική υποστήριξή τους και τις ωραίες στιγμές που περάσαμε.

Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Ανδρέα και Ουρανία καθώς και τα αδέρφια μου Αντώνη και Ελίνα για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Σιαμπαλής Διονύσης

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη

Η Αεροπορική Βιομηχανία αποτελούσε πάντα ένα ιδιαίτερο αναπτυσσόμενο και προηγμένο τεχνολογικά κομμάτι του σύγχρονου κόσμου. Η εξέλιξή της ήταν ραγδαία στον προηγούμενο αιώνα και η βελτιστοποίηση της λειτουργίας της σε κάθε τομέα αυτής αναμφίβολα επιφέρει οικονομικά και κοινωνικά οφέλη.

Μια πολύ σημαντική λειτουργία της Αεροπορικής Βιομηχανίας αποτελεί η συντήρηση των αεροσκαφών, είτε πρόκειται για την Πολιτική είτε για την Πολεμική Αεροπορία. Ο τομέας της συντήρησης των αεροσκαφών είναι αλληλένδετος με τον τομέα των πτήσεων των αεροσκαφών. Συγκεκριμένα, ο προγραμματισμός των πτήσεων μιας αεροπορικής εταιρίας είναι εκείνος που καθορίζει και τον προγραμματισμό της συντήρησης του στόλου των αεροσκαφών αυτής. Από τα παραπάνω αντιλαμβανόμαστε ότι ο σωστός ή ο καλύτερος δυνατός προγραμματισμός των πτήσεων σε συνδυασμό με τον καλύτερο προγραμματισμό της συντήρησης όχι μόνο συμβάλλουν στην ομαλή και αναπτυσσόμενη λειτουργία της αεροπορικής εταιρίας αλλά αποτελούν και παράγοντα ζωτικής σημασίας για αυτή.

Κάθε αεροσκάφος, πολεμικό ή πολιτικό, πρέπει να καθηλώνεται για συντήρηση μετά από έναν ορισμένο αριθμό ωρών πτήσης από την τελευταία συντήρησή του. Ο σχεδιασμός πτήσεων και συντηρήσεων των επιχειρεσιακών αεροσκαφών εξετάζει το πρόβλημα λήψης απόφασης, σχετικά με το ποια διαθέσιμα αεροσκάφη θα πρέπει να πετάξουν και για πόσο χρόνο, καθώς και το ποια από τα καθηλωμένα αεροσκάφη θα πρέπει να εκτελέσουν διαδικασίες συντήρησης, σε μια ομάδα αεροσκαφών που διαμορφώνουν μια μονάδα.

Το πρόβλημα Προγραμματισμού Πτήσεων και Συντηρήσεων Επιχειρεσιακών Αεροσκαφών προέκυψε ως διοικητικό λειτουργικό πρόβλημα σε μια τυπική πτέρυγα της Ελληνικής Πολεμικής Αεροπορίας. Αυτή η πτέρυγα αποτελείται από τρεις μοίρες, κάθε μία από τις οποίες χρησιμεύει ως βάση για αεροσκάφη διάφορων τύπων. Στην αρχή κάθε ορίζοντα σχεδιασμού, η διοίκηση της πτέρυγας εκδίδει ένα πρόγραμμα για κάθε συνδυασμό μοίρας και περιόδου. Αυτό το πρόγραμμα καθορίζει το συνολικό χρόνο που όλα τα αεροσκάφη κάθε μοίρας πρέπει να πετάξουν κατά τη διάρκεια κάθε χρονικής περιόδου. Για τις ανάγκες συντήρησης της πτέρυγας, υπάρχει ένας σταθμός συντήρησης που είναι επιφορτισμένος με την παροχή των υπηρεσιών συντήρησης στα αεροσκάφη της πτέρυγας. Αυτός ο σταθμός έχει συγκεκριμένη χωρική και χρονική δυναμικότητα. Με βάση το δεδομένο πρόγραμμα για κάθε μοίρα και τους φυσικούς περιορισμούς που προκύπτουν από τη δυναμικότητα του συστήματος, ο στόχος είναι να εκδοθεί ένα πρόγραμμα πτήσεων και συντηρήσεων για κάθε μεμονωμένο αεροσκάφος της μονάδας, έτσι ώστε κάποιο κατάλληλο μέτρο απόδοσης να μεγιστοποιείται.

Σε αυτή τη διπλωματική εργασία αναπτύσσουμε μοντέλα μονοκριτήριας και πολυκριτήριας βελτιστοποίησης για το Προβλήμα Πτήσεων και Συντηρήσεων Επιχειρεσιακών Αεροσκαφών και επεξηγούμε τη χρήση τους και επίλυσή τους σε μια πραγματική περίπτωση που προέρχεται από την Ελληνική Πολεμική Αεροπορία.

Αρχικά, παραθέτουμε το αρχικό πρόγραμμα δημιουργίας τυχαίων προβλημάτων με την βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού FORTRAN. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας την γλώσσα μαθηματικού προγραμματισμού AMPL (A Modeling Language for Mathematical Programming) κάνουμε μελέτη του υπολογιστικού χρόνου των μοντέλων καθώς και της αποτελεσματικότητας της τεχνικής του χρονικού ορίζοντα υποδιαίρεσης . Ακολουθεί συλλογή των αποτελεσμάτων και ανάλυση αυτών έτσι ώστε να εντοπίσουμε ποιοι παράγοντες του προβλήματος επηρεάζουν περισσότερο τη διαμόρφωση των αποτελεσμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Κίνητρο και Υπόβαθρο

Η πολεμική και η πολιτική αεροπορική βιομηχανία έχουν διάφορες ομοιότητες αλλά και σημαντικές διαφορές. Η ασφάλεια είναι ο σημαντικότερος παράγοντας και στις δύο βιομηχανίες, εντούτοις, ενώ η μεγιστοποίηση του κέρδους είναι ο κύριος στόχος στην πολιτική αεροπορική βιομηχανία, η μεγιστοποίηση της ετοιμότητας ανταπόκρισης σε εξωτερικές απειλές είναι ο κύριος στόχος στην πολεμική αεροπορία. Συνεπώς, τα λειτουργικά προβλήματα που έχουν να κάνουν με πολεμικά αεροσκάφη πρέπει να αντιμετωπίζονται διαφορετικά από τα παραδοσιακά προβλήματα που προκύπτουν στην πολιτική αεροπορική βιομηχανία.

Η συντήρηση των αεροσκαφών, τόσο στην πολεμική όσο και στην πολιτική αεροπορία, απορροφά ένα σημαντικό κομμάτι των λειτουργικών εξόδων τους. Οι αεροπορικές δραστηριότητες λαμβάνουν χώρα σε ένα ιδιαίτερα δυναμικό περιβάλλον: η χρήση των αεροσκαφών, οι ποικίλες διαμορφώσεις, οι περιορισμοί στους διαθέσιμους πόρους και οι επιχειρησιακές απαιτήσεις μεταβάλλονται αρκετές φορές στη διάρκεια μιας πτήσιμης ημέρας. Μέσα σ' αυτό το περιβάλλον, οι διαχειριστές της συντήρησης θα πρέπει να αφομοιώσουν ένα σημαντικό όγκο τεχνικού πληροφοριακού υλικού προκειμένου να εξασφαλίσουν την υψηλή ποιότητα των αεροσκαφών εν πτήσει.

Ένα σημαντικό μέρος του συνολικού λειτουργικού προϋπολογισμού ενός στόλου διατίθεται για τη συντήρηση των αεροσκαφών που ανήκουν στο στόλο. Στην πολιτική αεροπορική βιομηχανία, υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά επίπεδα συντήρησης, που διαφέρουν μεταξύ τους στη φιλοσοφία, στη διάρκεια και τη συχνότητα που εμφανίζονται. Αυτά είναι:

- **Έλεγχος τύπου A** : Αυτός ο έλεγχος εκτελείται κάθε 65-100 ώρες πτήσης ή μια φορά την εβδομάδα. Περιλαμβάνει την επιθεώρηση όλων των σημαντικών εξαρτημάτων και των συστημάτων των αεροσκαφών, όπως του συστήματος των προσγείωσης, των κινητήρων και των επιφανειών ελέγχου.

- **Έλεγχος τύπου B** : Αυτός ο έλεγχος εκτελείται κάθε 300-600 ώρες πτήσης και περιλαμβάνει τη λίπανση όλων των κινούμενων μερών και λεπτομερή οπτική δοκιμή διάφορων εξαρτημάτων, όπως του οπίσθιου φτερού και των επιφανειών κλίσεων. Και οι δύο παραπάνω έλεγχοι εκτελούνται συνήθως τη νύχτα έτσι ώστε το αεροσκάφος να είναι διαθέσιμο το επόμενο πρωί. Εάν ο απαραίτητος εξοπλισμός είναι διαθέσιμος, τότε οι παραπάνω έλεγχοι εκτελούνται συνήθως στη βάση όπου βρίσκεται το αεροσκάφος.

- **Έλεγχος τύπου C και D** : Αυτοί είναι περισσότερο δαπανηροί έλεγχοι σε κόστος και μεγαλύτεροι σε χρονική διάρκεια και εκτελούνται κάθε ένα και τέσσερα έτη αντίστοιχα. Οι έλεγχοι αυτοί απαιτούν την καθήλωση των αεροσκαφών για αρκετές εβδομάδες.

Η εφαρμογή των ελέγχων τύπου C, D γίνεται σε τεχνικούς οργανισμούς ειδικά εξοπλισμένους με την κατάλληλη τεχνογνωσία κι έπειτα από τη σύναψη συμβολαίου με την ενδιαφερόμενη αεροπορική εταιρία. Αντίθετα, οι έλεγχοι τύπου A, B είναι μικρής έκτασης και πραγματοποιούνται σε κατάλληλα αεροδρόμια που έχουν τη δυνατότητα παροχής τεχνικής υποστήριξης

Από την άλλη πλευρά, η Πολεμική Αεροπορία υποστηρίζεται από ένα κλασικό πρόγραμμα συντήρησης τριών επιπέδων , 1ου –2ου –3ου επιπέδου (organizational – intermediate – depot level). Τα τρία επίπεδα συντήρησης έχουν ως εξής:

- **1ο επίπεδο συντήρησης (οργανωτικό επίπεδο)** : Διενεργείται στη βάση και οι εργασίες επικεντρώνονται σε επισκευές, επιθεωρήσεις και αντικαταστάσεις εξαρτημάτων στη Γραμμή Πτήσεων.

- **2ο επίπεδο συντήρησης (ενδιάμεσο επίπεδο)** : Πραγματοποιείται εντός της Μονάδας. Περιλαμβάνει επιθεωρήσεις και επισκευές – αντικαταστάσεις εξαρτημάτων – συστημάτων των αεροσκαφών σε πιο εκτεταμένη κλίμακα σε συνάρτηση πάντα με τις δυνατότητες της Μονάδας.

- **3ο επίπεδο συντήρησης – συντήρηση του κατασκευαστή (επίπεδο αποθηκών) :** Διενεργείται σε ειδικές εγκαταστάσεις από ειδικά εκπαιδευμένους επαγγελματίες. Περιλαμβάνει μια πιο λεπτομερή διαδικασία επισκευής και αντικατάστασης μερών του αεροσκάφους σε σχέση με τα άλλα δύο επίπεδα.

Όπως διαφαίνεται, οι διαφορές στη φιλοσοφία συντήρησης μεταξύ πολιτικής και πολεμικής αεροπορίας έγκεινται στη διαφορετική φιλοσοφία κατασκευής των αντίστοιχων αεροσκαφών και του τρόπου χρήσης αυτών. Βασική επίσης παράμετρος είναι ο τρόπος οργάνωσης της συντήρησης στον κάθε φορέα, καθώς τα πολεμικά αεροσκάφη επιχειρούν κυρίως εντός των μονάδων τους με αποτέλεσμα η συντήρησή τους να γίνεται αποκλειστικά εκεί, ενώ τα πολιτικά αεροσκάφη προσγειώνονται σε διάφορα αεροδρόμια ανά τον κόσμο τα οποία θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα παροχής συντήρησης σε μικρό βαθμό. Ο σχεδιασμός πτήσεων και συντηρήσεων των επιχειρεσιακών αεροσκαφών εξετάζει το πρόβλημα απόφασης σχετικά με το ποια διαθέσιμα αεροσκάφη θα πετάξουν και για πόσο καιρό και ποια από τα καθηλωμένα αεροσκάφη θα εκτελέσουν διαδικασίες συντήρησης, σε μια ομάδα αεροσκαφών που διαμορφώνουν μια μονάδα μάχης. Ο στόχος είναι να επιτευχθεί μέγιστη διαθεσιμότητα της μονάδας στον ορίζοντα σχεδιασμού. Αυτό είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα λήψης αποφάσεων στη πολεμική αεροπορική βιομηχανία. Ο μεγάλος αριθμός των παραμέτρων αυξάνει την πολυπλοκότητα του προβλήματος και τον χρόνο που είναι απαραίτητος για να βρεθεί η βέλτιστη λύση.

1.2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Διάφορα προβλήματα προγραμματισμού αεροσκαφών έχουν διερευνηθεί στο παρελθόν. Οι Kurokawa και Takeshita [19], πρότειναν μια μέθοδο νευρο-δικτύων για τον σχεδιασμό εναέριων μεταφορών της Ιαπωνικής αμυντικής αεροπορίας. Αυτή η μέθοδος χωρίζει το κύριο πρόβλημα σε τρία υποπροβλήματα που λύνονται διαδοχικά.

Οι Clarke et al. [5] εισήγαγαν ένα μοντέλο προγραμματισμού αεροσκαφών που περιλαμβάνει εκτιμήσεις τόσο για τα πληρώματα των αεροσκαφών όσο και για τις συντηρήσεις τους. Οι Rushmeier και Kontogiorgis [21] παρουσίασαν ένα μεικτό ακέραιο μοντέλο ροής πολλαπλών οντοτήτων για την ανάθεση στόλου μεγάλης κλίμακας υποκείμενη σε ποικίλους περιορισμούς. Οι Clarke et al. [6] ανέπτυξαν μια μαθηματική διατύπωση για το πρόβλημα κυκλικής εναλλαγής αεροσκαφών και το έλυσαν με χαλάρωση Lagrange.

Οι Dijkstra et al. [7] εξέτασαν τα πρόβλημα του προγραμματισμού του προσωπικού συντήρησης των αεροσκαφών της KLM. Οι Keskinocak και Tayur [15] εξέτασαν ένα πρόβλημα προγραμματισμού αεροσκαφών στο οποίο τα αιτήματα των πελατών καταφτάνουν δυναμικά. Οι Barnhart et al. [3] παρουσίασαν ένα μοντέλο και μια προσεγγιστική λύση για να λύσουν ταυτόχρονα τα προβλήματα δρομολόγησης και ανάθεσης στόλου αεροσκαφών. Οι Gopalan και Talluri [14] ερεύνησαν τα μοντέλα και τις τεχνικές επίλυσης για τα διάφορα προβλήματα αερογραμμών, τα οποία περιλαμβάνουν αποφάσεις για τη δρομολόγηση την ανάθεση και τη συντήρηση στόλου αεροσκαφών.

Οι Feo και Bard [9] διαμόρφωσαν το πρόβλημα της δρομολόγησης της συντήρησης ως καθορισμένο διακριτό πρόβλημα και χρησιμοποίησαν ευρετικούς αλγορίθμους για να διαμορφώσουν τις δρομολογήσεις της συντήρησης. Συνδύασαν επίσης το πρόβλημα δρομολόγησης με το πρόβλημα εντοπισμού των βάσεων συντήρησης. Οι Gopalan και Talluri [13] και ο Talluri [26] ερεύνησαν το πρόβλημα της βέλτιστης δρομολόγησης ενός αεροσκάφους, εξασφαλίζοντας συγχρόνως ότι καλύπτονται ορισμένες βραχυπρόθεσμες απαιτήσεις συντήρησης.

Οι Graves et al. [12] μελέτησαν το πρόβλημα της ανάθεσης μελών του πληρώματος σε προγραμματισμένες πτήσεις. Οι Klabjan et al. [16] εξέτασαν προβλήματα τα οποία περιλαμβάνουν τον σχεδιασμό του προγράμματος, τη δρομολόγηση αεροσκαφών και τον προγραμματισμό του πληρώματος. Στην εργασία τους, ο χρόνος αναχώρησης μιας πτήσης μπορούσε να αλλάξει ελαφρώς, εφόσον παρέμενε μέσα σε ένα ορισμένο χρονικό περιθώριο. Οι Sriram και Haghani [24] παρουσίασαν μια διατύπωση για τα προβλήματα προγραμματισμού συντήρησης και μια ευρετική προσέγγιση για να λύσουν το πρόβλημα. Οι Samaranayake et al. [22] τεκμηρίωσαν την εφαρμογή μιας δομής λογισμού για τη διαχείριση των μεγάλης κλίμακας δραστηριοτήτων συντήρησης αεροσκαφών.

Οι Yan και Lin [27] μελέτησαν το πρόβλημα του καθορισμού εναλλακτικών προγραμμάτων αεροσκαφών σε περίπτωση προσωρινού κλεισίματος αερολιμένων. Ο Arguello [1] μελέτησε διάφορα μοντέλα και μεθόδους για δυναμική διαχείριση των διαδικασιών αερογραμμών σε περίπτωση ανώμαλων καταστάσεων.

Οι Ernst et al. [8] ανέπτυξαν ένα εξειδικευμένο αλγόριθμο της μεθόδου simplex για το πρόβλημα του προγραμματισμού των προσγειώσεων των αεροσκαφών σε έναν ή περισσότερους αεροδιαδρόμους με ποινικές ρήτρες καθυστέρησης. Οι Beasley et al. [4] παρουσίασαν μια μικτή ακέραια μορφοποίηση για ένα παρόμοιο πρόβλημα με ένα μόνο αεροδιάδρομο και το επεκτείνανε στην περίπτωση των πολλαπλών αεροδιαδρόμων.

Οι Qi et al. [20] παρουσίασαν ένα μοντέλο για τον προγραμματισμό εκπαίδευσης πιλότων, όπου ο στόχος είναι να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό σταθμισμένο μήκος όλων των κατηγοριών. Το πρόβλημα λύνεται με έναν αλγόριθμο Branch & Bound και μια οικογένεια εριστικών αλγορίθμων.

Το πρόβλημα που εξετάζουμε σε αυτή την εργασία, εξετάστηκε πρώτα από τον Πιτσίλκα [2005], ο οποίος παρουσίασε ένα μοντέλο μονοκριτήριας βελτιστοποίησης για το σχεδιασμό πτήσεων και συντηρήσεων αεροσκαφών με στόχο την επίτευξη μέγιστης διαθεσιμότητας. Ο Μπώκος [2005] βελτίωσε σημαντικά το παραπάνω μοντέλο, ενώ ο Σκίπης [2006] παρουσίασε ένα μοντέλο πολυκριτήριας βελτιστοποίησης για το σχεδιασμό πτήσεων και συντηρήσεων πολεμικών αεροσκαφών με στόχο την επίτευξη μέγιστης διαθεσιμότητας.

1.3 Οργάνωση Διπλωματικής Εργασίας

Το υπόλοιπο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι δομημένο σε 4 ενότητες που καταλαμβάνουν τα Κεφάλαια 2-5, αντίστοιχα. Συγκεκριμένα:

Στο Κεφάλαιο 2, παραθέτουμε την περιγραφή του προβλήματος που μελετάμε.

Στο Κεφάλαιο 3, παρουσιάζουμε τη μορφοποίηση του μοντέλου σχεδιασμού πτήσεων και συντηρήσεων αεροσκαφών, αναλύουμε όλες τις παραμέτρους και τις μεταβλητές απόφασης του μοντέλου

Στο Κεφάλαιο 4, αναπτύσσουμε με την βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού FORTRAN το πρόγραμμα δημιουργίας τυχαίων προβλημάτων.

Στο Κεφάλαιο 5 , με την βοήθεια της AMPL (A Modeling Language for Mathematical Programming) μελετάμε τον υπολογιστικό χρόνο ενός τυχαίου προβλήματος πολυκριτήριας βελτιστοποίησης , ενός τυχαίου προβλήματος μονοκριτήριας βελτιστοποίησης και τέλος συγκρίνουμε τον υπολογιστικό χρόνο στο ίδιο πρόβλημα πολυκριτήριας και μονοκριτήριας βελτιστοποίησης.

Στο Κεφάλαιο 6 , με την βοήθεια της AMPL μελετάμε τον υπολογιστικό χρόνο ενός προβλήματος μονοκριτήριας βελτιστοποίησης, το οποίο στη συνέχεια το υποδιαιρούμε σε υποπροβλήματα στα οποία εξετάζουμε τον υπολογιστικό χρόνο.

Τέλος μελετάμε την αποτελεσματικότητα της τεχνικής του χρονικού ορίζοντα της υποδιαίρεσης αυτής.

Τα τελικά συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα παρουσιάζονται στο **κεφάλαιο 7**.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Το πρόβλημα που εξετάζεται σε αυτή τη διπλωματική εργασία προέκυψε από τη λειτουργία μιας πτέρυγας μάχης της Ελληνικής Πολεμικής Αεροπορίας. Η οργανωτική δομή της Ελληνικής Πολεμικής Αεροπορίας χωρίζεται σε πτέρυγες μάχης, οι οποίες διαιρούνται σε μοίρες. Η συγκεκριμένη πτέρυγα μάχης που εξετάσαμε αποτελείται από τρεις μοίρες, κάθε μία από τις οποίες χρησιμεύει ως βάση για διάφορα αεροσκάφη διαφόρων τύπων. Αυτή η ιεραρχική δομή είναι κοινή και συναντάται συχνά στην Πολεμική Αεροπορία διαφόρων άλλων χωρών. Στην αρχή κάθε ορίζοντα σχεδιασμού, η διοίκηση της πτέρυγας εκδίδει ένα πρόγραμμα για κάθε συνδυασμό μοίρας και περιόδου. Αυτό το πρόγραμμα καθορίζει το συνολικό χρόνο που όλα τα αεροσκάφη κάθε μοίρας πρέπει να πετάξουν κατά τη διάρκεια κάθε χρονικής περιόδου. Ένα χωριστό πρόγραμμα εκδίδεται για κάθε τύπο αεροσκαφών, επειδή διαφορετικοί τύποι αεροσκαφών έχουν διαφορετικές ικανότητες πτήσης και απαιτήσεις συντήρησης. Για αυτόν τον λόγο, το μοντέλο που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, προορίζεται για χρήση σε ένα συγκεκριμένο τύπο αεροσκαφών.

Για κάθε συγκεκριμένο αεροσκάφος, ορίζουμε τον υπολειπόμενο χρόνο πτήσης ως τον συνολικό υπολειπόμενο χρόνο που το αεροσκάφος μπορεί να πετάξει μέχρι να υποβληθεί σε έναν έλεγχο συντήρησης. Ο υπολειπόμενος χρόνος πτήσης ενός αεροσκάφους είναι θετικός αν και μόνο αν αυτό το αεροσκάφος είναι διαθέσιμο να πετάξει. Ομοίως, καθορίζουμε τον υπολειπόμενο χρόνο συντήρησης ενός αεροσκάφους ως τον συνολικό υπολειπόμενο χρόνο που το αεροσκάφος χρειάζεται να συντηρηθεί μέχρι να είναι διαθέσιμο να πετάξει ξανά. Ο υπολειπόμενος χρόνος συντήρησης ενός αεροσκάφους είναι θετικός αν και μόνο αν αυτό το αεροσκάφος είναι καθηλωμένο για συντήρηση (και άρα δεν είναι διαθέσιμο να πετάξει). Για τις ανάγκες συντήρησης της πτέρυγας, υπάρχει ένας σταθμός συντήρησης που είναι επιφορτισμένος με την παροχή υπηρεσιών συντήρησης στα αεροσκάφη της πτέρυγας. Αυτός ο σταθμός έχει συγκεκριμένη χωρική και χρονική δυναμικότητα. Με βάση το δεδομένο πρόγραμμα για κάθε μοίρα και τους φυσικούς περιορισμούς που προκύπτουν από τη δυναμικότητα του συστήματος, ο στόχος είναι να εκδοθεί ένα πρόγραμμα πτήσεων και συντηρήσεων για κάθε μεμονωμένο αεροσκάφος, έτσι ώστε κάποιο κατάλληλο μέτρο απόδοσης να βελτιστοποιείται. Όπως αναφέραμε ήδη, η ετοιμότητα ανταπόκρισης σε εξωτερικές απειλές είναι το καταλληλότερο μέτρο απόδοσης για τέτοιες εφαρμογές. Αυτή η ετοιμότητα εξαρτάται από το συνολικό αριθμό αεροσκαφών που είναι διαθέσιμα να πετάξουν και από το συνολικό διαθέσιμο υπολειπόμενο χρόνο πτήσης. Σε οποιαδήποτε στιγμή, ο συνολικός υπολειπόμενος χρόνος πτήσης μιας μοίρας είναι ίσος με το άθροισμα των υπολειπόμενων χρόνων πτήσης όλων των αεροσκαφών που ανήκουν σε αυτή την μοίρα. Ο συνολικός υπολειπόμενος χρόνος πτήσης της πτέρυγας είναι ίσος με το σύνολο των υπολειπόμενων χρόνων πτήσης όλων των μοιρών. Είναι προφανές ότι υπάρχουν πολλοί πιθανοί συνδυασμοί υπολειπόμενων χρόνων πτήσης μεμονωμένων αεροσκαφών που μπορούν να οδηγήσουν στον ίδιο συνολικό υπολειπόμενο χρόνο πτήσης μοιρών ή πτερύγων. Επιπλέον, δεν είναι επαρκές το να ορίζουμε τη διαθεσιμότητα ως το συνολικό αριθμό αεροσκαφών που είναι διαθέσιμα στην πτέρυγα μόνο, επειδή αυτός ο ορισμός δε δίνει καμιά πληροφορία για τον τρόπο που ο συνολικός υπολειπόμενος χρόνος πτήσης κατανέμεται στα αεροσκάφη και τις μοίρες.

Όπως αναφέρθηκε ήδη, η χρονική διαθεσιμότητα πτήσης είναι ίση με το άθροισμα όλων των υπολειπόμενων χρόνων πτήσης των αεροσκαφών μεν, αλλά υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί υπολειπόμενων χρόνων πτήσεων που μπορούν να οδηγήσουν στην ίδια συνολική διαθεσιμότητα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

3.1 Μορφοποίηση και Ανάλυση Περιορισμών Μοντέλων Σχεδιασμού Πτήσεων και Συντηρήσεων

Η μαθηματική μορφοποίηση των μοντέλων που αναπτύχθηκε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η ακόλουθη :

- M: σύνολο μοιρών με δείκτη m
- Nm :σύνολο αεροσκαφών στην μοίρα m με δείκτη n
- T: αριθμός χρονικών περιόδων

1. Μεταβλητές απόφασης μοντέλου

- Z_1: Ελάχιστος αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών πτέρυγας σε κάθε περίοδο
- x_{mnt} : Χρόνος πτήσης του αεροσκάφους n της μοίρας m κατά την περίοδο t
- y_{mnt} : Υπολειπόμενος χρόνος πτήσης του αεροσκάφους n της μοίρας m στην αρχή της περιόδου t
- g_{mnt} : Υπολειπόμενος χρόνος συντήρησης του αεροσκάφους n της μοίρας m στην αρχή της περιόδου t

- h_{mnt} : Χρόνος συντήρησης του αεροσκάφους *n* της μοίρας m κατά την περίοδο *t*
- a_{mnt} : Δυαδική μεταβλητή απόφασης που παίρνει την τιμή 1 αν το αεροσκάφος n της μοίρας m είναι διαθέσιμο στην αρχή της περιόδου *t* και 0 αν όχι
- d_{mnt} : Δυαδική μεταβλητή απόφασης που παίρνει την τιμή 1 αν το αεροσκάφος n της μοίρας m εξέρχεται από το σταθμό συντήρησης στην αρχή της περιόδου t και 0 αν όχι
- f_{mnt} : Δυαδική μεταβλητή απόφασης που παίρνει την τιμή 1 αν το αεροσκάφος n της μοίρας m εισέρχεται στο σταθμό συντήρησης στην αρχή της περιόδου t και 0 αν όχι
- q_t, p_{mnt}, r_{mnt} : Βοηθητικές δυαδικές μεταβλητές απόφασης

2. Παράμετροι μοντέλου

- S_{mt} : απαιτούμενος χρόνος πτήσης της μοίρας m την περίοδο *t*
- B_t : Χρονική δυναμικότητα του σταθμού συντήρησης κατά την περίοδο *t*
- J : Ελάχιστος μέσος υπολειπόμενος χρόνος πτήσης για κάθε διαθέσιμο αεροσκάφος
- V: Ελάχιστος αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών κάθε μοίρας για κάθε χρονική περίοδο.
- G : Υπολειπόμενος χρόνος συντήρησης ενός αεροσκάφους αμέσως μετά την είσοδο του στο σταθμό συντήρησης

- ***Y*** : Υπολειπόμενος χρόνος πτήσης ενός αεροσκάφους αμέσως μετά την έξοδο του από το σταθμό συντήρησης
- ***C*** : Ο μέγιστος αριθμός των αεροσκαφών που μπορεί να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα από τον σταθμό συντήρησης
- $\boldsymbol{A1_{mn}}$: Κατάσταση του αεροσκάφους n της μοίρας m την πρώτη περίοδο του ορίζοντα σχεδιασμού ($= a_{mn1}$)
- $\boldsymbol{Y1_{mn}}$: Υπολειπόμενος χρόνος πτήσης του αεροσκάφους n της μοίρας m την πρώτη περίοδο του ορίζοντα σχεδιασμού ($= y_{mn1}$)
- $\boldsymbol{G1_{mn}}$: Υπολειπόμενος χρόνος συντήρησης του αεροσκάφους n της μοίρας m την πρώτη περίοδο του ορίζοντα σχεδιασμού ($= g_{mn1}$)
- $\boldsymbol{X_{max}}$: Μέγιστος χρόνος πτήσης ενός αεροσκάφους κατά τη διάρκεια μίας περιόδου
- $\boldsymbol{Y_{min}}$: Ελάχιστος υπολειπόμενος χρόνος πτήσης ενός διαθέσιμου αεροσκάφους
- $\boldsymbol{G_{min}}$: Ελάχιστος υπολειπόμενος χρόνος συντήρησης ενός μη διαθέσιμου
- ***L,U*** : Πραγματικοί αριθμοί που υποδηλώνουν την μέγιστη απόκλιση από το S_{mt}
- ***K*** : Ένας αρκετά μεγάλος αριθμός

$$\text{Max } z_1 \tag{1}$$

$$\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N} a_{mnt} \geq z_1 , \ \forall \ t=2,\ldots,T+1 \tag{2}$$

$$y_{mnt+1} = y_{mnt} - x_{mnt} + Y * d_{mnt+1} , \ \forall \ m, n, t= 1,\ldots,T \tag{3}$$

$$a_{mnt+1} - a_{mnt} - d_{mnt+1} \leq 0 , \ \forall \ m \ n , t= 1,\ldots,T \tag{4}$$

$$a_{mnt+1} - a_{mnt} + 1.1(1 - d_{mnt+1}) \geq 0.1 , \ \forall \ m, n, t= 1,\ldots,T \tag{5}$$

$$g_{mnt+1} = g_{mnt} - h_{mnt} + G * f_{mnt+1} , \ \forall \ m, n, t= 1,\ldots,T \tag{6}$$

$$a_{mnt} - a_{mnt+1} - f_{mnt+1} \leq 0 , \ \forall \ m, n, t= 1,\ldots,T \tag{7}$$

$$a_{mnt} - a_{mnt+1} + 1.1 * (1 - f_{mnt+1}) \geq 0.1 , \ \forall \ m, n, t= 1,\ldots,T \tag{8}$$

$$L \ A_{mt} \leq \sum_{n=1}^{N} X_{mnt} \leq U \ A_{mt} , \ \forall \ m, n, t= 1,\ldots,T \tag{9}$$

$$\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N} h_{mnt} \leq B_t , \ \forall \ t= 1,\ldots,T \tag{10}$$

$$\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N} g_{mnt} \leq \sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N} h_{mnt} + K * q_t , \ \forall \ t= 1,\ldots,T \tag{11}$$

$$B_t \leq \sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N} h_{mnt} + K*(1-q_t), \ \forall \ t=1,\ldots,T \tag{12}$$

$$\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}(1-a_{mnt}) \leq C, \ \forall \ t=2,\ldots,T+1 \tag{13}$$

$$y_{mnt} \leq Y * a_{mnt}, \ \forall \ m, n, t=2,\ldots,T+1 \tag{14}$$

$$g_{mnt} \leq G*(1-a_{mnt}), \ \forall \ m, n, t=2,\ldots,T+1 \tag{15}$$

$$x_{mnt} \leq X_{\max} * a_{mnt}, \ \forall \ m, n, t=1,\ldots,T \tag{16}$$

$$y_{mnt} \geq Y_{\min} * a_{mnt}, \ \forall \ m, n, t=2,\ldots,T+1 \tag{17}$$

$$g_{mnt} \geq G_{\min} *(1-a_{mnt}), \ \forall \ m, n, t=2,\ldots,T+1 \tag{18}$$

$$h_{mnt} \leq g_{mnt}, \ \forall \ m, n, t=1,\ldots,T \tag{19}$$

$$x_{mnt} \leq y_{mnt}, \ \forall \ m, n, t=1,\ldots,T \tag{20}$$

$$y_{mnt} + K* p_{mnt} \leq K, \ \forall \ m, n, t=1,\ldots,T \tag{21}$$

$$\alpha_{mnt+1} \leq (y_{mnt} - x_{mnt})*K + K*p_{mnt}, \ \forall \ m, n, t=1,\ldots,T \tag{22}$$

$$g_{mnt} + K* r_{mnt} \leq K, \ \forall \ m, n, t=1,\ldots,T \tag{23}$$

$$1 - \alpha_{mnt+1} \leq (g_{mnt} - h_{mnt})*K + K*r_{mnt}, \ \forall \ m, n, t=1,\ldots,T \tag{24}$$

$$a_{mn1} = A1_{mn}, \ \forall \ m, n \qquad (25)$$

$$y_{mn1} = Y1_{mn}, \ \forall \ m, n \qquad (26)$$

$$g_{mn1} = G1_{mn}, \ \forall \ m, n \qquad (27)$$

Η αντικειμενική συνάρτηση (1) μεγιστοποιεί το z_l, το οποίο από τους περιορισμούς (2) δηλώνει τον ελάχιστο αριθμό διαθέσιμων αεροσκαφών της πτέρυγας σε κάθε περίοδο. Οι περιορισμοί (3) χρησιμοποιούνται για να ανανεώσουν τον υπολειπόμενο χρόνο πτήσης κάθε αεροσκάφους στο τέλος κάθε περιόδου, με βάση τον υπολειπόμενο χρόνο πτήσης του στην αρχή αυτής της περιόδου και το χρόνο που πέταξε κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Η δυαδική μεταβλητή d παίρνει την τιμή 1 μόνο όταν το αντίστοιχο αεροσκάφος εξέρχεται από το σταθμό της συντήρησης. Με αυτό τον τρόπο, ένα αεροσκάφος που εξέρχεται από το σταθμό συντήρησης είναι διαθέσιμο να πετάξει ξανά με το μέγιστο υπολειπόμενο χρόνο πτήσης Y. Ομοίως, οι περιορισμοί (6) χρησιμοποιούνται για να ανανεώσουν τον υπολειπόμενο χρόνο συντήρησης κάθε αεροσκάφους στο τέλος κάθε περιόδου, με βάση τον υπολειπόμενο χρόνο συντήρησης του στην αρχή αυτής της περιόδου και το χρόνο που συντηρήθηκε κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Η δυαδική μεταβλητή f παίρνει την τιμή 1 μόνο όταν το αντίστοιχο αεροσκάφος εισέρχεται στο σταθμό συντήρησης για να συντηρηθεί. Με αυτό τον τρόπο, ένα αεροσκάφος που εισέρχεται στο σταθμό συντήρησης είναι έτοιμο για να δεχθεί συντήρηση για το μέγιστο υπολειπόμενο χρόνο συντήρησης G.

Οι περιορισμοί (4), (5), (7) και (8) εξασφαλίζουν ότι οι μεταβλητές d και f θα πάρουν τις σωστές τιμές, με βάση τις τιμές των μεταβλητών a. Έστω το n^{th} αεροσκάφος της m^{th} μοίρας. Οι μεταβλητές (a_{mnt} , a_{mnt+1}) μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε από τις τιμές (0,1) , (0,0) , (1,0) , (1,1) και η διαφορά $a_{mnt+1} - a_{mnt}$ είναι ίση με 1, 0, -1, 0 αντίστοιχα. Η μεταβλητή d_{mnt+1} πρέπει να πάρει την τιμή 1 όταν (a_{mnt} , a_{mnt+1}) = (0,1) και αυτό εξασφαλίζεται από τους περιορισμούς (7). Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση, η d_{mnt+1} πρέπει να είναι 0 και αυτό εξασφαλίζεται από τους περιορισμούς (5). Ομοίως, η μεταβλητή f_{mnt+1} πρέπει να πάρει την τιμή 1 όταν (a_{mnt} , a_{mnt+1}) = (1,0) και αυτό εξασφαλίζεται από τους περιορισμούς (10). Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση, η f_{mnt+1} πρέπει να είναι 0 και αυτό εξασφαλίζεται από τους περιορισμούς (8).

Οι περιορισμοί (9) εξασφαλίζουν ότι το πρόγραμμα για κάθε μοίρα ικανοποιείται. Οι μεταβλητές L και U καθορίζουν ένα διάστημα [LA_{mt} , UA_{mt}], στο οποίο πρέπει να ανήκει ο πραγματικός χρόνος πτήσης μοιρών για τη συγκεκριμένη περίοδο. Παραδείγματος χάριν, όταν L=0.95 και U=1.05, επιτρέπεται μια μέγιστη απόκλιση 5% από το πρόγραμμα. Οι περιορισμοί (10) και (13) εξασφαλίζουν ότι οι περιορισμοί για τη χρονική και χωρική δυναμικότητα του σταθμού συντήρησης δεν παραβιάζονται, σε οποιαδήποτε περίοδο. Οι περιορισμοί (11) και (12) εισάγονται για να εξασφαλίσουν ότι η συντήρηση δεν θα είναι άεργη οπότε υπάρχει τουλάχιστον ένα αεροσκάφος που περιμένει να συντηρηθεί. Με την εισαγωγή της βοηθητικής δυαδικής μεταβλητής q_t, εξασφαλίζεται ότι ο συνολικός χρόνος συντήρησης που παρέχεται από το σταθμό στην περίοδο t θα είναι ίσος είτε με τη συνολική χρονική δυναμικότητα του σταθμού κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου είτε με τις συνολικές απαιτήσεις συντήρησης αυτής της περιόδου, ανάλογα με το ποια από αυτές τις δύο ποσότητες είναι μικρότερη.

Οι περιορισμοί (14) δηλώνουν ότι ο υπολειπόμενος χρόνος πτήσης ενός αεροσκάφους δεν μπορεί να υπερβεί τη μέγιστη τιμή Y, και εξασφαλίζουν ότι θα είναι 0 οπότε αυτό το αεροσκάφος δεν είναι διαθέσιμο. Ομοίως, οι περιορισμοί (15) δηλώνουν ότι ο υπολειπόμενος χρόνος συντήρησης ενός αεροσκάφους δεν μπορεί να υπερβεί τη μέγιστη τιμή, G, και εξασφαλίζουν ότι θα είναι 0 οπότε αυτό το αεροσκάφος είναι διαθέσιμο. Οι περιορισμοί (16) επιβάλλουν ένα άνω όριο στο μέγιστο χρόνο που κάθε αεροσκάφος μπορεί να πετάξει κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου. Ένας τέτοιος περιορισμός μπορεί να είναι απαραίτητος για τεχνικούς λόγους. Οι περιορισμοί (17) και (18) επιβάλλουν κατώτερες τιμές στους υπολειπόμενους χρόνους πτήσης και συντήρησης κάθε αεροσκάφους. Εισάγονται για να εξαλείψουν την περίπτωση όπου ένα αεροσκάφος έχει ένα αμελητέο υπολειπόμενο χρόνο πτήσης ή συντήρησης. Οι περιορισμοί (20) εξασφαλίζουν ότι ο συνολικός χρόνος που ένα αεροσκάφος πετά κατά τη διάρκεια μίας περιόδου δεν υπερβαίνει τον υπολειπόμενο χρόνο πτήσης αυτού του αεροσκάφους στην αρχή της ίδιας περιόδου. Ομοίως, οι περιορισμοί (19) εξασφαλίζουν ότι ο συνολικός χρόνος που το πλήρωμα της συντήρησης εργάζεται σε ένα αεροσκάφος κατά τη διάρκεια μίας περιόδου δεν υπερβαίνει τον υπολειπόμενο χρόνο συντήρησης αυτού του αεροσκάφους στην αρχή της ίδιας περιόδου.

Οι περιορισμοί (21) και (22) εισάγονται για να εξασφαλίσουν ότι η διαθεσιμότητα του αεροσκάφους τερματίζει όταν μειώνεται ο υπολειπόμενος χρόνος πτήσης του σε 0. Εάν $y_{mnt} > 0$, η βοηθητική μεταβλητή απόφασης p_{mnt} στους περιορισμούς (21) είναι ίση με 0. Σε εκείνη την περίπτωση, οι περιορισμοί (22) υποχρεώνουν την μεταβλητή a_{mnt+1} να πάρει την τιμή 0 εάν $y_{mnt} = x_{mnt}$, αφού ο υπολειπόμενος χρόνος πτήσης αυτού του αεροσκάφους μειώνεται σε 0 κατά τη διάρκεια της περιόδου t. Ομοίως, οι περιορισμοί (23) και (24) εξασφαλίζουν ότι ένα αεροσκάφος γίνεται διαθέσιμο όταν ο υπολειπόμενος χρόνος συντήρησης του μειώνεται σε 0. Εάν g_{mnt} > 0, η βοηθητική μεταβλητή απόφασης r_{mnt} στους περιορισμούς (23) είναι ίση με 0. Σε εκείνη την περίπτωση, οι περιορισμοί (24) ωθούν την a_{mnt+1} στην τιμή 1 εάν g_{mnt} = h_{mnt} , αφού ο υπολειπόμενος χρόνος συντήρησης αυτού του αεροσκάφους μειώνεται σε 0 κατά τη διάρκεια της περιόδου t.

Οι περιορισμοί (25), (26) και (27) χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν την κατάσταση του συστήματος την πρώτη περίοδο του ορίζοντα σχεδιασμού.

Το μοντέλο είναι ακριβές, δεδομένου ότι ενσωματώνει όλες τις πτυχές του προβλήματος, όπως τη χωρική και χρονική δυναμικότητα του σταθμού συντήρησης, τις απαιτήσεις πτήσης, τις ανάγκες συντήρησης, κ.λπ... Ο μεγάλος αριθμός μεταβλητών απόφασης ενισχύει την ευελιξία του και καθιστά την εισαγωγή πρόσθετων περιορισμών απλή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΤΥΧΑΙΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

Στο παρακάτω κεφάλαιο αναπτύσσουμε λεπτομερώς το πρόγραμμα για την δημιουργία τυχαίων προβλημάτων το οποίο έγινε με την βοήθεια της FORTRAN.

Καταρχήν ο χρήστης καλείται να επιλέξει τον αριθμό των μοιρών (***M***), τον αριθμό των αεροσκαφών σε κάθε μοίρα (***Nm)*** και τον αριθμό του χρονικού ορίζοντα (***t***). Επίσης, ορίζουμε το *G=320* και το *Y=300*

Υπολογισμός S_{mt}:

Για τον υπολογισμό του S_{mt} ο χρήστης καλείται να επιλέξει ανάμεσα σε 3 επιλογές:

1. στην περίπτωση αυτή ο απαιτούμενος χρόνος πτήσης της μοίρας m την περίοδο t είναι χαμηλός και το S_{mt} παίρνει τιμές από 80-120.
2. στην περίπτωση αυτή ο απαιτούμενος χρόνος πτήσης της μοίρας m την περίοδο t είναι μέτριος και το S_{mt} παίρνει τιμές από 130-170.
3. στην περίπτωση αυτή ο απαιτούμενος χρόνος πτήσης της μοίρας m την περίοδο t είναι υψηλός και το S_{mt} παίρνει τιμές από 180-220.

Υπολογισμός B_t:

Για τον υπολογισμό του B_t ο χρήστης καλείται να επιλέξει ανάμεσα σε 3 επιλογές:

1. στην περίπτωση αυτή η χρονική δυναμικότητα του σταθμού συντήρησης κατά την περίοδο t είναι χαμηλή και το B_t παίρνει τιμές από 300-400.
2. στην περίπτωση αυτή η χρονική δυναμικότητα του σταθμού συντήρησης κατά την περίοδο t είναι μέτρια και το B_t παίρνει τιμές από 400-500.
3. στην περίπτωση αυτή η χρονική δυναμικότητα του σταθμού συντήρησης κατά την περίοδο t είναι υψηλή και το B_t παίρνει τιμές από 500-600

Υπολογισμός C:

Για τον υπολογισμό του C ο χρήστης καλείται να επιλέξει ανάμεσα σε 3 επιλογές:

1. στην περίπτωση αυτή ο μέγιστος αριθμός των αεροσκαφών που μπορούν να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα από το σταθμό συντήρησης είναι χαμηλός και το C ισούται με τον κάτω ακέραιο του γινομένου 0.1*m*n.
2. στην περίπτωση αυτή ο μέγιστος αριθμός των αεροσκαφών που μπορούν να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα από το σταθμό συντήρησης είναι μέτριος και το C ισούται με τον κάτω ακέραιο του γινομένου 0.15*m*n.

3. στην περίπτωση ο μέγιστος αριθμός των αεροσκαφών που μπορούν να εξυπηρετηθούν ταυτόχρονα από το σταθμό συντήρησης είναι υψηλός και το *C* ισούται με τον κάτω ακέραιο του γινομένου $0.2*m*n$.

Υπολογισμός **X_{max}** :

Για τον υπολογισμό του X_{max} ο χρήστης καλείται να επιλέξει ανάμεσα σε 3 επιλογές:

1. στην περίπτωση αυτή ο μέγιστος χρόνος πτήσης ενός αεροσκάφους κατά τη διάρκεια μίας περιόδου είναι χαμηλός και το X_{max} ισούται με 30.
2. στην περίπτωση αυτή ο μέγιστος χρόνος πτήσης ενός αεροσκάφους κατά τη διάρκεια μίας περιόδου είναι μέτριος και το X_{max} ισούται με 50.
3. στην περίπτωση αυτή ο μέγιστος χρόνος πτήσης ενός αεροσκάφους κατά τη διάρκεια μίας περιόδου είναι υψηλός και το X_{max} ισούται με 70.

__Υπολογισμός__ __L,U__

Για τον υπολογισμό των ***L,U*** ο χρήστης καλείται να επιλέξει ανάμεσα σε 3 επιλογές:

1. στην περίπτωση αυτή το πρόγραμμα πτήσης είναι αυστηρό, το ***L*** ισούται με 1 και το ***U*** με 1.
2. στην περίπτωση αυτή το πρόγραμμα πτήσης είναι μέτριο, το ***L*** ισούται με 0.95 και το ***U*** με 1.05 .
3. στην περίπτωση αυτή το πρόγραμμα πτήσης είναι χαλαρό, το **L** ισούται με 0.9 και το ***U*** με 1.1 .

__Υπολογισμός__ __A1mn__

Για τον υπολογισμό του ***A1mn*** ο χρήστης καλείται να επιλέξει ανάμεσα σε 3 περιπτώσεις:

1. στην περίπτωση αυτή ο αριθμός των πτήσιμων αεροσκαφών ισούται με n,δηλαδή όλα τα αεροσκάφη είναι πτήσιμα
2. στην περίπτωση αυτή ο αριθμός των πτήσιμων αεροσκαφών ισούται με τον κάτω ακέραιο του γινομένου *0.9*n*.
3. στην περίπτωση αυτή ο αριθμός των πτήσιμων αεροσκαφών ισούται με τον κάτω ακέραιο του γινομένου *0.8*n*.

- Το A1mn παίρνει την τιμή 1 όταν το αεροσκάφος είναι πτήσιμο και την τιμή 0 όταν το αεροσκάφος δεν είναι πτήσιμο.

. ***Υπολογισμός* Y1mn**

Το *Y1mn* εξαρτάται από το *A1mn*. Όταν το *A1mn* παίρνει την τιμή 1 ,δηλαδή το αεροσκάφος είναι πτήσιμο, το *Y1mn* παίρνει τιμές ομοιόμορφα από 0 ως *Y*. Αντίθετα όταν το *A1mn* ισούται με 0 τότε και το *Y1mn* ισούται με 0.

. ***Υπολογισμός* G1mn**

Το *G1mn* εξαρτάται από το *A1mn*. Όταν το *A1mn* παίρνει την τιμή 1 ,δηλαδή το αεροσκάφος είναι πτήσιμο, το *G1mn* παίρνει την τιμή 0. Αντίθετα όταν το *A1mn* ισούται με 0 τότε και το *G1mn* παίρνει τιμές ομοιόμορφα από 0 ως *G*.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Στο παράδειγμα που μελετάμε έχουμε μία μονάδα αεροσκαφών που αποτελείται από **3** μοίρες, κάθε μία από τις οποίες έχει **8** αεροσκάφη, ενώ ο χρονικός ορίζοντας είναι **6** περιόδων

Αρχικά ορίζουμε σαν αναφορά τον συνδυασμό στον οποίο δίνουμε στις παραμέτρους *S,B,C,Xmax,L,U,A1mn* την επιλογή 2.

Συγκεκριμένα:

- το *S* παίρνει τιμές από 130 ως 170
- το *B* παίρνει τιμές από 400 ως 500
- το *C* ισούται με τον κάτω ακέραιο του γινομένου $0.15*n*m$
- το L=0.95 και το U=1.05
- το *Xmax.* ισούται με 50
- το *A1mn* ισούται με τον κάτω ακέραιο του γινομένου $0.9*n$

5.1 *Μελέτη υπολογιστικού χρόνου πολυκριτήριας βελτιστοποίησης*

Στο κεφάλαιο αυτό με την χρήση της AMPL υπολογίζουμε τον χρόνο (σε sec) τυχαίων προβλημάτων πολυκριτήριας βελτιστοποίησης 10 μετρήσεων για κάθε συνδυασμό των παραμέτρων του προβλήματος.

5.1.1 Υπολογιστικός χρόνος αναφοράς:

Στην περίπτωση αυτή όλες οι παράμετροι βρίσκονται στην αναφορά. Όπου ο πίνακας δεν είναι συμπληρωμένος ο υπολογιστικός χρόνος έχει ξεπεράσει τα 75 min.

Πίνακας 5.1.1 Υπολογιστικός χρόνος αναφοράς (σε sec.)

	T	
1	2600.4	**max.**
2	3.808	**min.**
3	1048.02	
4	13.98	
5		
6	14.465	
7	685.885	
8	64.505	
9	1684.78	
10		
M.O	**764.48 sec**	

5.1.2 Υπολογιστικός χρόνος για S=1:

Στην περίπτωση αυτή όλες οι παράμετροι βρίσκονται στην αναφορά εκτός από το *S* για το οποίο έχουμε την επιλογή 1, δηλαδή το S παίρνει τιμές από 80 ως 120.

Πίνακας 5.1.2 Υπολογιστικός χρόνος για S=1

	T	
1	0.939	
2	0.412	**min**
3	2.198	
4	5.981	
5	3.189	
6	2.661	
7	1.873	
8	2.409	
9	5.373	
10	11.534	**max.**
M.O	**3.656 sec**	

5.1.3 Υπολογιστικός χρόνος για S=3:

Στην περίπτωση αυτή όλες οι παράμετροι βρίσκονται στην αναφορά εκτός από το S για το οποίο έχουμε την επιλογή 3, δηλαδή το S παίρνει τιμές από 180 ως 220. Όπου ο πίνακας δεν είναι συμπληρωμένος ο υπολογιστικός χρόνος έχει ξεπεράσει τα 75 min.

Πίνακας 5.1.3 Υπολογιστικός χρόνος για S=3

	T	
1	1079.59	
2		
3	528.913	
4	22.023	**min**
5	625.677	
6		
7	357.001	
8	661.036	
9		
10	977.002	**max.**
M.O	**607.3 sec**	

5.1.4 Υπολογιστικός χρόνος για B=1:

Στην περίπτωση αυτή όλες οι παράμετροι βρίσκονται στην αναφορά εκτός από το B για το οποίο έχουμε την επιλογή 1, δηλαδή το *B* παίρνει τιμές από 300 ως 400. Όπου ο πίνακας δεν είναι συμπληρωμένος ο υπολογιστικός χρόνος έχει ξεπεράσει τα 75 min.

Πίνακας 5.1.4 Υπολογιστικός χρόνος για B=1

	T	
1	1520.94	
2	3277.91	**max.**
3	998.994	**min**
4	2099.72	
5	1515.6	
6	1012.32	
7	2243.66	
8		
9	2344.31	
10	2165.42	
M.O	**1098.76 sec**	

5.1.5 Υπολογιστικός χρόνος για B=3:

Στην περίπτωση αυτή όλες οι παράμετροι βρίσκονται στην αναφορά εκτός από το *B* για το οποίο έχουμε την επιλογή 3, δηλαδή το *B* παίρνει τιμές από 500 ως 600.

Πίνακας 5.1.5 Υπολογιστικός χρόνος για B=3

	T	
1	44.943	
2	2.939	
3	5.172	
4	2.784	
5	2.934	
6	550.934	**max.**
7	209.047	
8	12.878	
9	2.939	
10	0.612	**min**
M.O	**83.51 sec**	

5.1.6 Υπολογιστικός χρόνος C=1:

Στην περίπτωση αυτή οι παράμετροι *S,B,Xmax,L,U* βρίσκονται στην αναφορά. Για το *C* έχουμε την επιλογή 1, δηλαδή το C ισούται με τον κάτω ακέραιο του γινομένου *0.1*n*m*. Το *A1mn* για 2 μοίρες βρίσκεται στην αναφορά, ενώ για την άλλη μοίρα το *A1mn* ισούται με *n*. Όπου ο πίνακας δεν είναι συμπληρωμένος ο υπολογιστικός χρόνος έχει ξεπεράσει τα 75 min

Πίνακας 5.1.6 Υπολογιστικός χρόνος για C=1

	T	
1	27.904	**min**
2	63.91	
3	857.354	
4	875.552	
5		
6	2644.55	**max.**
7		
8	1024.33	
9	2242.61	
10		
M.O	**1105.17 sec**	

5.1.7 Υπολογιστικός χρόνος για C=3:

Στην περίπτωση αυτή όλες οι παράμετροι βρίσκονται στην αναφορά εκτός από το *C* για το οποίο έχουμε την επιλογή 3, δηλαδή το *C* ισούται με τον κάτω ακέραιο του γινομένου *0.2*n*m*. Όπου ο πίνακας δεν είναι συμπληρωμένος ο υπολογιστικός χρόνος έχει ξεπεράσει τα 75 min.

Πίνακας 5.1.7 Υπολογιστικός χρόνος για C=3

	T	
1	2396.53	
2	240.508	
3		
4	63.494	**min**
5		
6		
7	2567.33	**max.**
8	63.502	
9	132.347	
10	634.614	
M.O	**871.189**	

5.1.8 Υπολογιστικός χρόνος για L,U=1:

Στην περίπτωση αυτή όλες οι παράμετροι βρίσκονται στην αναφορά εκτός από τα *L* και *U* για τα οποία έχουμε την επιλογή 1, δηλαδή το *L* και το *U* ισούνται με 1. Όπου ο πίνακας δεν είναι συμπληρωμένος ο υπολογιστικός χρόνος έχει ξεπεράσει τα 75 min.

Πίνακας 5.1.8 Υπολογιστικός χρόνος για L,U=1

	T	
1	27.11	
2	971.427	**max.**
3	11.416	**min**
4	299.188	
5	775.354	
6	233.401	
7		
8	293.123	
9	112.004	
10	221.807	
M.O	**304.981 sec**	

5.1.9 Υπολογιστικός χρόνος για L,U=3:

Στην περίπτωση αυτή όλες οι παράμετροι βρίσκονται στην αναφορά εκτός από τα *L* και *U* για τα οποία έχουμε την επιλογή 3, δηλαδή το *L* ισούται με 0.9 και το *U* ισούται με 1.1.

Πίνακας 5.1.9 Υπολογιστικός χρόνος για L,U=3

	T	
1	21.339	
2	6.774	
3	198.659	
4	2653.39	**max.**
5	5.56	
6	191.693	
7	10.306	
8	2.99	**min**
9	2479.85	
10	100.78	
M.O	**557.133 sec**	

5.1.10 Υπολογιστικός χρόνος για Xmax.=1:

Στην περίπτωση αυτή όλες οι παράμετροι βρίσκονται στην αναφορά εκτός από το *Xmax.* για το οποίο έχουμε την επιλογή 1, δηλαδή το *Xmax.* ισούται με 30.

Πίνακας 5.1.10 Υπολογιστικός χρόνος για Xmax.=1

	T	
1	76.663	**max.**
2	4.334	
3	16.719	
4	1.134	**min**
5	20.782	
6	12.128	
7	30.958	
8	49.46	
9	64.448	
10	2.658	
M.O	**27.928 sec**	

5.1.11 Υπολογιστικός χρόνος για Xmax.=3:

Στην περίπτωση αυτή όλες οι παράμετροι βρίσκονται στην αναφορά εκτός από το *Xmax.* για το οποίο έχουμε την επιλογή 3, δηλαδή το *Xmax.* ισούται με 70. Όπου ο πίνακας δεν είναι συμπληρωμένος ο υπολογιστικός χρόνος έχει ξεπεράσει τα 75 min.

Πίνακας 5.1.11 Υπολογιστικός χρόνος για Xmax.=3

	T	
1	56.728	
2		
3	735.229	**max.**
4	647.112	
5		
6	56.406	**min**
7		
8	244.65	
9		
10		
M.O	**348.025 sec**	

5.1.12 Υπολογιστικός χρόνος για A1mn=1:

Στην περίπτωση αυτή όλες οι παράμετροι βρίσκονται στην αναφορά εκτός από το *A1mn* για το οποίο έχουμε την επιλογή 1, δηλαδή το *A1mn*. ισούται με *n*. Όπου ο πίνακας δεν είναι συμπληρωμένος ο υπολογιστικός χρόνος έχει ξεπεράσει τα 75 min.

Πίνακας 5.1.12 Υπολογιστικός χρόνος για A1mn=1

	T	
1	77.461	**min**
2	124.866	
3	102.638	
4		
5	1741.26	
6	859.367	
7	889.548	**max.**
8	799.442	
9	812.344	
10		
M.O	**675.865 sec**	

5.1.13 Υπολογιστικός χρόνος για A1mn=3:

Στην περίπτωση αυτή όλες οι παράμετροι βρίσκονται στην αναφορά. Για το A1mn έχουμε την επιλογή 3, δηλαδή το *A1mn.* ισούται με τον κάτω ακέραιο του γινομένου *0.8*n* ,μόνο για 1 μοίρα. Όπου ο πίνακας δεν είναι συμπληρωμένος ο υπολογιστικός χρόνος έχει ξεπεράσει τα 75 min.

Πίνακας 5.1.13 Υπολογιστικός χρόνος για A1mn=3

	T	
1	445.972	
2	143.722	
3	244.57	
4	1323.68	
5	395.924	
6	11.076	**min**
7	840.877	
8	335.796	
9	1330.22	**max.**
10		
M.O	**563.537 sec**	

5.2 *Μελέτη υπολογιστικού χρόνου μονοκριτήριας βελτιστοποίησης*

Στην παράγραφο αυτή με την χρήση της AMPL υπολογίζουμε τον χρόνο (σε sec) τυχαίων προβλημάτων μονοκριτήριας βελτιστοποίησης 30 μετρήσεων για κάθε συνδυασμό των παραμέτρων του προβλήματος.

5.2.1 Υπολογιστικός χρόνος αναφοράς:

Στην περίπτωση αυτή όλες οι παράμετροι βρίσκονται στην αναφορά..

Πίνακας 5.2.1 Υπολογιστικός χρόνος αναφοράς

Μέτρηση	**T**	
1	0.5539	
2	0.1249	
3	0.2999	
4	117.372	
5	35.624	
6	0.9948	
7	17.913	
8	0.0300	
9	1.035	
10	0.3039	

11	36.438	
12	0.9748	
13	0.4839	
14	0.3599	
15	0.0119	**min.**
16	0.4729	
17	0.5019	
18	10.298	
19	3.702	
20	1.018	
21	142.832	**max.**
22	5.024	
23	0.700	
24	1.369	
25	0.3409	
26	0.1749	
27	4.377	
28	0.4549	
29	5.139	
30	0.3379	
Μέσος όρος :	**12.975 sec**	

5.2.2 Υπολογιστικός χρόνος για S=3:

Στην περίπτωση αυτή όλες οι παράμετροι βρίσκονται στην αναφορά, εκτός από το S για το οποίο έχουμε την επιλογή 3, δηλαδή το *S* παίρνει τιμές από 180 ως 220.

Πίνακας 5.2.2 Υπολογιστικός χρόνος για S=3

Μέτρηση	T	
1	3.809	
2	3.760	
3	0.7188	
4	3.481	
5	0.3119	
6	251.685	**max.**
7	0.1499	**min.**
8	0.1529	
9	32.981	
10	0.1577	
11	14.568	
12	38.411	
13	11.239	
14	39.233	
15	0.3149	
16	3.451	
17	1.262	
18	23.564	

19	3.029	
20	3.932	
21	1.731	
22	12.948	
23	52.030	
24	3.411	
25	11.020	
26	0.4999	
27	11.564	
28	11.736	
29	5.211	
30	22.098	
Μέσος όρος :	**18.948 sec**	

5.2.3 Υπολογιστικός χρόνος για C=3:

Στην περίπτωση αυτή όλες οι παράμετροι βρίσκονται στην αναφορά, εκτός από το *C* για το οποίο έχουμε την επιλογή 3, δηλαδή το *C* ισούται με τον κάτω ακέραιο του γινομένου *0.2*n*m*

Πίνακας 5.2.3 Υπολογιστικός χρόνος για C=3

Μέτρηση	**T**	
1	1.9055	
2	0.5159	
3	0.5809	
4	2.696	
5	0.2379	
6	0.0869	
7	0.0399	
8	0.5791	
9	0.4189	
10	0.6429	
11	4.147	
12	0.1119	
13	1.962	
14	0.9278	
15	0.1129	
16	1.935	
17	1.023	
18	0.0869	

19	0.0859	
20	4.151	
21	6.729	
22	0.3659	
23	0.0599	
24	0.6609	
25	1.949	
26	0.3469	
27	0.5759	
28	125.211	**max.**
29	0.0369	**min.**
30	2.002	
Μέσος όρος :	**5.339 sec**	

5.2.4 Υπολογιστικός χρόνος για Xmax.=3:

Στην περίπτωση αυτή όλες οι παράμετροι βρίσκονται στην αναφορά, εκτός από το *Xmax.* για το οποίο έχουμε την επιλογή 3, δηλαδή το *Xmax.* ισούται με 70.

Πίνακας 5.2.4 Υπολογιστικός χρόνος για Xmax.=3

Μέτρηση	T	
1	1.410	
2	2.446	
3	10.791	
4	3.776	
5	1.021	
6	1.231	
7	81.217	
8	4.998	
9	0.404	
10	0.671	
11	0.668	
12	1.285	
13	8.698	
14	1.620	
15	0.396	min.
16	3.081	
17	2.118	
18	2.966	

19	3.083	
20	0.899	
21	1.294	
22	0.515	
23	3.079	
24	0.906	
25	183.291	**max.**
26	8.663	
27	1.858	
28	1.897	
29	1.408	
30	0.930	
Μέσος όρος :	**11.220 sec**	

5.3 Σύγκριση υπολογιστικού χρόνου πολυκριτήριας και μονοκριτήριας βελτιστοποίησης

Στην παράγραφο αυτή συγκρίνουμε τον υπολογιστικό χρόνο πολυκριτήριας και μονοκριτήριας βελτιστοποίησης στο ίδιο πρόβλημα.

5.3.1 Σύγκριση υπολογιστικού χρόνου για S=3:

Στην περίπτωση αυτή όλες οι παράμετροι βρίσκονται στην αναφορά, εκτός από το *S* για το οποίο έχουμε την επιλογή 3, δηλαδή το *S* παίρνει τιμές από 180 ως 220. Όπου ο πίνακας δεν είναι συμπληρωμένος ο υπολογιστικός χρόνος έχει ξεπεράσει τα 75 min.

Πίνακας 5.3.1 Σύγκριση χρόνου για S=3

Μέτρηση	T	
	Μονοκριτήρια	Πολυκριτήρια
1	11.530	21.719
2	0.418	626.034
3	0.763	426.176
4	39.398	
5	14.426	
6	4.776	633.896
7		
8	7.077	
9		
10	1375.94	3196.18

5.3.2 <u>Σύγκριση υπολογιστικού χρόνου για C=3:</u>

Στην περίπτωση αυτή όλες οι παράμετροι βρίσκονται στην αναφορά, εκτός από το C για το οποίο έχουμε την επιλογή 3, δηλαδή το C ισούται με τον κάτω ακέραιο του γινομένου $0.2*n*m$. Όπου ο πίνακας δεν είναι συμπληρωμένος ο υπολογιστικός χρόνος έχει ξεπεράσει τα 75 min.

Πίνακας 5.3.2 Σύγκριση χρόνου για C=3

Μέτρηση	T	
	Μονοκριτήρια	Πολυκριτήρια
1	0.739	3.123
2	0.936	353.104
3	0.125	52.065
4	0.377	410.96
5	0.468	14.797
6	2.329	424.969
7	0.674	155.79
8	2.421	1034.96
9	0.599	46.374
10	33.059	

5.3.3 Σύγκριση υπολογιστικού χρόνου για Xmax.=3:

Στην περίπτωση αυτή όλες οι παράμετροι βρίσκονται στην αναφορά, εκτός από το *Xmax.* για το οποίο έχουμε την επιλογή 3, δηλαδή το *Xmax.* ισούται με 70. Όπου ο πίνακας δεν είναι συμπληρωμένος ο υπολογιστικός χρόνος έχει ξεπεράσει τα 75 min.

Πίνακας 5.3.3 Σύγκριση χρόνου για Xmax.=3

Μέτρηση	T	
	Μονοκριτήρια	Πολυκριτήρια
1	1.008	
2	0.597	
3	1.068	730.322
4	0.496	1343.49
5	377.468	
6	6.179	13.763
7	0.984	2924.63
8	8.435	55.195
9	104.926	1496.98
10		

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΜΕΛΕΤΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΙΚΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΥΠΟΔΙΑΙΡΕΣΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό δημιουργούμε αρχικά ένα μοντέλο μίας μονάδας αεροσκαφών που αποτελείται από **3** μοίρες, κάθε μία από τις οποίες έχει **8** αεροσκάφη, ενώ ο χρονικός ορίζοντας είναι **6** περιόδων. Ακολουθεί η λύση του προβλήματος αυτού με την βοήθεια της AMPL έχοντας όλες τις παραμέτρους στην αναφορά (επιλογή 2 *για S,B,C,Xmax.,L, U, A1mn*).

Στην συνέχεια υποδιαιρούμε το πρόβλημα αυτό σε 2 υποπροβλήματα, τα οποία έχουν τα ίδια δεδομένα με το αρχικό με την διαφορά ότι ο χρονικός ορίζοντας είναι ίσος με 3 περιόδους για το κάθε ένα.

Τέλος το αρχικό πρόβλημα το υποδιαιρούμε σε 3 μικρότερα υποπροβλήματα τα οποία έχουν τα ίδια δεδομένα με το αρχικό εκτός από τον χρονικό ορίζοντα ο οποίος για το κάθε υποπρόβλημα ισούται με 2.

Τα μεγέθη που μελετάμε και συγκρίνουμε για το κάθε πρόβλημα είναι:

- ο υπολογιστικός χρόνος *T*
- οι υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά μοίρα και ανά περίοδο *Sy[m,t]*
- οι συνολικές υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά περίοδο *Ty[t]*
- ο αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά μοίρα και ανά περίοδο *Sa[m,t]*
- ο συνολικός αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά περίοδο *Ta[t]*

Συνολικά έχουμε 10 παραδείγματα υποδιαίρεσης και τα αποτελέσματα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες

1^o Παράδειγμα

T=6 | T=3 | T=2

Ώρες πτήσης (Sy,Ty)

T=6

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	1212	894	1433	**3539**
2	1387.5	1061	1291.4	**3740**
3	1238.4	1212.8	1167	**3618.2**
4	1103.5	1359.8	1331.1	**3794.2**
5	1253.4	1223	1199.1	**3675.5**
6	1112.8	1070.1	1350.9	**3533.8**
7	1268.4	1220.1	1206.5	**3695**

T=3

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	1212	894	1433	**3539**
2	1387.5	1061	1291.4	**3740**
3	1238.4	1212.8	1167	**3618.2**
4	1103.5	1359.8	1331.1	**3794.5**
5	953.4	1223	1199.1	**3375.6**
6	1112.8	1070.1	1050.9	**3233.8**
7	968.4	934.2	1206.5	**3109.2**

T=2

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	1212	894	1433	**353**
2	1387.5	1061	1291.4	**374**
3	1238.4	1212.8	1167	**3618**
4	1103.5	1059.8	1331.1	**3494**
5	953.4	953	1199.1	**3075**
6	812.8	770.1	1050.9	**2633**
7	668.4	634.2	906.5	**2209**

Διαθέσιμα αεροσκάφη (Sa,Ta)

T=6

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	8	7	7	**22**
3	8	7	7	**22**
4	7	7	8	**22**
5	8	7	7	**22**
6	7	7	8	**22**
7	8	7	8	**23**

T=3

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	8	7	7	**22**
3	8	7	7	**22**
4	8	8	8	**24**
5	7	8	8	**23**
6	8	8	7	**23**
7	7	8	8	**23**

T=2

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	8	**21**
2	8	7	7	**22**
3	8	8	7	**23**
4	8	8	8	**24**
5	8	8	8	**24**
6	8	8	8	**24**
7	8	8	8	**24**

Υπολογιστικός χρόνος (T)

T=6

565.02 sec

T=3+3

0.178 sec
0.128 sec

T=2+2+2

0.0309 sec
0.0199 sec
0.0379 sec

Παρακάτω παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας των μετρήσεων των παραπάνω υποδιαιρέσεων.

Όπου:

- *Z1* ο αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά μοίρα και ανά περίοδο *Sa*
- *Z2* ο συνολικός αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά περίοδο *Ta*
- *Z3* οι υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά μοίρα και ανά περίοδο *Sy*
- *Z4* οι συνολικές υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά περίοδο *Ty*

	Z1	**Z2**	**Z3**	**Z4**	**Total Time(sec.)**
T=6	7	21	894	3533.8	565.02
T=3	7	21	894	3109.2	0.306
T=2	7	21	634.2	2209.1	0.0887

2° Παράδειγμα

T=6 **T=3** **T=2**

Ώρες πτήσης (Sy,Ty)

T=6

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	752	707	712	**2171**
2	592.4	851.2	863.8	**2307.4**
3	766	712.5	1024.1	**2502.7**
4	627.3	888	870.2	**2385.6**
5	775.3	755	1033.4	**2563.6**
6	941.4	623	885.2	**2449.6**
7	816.9	771	719.4	**2307.4**

T=3

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	752	707	712	**2171**
2	592.4	851.2	863.8	**2307.4**
3	766	712.5	1024.1	**2502.7**
4	627.3	888	870.2	**2385.6**
5	775.3	755	733.4	**2563.6**
6	641.4	923	885.2	**2449.6**
7	816.9	771	730.4	**2307.4**

T=2

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	1212	894	1433	**353**
2	1387.5	1061	1291.4	**374**
3	1238.4	1212.8	1167	**3618**
4	1103.5	1059.8	1331.1	**3494**
5	953.4	953	1199.1	**3075**
6	812.8	770.1	1050.9	**2633**
7	668.4	634.2	906.5	**2209**

Διαθέσιμα αεροσκάφη (Sa,Ta)

T=6

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	7	8	7	**22**
3	8	7	7	**22**
4	7	8	7	**22**
5	7	8	8	**23**
6	7	7	7	**22**
7	7	8	7	**23**

T=3

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	7	7	7	**22**
3	8	8	8	**23**
4	7	7	8	**22**
5	8	7	7	**22**
6	7	8	7	**22**
7	8	7	7	**22**

T=2

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	7	8	8	**23**
3	8	8	7	**23**
4	8	8	8	**23**
5	8	8	8	**24**
6	8	8	8	**24**
7	8	8	8	**24**

Υπολογιστικός χρόνος (T)

T=6

11.499 sec

T=3+3

0.365 sec
0.449 sec

T=2+2+2

0.0349 sec
0.0459 sec
0.1029 sec

Παρακάτω παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας των μετρήσεων των παραπάνω υποδιαιρέσεων.

Όπου:

- Z1 ο αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά μοίρα και ανά περίοδο Sa
- Z2 ο συνολικός αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά περίοδο Ta
- Z3 οι υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά μοίρα και ανά περίοδο Sy
- Z4 οι συνολικές υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά περίοδο Ty

	Z1	**Z2**	**Z3**	**Z4**	**Total Time(sec.)**
T=6	7	21	592.4	2171	11.499
T=3	7	21	592.4	2171	0.814
T=2	7	21	634.2	2209.1	0.1837

3° Παράδειγμα

T=6 **T=3** **T=2**

Ώρες πτήσης (Sy,Ty)

T=6

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	1153	1187	916	**3256**
2	1319	1357.8	1056.4	**3733.2**
3	1167	1203.9	910.1	**3281**
4	1010.3	1044.3	1052.4	**3107**
5	1183	889.4	927	**2999.4**
6	1006.6	1035.5	1088.3	**3130.4**
7	1171.1	895.9	932.5	**3000.1**

T=3

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	1153	1187	916	**3256**
2	1319	1357.8	1056.4	**3733.2**
3	1167	1203.9	910.1	**3281**
4	1010.3	1044.3	1052.4	**3107**
5	883	889.4	927	**2699.4**
6	1023.4	735.5	788.3	**2547.2**
7	888.5	895.9	632.5	**2416.9**

T=2

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	1153	1187	916	**325**
2	1319	1357.8	1056.4	**3733**
3	1167	1203.9	910.1	**328**
4	1010.3	1044.3	752.4	**280**
5	883	889.4	927	**2699**
6	723.4	735.5	788.3	**2247**
7	588.5	595.9	632.5	**1816**

Διαθέσιμα αεροσκάφη (Sa,Ta)

T=6

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	8	8	8	**24**
3	8	7	7	**22**
4	7	7	8	**22**
5	8	7	7	**22**
6	7	8	8	**23**
7	7	8	7	**22**

T=3

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	8	8	8	**24**
3	8	8	7	**23**
4	8	8	8	**24**
5	7	8	8	**24**
6	8	7	8	**23**
7	8	8	8	**24**

T=2

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	8	8	8	**24**
3	8	8	8	**24**
4	8	8	7	**23**
5	8	8	8	**24**
6	8	8	8	**24**
7	8	8	8	**24**

Υπολογιστικός χρόνος (T)

T=6

95.44 sec

T=3+3

0.039sec
0.079 sec

T=2+2+2

0.003 sec
0.0259 sec
0.0269 sec

Παρακάτω παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας των μετρήσεων των παραπάνω υποδιαιρέσεων.

Όπου:

- Z1 ο αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά μοίρα και ανά περίοδο Sa
- Z2 ο συνολικός αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά περίοδο Ta
- Z3 οι υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά μοίρα και ανά περίοδο Sy
- Z4 οι συνολικές υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά περίοδο Ty

	Z1	**Z2**	**Z3**	**Z4**	**Total Time(sec.)**
T=6	7	21	889.4	2999.4	95.44
T=3	7	21	632.5	2416.9	0.118
T=2	7	21	588.5	1816.9	0.0558

4^{o} Παράδειγμα

T=6 **T=3** **T=2**

Ώρες πτήσης (Sy,Ty)

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	1061	1487	824	**3372**
2	920.4	1343.5	982.4	**3246.3**
3	1080.7	1197.2	1153.2	**3431.2**
4	920.4	1347.1	998.4	**3265.9**
5	1095	1197.1	1159.7	**3451.8**
6	1093.8	1200.4	1178.5	**3313.5**
7	1171.1	895.9	932.5	**3472.7**

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	1061	1487	824	**3372**
2	920.4	1643.5	982.4	**3546.4**
3	1080.7	1497.2	853.2	**3431.2**
4	924.9	1352.8	998.4	**3276.2**
5	799.5	1207.5	859.7	**2866.7**
6	952	1074.5	703.9	**2735.4**
7	798.4	917.7	878.5	**2594.6**

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	1061	1487	824	**337**
2	920.4	1643.5	962.4	**3546**
3	1080.7	1497.2	853.2	**3431**
4	924.7	1352.8	998.4	**2876**
5	799.5	1107.5	859.7	**2766**
6	944.3	1072.8	701.2	**2633**
7	777.4	923.6	889.7	**2503**

Διαθέσιμα αεροσκάφη (Sa,Ta)

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	7	7	7	**21**
3	8	7	7	**22**
4	7	7	7	**21**
5	7	7	7	**21**
6	7	7	8	**21**
7	8	7	8	**23**

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	7	8	8	**23**
3	8	8	7	**23**
4	8	8	8	**24**
5	7	8	8	**23**
6	8	8	7	**23**
7	8	8	8	**24**

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	7	8	8	**23**
3	8	8	8	**24**
4	8	8	7	**23**
5	8	8	8	**24**
6	8	8	8	**24**
7	8	8	8	**24**

Υπολογιστικός χρόνος (T)

T=6
136.671 sec

T=3+3
0.126sec
0.284 sec

T=2+2+2
0.030 sec
0.0209 sec
0.1044 sec

Παρακάτω παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας των μετρήσεων των παραπάνω υποδιαιρέσεων.

Όπου:

- Z1 ο αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά μοίρα και ανά περίοδο Sa
- Z2 ο συνολικός αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά περίοδο Ta
- Z3 οι υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά μοίρα και ανά περίοδο Sy
- Z4 οι συνολικές υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά περίοδο Ty

	Z1	**Z2**	**Z3**	**Z4**	**Total Time(sec.)**
T=6	7	21	824	3246.3	136.671
T=3	7	21	703.9	2594.6	0.41
T=2	7	21	701.4	2503.4	0.1553

5^0 Παράδειγμα

Ώρες πτήσης (Sy,Ty)

T=6

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	1160	766	1329	3255
2	1006.1	911.1	1177	3094.2
3	1178.8	1086.7	1027	3292.5
4	1042.9	945.1	1151.6	3139.7
5	1203.3	1115.9	1011.8	3331.1
6	943	1115.7	1035.5	3196.1
7	1171.1	895.9	932.5	3094.2

T=3

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	1160	766	1329	3255
2	1006.1	911.1	1177	3094.2
3	1178.8	1086.7	1040.1	3305.7
4	1042.9	945.1	1181.6	3169.6
5	903.3	1115.9	1053.3	3072.5
6	1073.1	961.1	907	2941.2
7	943	815.7	1080.6	2839.4

T=2

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	1160	766	1329	325
2	1006.1	911.1	1177	3094
3	1178.8	1086.7	1040.1	3305
4	1042.9	1086.7	1181.5	3169
5	903.3	945.1	1053.3	2772
6	767.4	674.4	894.6	2336
7	627.8	545.2	766.4	1939

Διαθέσιμα αεροσκάφη (Sa,Ta)

T=6

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	21
2	7	7	7	21
3	7	8	7	22
4	7	7	7	21
5	8	8	7	23
6	8	7	8	22
7	8	8	7	23

T=3

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	21
2	7	7	7	21
3	8	7	7	22
4	8	7	8	23
5	7	8	8	23
6	8	8	7	23
7	8	8	8	24

T=2

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	21
2	7	7	7	21
3	8	8	7	23
4	8	8	8	23
5	8	8	8	24
6	8	8	8	24
7	8	8	8	24

Υπολογιστικός χρόνος (T)

T=6	T=3+3	T=2+2+2
49.172 sec	0.061sec	0.0129 sec
	0.179 sec	0.0329 sec
		0.0449sec

Παρακάτω παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας των μετρήσεων των παραπάνω υποδιαιρέσεων.

Όπου:

- Z1 ο αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά μοίρα και ανά περίοδο Sa
- Z2 ο συνολικός αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά περίοδο Ta
- Z3 οι υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά μοίρα και ανά περίοδο Sy
- Z4 οι συνολικές υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά περίοδο Ty

	Z1	**Z2**	**Z3**	**Z4**	**Total Time(sec.)**
T=6	7	21	766	3094.2	49.172
T=3	7	21	766	2839.4	0.24
T=2	7	21	545.2	1939.4	0.0907

6^{o} Παράδειγμα

T=6 **T=3** **T=2**

Ώρες πτήσης (Sy,Ty)

T=6

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	650	1457	607	**2714**
2	494.2	911.1	1327.8	**2571.3**
3	642.2	1486.2	601.1	**2729.5**
4	502.5	1354.2	764.3	**2621**
5	668.6	1112.4	615.1	**2500**
6	532.1	1379.9	775.5	**2687.5**
7	681	1236.5	643.4	**2561**

T=3

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	650	1457	607	**2714**
2	494.2	1327.8	749.3	**2571.3**
3	642.2	1486.2	601.1	**2729.5**
4	502.5	1354.2	764.3	**2621**
5	268.6	1216.4	615.1	**2200.2**
6	545.1	1092.9	475.5	**2113.5**
7	394	949.5	643.4	**1987**

T=2

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	650	1457	607	**271**
2	494.2	1327.8	749.3	**2571**
3	642.2	1486.2	601.1	**2729**
4	486.4	1357	443.4	**2286**
5	334.4	1215.5	295.2	**1845**
6	581.9	113.4	499.8	**1977**
7	412.3	981.2	655.2	**1777**

Διαθέσιμα αεροσκάφη (Sa,Ta)

T=6

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	7	7	8	**22**
3	8	7	7	**22**
4	7	7	8	**22**
5	8	7	7	**22**
6	7	8	7	**22**
7	7	8	7	**22**

T=3

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	7	7	8	**22**
3	8	8	7	**23**
4	8	8	8	**24**
5	7	8	8	**23**
6	8	8	7	**23**
7	8	8	8	**24**

T=2

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	7	7	8	**22**
3	8	8	8	**24**
4	8	8	8	**24**
5	8	8	8	**24**
6	8	8	8	**24**
7	8	8	8	**24**

Υπολογιστικός χρόνος (T)

T=6

626.182 sec

T=3+3

0.149sec
2.002 sec

T=2+2+2

0.0389 sec
0.0499sec
0.1225sec

Παρακάτω παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας των μετρήσεων των παραπάνω υποδιαιρέσεων.

Όπου:

- Z1 ο αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά μοίρα και ανά περίοδο Sa
- Z2 ο συνολικός αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά περίοδο Ta
- Z3 οι υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά μοίρα και ανά περίοδο Sy
- Z4 οι συνολικές υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά περίοδο Ty

	Z1	**Z2**	**Z3**	**Z4**	**Total Time(sec.)**
T=6	7	21	494.2	2500	626.182
T=3	7	21	268.6	1987	2.151
T=2	7	21	113.4	1777.5	0.2113

7ο Παράδειγμα

T=6 | **T=3** | **T=2**

Ώρες πτήσης (Sy,Ty)

T=6

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	1061	1487	824	3372
2	920.4	1343.5	982.4	3246.4
3	1080.7	1197.2	1153.2	3431.2
4	920.4	1347.1	998.4	3265.9
5	1095	1197.1	1159.7	3451.8
6	952.5	1357.1	1003.9	3313.5
7	1093.8	1200.4	1178.5	3272.7

T=3

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	1061	1487	824	3372
2	920.4	1643.5	982.4	3546.4
3	1080.7	1497.2	853.2	3431.2
4	924.9	1352.8	998.4	3276.2
5	799.5	1207.5	859.7	2866.2
6	957	1074.5	703.9	2735.4
7	798.4	917.7	878.5	2594.6

T=2

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	1061	1487	824	337
2	920.4	1643.5	982.4	3546
3	1080.7	1497.2	853.4	3431
4	924.9	1352.8	698.4	2976
5	799.5	1207.5	859.7	2866
6	657	1074.5	703.9	2435
7	498.4	917.7	578.5	1994

Διαθέσιμα αεροσκάφη (Sa,Ta)

T=6

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	21
2	7	7	8	21
3	8	7	7	22
4	7	7	7	21
5	7	7	7	21
6	7	7	7	21
7	8	7	8	23

T=3

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	21
2	7	8	8	23
3	8	8	7	23
4	8	8	8	24
5	7	8	8	23
6	8	8	7	23
7	8	8	8	24

T=2

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	21
2	7	8	8	23
3	8	8	8	24
4	8	8	7	23
5	8	8	8	24
6	8	8	8	24
7	8	8	8	24

Υπολογιστικός χρόνος (T)

T=6

135.938 sec

T=3+3

0.125sec
0.285 sec

T=2+2+2

0.0309 sec
0.0209sec
0.0369sec

Παρακάτω παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας των μετρήσεων των παραπάνω υποδιαιρέσεων.

Όπου:

- Z1 ο αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά μοίρα και ανά περίοδο Sa
- Z2 ο συνολικός αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά περίοδο Ta
- Z3 οι υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά μοίρα και ανά περίοδο Sy
- Z4 οι συνολικές υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά περίοδο Ty

	Z1	**Z2**	**Z3**	**Z4**	**Total Time(sec.)**
T=6	7	21	824	3246.4	135.938
T=3	7	21	703.9	2594.6	0.41
T=2	7	21	498.4	1994.6	0.0887

8° Παράδειγμα

T=6 T=3 T=2

Ώρες πτήσης (Sy,Ty)

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	958	842	1126	**2926**
2	806	981.4	1288.2	**3075.7**
3	947.3	1155.1	1128.6	**3231.1**
4	1092.5	1009.7	978.5	**3080.8**
5	943.3	1178.6	844.6	**2966.6**
6	1099.9	1028.5	1003	**3131.5**
7	974.4	1168.9	850.1	**2994.5**

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	958	842	1126	**2926**
2	806	981.4	1288.2	**3075.7**
3	947.3	1155.1	1128.6	**3231.1**
4	1092.5	1009.7	978.5	**3080.8**
5	943.3	1178.6	844.6	**2966.6**
6	799.9	1028.5	1003	**2831.5**
7	974.4	868.9	850.1	**2694.5**

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	958	842	1126	**292**
2	806	981.4	1288.2	**3075**
3	947.3	855.1	1128.6	**2931**
4	792.5	709.7	978.5	**2480**
5	643.3	578.6	844.6	**2066**
6	499.9	428.5	550.6	**1479**
7	375.4	568.9	397.7	**1342**

Διαθέσιμα αεροσκάφη (Sa,Ta)

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	7	7	8	**22**
3	7	8	7	**22**
4	8	7	7	**22**
5	7	8	7	**22**
6	8	7	7	**22**
7	8	8	8	**23**

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	7	7	8	**22**
3	7	7	8	**22**
4	8	7	8	**23**
5	8	8	7	**23**
6	7	8	8	**23**
7	8	8	8	**24**

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	7	8	8	**23**
3	8	8	8	**24**
4	8	8	8	**24**
5	8	8	8	**24**
6	8	7	8	**23**
7	8	7	8	**23**

Υπολογιστικός χρόνος (T)

T=6

253.682 sec

T=3+3

0.113sec
0.142 sec

T=2+2+2

0.0359 sec
0.0369sec
0.0999sec

Παρακάτω παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας των μετρήσεων των παραπάνω υποδιαιρέσεων.

Όπου:

- Z1 ο αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά μοίρα και ανά περίοδο Sa
- Z2 ο συνολικός αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά περίοδο Ta
- Z3 οι υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά μοίρα και ανά περίοδο Sy
- Z4 οι συνολικές υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά περίοδο Ty

.

	Z1	Z2	Z3	Z4	Total Time(sec.)
T=6	7	21	806	2926	253.682
T=3	7	21	799.9	2694.5	0.255
T=2	7	21	375.4	1342.1	0.1727

9^o Παράδειγμα

T=6 | T=3 | T=2

Ώρες πτήσης (Sy,Ty)

T=6

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	357	1038	1319	**2714**
2	519.2	1182.2	1168.9	**2870.3**
3	691.9	1032.1	1331.1	**3055.2**
4	836.1	880.1	1193.4	**2909.6**
5	690.8	1030	1042.3	**2763.1**
6	844.8	905.5	1195.1	**2945.5**
7	683.1	1041.7	1039.7	**2764.6**

T=3

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	357	1038	1319	**2714**
2	519.2	882.2	1468.9	**2870.3**
3	691.9	1032.1	1331.1	**3055.2**
4	836.1	880.1	1193.4	**2909.6**
5	690.8	730	1042.3	**2463.1**
6	858.7	605.5	895.1	**2359.2**
7	712.4	752.2	754.5	**2219.1**

T=2

Sy	m1	m2	m3	T
1	357	1038	1319	**271**
2	519.2	1182.2	1168.9	**2870**
3	691.9	1032.1	1331.1	**3055**
4	536.1	880.1	1181.1	**2597**
5	690.8	730	1042.3	**2464**
6	558.7	605.5	896.1	**2060**
7	412.4	452.2	755.5	**1625**

Διαθέσιμα αεροσκάφη (Sa,Ta)

T=6

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	7	8	7	**22**
3	7	7	8	**22**
4	8	7	7	**22**
5	7	8	7	**22**
6	8	7	8	**23**
7	8	7	8	**22**

T=3

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	7	7	8	**22**
3	7	8	8	**23**
4	8	8	8	**24**
5	7	8	8	**23**
6	8	7	8	**23**
7	8	8	8	**24**

T=2

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	7	8	7	**22**
3	8	8	8	**24**
4	7	8	8	**23**
5	8	8	8	**24**
6	8	8	8	**24**
7	8	8	8	**24**

Υπολογιστικός χρόνος (T)

T=6
1230.75 sec

T=3+3
0.054sec
0.823 sec

T=2+2+2
0.0329 sec
0.0369sec
0.1023sec

Παρακάτω παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας των μετρήσεων των παραπάνω υποδιαιρέσεων.

Όπου:

- Z1 ο αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά μοίρα και ανά περίοδο Sa
- Z2 ο συνολικός αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά περίοδο Ta
- Z3 οι υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά μοίρα και ανά περίοδο Sy
- Z4 οι συνολικές υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά περίοδο Ty

	Z1	**Z2**	**Z3**	**Z4**	**Total Time(sec.)**
T=6	7	21	357	2714	1230.75
T=3	7	21	357	2219.1	0.877
T=2	7	21	357	1625.3	0.1721

10^o Παράδειγμα

T=6	T=3	T=2

Ώρες πτήσης (Sy,Ty)

T=6

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	1204	1209	914	**3327**
2	1062.2	1354.6	1090.5	**3507.4**
3	1219.7	1215	940.4	**3375.1**
4	1363	1074.4	779.8	**3217.2**
5	1228.1	924.4	932.6	**3085.1**
6	1069.4	785.8	1087.2	**2942.5**
7	936.4	911.5	963.7	**2811.7**

T=3

Sy	m1	m2	m3	Ty
1	1204	1209	914	**3327**
2	1075.7	1359	1090.5	**3525.2**
3	1233.2	1232.6	940.4	**3406.3**
4	1076.5	1092	779.8	**2948.4**
5	941.6	949.5	932.6	**2823.7**
6	1082.9	824.1	787.2	**2694.3**
7	949.9	666.4	963.7	**2580.1**

T=2

Sy	m1	m2	m3	T
1	1204	1209	914	**332**
2	1375.7	1359	790.5	**353**
3	1218.2	1243	940.4	**340**
4	10615	1102.4	779.8	**294**
5	926.6	944.9	932.6	**280**
6	1177.5	854.1	903.2	**278**
7	980.9	826.1	1023.7	**234**

Διαθέσιμα αεροσκάφη (Sa,Ta)

T=6

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	7	8	8	**23**
3	7	8	8	**23**
4	8	8	7	**23**
5	8	8	7	**23**
6	8	7	8	**23**
7	8	7	8	**23**

T=3

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	7	7	**21**
2	7	8	8	**23**
3	8	8	8	**24**
4	8	8	7	**23**
5	7	8	7	**22**
6	8	8	7	**23**
7	8	6	8	**22**

T=2

Sa	m1	m2	m3	Ta
1	7	8	7	**21**
2	8	7	7	**23**
3	8	7	8	**24**
4	8	8	7	**23**
5	8	8	8	**24**
6	8	8	8	**24**
7	8	8	8	**24**

Υπολογιστικός χρόνος (T)

T=6	T=3+3	T=2+2+2
0.833 sec	0.029sec	0.0079 sec
	0.143 sec	0.0129sec
		0.0245sec

Παρακάτω παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας των μετρήσεων των παραπάνω υποδιαιρέσεων.

Όπου:

- Z1 ο αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά μοίρα και ανά περίοδο Sa
- Z2 ο συνολικός αριθμός διαθέσιμων αεροσκαφών ανά περίοδο Ta
- Z3 οι υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά μοίρα και ανά περίοδο Sy
- Z4 οι συνολικές υπολειπόμενες ώρες πτήσης ανά περίοδο Ty

	Z1	**Z2**	**Z3**	**Z4**	**Total Time(sec.)**
T=6	7	21	779.8	2811.7	0.833
T=3	7	21	779.8	2580.1	0.172
T=2	7	21	779.8	2344.6	0.0453

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1.Μελέτη υπολογιστικού χρόνου πολυκριτήριας βελτιστοποίησης

- Παρατηρείται μεγάλη μεταβλητότητα στους υπολογιστικούς χρόνους που σημαίνει ότι ο υπολογιστικός κόπος που απαιτείται για την επίλυση ενός προβλήματος δεν εξαρτάρτεται μόνο από το μέγεθος του προβλήματος αλλά και από τις τιμές των παραμέτρων του προβλήματος.
- Καθώς αυξάνει το πτητικό φορτίο των μοιρών αυξάνει σημαντικά και ο υπολογιστικός κόπος επίλυσης του προβλήματος.
- Καθώς αυξάνει η χρονική δυναμικότητα του σταθμού συντήρησης ,μειώνεται ο υπολογιστικός κόπος επίλυσης του προβλήματος.
- Η επίδραση της μεταβολής της χωρικής δυναμικότητας του σταθμού συντήρησης στον υπολογιστικό χρόνο δεν είναι ξεκάθαρη.
- Το ίδιο ισχύει για τα L,U τα οποία εκφράζουν την αυστηρότητα με την οποία τηρείται το πτητικό φορτίο των μοιρών.
- Το ίδιο ισχύει και για το $A1mn$.
- Αύξηση του $Xmax$. έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του υπολογιστικού κόπου που απαιτείται για την επίλυση του προβλήματος.

2.Μελέτη υπολογιστικού χρόνου μονοκριτήριας βελτιστοποίησης

- Καθώς αυξάνει το πτητικό φορτίο των μοιρών αυξάνει σημαντικά και ο υπολογιστικός κόπος επίλυσης του προβλήματος
- Αύξηση του *C* φαίνεται να οδηγεί σε μείωση του υπολογιστικού χρόνου.
- Η επίδραση της μεταβολής του Xmax. στον υπολογιστικό κόπο δεν είναι ξεκάθαρη.

3.Σύγκριση μονοκριτήριας – πολυκριτήριας βελτιστοποίησης

Σε όλες τις περιπτώσεις ο υπολογιστικός κόπος που απαιτείται για την επίλυση ενός συγκεκριμένου προβλήματος με το μοντέλο πολυκριτήριας βελτιστοποίησης είναι συντριπτικά μεγαλύτερος από αυτόν που απαιτείται με το μοντέλο μονοκριτήριας βελτιστοποίησης.

Βιβλιογραφία

[1] Arguello MF, Bard J.F. and Yu G. (1997) "Models and methods for managing airline irregular operations aircraft routing" *Operations Research in the Airline Industry* ed. G. Yu, pp. 1-45. Kluwer Academic Publishers, Boston

[2] Barnhart C, Belobaba P and Odoni AR. (2003) "Applications of operations research in the air transport industry" *Transportation Science*, 37(4), 368-391.

[3] Barnhart C, Boland NL, Clarke LW, Johnson EL, Nemhauser GL and Shenoi RG (1998). "Flight string models for aircraft fleeting and routing", Transportation Science 32 (3): 208-220

[4] Beasley JE, Krishnamoorthy M, Sharaiha YM and Abramson D (2000). "Scheduling aircraft landings – The static case", Transportation Science 34 (2): 180-197

[5] Clarke LW, Hane CA, Johnson EL and Nemhauser GL (1996). "Maintenance and Crew Considerations in Fleet Assignment", Transportation Science 30 (3): 249-260

[6] Clarke L, Johnson E, Nemhauser G and Zhongxi Z (1997). "The aircraft rotation problem", Annals of Operations Research 69: 33-46

[7] Dijkstra MC, Kroon LG, Salomon M, Vannunen J and Vanwassenhove LN (1994). "Planning for size and organization of KLM's Aircraft Maintenance Personnel", Interfaces 24 (6): 47-58

[8] Ernst AT, Krishnamoorthy M and Storer RH (1999). "Heuristic and exact

algorithms for scheduling aircraft landings", Networks 34 (3): 229-241

[9] Feo TA and Bard JF (1989). "Flight scheduling and maintenance base planning", Management Science 35: 1415-1432

[10] Fourer R, Gay DM and Kernighan BW (2002) AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming, Duxbury Press.

[11] Friend CH (1995). Aircraft Maintenance Management, Longman-Scientific Technical, England

[12] Graves GW, McBride RD, Gershkoff I, Anderson D and Mahidhara D (1993) "Flight Crew Scheduling", Management Science 39 (6): 736-745

[13] Gopalan R and Talluri KT (1998a). "The aircraft maintenance routing problem", Operations Research 46 (2): 260-271

[14] Gopalan R and Talluri KT (1998b) "Mathematical models in airline schedule planning: A survey", Annals of Operations Research, 76, 155-185.

[15] Keskinocak P and Tayur S (1998). "Scheduling of Time-Shared Jet Aircraft", Transportation Science 32 (3): 277-294

[16] Klabjan D, Johnson EL, Nemhauser GL, Gelman E and Ramaswamy S (2002). "Airline crew scheduling with time windows and plane-count constraints", Transportation Science 36 (3): 337-348

[17] Kozanidis, G., G.Liberopoulos, C.Pitsilkas (2005). Flight and maintenance planning of military aircraft for maximum fleet availability. Working Paper, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Thessaly.

[18] Kozanidis G., A. Skipis (2006). Flight and maintenance planning of military aircraft for maximum fleet availability: A biobjective model. *Proceedings of the 18th*

International Conference on Multiple Criteria Decision Making, Chania, Crete, June 19-23.

[19] G. Kozanidis (2009). A multiobjective model for maximizing fleet availability under the presence of flight and maintenance requirements. *Journal of Advanced Transportation*, 43(2): 155-182.

[20] Kurokawa T and Takeshita K (2004). "Air Transportation Planning Using Neural Networks as an Example of the Transportation Squadron in the Japan Air Self-Defense Force", Systems and Computers in Japan 35 (12): 1223-1232

[21] Qi XT, Bard JF and Yu G (2004). "Class scheduling for pilot training", Operations Research 52 (1): 148-162

[22] Pitsilkas C. Υπολογιστική Μελέτη Μοντέλου Μονοκριτήριας Βελτιστοποίησης για τον σχεδιασμό πτήσεων και συντηρήσεων πολεμικών αεροσκαφών με στόχο την επίτευξη μέγιστης διαθεσιμότητας (Διπλωματική Εργασία Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Πανεμιστημίου Θεσσαλίας έτος 2005)

[23] Skipis A. Μοντέλο Πολυκριτήριας Βελτιστοποίησης για τον σχεδιασμό πτήσεων και συντηρήσεων πολεμικών αεροσκαφών με στόχο την επίτευξη μέγιστης διαθεσιμότητας (Διπλωματική Εργασία Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Πανεμιστημίου Θεσσαλίας έτος 2006)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΚΩΔΙΚΑΣ FORTRAN

```
        program diplomatiki

        implicit none

INTEGER   NB,m,t,n,k,ll,z,a,p,q,aa,pp,ooo,G,Y,V,C,Xmax,i,ii,iii,mm,f,ff,fff,J,BIG

integer,allocatable::A1old(:,:),G1old(:,:),Y1old(:,:)Integer,allocatable
::B(:),s(:),sold(:,:),A1mn(:),G1mn(:),Y1mn(:),YY(:),GG(:),YYY(:),GGG(:),YYYY(:),
GGGG(:)

        REAL,allocatable:: R(:),pppp(:),ppppp(:),pppppp(:),ppppppp(:)

        real::L,U,NR,rand

        integer*4 timeArray(3)

call itime(timeArray)

i= rand(timeArray(1)+timeArray(2)+timeArray(3))

        open(8,file='fleet.dat',status='unknown')

        Print*, 'Arithmos moiron:'

        read*, m

        Print*, 'Arithmos xronikwn periodwn:'

        read*,t
```

```
Print*, 'Arithmos aeroskafwn:'

read*,n

G=320

Y=300

!#################################################################
#################


print*,'STEP 1'

allocate (sold(m,t))

do mm=1,m

10 Print*, 'Arithmos moiras m=', mm


Print*, ' Give if the required flight time of the squadron during period time t (Smt) is 1(low), 2(moderate) or 3(heavy). If the choice is 1 then S takes values from 80 to 120, if the choice is 2 then S takes values from 130 to 170 and if the choice is 3 then S takes values from 180 to 220'

read*,k

print*,'You have selected choice',k


allocate (s(t),R(t))\
```

```
    do ii=1,t
    R(ii)=rand(0)
    enddo

vresk:select case(k)
case (1)
   s=80+int(40*R)
case (2)
   s=130+int(40*R)
case (3)
   s=180+ int(40*R)
case default

print*,'invalid value give if Smt is 1,2or3'

deallocate(s,R)
goto 10
end select vresk

Print*, 'Apotelesmata S'
```

```
Print*,'S=', (s(ii), ii=1,t)

do ii=1,t

sold(mm,ii)=s(ii)

enddo


deallocate(s,R)

enddo


!######################################################################
##################


print*,'STEP 2'


20 Print*, ' Give if the time capacity of the meintance station during period t
(Bt) is 1(low),2(moderate) or 3 (heavy) if the choice is 1 then B takes values from 400
to 500,if the choice is 2 then B takes values from 500 to 600 and if the choice is 3
then B takes values from 600 to 700'

read*,ll

print*,'You have selected choice',ll
```

```
        allocate (B(t),pppp(t))

do i=1,t
                pppp(i)=rand(0)
                enddo

        vresll:select case(ll)
        case (1)

            B=300+int(100*pppp)
        case (2)
            B=400+int(100*pppp)
        case (3)
            B=500+int(100*pppp)
        case default

        print*,'Invalid value give if Bt is 1, 2 or 3. Please Try Again'
        deallocate(B,pppp)
        goto 20
```

```
end select vresll


Print*, 'Apotelesmata B'

Print*, 'B=',(B(i), i=1,t)



!#######################################################################
#################



print*,'STEP 3'



30 Print*, 'Give if the maximum number of aircraft at the meintance station can handle simultanouensly (C) is 1(low),2(moderate) or 3 (heavy) if the choice is 1 then C = floor(0.1*m*n),if the choice is 2 then C = floor(0.15*m*n) and if the choice is 3 then C = floor(0.2*m*n)'

read*,p

print*,'You have selected choice',p


vresp:select case(p)
```

```
case (1)

     C=floor(0.1*n*m)

case (2)

   C=floor(0.15*n*m)

case (3)

    C=floor(0.2*n*m)

case default

print*,'invalid value give if C is 1,2or3'

goto 30

end select vresp


Print*, 'Apotelesmata C'

Print*,'C=',C


BIG=C*G

!##########################################################################
##########


print*,'STEP 4'
```

40 Print*, 'Give if the mimimum time an aircraft can fly during a single time period (Xmax) is 1(low),2(moderate) or 3 (heavy) if the choice is 1 then Xmax=30,if the choice is 2=50 and if the choice is 3 Xmax=70'

```
print*,''

print*,''

read*,q

print*,'You have selected choice',q


vresq:select case(q)

case (1)

    Xmax=30

case (2)

  Xmax=50

case (3)

    Xmax=70

case default

print*,'invalid value give if Xmax is 1,2or3'

goto 40

end select vresq
```

```
Print*, 'Apotelesmata Xmax'

Print*,'Xmax=',Xmax


!##################################################################
################


print*,'STEP 5'


50 Print*, 'Give if the flight load is 1(lstrict),2(moderate) or 3 (loose) if the
choice is 1 then L=U=1,if the choice is 2  L=0.95 , U=1.05 and if the choice is 3  L=
0.9 ,U=1.1'

read*,aa

print*,'You have selected choice',aa


vresaa:select case(aa)

case (1)

    L=1 ;

        U=1 ;

case (2)

   L=0.95 ;

       U=1.05 ;
```

```
case (3)

     L=0.9 ;

           U=1.1 ;

case default



print*,'invalid value give if L,U are 1,2or3'

goto 50

end select vresaa



print*,'Apotelesmata L'

Print*, 'L=',L

print*,'Apotelesmata U'

print*,'U=',U


!##################################################################
#################
```

```
print*,'STEP 6'

allocate (A1old(m,n),Y1old(m,n),G1old(m,n))
do mm=1,m

60 Print*, 'Arithmos moiras m=', mm

Print*, 'Give if the number of available aircraft of the squadron at the first period of the planning horizon (A1mn) is 1(low) or 2(moderate). If choice = 1, then number of available aircraft = floor(0.9*n), if choice = 2, then number of available aircraft = floor(0.8*n), '
read*,ooo
print*,'You have selected choice',ooo

allocate
(A1mn(n),Y1mn(n),G1mn(n),ppppp(n),pppppp(n),ppppppp(n),YY(n),GG(n),YYY(n)
,GGG(n),YYYY(n),GGGG(n))

f=floor(9* n/10.0)

ff=floor(8* n/10.0)
```

```
        vresooo: select case(ooo)

        case (1)

        do iii=1,n
                ppppppp(iii)=rand(0)
        enddo

        YYY=0+int(ppppppp*Y)

        print*,'Apotelesmata A1mn'

do iii=1,n
        A1mn(iii)=1
        print*, A1mn(iii)
enddo
do iii=1,n
        A1old(mm,iii)=A1mn(iii)
enddo
```

```
print*,'Apotelesmata Y1mn'

do iii=1,n
Y1mn(iii)=YYY(iii)
print*,Y1mn(iii)
enddo

print*,'Apotelesmata G1mn'
do iii=1,n
G1mn(iii)=0
print*,G1mn(iii)
enddo
do iii=1,n
Y1old(mm,iii)=Y1mn(iii)
G1old(mm,iii)=G1mn(iii)
enddo
case (2)
do iii=1,n
```

```
        ppppp(iii)=rand(0)

        enddo


 YY=0+int(ppppp*Y)

GG=0+int(ppppp*G)

print*,'Apotelesmata A1mn'

do iii=1,f

A1mn(iii)=1

print*, A1mn(iii)

enddo


do iii=f+1,n

A1mn(iii)=0

print*,A1mn(iii)

 enddo


do iii=1,n

A1old(mm,iii)=A1mn(iii)

enddo
```

```
print*,'Apotelesmata Y1mn'

do iii=1,f
Y1mn(iii)=YY(iii)
print*,Y1mn(iii)
enddo

do iii=f+1,n
Y1mn(iii)=0
print*,Y1mn(iii)
enddo

print*,'Apotelesmata G1mn'

do iii=1,f
G1mn(iii)=0
print*,G1mn(iii)
enddo

do iii=f+1,n
```

```
G1mn(iii)=GG(iii)

print*,G1mn(iii)

enddo



do iii=1,n

Y1old(mm,iii)=Y1mn(iii)

G1old(mm,iii)=G1mn(iii)

enddo



case (3)

do iii=1,n

        pppppp(iii)=rand(0)

        enddo




YYY=0+int(pppppp*Y)

GGG=0+int(pppppp*G)



print*,'Apotelesmata A1mn'

do iii=1,ff
```

```
A1mn(iii)=1

print*, A1mn(iii)
enddo

do iii=ff+1,n
A1mn(iii)=0
print*,A1mn(iii)
enddo

do iii=1,n
A1old(mm,iii)=A1mn(iii)
enddo

print*,'Apotelesmata Y1mn'
do iii=1,ff
Y1mn(iii)=YYY(iii)
print*,Y1mn(iii)
```

```
   enddo

   do iii=ff+1,n
   Y1mn(iii)=0
   print*,Y1mn(iii)
   enddo

   print*,'Apotelesmata G1mn'
do iii=1,ff
   G1mn(iii)=0
   print*,G1mn(iii)
   enddo
   do iii=ff+1,n
   G1mn(iii)=GGG(iii)
   print*,G1mn(iii)
   enddo

   do iii=1,n
   Y1old(mm,iii)=Y1mn(iii)
   G1old(mm,iii)=G1mn(iii)
```

```
        enddo

        case default


        print*,'invalid value give if A1mn is 1,2or3'


        deallocate(A1mn,Y1mn,G1mn,ppppp,pppppp,ppppppp,YY,GG,YYY,GGG,Y
YYY,GGGG)

        goto 60

        end select vresooo


        deallocate(A1mn,Y1mn,G1mn,ppppp,pppppp,ppppppp,YY,GG,YYY,GGG,Y
YYY,GGGG)


enddo
```