



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ

Διπλωματική Εργασία



ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΜΠΙΝΙΑΡΗ

Επίβλεψη: Ανδρέας Λοΐζος, Καθηγητής Ε.Μ.Π

Συνεπιβλέπουσα: Παρασκευή Ψαράκη-Καλουπτσίδη, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

Αθήνα, Νοέμβριος 2018

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας και το πέρας των σπουδών μου στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κ. Παρασκευή Ψαράκη- Καλουπτσίδη, Καθηγήτρια της σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π αρχικά γιατί με ενέπνευσε με την εξαιρετική διδασκαλία της στο μάθημα «Σχεδιασμός Αεροδρομίων» της κατεύθυνσης των Συγκοινωνιολόγων και με γέμισε κίνητρα και στόχους. Αλλά και για την εμπιστοσύνη της στην ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όπως επίσης και για την κατανόηση και στήριξη κατά τη διάρκεια της συνεργασίας μας.

Ένα μεγάλο και εγκάρδιο ευχαριστώ στην κ. Ιωάννα Παγώνη, Διδάκτωρ και Ερευνήτρια στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, για τη στήριξη, την υπομονή της, τη βοήθειά της σε οποιαδήποτε δυσκολία σχετικά με την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας αλλά και την άμεση ανταπόκρισή της οποιαδήποτε στιγμή.

Ευχαριστώ επίσης την οικογένειά μου, τους γονείς και τα αδέρφια μου, για την ψυχολογική στήριξη και την υπομονή τους όλα αυτά τα χρόνια, τόσο σε θέματα της σχολής όσο και σε προσωπικά ζητήματα. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συμφοιτητές μου για όσα περάσαμε εντός και εκτός σχολής, για τις όμορφες στιγμές αλλά και δυσκολίες που αντιμετωπίσαμε, καθώς και για τη βοήθεια και τη στήριξή τους.

Αθήνα, Νοέμβριος 2018

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ

ΣΥΝΟΨΗ:

Οι αερομεταφορές αποτελούν μία από τις μεγαλύτερες παγκόσμιες βιομηχανίες, ενώ και στον ελληνικό χώρο διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο για την οικονομία, τον τουρισμό και την κοινωνία. Λόγω της αυξανόμενης κίνησης, τα τελευταία χρόνια, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αερομεταφορών κατέχουν υψηλή θέση στην «ατζέντα» των ληπτών απόφασης (κυβερνήσεις, φορείς χάραξης πολιτικών κτλ).

Στην παρούσα εργασία μελετάται η περιβαλλοντική αποδοτικότητα των ελληνικών περιφερειακών αεροδρομίων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η μη παραμετρική μέθοδος της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (Data Envelopment Analysis- DEA), η οποία αξιολογεί την αποδοτικότητα ενός συνόλου μονάδων απόφασης (αεροδρόμια), οι οποίες λειτουργούν σε ένα ενιαίο πλαίσιο και καταναλώνουν τις ίδιες πολλαπλές εισροές ενώ παράγουν τις ίδιες πολλαπλές εκροές. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, ως εισροές χρησιμοποιήθηκαν η επιφάνεια των κτιρίων επιβατών καθώς και η επιφάνεια των διαδρόμων των αεροδρομίων. Για τη διαμόρφωση των εκροών, εκτός των επιθυμητών μεταβλητών που χρησιμοποιούνται συνήθως, όπως το συνολικό αριθμό των επιβατών και τον αριθμό των πτήσεων του αεροδρομίου, στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η ποσότητα των εκπομπών αερίων ρύπων κατά τον κύκλο απογείωσης-προσγείωσης (ανεπιθύμητη εκροή). Το μεθοδολογικό πλαίσιο καθώς και τα αποτελέσματα της εργασίας μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο για τους λήπτες απόφασης των αεροδρομίων κατά την αξιολόγηση της αποδοτικότητας των αεροδρομίων.

Λέξεις-Κλειδιά: Μέθοδος της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων, εκπομπές αερίων ρύπων, περιβαλλοντική αποδοτικότητα αεροδρομίων

ABSTRACT:

Nowadays, aviation is one of the largest industries worldwide, while in Greece it is important for the economy, the tourism and the society in general. Since air services have become more popular in the recent years, environmental effects, caused by air transport, are of great importance to the decision-makers (governments, policy makers, etc.).

In this thesis the environmental efficiency of the Greek regional airports has been studied. For that purpose, the non-parametric method of Data Envelopment Analysis (DEA) has been used. This analysis evaluates the efficiency of a set of decision units (in this case airports), which operate in a single frame and consume the same multiple inputs while producing the same multiple outflows (outputs). The surface of the passenger buildings and the surface of the airports' runways have been used as inputs. Apart from the desired variables, which are the total number of the passengers and the total number of the flights through the year, that are typically used for the configuration of the outputs, the amount of pollutant emissions during takeoff-landing circle has been also used (undesirable output). The methodological framework as well as the results of the work can be a useful tool for the decision-makers of the airports, when assessing the efficiency of the airports.

Key words: Data Envelopment Analysis, greenhouse gas emissions, environmental efficiency of airports

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1	ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	1
1.2	ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	1
1.2.1	Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	1
1.2.2	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	3
1.3	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	5
1.4	ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	6
2	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	8
2.1	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ DEA ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ...8	
2.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΑΠΟ ΤΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ	14
2.3	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ DEA ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	16
3	ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ	19
4	ΜΕΘΟΔΟΣ DEA- ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	23
4.1	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ DEA.....	23
4.1.1	Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	23
4.1.2	ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ DEA	24
4.1.3	ΤΑ ΔΥΟ ΒΑΣΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΗΣ DEA	26
4.2	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	33
4.3	ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	34
4.4	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ DEA.....	35
4.5	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ	36
4.5.1	ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ	36
4.5.2	ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ....	38
4.5.3	ΤΡΟΠΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ- DEA SOLVER	40
4.6	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ- ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	40
5	ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ	47
5.1	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	47

5.1.1	ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΣΕ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ	47
5.1.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΣ	49
5.2	ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ	58
5.3	ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΤΟΥ CO ₂	58
5.4	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	60
5.5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	63
5.5.1	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ	63
6	ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΕΑ- ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	67
6.1	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΜΕΘΟΔΟΥ	67
6.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΟΥ	68
6.2.1	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	68
6.2.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	69
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	79
7.1	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	79
7.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ- ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ	80
7.3	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ.....	82
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	83

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η συγκριτική αξιολόγηση της αποδοτικότητας 15 ελληνικών περιφερειακών αεροδρομίων, τόσο σε ότι αφορά αποκλειστικά στη λειτουργία τους αλλά κυρίως σε ότι αφορά στη λειτουργία τους συνδυαστικά με περιβαλλοντικούς παράγοντες και συγκεκριμένα τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τα αεροσκάφη κατά τον κύκλο προσαπογείωσης.

Η μελέτη βασίστηκε σε δεδομένα του έτους 2015 και για τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε μία μη παραμετρική μέθοδος, η Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων- ΠΑΔ (Data Envelopment Analysis-DEA).

Εκτιμάται ότι τα αποτελέσματα θα αποτελέσουν σημαντικό εργαλείο για τους λήπτες αποφάσεων των αεροδρομίων τόσο σε ό, τι αφορά σε λειτουργικά ζητήματα, αλλά και σε περιβαλλοντικά θέματα, με απώτερο σκοπό τη δημιουργία «πράσινων» αεροδρομίων.

1.2 ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

1.2.1 Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η αεροπορική ιστορία της Ελλάδας ξεκινά το 1912, όταν ο Εμμανουήλ Αργυρόπουλος, πολιτικός μηχανικός και αεροπόρος, εκτελεί την πρώτη πτήση στη χώρα μας σε αυτοσχέδιο αεροδρόμιο, στην περιοχή του Ρουφ. Από τότε μέχρι σήμερα έχουν μεταβληθεί άρδην το περιεχόμενο, ο τρόπος μελέτης και διαχείρισης καθώς και η λειτουργία των αεροδρομίων.

Τα τελευταία χρόνια οι επιβάτες διεθνώς έχουν αυξηθεί κατά 46%. Τους ίδιους αυξανόμενους ρυθμούς συναντάμε και στα εμπορεύματα. Όλη αυτή η ραγδαία άνοδος έχει φυσικά σαν αποτέλεσμα την αύξηση των ετήσιων εισόδων αλλά και των επενδύσεων που γίνονται σε υποδομές αεροδρομίων. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας, το 2018 εκτοξεύθηκε η επιβατική κίνηση στα αεροδρόμια της χώρας μας, αφού το πρώτο εξάμηνο του έτους κινήθηκαν 24,5 εκατομμύρια επιβάτες, σημειώνοντας αύξηση 10,5% σε σχέση με το αντίστοιχο διάστημα του 2017. Ενδεικτικά τα αεροδρόμια Αθηνών, Ηρακλείου, Ρόδου, Θεσσαλονίκης και Κέρκυρας παρουσίασαν τη μεγαλύτερη επιβατική κίνηση για τον Ιούνιο. Μόνο στον αερολιμένα Αθηνών, για τους τρεις καλοκαιρινούς μήνες σημειώθηκαν οι εξής κινήσεις: 2.429.560 επιβάτες τον Ιούνιο (με ποσοστό αύξησης από τον Ιούνιο του 2017 11,6%), 2.853.198 επιβάτες τον Ιούλιο (με ποσοστό αύξησης από πέρυσι 11,3%) και τέλος 2.886.740 επιβάτες τον Αύγουστο (με αύξηση 13,3% από την επιβατική κίνηση του Αυγούστου του 2017).

Στις αρχές του 21^{ου} αιώνα, οι 4 βασικές τάσεις που διέπουν τη βιομηχανία των αεροδρομίων και των αεροπορικών εταιρειών είναι η μακροχρόνια αύξηση της ζήτησης, η αποκρατικοποίηση, η παγκοσμιοποίηση καθώς και οι τεχνολογικές αλλαγές που έχουν επέλθει. Και τα τέσσερα αυτά φαινόμενα έχουν δημιουργήσει την απαίτηση για μια πιο συστηματική και ευρεία προσέγγιση στο σχεδιασμό των αεροδρομίων, μιας που πλέον έχουν αυξηθεί οι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για μια μακροπρόθεσμη και σωστή λειτουργία.

Η αλλαγή του αιώνα έφερε μαζί της και τη μακροπρόθεσμη αύξηση της ζήτησης, η οποία οφείλεται στα φθηνότερα πλέον εισιτήρια, στη μεγαλύτερη ασφάλεια των πτήσεων, στην επέκταση της παγκοσμιοποίησης, στην αύξηση του τουρισμού καθώς και στην αύξηση των διαδικτυακών αγορών. Μείζονος σημασίας κριτήριο αποτελεί και η δυναμική εμφάνιση των low cost εταιρειών. Προσφέρουν πτήσεις σε μικρότερα αεροδρόμια τα οποία λειτουργούν ως δορυφόροι των μεγαλύτερων, κεντρικών αεροδρομίων και με αντίτιμο τη μειωμένη άνεση στη μεταφορά, προσφέρουν πολύ χαμηλότερες τιμές εισιτηρίων. Γι' αυτό παρατηρείται και η ραγδαία αύξηση των φθηνών εισιτηρίων και ακολούθως της ζήτησης. Η επιτυχημένη λειτουργία των low cost εταιριών έχει οδηγήσει τα αεροδρόμια στην ανάγκη για συνεχή βελτίωση υποδομών και λειτουργιών, ώστε να μπορούν να είναι ανταγωνιστικά.

Ένα άλλο καίριο φαινόμενο αποτελεί η ιδιωτικοποίηση των αεροδρομίων, γεγονός το οποίο έφερε ριζικές αλλαγές στα κριτήρια για το σχεδιασμό των αεροδρομίων. Γίνεται πλέον αντιληπτό στις αεροπορικές εταιρείες ότι δεν μπορούν να επαναπαύονται σε εθνικούς πόρους, αλλά για την επιβίωσή τους επιβάλλεται να λειτουργούν κερδοφόρα. Είναι κατανοητό τόσο από τις εταιρείες όσο και από τα αεροδρόμια πως η κινητήρια δύναμη για τη λειτουργία και την ανάπτυξή τους είναι οι καταναλωτές και η αγοραστική δύναμη. Κατά συνέπεια, δημιουργούνται νέες υπηρεσίες, αυξάνεται η παραγωγικότητα και μειώνεται το κόστος. Έτσι οι προσφερόμενες υπηρεσίες γίνονται πιο δελεαστικές για το επιβατικό κοινό και αυξάνεται η ζήτηση.

1.2.2 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Η μεγάλη ανάπτυξη των αεροδρομίων και των αερομεταφορών από τη μία προσφέρει πολύ σημαντικά οφέλη στην εξέλιξη της ανθρωπότητας, από την άλλη προκαλεί σημαντικές αυξήσεις στις εκπομπές αερίων του Θερμοκηπίου. Δυστυχώς πέρασαν πολλά χρόνια για να επέλθει διεθνής κινητοποίηση για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών. Το παραπάνω καίριο περιβαλλοντικό ζήτημα έλαβε νομική υπόσταση στις 16 Φεβρουαρίου 2005 με το Πρωτόκολλο του Κιότο, το οποίο επικυρώθηκε έπειτα από 8 χρόνια διαπραγματεύσεων. Αυτή η συμφωνία αφορά στη μείωση κατά 5,2 % το 2012 σε σχέση με τα επίπεδα του 1990 «των αερίων του θερμοκηπίου» άνθρακα (CO₂), χλωροφθορανθράκων (CFC), οξειδίου του αζώτου (N₂O), μεθανίου (CH₄), υδροχλωροφθορανθράκων (HCFC). Παρόλο αυτά μεγάλες χώρες, όπως οι ΗΠΑ, η Βραζιλία και η Κίνα, που ευθύνονται κατά ένα πολύ υψηλό ποσοστό για την παγκόσμια υπερθέρμανση του πλανήτη δε δέχτηκαν να επικυρώσουν το Πρωτόκολλο. Έπειτα από πολλές Συνδιασκέψεις των Ηνωμένων Εθνών για την κλιματική αλλαγή, φτάνουμε στην 22η το Νοέμβριο του 2016 στο Μαρακές, όπου συζητήθηκε η εφαρμογή της συμφωνίας που επιτεύχθηκε στο Παρίσι το 2015. Επιβεβαιώθηκε η σημαντικότητα του προβλήματος και η επιθυμία της πλειοψηφίας των χωρών για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής. Μέχρι το 2020 πρέπει οι συμμετέχουσες χώρες να έχουν έτοιμες τις μακροπρόθεσμες

δεσμεύσεις τους για την ουσιαστική αντιμετώπιση αυτής της περιβαλλοντικής καταστροφής.

Η χώρα μας συμμετέχει ενεργά στις προσπάθειες κατά τις κλιματικής αλλαγής. Τα κράτη μέλη της European Civil Aviation Conference (ECAC), στην οποία ανήκει η Ελλάδα, υποβάλλουν στον Διεθνή Οργανισμό Πολιτικής Αεροπορίας (ICAO) «Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τη μείωση Αερίων Εκπομπών/Aviation & Climate Change State Action Plan». Σε αυτό εμπεριέχεται μία επισκόπηση των κινήσεων- μέτρων που έχει αναλάβει να πραγματοποιήσει κάθε χώρα, με στόχο την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και τη δημιουργία μίας «πράσινης» πολιτικής αεροπορίας.

Ο κύριος ρύπος που συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και προέρχεται και από τις εκπομπές των αεροσκαφών είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). «Στην αεροπορία, οι εκπομπές των ρύπων εξαρτώνται από τις διαφορετικές φάσεις της πτήσης, όπως η προσγείωση, η πλεύση και η απογείωση, αφού απαιτούν διαφορετικές ρυθμίσεις ισχύος κινητήρα για το αεροπλάνο. Τόσο η ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται ανά δευτερόλεπτο όσο και το ποσό των ρύπων ανά μονάδα καυσίμου μπορεί να διαφέρουν για κάθε ρύθμιση ισχύος. Συγκεκριμένα, ένα αεροσκάφος χρησιμοποιεί υψηλότερη ρύθμιση ισχύος κατά την απογείωση και την άνοδο -συνήθως περίπου το 70% της συνολικής ισχύος, άρα θα χρησιμοποιεί περισσότερα καύσιμα και θα εκπέμπει περισσότερους ρύπους για κάποια δευτερόλεπτα, ενώ κατά τη διάρκεια της πλεύσης οι κινητήρες θα τρέχουν σε περίπου 15-30% της συνολικής ισχύος αυτή τη φορά όμως για αρκετά λεπτά της ώρας. Τέλος, κατά τη διάρκεια της προσγείωσης, οι κινητήρες των αεροσκαφών θα λειτουργούν σε λιγότερο από 30%, έτσι οι εκπομπές ανά δευτερόλεπτο θα είναι πολύ χαμηλότερες από οποιαδήποτε άλλη φάση. Ακόμη, όσο πιο ψηλά πετά ένα αεροπλάνο και όσο πιο βαρύ είναι, τόσο πιο δύσκολα μπορεί να διασπαστεί το CO₂ στην ατμόσφαιρα.»



Εικόνα 1-1: Βιώσιμη Ανάπτυξη

1.3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Περιγράφεται συνοπτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Αρχικά, καθορίστηκε το αντικείμενο μελέτης και αμέσως μετά ξεκίνησε μια εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση, όπου δόθηκε ιδιαίτερη βάση σε έρευνες σχετικά με εκτίμηση της τεχνικής και περιβαλλοντικής αποδοτικότητας αεροδρομίων και αεροπορικών εταιρειών αλλά και σε άρθρα που αφορούσαν στα μοντέλα της Περιβάλλουσας Ανάλυσης Δεδομένων (ΠΑΔ)- Data Envelopment Analysis (DEA).

Έπειτα έγινε η συλλογή όλων των απαραίτητων στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν στα μοντέλα. Ήταν αναγκαία τα δεδομένα για την επιφάνεια του διαδρόμου προσαπογείωσης, την επιφάνεια του κτιρίου επιβατών, το συνολικό αριθμό των πτήσεων, το συνολικό αριθμό των επιβατών καθώς και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στον κύκλο προσαπογείωσης και πλεύσης. Τα δεδομένα των τεσσάρων πρώτων στοιχείων συλλέχθηκαν από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (Υ.Π.Α.) για το έτος 2015. Ενώ ο υπολογισμός των εκπομπών CO₂ έγινε μέσω της διεθνούς βάσης δεδομένων EMEP/EEA (European Monitoring and Evaluation Programme/ European Environment Agency).

Μετά τη συλλογή των δεδομένων έγινε η επεξεργασία τους, ώστε να είναι εφικτό να ενταχθούν όπως πρέπει (σαν εισροές και εκροές) στα μοντέλα της μεθόδου DEA. Τα δεδομένα για κάθε ένα από τα 15 εξεταζόμενα αεροδρόμια επεξεργάστηκαν ως εξής. Για κάθε μήνα του έτους 2015 αθροίστηκαν οι επιβάτες, ενώ εξαιρέθηκαν οι επιβάτες των

αεροσκαφών με χωρητικότητα κάτω από 10 επιβάτες. Και μετά αθροίστηκε και ο αριθμός επιβατών για όλους τους μήνες ώστε να προκύψει η συνολική ετήσια κίνηση. Για τον υπολογισμό των εκπομπών του CO₂, καταγράφηκαν οι χρησιμοποιούμενοι τύποι αεροσκαφών (εκτός από τα αεροσκάφη με χωρητικότητα μικρότερη των 10 επιβατών) και με τη βοήθεια του excel της ΕΜΕΡ/ΕΕΑ προέκυψαν οι εκπομπές για κάθε το αεροδρόμιο.

Και τελικά έγινε η καταγραφή των συμπερασμάτων που προέκυψαν από την εφαρμογή των μοντέλων.

1.4 ΔΟΜΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το αντικείμενο και ο στόχος της παρούσας εργασίας. Περιγράφεται η ανάπτυξη των αεροδρομίων στη χώρα μας καθώς και τα φαινόμενα που έφεραν μεγάλες αλλαγές στη βιομηχανία των αεροδρομίων και των αεροπορικών εταιρειών. Ακόμα, γίνεται αναφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλεί αυτή η ραγδαία εξέλιξη των αεροδρομίων. Τέλος, παρουσιάζεται συνοπτικά η μεθοδολογία που χρησιμοποιείται αλλά και μια σύντομη περιγραφή της δομής της διπλωματικής εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση βάσει της οποίας αποκτήθηκαν οι απαιτούμενες γνώσεις για την εκπόνηση της εργασίας. Οι μελέτες που αναγράφονται αποτελούν άρθρα σε επιστημονικά περιοδικά και για την καθεμία από αυτές αναφέρονται συνοπτικά οι συγγραφείς, το αντικείμενο, τα δεδομένα, η χρησιμοποιούμενη μέθοδος αλλά και τα αποτελέσματα που προέκυψαν. Και τέλος καταγράφονται σε έναν συνοπτικό πίνακα τα βασικά αυτά στοιχεία.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των 15 εξεταζόμενων αεροδρομίων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται το μεθοδολογικό πλαίσιο της μεθόδου DEA με τα δύο πιο διαδεδομένα μοντέλα της. Αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου και εξηγείται η χρήση του επιλεγόμενου μοντέλου για την εκτίμηση της τεχνικής

αποδοτικότητας. Τέλος παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου για την τεχνική αποδοτικότητα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται τα στοιχεία για τον υπολογισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα καθώς και οι τιμές που βρέθηκαν.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το τροποποιημένο μοντέλο για τον υπολογισμό της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας, καθώς και η εκτίμησή της για τα εξεταζόμενα αεροδρόμια.

Στο έβδομο κεφάλαιο διατυπώνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα τρία προηγούμενα κεφάλαια.

Τέλος, αναγράφεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για τη διεκπεραίωση της διπλωματικής εργασίας. Παρουσιάζονται το σύνολο των ερευνών που μελετήθηκαν αλλά και όλες οι χρησιμοποιούμενες πηγές δεδομένων.

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ DEA ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Από το 1978 έως σήμερα έχουν πραγματοποιηθεί σε παγκόσμιο επίπεδο έρευνες σχετικά με την αποδοτικότητα αεροδρομίων και αεροπορικών εταιρειών με τη χρήση της μη παραμετρικής μεθόδου Data Envelopment Analysis (DEA).

Οι Martin et al. (2001) εφαρμόζουν το γραμμικό μοντέλο της DEA με σκοπό την ανάλυση της τεχνικής αποδοτικότητας των ισπανικών αεροδρομίων. Σε κάποια αεροδρόμια και κατά τη διάρκεια ορισμένων περιόδων οι διαθέσιμες υποδομές έφταναν σε πληρότητα. Στοιχείο μείζονος σημασίας αποτελεί το αν το παραπάνω πρόβλημα έχει ή όχι τις ρίζες του σε μια κακή διαχείριση. Γι' αυτό λοιπόν θεωρείται αναγκαίο να εκτιμηθεί εάν μία σταθερή χωρητικότητα είναι ικανή να προσφέρει υπηρεσίες σε περισσότερους επιβάτες. Η παρούσα μελέτη βασίζεται σε δεδομένα του 1997, τα οποία αποκτήθηκαν από τις ετήσιες αναφορές της κρατικής εταιρίας AENA. Επειδή τα αεροδρόμια της Ισπανίας παρουσιάζουν διαφορετικές κλίμακες, χρησιμοποιείται το VRS μοντέλο της DEA. Παρόλο αυτά, υπολογίζονται και οι αποδοτικότητες κλίμακας (scale efficiencies) αλλά και η αποδοτικότητα από το CRS μοντέλο. Σχετικά με την επιλογή κατάλληλων μεταβλητών, σαν inputs χρησιμοποιούνται ο αριθμός των εργαζομένων, το κεφάλαιο και τα υλικά, ενώ τα outputs είναι ο αριθμός των επιβατών, το φορτίο και τα διαθέσιμα τονοχιλιόμετρα. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν ότι ορισμένα αεροδρόμια έχουν κακή απόδοση και άλλα παρουσιάζουν κάποια προβλήματα εάν ληφθούν υπόψιν τα αποτελέσματα στις αποδοτικότητες κλίμακας. Οι συγγραφείς προτείνουν μέσα από την έρευνά τους αυτές τις εκτιμήσεις σαν σημαντικό εργαλείο προς μελέτη πριν από τις διαδικασίες ιδιωτικοποίησης του συστήματος των ισπανικών αεροδρομίων.

Τα αεροδρόμια στην Ταϊβάν δεν προσφέρουν τακτικές διεθνείς πτήσεις και αυτό είναι ζωτικής σημασίας παράγοντας για την ανάπτυξη της περιοχής. Έτσι ο Yu (2004) διεξάγει έρευνα, ώστε να διαπιστωθεί (με τη μέθοδο DEA- output oriented CRS model) η αποτελεσματική μελλοντική

αύξηση των επιβατών και των κινήσεων των αεροσκαφών όταν χρησιμοποιούνται οι διαθέσιμες πηγές του αεροδρομίου ενώ ταυτόχρονα συμπεριλαμβάνονται ανεπιθύμητες εκροές (outputs) και περιβαλλοντικοί παράγοντες. Η μελέτη πραγματοποιείται για 14 εσωτερικά αεροδρόμια της Ταϊβάν με δεδομένα από την περίοδο 1994-2000. Εκτός από τα inputs και outputs που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο, εισάγεται και το επίπεδο θορύβου των αεροσκαφών σαν ανεπιθύμητο output αλλά και ο πληθυσμός σαν περιβαλλοντική μεταβλητή. Τα αποτελέσματα δείχνουν πως με τα χρόνια η αποδοτικότητα αυτών των αεροδρομίων αυξάνεται.

Οι Lin et al. (2006) χρησιμοποιούν το μοντέλο της DEA για την αξιολόγηση των λειτουργικών αποδόσεων 20 κύριων αεροδρομίων σε όλο τον κόσμο. Τα χαρακτηριστικά για το προφίλ των αεροδρομίων έχουν ληφθεί από το έτος 2003 και βάσει αυτών χρησιμοποιούνται πέντε μοντέλα της DEA για την εκτίμηση της αποδοτικότητας των 20 μελετώμενων αεροδρομίων. Αρχικά χρησιμοποιούνται τα δύο βασικά μοντέλα, το BCC και το CCR, έπειτα χρησιμοποιούνται και τρία συμπληρωματικά, το simple cross- efficiency (SCE model- Sexton et al. 1986), το free disposable hull (FDH model- Deprins et al. 1984) και τέλος το A&P model (Andersen and Petersen 1993). Οι μεταβλητές εισόδων και εξόδων είναι ίδιες και για τα τρία μοντέλα. Μετά την εφαρμογή των μοντέλων διαπιστώνεται ότι η μορφή της ιδιοκτησίας καθώς και το μέγεθος του αεροδρομίου δεν είναι προφανές ότι σχετίζονται με την αποδοτικότητα. Αντίθετα, οι παράγοντες που σχετίζονται με αυτήν είναι η τοποθεσία του αεροδρομίου, η ύπαρξη κομβικού αεροδρομίου καθώς και ο ρυθμός της οικονομικής ανάπτυξης της χώρας στην οποία βρίσκεται το αεροδρόμιο.

Οι Barros et al. (2007) ασχολούνται με τη χρηματοοικονομική και επιχειρησιακή απόδοση των ιταλικών αερολιμένων, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο DEA. Η παρούσα μελέτη χρησιμοποιεί δεδομένα τριών χρόνων (2001-2003) και εφαρμόζει 4 διαφορετικά μοντέλα της DEA προσανατολισμένα προς τις εξόδους. Αυτά είναι το BCC, το CCR, το Cross-Efficiency model (Sexton et al. 1986; Doyle and Green 1994) και τέλος το Super-Efficiency model (Andersen and Petersen 1993). Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από την συγκριτική αξιολόγηση των ιταλικών αερολιμένων είναι ότι έχουν αρκετά υψηλό επίπεδο σε ό,τι

αφορά στις διαχειριστικές τους ικανότητες και στο μεγαλύτερο ποσοστό τους είναι αποτελεσματικά.

Οι Καλάκου και Ψαράκη- Καλουπτσίδη (2009) μελετούν την οικονομική αποδοτικότητα ελληνικών αεροδρομίων με τη μέθοδο DEA. Τα χαρακτηριστικά των υποδομών αξιολογούνται βάσει των κινήσεων που εξυπηρετούνται την περίοδο 2004- 2007. Τα μοντέλα της DEA που χρησιμοποιούνται είναι το BCC μοντέλο (και μάλιστα προσανατολισμένο στις εξόδους- output oriented) και το slack-based μοντέλο. Λαμβάνονται υπόψη δύο λειτουργικές περιοχές, η εναέρια και η επίγεια υποδομή του αεροδρομίου. Σε κάθε περίπτωση χρησιμοποιούνται οι ίδιες έξοδοι (outputs) αλλά διαφορετικές είσοδοι (inputs). Τα βασικά αποτελέσματα της ανάλυσης έχουν ως εξής: Τα αεροδρόμια που εξυπηρετούν περισσότερες κινήσεις τείνουν να είναι πιο αποδοτικά σε σχέση με αυτά με τις λιγότερες κινήσεις. Επίσης, τα περισσότερα αεροδρόμια φαίνεται να έχουν αρκετές υποδομές ώστε να είναι ικανά να εξυπηρετήσουν μελλοντικές κινήσεις επιβατών.

Οι Arjomandi et al. (2014) εφαρμόζουν το VRS μοντέλο της DEA (με προσανατολισμό προς τις εξόδους- output oriented), με σκοπό να εξετάσουν την περιβαλλοντική και την τεχνική αποδοτικότητα αεροπορικών εταιριών. Με βάση την IATA, επιλέγονται 48 από τις κύριες full-service και low-cost αεροπορικές από 6 διαφορετικές περιοχές και έπειτα εκτιμάται η αποδοτικότητά τους κατά την περίοδο 2007-2010. Όλα τα απαιτούμενα δεδομένα προέρχονται από την RDC Aviation, ενώ για τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα αποκτώνται πληροφορίες από την Schedules reference service (SRS) innovate database, στην οποία περιέχεται το 99% των παγκόσμιων προγραμματισμένων κινήσεων. Για τα inputs του μοντέλου επιλέγονται ο αριθμός των εργαζομένων στα αεροσκάφη (πιλότοι, αεροσυνοδοί κλπ.) καθώς και το διαθέσιμο κεφάλαιο. Στα outputs περιλαμβάνονται τα διαθέσιμα τονοχιλιόμετρα (ΤΚΑ) και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα σαν ανεπιθύμητο output. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι πολλές από τις πιο τεχνικά αποδοτικές αεροπορικές εταιρείες προέρχονται από την Κίνα και τη Βόρεια Ασία, ενώ πολλές από τις αεροπορικές με τις καλύτερες περιβαλλοντικές επιδόσεις προέρχονται από την Ευρώπη. Διαπιστώνεται επίσης ότι παρόλο που ο αριθμός των φορέων παροχής υπηρεσιών πλήρους εξυπηρέτησης με προσανατολισμό προς το περιβάλλον αυξάνεται, οι αερομεταφορείς χαμηλού κόστους είναι ακόμα περισσότερο περιβαλλοντικά

προσανατολισμένοι. Σχεδόν όλοι οι αερομεταφορείς χαμηλού κόστους λειτουργούν τεχνικά υπό αυξημένες αποδόσεις κλίμακας καθ' όλη τη διάρκεια των μελετώμενων ετών. Ωστόσο, αυτό το αποτέλεσμα είναι ακριβώς το αντίθετο από αυτό που προκύπτει για τις μεγαλύτερες αεροπορικές εταιρείες.

Οι Φραγκουδάκη et al. (2016) αξιολογούν τη λειτουργική αποδοτικότητα αλλά και τις αλλαγές στην παραγωγικότητα των ελληνικών αεροδρομίων κατά τα πρώτα έτη της οικονομικής κρίσης στην Ελλάδα (2010- 2014). Στην έρευνά τους χρησιμοποιούν δύο μεθόδους, τη DEA για την αξιολόγηση της αποδοτικότητας και τον δείκτη παραγωγικότητας Malmquist (Malmquist Productivity index- MPI) για τον υπολογισμό των αλλαγών στην παραγωγικότητα των αεροδρομίων. Η μη διαθεσιμότητα δεδομένων οδηγούν στην επιλογή μεταβλητών εισόδου της DEA που αφορούν στο λειτουργικό κομμάτι ενός αεροδρομίου, δηλαδή στις υποδομές του. Οικονομικά και άλλα ποσοτικά δεδομένα δεν είναι δημοσίως προσβάσιμα. Έτσι λοιπόν, επιλέγονται σαν inputs το μήκος του διαδρόμου (m), η επιφάνεια του χώρου στάθμευσης των αεροσκαφών (m^2) και η επιφάνεια του τερματικού σταθμού (m^2). Αντίστοιχα, τα outputs που συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο της DEA είναι ετήσια δεδομένα για το συνολικό αριθμό κινήσεων αεροσκαφών, το συνολικό αριθμό επιβατών και για τους τόνους φορτίου που μετατρέπονται σε Work load units (WLUs). Τα αποτελέσματα των μοντέλων δείχνουν πως παρά τις τραγικές συνέπειες της κρίσης στην κοινωνικοοικονομική ζωή της Ελλάδας, η ανάπτυξη του τουρισμού δεν έχει πλήξει τη συνολική αποδοτικότητα και παραγωγικότητα των ελληνικών αεροδρομίων.

Οι Φραγκουδάκη et al. (2016) μελετούν την αποδοτικότητα 38 ελληνικών αεροδρομίων. Από αυτά τα αεροδρόμια τα 28 είναι σε νησιά και τα 10 στην Ηπειρωτική Ελλάδα. Η ανάλυση παρουσιάζεται σε δύο στάδια. Αρχικά εκτιμάται η αποδοτικότητα κάθε αεροδρομίου με τη μέθοδο της DEA. Έπειτα γίνονται στατιστικές εκτιμήσεις και χρησιμοποιείται το μοντέλο παλινδρόμησης Tobit, ώστε να εντοπιστούν ποιοι παράγοντες παίζουν σημαντικό ρόλο στις μεταβολές της αποδοτικότητας των αεροδρομίων. Τα δεδομένα για τα χαρακτηριστικά των αεροδρομίων λαμβάνονται από την Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας (Υ.Π.Α.) για το έτος 2011. Για το μοντέλο της DEA επιλέγονται σαν inputs το μήκος του διαδρόμου (m), η επιφάνεια του χώρου στάθμευσης των

αεροσκαφών (m^2) και η επιφάνεια του τερματικού σταθμού (m^2). Ενώ τα outputs που υπεισέρχονται στο μοντέλο είναι ετήσια δεδομένα για το συνολικό αριθμό κινήσεων αεροσκαφών, το συνολικό αριθμό επιβατών και για τους τόνους φορτίου. Το εφαρμοζόμενο μοντέλο της DEA είναι ένα από τα δύο κύρια μοντέλα, το BCC, με προσανατολισμό προς τις εξόδους (output oriented). Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας διαμορφώνονται ως εξής: Από τα 38 αεροδρόμια τα 11 προκύπτουν πλήρως αποδοτικά σε σχέση με τα υπόλοιπα και σε ό,τι αφορά στους κύριους παράγοντες που επιδρούν στην αποδοτικότητα των αεροδρομίων αυτοί είναι η τοποθεσία του νησιού, η συνδεσιμότητα και οι ξενοδοχειακές υποδομές της περιοχής.

Οι Liu et al. (2017) αξιολογούν τις επιδόσεις εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα από 12 κινέζικες αεροπορικές εταιρείες κατά την περίοδο 2007-2013. Στη μελέτη εισάγεται ένας παγκόσμιος δείκτης επιδόσεων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (Global Malmquist index- GMCPI), ο οποίος μπορεί να μετρήσει τις δυναμικές μεταβολές των επιδόσεων των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα με την πάροδο του χρόνου. Στο VRS μοντέλο DEA που χρησιμοποιείται εισάγονται σαν μεταβλητές εισόδου ο αριθμός των αεροσκαφών και ο αριθμός των εργαζομένων ενώ σαν μεταβλητές εξόδου το revenue tone km και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (ανεπιθύμητο output). Το revenue tone kilometer υπολογίζεται ως εξής: Μετατρέπουμε τον αριθμό των επιβατών σε φορτίο βάρους (συνήθως πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των επιβατών επί 90 κιλά, ώστε να συμπεριλάβουμε και τις βαλίτσες) και έπειτα πολλαπλασιάζουμε επί τα χιλιόμετρα πτήσης (ICAO 2004, doc. 9626, Manual on the Regulation of International Air Transport). Τελικά η μελέτη καταλήγει σε τρία σημαντικά ευρήματα. Πρώτον, οι επιδόσεις των αεροπορικών εταιρειών στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα βελτιώθηκαν κατά 11,93%, κυρίως μέσω της εξέλιξης της τεχνολογίας. Δεύτερον, υπάρχουν διαφορές απόδοσης εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μεταξύ τριών διαφορετικών τύπων αεροπορικών εταιρειών. Και τέλος, προκύπτει πως ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα είναι η διανομή των διαδρομών των πτήσεων. Οι επιδόσεις των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα σίγουρα επιδέχονται βελτιώσεις και μάλιστα προτείνεται και η ιδέα ενός συστήματος αξιολόγησης.

Πίνακας 2-1: Σύνοψη της βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Συγγραφείς	Αντικείμενο	Περίοδος μελέτης	Μοντέλο	Inputs	Outputs
Juan Carlos Martin, Concepcion Roman	Ισπανικά αεροδρόμια	1997	DEA	· Αριθμός εργαζομένων · Κεφάλαιο · Υλικά	· Αριθμός επιβατών · Φορτίο · Διαθέσιμα τονοχιλιόμετρα
Ming- Miin Yu	Αεροδρόμια της Ταϊβάν	1994-2000	DEA	· Περιοχή Διαδρόμου (m ²) · Περιοχή στάθμευσης (m ²) · Τερματικός σταθμός (m ²) · Αριθμός αεροπορικών δρομολογίων κάθε αεροδρομίου που συνδέονται με τα άλλα εγχώρια αεροδρόμια	· Κινήσεις αεροσκαφών · Αριθμός επιβατών · Επίπεδο θορύβου αεροσκαφών (ανεπιθύμητο output)
L.C.Lin, C.H.Hong	20 κύρια αεροδρόμια παγκοσμίως	2003	DEA	· Αριθμός εργαζομένων · Αριθμός μηχανημάτων check in · Αριθμός διαδρόμων · Αριθμός θέσεων στάθμευσης · Αριθμός ιμάντων συλλογής αποσκευών · Αριθμός θέσεων στάθμευσης αεροσκαφών (apron) · Αριθμός μετρητών επιβίβασης · Κτίριο αεροσταθμών (terminal area)	· Αριθμός επιβατών · Φορτίο · Κινήσεις
Carlos Pestana Barros, Peter U.C. Dieke	Ιταλικοί αερολιμένες	2001- 2003	DEA	· Αριθμός αεροσκαφών · Αριθμός επιβατών · Συνολικοί τόνοι φορτίου · Εμπορικές πωλήσεις (πωλήσεις σε επιβάτες)	· Εργατικά κόστη · Κεφάλαια που επενδύονται · Λειτουργικά κόστη που δε συμπεριλαμβάνονται στα εργατικά
Σοφία Καλάκου, Παρασκευή Ψαράκη-Καλουπσιδή	Ελληνικά αεροδρόμια	2004- 2007	DEA	<i>Για τις επήγειες λειτουργίες:</i> · Επιφάνεια του κτιρίου επιβατών · Περιοχή ισογείου · Περιοχή αναχωρήσεων · Περιοχή αφίξεων · Περιοχή check-in · Αριθμός εργαζομένων <i>Για τις εναέριες λειτουργίες:</i> · Χώρος στάθμευσης α/φ · Αριθμός εργαζομένων που αφορά στις λειτουργίες του αεροδρομίου	<i>Για τις επήγειες λειτουργίες:</i> · Αριθμός επιβατών <i>Για τις εναέριες λειτουργίες:</i> · Αριθμός κινήσεων α/φ
Amir Arjomandi, Juergen Seufert	48 αεροπορικές εταιρείες	2007- 2010	DEA	· Αριθμός των εργαζομένων στα αεροσκάφη (πιλότοι, αεροσυνοδοί κλπ.) · Διαθέσιμο κεφάλαιο	· Διάθεσιμα τονοχιλιόμετρα · Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (ανεπιθύμητο output)
Αλεξάνδρα Φραγκουδάκη, Δημήτριος Γκιόκας, Κυριακή Γλύπτου	Ελληνικά αεροδρόμια	2010-2014	· DEA · Malmquist Productivity index- MPI	· Μήκος του διαδρόμου (m) · Επιφάνεια του χώρου στάθμευσης των αεροσκαφών (m ²) · Επιφάνεια του τερματικού σταθμού (m ²)	· Συνολικός αριθμός κινήσεων · Συνολικός αριθμός επιβατών · Τόνοι φορτίου
Αλεξάνδρα Φραγκουδάκη, Δημήτριος Γκιόκας	38 Ελληνικά αεροδρόμια	2011	· DEA · Μοντέλο παλινδρόμησης Tobit	· Μήκος του διαδρόμου (m) · Επιφάνεια χώρου στάθμευσης των αεροσκαφών (m ²) · Επιφάνεια του τερματικού σταθμού (m ²)	· Συνολικός αριθμός κινήσεων · Συνολικός αριθμός επιβατών · Τόνοι φορτίου
Xiao Liu, Dequn Zhou, Peng Zhou, Qunwei Wang	12 Κινέζικες αεροπορικές εταιρείες	2007- 2013	· DEA · Global Malmquist index- GMCPi	· Αριθμός αεροσκαφών · Αριθμός εργαζομένων	· Revenue tone kilometer · Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (ανεπιθύμητο output)

2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΑΠΟ ΤΑ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ

Τα αεροσκάφη εκπέμπουν μια σειρά από αέρια του Θερμοκηπίου, σε διάφορα στάδια της πτήσης. Από τα αέρια αυτά το πιο επιβλαβές για το περιβάλλον είναι το διοξείδιο του άνθρακα CO₂, οι εκπομπές του οποίου είναι ευθέως ανάλογες με την ποσότητα καυσίμου που καίγεται από το αεροσκάφος. Λόγω της μεγάλης επίδρασης του CO₂ στην κλιματική αλλαγή έχουν διεξαχθεί κατά καιρούς μελέτες για τον υπολογισμό των εκπομπών του από τα αεροσκάφη αλλά και από τις αερομεταφορές γενικότερα.

Οι Loo et al. (2013) μελετούν την επίδραση των κομβικών αεροδρομιών στις αερομεταφορές από μία περιβαλλοντική οπτική γωνία. Από τα FIRs της Ελλάδας και του Hong Kong/Sanya εκτιμώνται οι εκπομπές CO₂ σε 3 επίπεδα, στην περιοχή του αεροδρομίου, στον εναέριο χώρο και στη διάρκεια της πτήσης. Οι βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής: Η βάση δεδομένων ICAO Engine Exhaust Emissions 2012 για τον υπολογισμό των καυσίμων στην LTO φάση, η EMEP/CORINAIR 2009 για τον υπολογισμό των καυσίμων στη φάση της πτήσης αλλά και για τον υπολογισμό των καυσίμων στην LTO φάση για τα turboprop αεροσκάφη μιας που ο ICAO δεν τα περιλαμβάνει. Μετά την εκτίμηση των εκπομπών CO₂ για τον διεθνή αερολιμένα Αθηνών (AIA) και το διεθνές αεροδρόμιο του Hong Kong (HKIA) εξετάστηκαν οι τύποι των αεροσκαφών καθώς και η απόσταση πτήσης, με σκοπό την ερμηνεία στις διαφορές απόδοσης εκπομπών στα δύο αυτά αεροδρόμια. Προέκυψε ότι ο το αεροδρόμιο του Hong Kong έχει χειρότερες περιβαλλοντικές επιδόσεις στο επίπεδο του αεροδρομίου και του εναέριου χώρου εξαιτίας των μεγαλύτερων αεροσκαφών και των πιο μεγάλων αποστάσεων πτήσεων. Παρόλα αυτά όταν μελετώνται οι περιβαλλοντικές επιδόσεις στη φάση της πτήσης, το HKIA που έχει μεγαλύτερο συντελεστή φορτίου λειτουργεί καλύτερα.

Οι Pagoni και Psaraki- Kalouptsidi (2016) υπολογίζουν τις τυπικές διαδρομές πτήσης, το καύσιμο που καίγεται και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, κάνοντας δύο προσεγγίσεις, στη μία ομαδοποίηση και τεχνική καταχώρηση και στην άλλη βασίζονται στο μοντέλο της βάσης δεδομένων EUROCONTROL's Base of Aircraft Data (BADA). Για

επαλήθευση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε και η βάση δεδομένων της EMEP/CORINAIR 2013. Οι αναλύσεις σχετικά με τις εκπομπές CO₂ γίνονται βάσει του Climb-Cruise-Descent cycle, τα βασικά χαρακτηριστικά του οποίου είναι η απόσταση πτήσης, ο τύπος του αεροσκάφους και η κατεύθυνση πτήσης.

Οι Yang et al. (2017) εκτιμούν τις εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων από τα αεροσκάφη και από άλλες πηγές, για το διεθνές αεροδρόμιο του Πεκίνου, κατά το έτος 2015. Οι εκπομπές που προέρχονται από τα αεροσκάφη χωρίζονται σε δύο μέρη, στις εκπομπές που δημιουργούνται κατά τον κύκλο της προσαπογείωσης (LTO cycle) καθώς και σε αυτές που προκύπτουν κατά τη διάρκεια της πτήσης (cruise cycle), όπου υψομετρικά είναι πάνω από τα 915 m, σύμφωνα με τον ICAO (2011). Το CO₂ που παράγεται από τον κύκλο της προσαπογείωσης κρίθηκε πιο σημαντικό στην επίδρασή του στο περιβάλλον, γι' αυτό στην παρούσα μελέτη υπολογίζονται οι εκπομπές αυτής της φάσης (LTO). Η γενική εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των εκπομπών είναι:

$$\text{Εκπομπές} = \sum \left\{ (\text{χρόνος δραστηριότητας} * 60) * \left(\frac{\text{ροή καυσίμου}}{1000} \right) * \right. \\ \left. (\text{δείκτης εκπομπών}) * \right. \\ \left. (\text{αριθμός των μηχανών του εκάστοτε αεροσκάφους}) \right\}$$

Εκτός από τα αεροσκάφη που αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των εκπομπών στο αεροδρόμιο, συνυπολογίζονται και οι εκπομπές των βοηθητικών μονάδων ισχύος, του εξοπλισμού εδάφους, οχημάτων πρόσβασης εδάφους αλλά και άλλων ιδιωτικών οχημάτων και άλλων πηγών. Με την ολοκλήρωση της μελέτης προκύπτουν οι εκπομπές των εξεταζόμενων αερίων (NO_x, CO, VOCs, SO₂ και PM_{2.5}) καθώς και τα παρακάτω συμπεράσματα. Τα ποσοστά των αερίων αλλά και το ποια είναι τα αέρια που εκπέμπονται ανά φάση εξαρτώνται από τον τύπο του αεροσκάφους, τις καιρικές συνθήκες καθώς και την εποχή (καλοκαίρι ή χειμώνας).

2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ DEA ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Ο όρος της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας (eco- efficiency) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από το Παγκόσμιο Επιχειρηματικό Συμβούλιο για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) το 1992 στη δημοσίευση “Changing Course”. Το παγκόσμιο δίκτυο του WBCSD αποτελεί τον εκφραστή των επιχειρήσεων και των θέσεών τους σε θέματα Βιώσιμης Ανάπτυξης και έχει ως κύριο στόχο την προώθηση μιας αειφόρου ανάπτυξης των επιχειρήσεων αλλά και ολόκληρης της κοινωνίας.

Η ταυτόχρονη παραγωγή αγαθών και ανεπιθύμητων εκροών (όπως είναι οι ρύποι) προκαλούν δυσκολίες στην εκτίμηση της συνολικής αποδοτικότητας μιας επιχείρησης ή ενός φορέα. Για την έγκυρη και αντικειμενική μέτρηση της απόδοσης πολλοί μελετητές εισάγουν στα κλασικά μοντέλα της Data Envelopment Analysis τις αρνητικές εκροές (undesirable outputs) των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Ο Scheel (1999) ταξινομεί και παρουσιάζει διάφορες μεθόδους οι οποίες ενσωματώνουν τις ανεπιθύμητες εκροές σε ένα μοντέλο DEA. Τις διαχωρίζει σε άμεσες και έμμεσες. Στις άμεσες ανήκουν αυτές στις οποίες χρησιμοποιείται μία μονότονη φθίνουσα συνάρτηση, τέτοια ώστε τα μετασχηματισμένα δεδομένα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν «κανονικά» (επιθυμητά) outputs στο μοντέλο DEA. Στις άμεσες μεθόδους συμπεριλαμβάνονται αυτές που χρησιμοποιούν αυτούσια τα ανεπιθύμητα outputs αλλά τροποποιούν τις χρησιμοποιούμενες υποθέσεις που γίνονται στο μοντέλο, ώστε να χρησιμοποιηθούν αντίστοιχα οι ανεπιθύμητες εκροές. Μετά την παρουσίαση των μεθόδων δίνεται ένα παράδειγμα εφαρμογής μοντέλου DEA για την επιλογή Ευρωπαϊκών οικονομιών, συμπεριλαμβάνοντας σαν μοναδικό input τον αριθμό των εργαζομένων, σαν επιθυμητό output το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ) και σαν ανεπιθύμητο output τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου.

Οι Seiford et al. (2000) αναπτύσσουν μία εναλλακτική μέθοδο εκτίμησης αποδοτικότητας όπου συμπεριλαμβάνονται και ανεπιθύμητες εκροές. Χρησιμοποιείται η DEA classification invariance, σύμφωνα με την οποία οι ταξινομήσεις των αποδοτικών και μη αποδοτικών μονάδων

είναι αμετάβλητες στο μετασχηματισμό των δεδομένων. Υπάρχουν τουλάχιστον 5 τρόποι να αντιμετωπιστούν οι ανεπιθύμητες εκροές σε ένα BCC μοντέλο της DEA. Ο πρώτος είναι απλώς να αγνοήσεις τα ανεπιθύμητα outputs, ο δεύτερος να τα εισάγεις σε ένα μη γραμμικό μοντέλο, ο τρίτος είναι να προσαρμοστεί η απόσταση μέτρησης ώστε να περιοριστεί η επέκταση των ανεπιθύμητων εκροών. Μια ακόμα εναλλακτική είναι να χρησιμοποιηθούν τα ανεπιθύμητα outputs σαν inputs, μία προσέγγιση που δεν αντανάκλα πλήρως την πραγματική παραγωγική διαδικασία. Τέλος, ο πέμπτος τρόπος είναι η χρήση ενός μονότονου φθίνοντα μετασχηματισμού (π.χ. $1/y_b$, όπου y_b τα ανεπιθύμητα outputs) στις αρνητικές εκροές. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιείται ένας γραμμικός μονότονος φθίνοντας μετασχηματισμός. Αποτελεί μια πολύ καλή επιλογή επίλυσης διότι ο γραμμικός μετασχηματισμός διατηρεί την κυρτότητα του μοντέλου DEA.

Οι Korhonen et al. (2004) εφαρμόζουν τη μέθοδο της Data Envelopment Analysis (DEA) για την εκτίμηση της αποδοτικότητας 24 σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μία Ευρωπαϊκή χώρα. Ένας βασικός σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η βελτίωση του υπάρχοντος συστήματος με το να αποδειχθεί πως για την επίτευξη αποδοτικών μονάδων πρέπει να ικανοποιούνται όχι μόνο οικονομικά αλλά και περιβαλλοντικά κριτήρια. Δύο είναι οι προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται. Στην πρώτη, μετράται αρχικά η τεχνική αποδοτικότητα (σαν σχέση επιθυμητών εκροών και εισροών) και έπειτα υπολογίζεται η περιβαλλοντική αποδοτικότητα (σαν σχέση ανεπιθύμητων και επιθυμητών εκροών). Και τελικά αυτοί οι δύο δείκτες αποδοτικότητας συνδυάζονται. Σύμφωνα με τη δεύτερη προσέγγιση, οι ανεπιθύμητες εκροές χρησιμοποιούνται σαν εισροές, με τη λογική ότι αυτές θέλουμε να μειωθούν, όπως δηλαδή και οι εισροές. Και οι δύο μέθοδοι οδηγούν σε παρόμοια αποτελέσματα, παρόλα με το δεύτερο τρόπο παρέχεται μια βαθύτερη εικόνα σχετικά με τις αιτίες που μπορεί να καταστήσουν περιβαλλοντικά μη-αποδοτική μία μονάδα και ενδείκνυνται πιθανές βελτιώσεις σε σχέση με τις εισροές και εκροές.

Οι Zhou et al. (2005) μετρούν τις εκπομπές διοξειδίου σε 8 περιοχές παγκοσμίως. Στις πιο πολλές μελέτες χρησιμοποιείται η CRS προσέγγιση του μοντέλου DEA. Παρόλα αυτά, οι VRS περιπτώσεις αποδίδουν καλύτερα τις ρεαλιστικές περιπτώσεις.

Οι Lozano et al. (2010) μελετούν την αποδοτικότητα 39 ισπανικών αεροδρομίων κατά τα έτη 2006- 2007. Οι χρησιμοποιούμενες εισροές αφορούν στην υποδομή των αεροδρομίων ενώ οι εκροές είναι οι κινήσεις των επιβατών, οι κινήσεις των αεροσκαφών και το φορτίο. Ακόμα, χρησιμοποιούνται και ως ανεπιθύμητες εκροές το ποσοστό των καθυστερημένων πτήσεων και η μέση υποκείμενη καθυστέρηση των αργοπορημένων πτήσεων. Το χρησιμοποιούμενο μοντέλο DEA είναι αυτό που βασίζεται στις αποκλίσεις (Slack based measure model- SBM model) με VRS προσέγγιση. Έχει βρεθεί πως το συγκεκριμένο μοντέλο είναι πιο αντικειμενικό και έχει πιο έγκυρα αποτελέσματα στον υπολογισμό αποδοτικότητας συμπεριλαμβανομένων και ανεπιθύμητων εκροών. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι και στα δύο έτη πάνω από τα μισά αεροδρόμια είναι τεχνικά αποδοτικά ενώ τα υπόλοιπα έχουν πολλά slacks, τα οποία με τη μέθοδο SBM είναι εφικτό να ταυτοποιηθούν και να ποσοτικοποιηθούν.

Οι Sahoo et al. (2011), με τη μέθοδο της DEA, εκτιμούν την περιβαλλοντική αποδοτικότητα διυλιστηρίων στο δημόσιο τομέα με έμφαση στα παραγόμενα λύματα και στο νερό που καταναλώνεται κατά την παραγωγική διαδικασία, κατά τα έτη 1995- 2004. Προσεγγίζουν τις αρνητικές εκροές με δύο μεθόδους, στη μία χρησιμοποιούν αυτούσια τα δεδομένα και στην άλλη κάνουν μετατροπή των ανεπιθύμητων εκροών και μετά τις εισάγουν στο μοντέλο.

Ενώ η μέθοδος Data Envelopment Analysis αποτελεί έναν από τους πιο διαδεδομένους τρόπους εκτίμησης της συγκριτικής αποδοτικότητας, δεν έχουν ακόμα γίνει πολλές μελέτες DEA συνδυαστικά με αρνητικές εκροές για την εκτίμηση της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας αεροδρομίων.

3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ

Το δίκτυο αερομεταφορών της Ελλάδας απαρτίζεται από 61 αεροδρόμια, πολιτικού και στρατιωτικού ενδιαφέροντος. Από αυτά, τα 15 ανήκουν στην κατηγορία Διεθνών συγκοινωνιών και εξυπηρετούν πτήσεις εσωτερικού αλλά και διεθνείς, τα 21 ανήκουν στην κατηγορία εσωτερικών συγκοινωνιών και εξυπηρετούν πτήσεις εσωτερικού ή και διεθνείς, τα 4 είναι και αυτά Εσωτερικών συγκοινωνιών αλλά εξυπηρετούν μόνο πτήσεις εσωτερικού, τα 12 είναι στρατιωτικά και τα 9 αποτελούν κλειστά πλέον αεροδρόμια.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διεξάγεται μελέτη για 15 ελληνικά περιφερειακά αεροδρόμια, η επιβατική κίνηση των οποίων φτάνει σε ποσοστό 95% της κίνησης των συνολικών περιφερειακών αεροδρομίων. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα εξεταζόμενα αεροδρόμια.

- Διεθνής Κρατικός Αερολιμένας Θεσσαλονίκης «Μακεδονία»

Αποτελεί το τρίτο μεγαλύτερο αεροδρόμιο της χώρας μετά τους αερολιμένες Αθηνών και Ηρακλείου και βρίσκεται 15 χλμ. νοτιοανατολικά της Θεσσαλονίκης. Λειτουργεί 24 ώρες σαν επιβατικός και εμπορευματικός σταθμός και εξυπηρετεί τόσο τοπικές όσο και διεθνείς πτήσεις. Αποτελείται από ένα κτίριο επιβατών τριών επιπέδων και από δύο διαδρόμους προσαπογείωσης. Συνδέεται με το Σιδηροδρομικό Σταθμό Θεσσαλονίκης και το Σταθμό Υπεραστικών Λεωφορείων. Επίσης, έχει προβλεφθεί μελλοντικός σταθμός στο Μετρό Θεσσαλονίκης μέσω της επέκτασης στην Καλαμαριά.

- Κρατικός Αερολιμένας Κέρκυρας «Ιωάννης Καποδίστριας»

Το αεροδρόμιο της Κέρκυρας ιδρύθηκε το 1937 και απέχει μόλις 3 χλμ. από το κέντρο της πόλης. Ο διάδρομός του φτάνει στα 2.375 μέτρα και αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα σε διεθνείς αφίξεις στη χώρα αεροδρόμια. Ο αερολιμένας είναι προσβάσιμος από αυτοκίνητο, ταξί αλλά και λεωφορείο από το κέντρο της πόλης και το λιμάνι.

- Κρατικός Αερολιμένας Κεφαλονιάς «Άννα Πολλάτου»

Βρίσκεται στο Ν- ΝΔ τμήμα της Κεφαλονιάς, 10 χλμ. από το Αργοστόλι. Διαθέτει έναν διάδρομο προσαπογειώσεων μήκους 3.000 μέτρων και ένα μικρό κτίριο αεροσταθμού. Τα στατιστικά στοιχεία του περασμένου έτους αναφέρουν 5.903 κινήσεις αεροσκαφών και 629.671 επιβάτες.

- Κρατικός Αερολιμένας Ακτίου

Βρίσκεται πολύ κοντά στη Λευκάδα, ενώ γεωγραφικά και διοικητικά αποτελεί μέρος της περιφερειακής ενότητας Αιτωλοακαρνανίας. Οι συνολικές εγκαταστάσεις του καλύπτουν επιφάνεια 7.500 τετραγωνικών μέτρων και έχει διάδρομο μήκους 2.871 μέτρα. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ανάπτυξη του αεροδρομίου, με τη συνεχόμενη αύξηση της επιβατικής κίνησης αλλά και των αεροπορικών εταιρειών που το χρησιμοποιούν είτε ως τελικό είτε ως ενδιάμεσο προορισμό.

- Κρατικός Αερολιμένας Ζακύνθου «Διονύσιος Σολωμός»

Το αεροδρόμιο της Ζακύνθου απέχει 6 χλμ. από την πρωτεύουσα του νησιού και 1 χλμ. από την περιοχή Λαγανά. Ξεκίνησε να λειτουργεί το 1972 ενώ τον Ιούνιο του 1982 έγινε διεθνές αεροδρόμιο και μπορούσε πια να εξυπηρετεί και πτήσεις εξωτερικού.

- Κρατικός Αερολιμένας Καβάλας «Μέγας Αλέξανδρος»

Βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή της κοινότητας Αγιάσματος του δήμου Νέστου, 30 χλμ. ανατολικά της Καβάλας. Το αεροδρόμιο της Καβάλας αρχικά λειτουργούσε στις εγκαταστάσεις της Πολεμικής Αεροπορίας, ενώ το 1981 μεταφέρθηκε στην τωρινή του θέση. Κατά την έναρξη της λειτουργίας εξυπηρετούσε εσωτερικές πτήσεις, ενώ από το 1987 κατατάχθηκε στους διεθνείς αερολιμένες της χώρας.

- Διεθνής Αερολιμένας Χανίων «Ιωάννης Δασκαλογιάννης»

Βρίσκεται στη Σούδα, 14 χλμ. από την πόλη των Χανίων. Πήρε την τελική του μορφή το 1996, καθώς έπρεπε να καλυφθούν οι ανάγκες για την αυξημένη ζήτηση πτήσεων για το νησί της Κρήτης. Το 2013, η low cost αεροπορική εταιρεία, Ryanair πραγματοποίησε την πρώτη της βάση στην Ελλάδα, γεγονός που απογείωσε το αεροδρόμιο των Χανίων.

- Κρατικός Αερολιμένας Ρόδου «Διαγόρας»

Ο αερολιμένας της Ρόδου βρίσκεται 16 χλμ. νοτιοδυτικά της Ρόδου και αποτελεί το τέταρτο μεγαλύτερο αεροδρόμιο της Ελλάδας σε όγκο επιβατών. Το δάπεδο στάθμευσης αεροσκαφών καλύπτει συνολική έκταση 110.600 τ.μ. με δυνατότητα στάθμευσης 13 αεροσκαφών, ενώ το κτήριο του αεροσταθμού έχει έκταση 20.753 τ.μ., με χωρητικότητα 1.700 επιβατών, με τα έργα επέκτασης και βελτίωσης να συνεχίζονται.

- Κρατικός Αερολιμένας Σάμου «Αρίσταρχος ο Σάμιος»

Το αεροδρόμιο βρίσκεται 5 χλμ. από την πόλη του Πυθαγορείου. Αποτελείται από έναν μικρό διάδρομο, ένα τερματικό σταθμό και 5 πύλες επιβίβασης αλλά χωρίς φυσούνα. Έχει τη δυνατότητα υποδοχής αεροσκαφών από το εξωτερικό, μάλιστα τον Μάιο του 1976 έφτασε το πρώτο τσάρτερ με Δανούς τουρίστες. Γενικά, το αεροδρόμιο παρουσιάζει μεγάλη ανάπτυξη και γίνονται συνεχώς έργα με σκοπό να ανταποκρίνεται στις διεθνείς προδιαγραφές αλλά και στην επιβατική κίνηση.

- Κρατικός Αερολιμένας Σκιάθου «Αλέξανδρος Παπαδιαμάντης»

Βρίσκεται περίπου 4 χλμ. από το κέντρο της πόλης της Σκιάθου. Στις εγκαταστάσεις του συμπεριλαμβάνονται ένας διάδρομος μήκους 1.628 μέτρων και ένα κτίριο αεροσταθμού. Το μικρό μήκος διαδρόμου καθώς και η εγγύτητά του στη θάλασσα σίγουρα δυσκολεύουν τις προσαπογειώσεις. Συγκεκριμένοι τύποι αεροσκαφών μπορούν να χρησιμοποιούν τον διάδρομο και πρέπει να επιτυγχάνουν τον ελάχιστο χρόνο απογείωσης.

- Κρατικός Αερολιμένας Μυτιλήνης «Οδυσσέας Ελύτης»

Βρίσκεται στη Λέσβο, 8 χλμ. από την πόλη της Μυτιλήνης και ξεκίνησε τη λειτουργία του το 1948. Βέβαια, τότε, είχε ακόμα χωμάτινο διάδρομο και με μήκος μόλις 1.200 μέτρων. Μετά τις ανακατασκευές ο διάδρομος επενδύθηκε με τάπητα και έφτασε τα 2.400 μέτρα και ο τερματικός σταθμός έφτασε τα 2.000 τ.μ. . Το 1980 έλαβε χώρα η πρώτη απευθείας πτήση με χώρα της Ευρώπης και έκτοτε κάθε θερινή σεζόν, το

αεροδρόμιο φιλοξενεί πολλές αεροπορικές εταιρείες από όλη την Ευρώπη.

- Κρατικός Αερολιμένας Μυκόνου

Το αεροδρόμιο λειτούργησε για πρώτη φορά το 1971 και βρίσκεται 4 χλμ. από το κέντρο της πόλης. Οι κτιριακές εγκαταστάσεις έχουν επιφάνεια 8.000 τ.μ. και ο διάδρομος έχει μήκος 1.903 μέτρα. Εξυπηρετεί πτήσεις εσωτερικού και εξωτερικού. Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, υπάρχουν περιορισμένες ώρες λειτουργίας καθώς και ελάχιστες αεροπορικές συνδέσεις. Ενώ στη θερινή περίοδο, λόγω της πολύ μεγάλης ζήτησης, κρίθηκε σκόπιμο να μειωθεί η δραστηριότητα των αεροσκαφών γενικής χρήσης.

- Κρατικός Αερολιμένας Σαντορίνης

Ξεκίνησε να λειτουργεί από το 1976 και βρίσκεται στο ανατολικό τμήμα του νησιού, 6 χλμ. από την πρωτεύουσα, τα Φηρά. Χρησιμοποιείται από μεγάλο αριθμό επιβατών από πτήσεις εσωτερικού και εξωτερικού. Ένας μεγάλος αριθμός των ταξιδιωτών εσωτερικού αφορά ξένους τουρίστες που προσεγγίζουν το νησί μέσω του αεροδρομίου Ελ. Βενιζέλος.

- Κρατικός Αερολιμένας Κω «Ιπποκράτης»

Βρίσκεται κοντά στο χωριό της Αντιμάχειας και παράλληλα είναι το δεύτερο κοντινότερο αεροδρόμιο της Αλικαρνασσού, μετά το αεροδρόμιο Milas. Αποτελείται από διάδρομο μήκους 2.400 μέτρων και από έναν ανακαινισμένο τερματικό σταθμό, ο οποίος επεκτάθηκε λόγω της αυξημένης κίνησης του αεροδρομίου. Και αυτό το αεροδρόμιο εξυπηρετεί επιβάτες εσωτερικού και εξωτερικού.

- Κρατικός Αερολιμένας Ηρακλείου «Νίκος Καζαντζάκης»

Το συγκεκριμένο αεροδρόμιο αποτελεί το δεύτερο σημαντικότερο από τα ελληνικά αεροδρόμια. Βρίσκεται 4 χλμ. από το κέντρο του Ηρακλείου και κάθε χρόνο δέχεται σημαντικό αριθμό επιβατών, τόσο από την Ελλάδα όσο και από το εξωτερικό. Αποτελείται από έναν αεροσταθμό και δύο διαδρόμους προσαπογείωσης αεροσκαφών. Έχει εύκολη πρόσβαση μιας που διατίθενται δρομολόγια με τα ΚΤΕΛ καθώς και με αστικά λεωφορεία.

4 ΜΕΘΟΔΟΣ DEA- ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

4.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ DEA

4.1.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η αποτελεσματικότητα- αποδοτικότητα μιας επιχείρησης αφορά κατά κύριο λόγο στον τρόπο που αυτή διαχειρίζεται τους πόρους που διαθέτει για μια συγκεκριμένη τεχνολογία παραγωγής. Μια τέτοια γνώση αποτελεί αναμφισβήτητο πολύ σημαντικό εργαλείο για την αξιολόγηση της πολιτικής που εφαρμόζει μια επιχείρηση για την βελτιστοποίηση των κερδών της αλλά και για την αύξηση της ανταγωνιστικότητας στον κλάδο της. Η απόκλιση που έχει κάθε μονάδα από τις βέλτιστες εκροές που θα μπορούσε να επιφέρει αποτελεί και ένα μέτρο στο πόσο μη αποδοτική είναι τελικά η συγκεκριμένη μονάδα.

Η συνολική αποδοτικότητα μιας παραγωγικής μονάδας έχει τις παρακάτω συνιστώσες:

- Την τεχνική αποδοτικότητα (TE- Technical Efficiency), η οποία αναφέρεται στο πόσο καλά ή όχι λειτουργεί μία μονάδα παραγωγής, εκτιμώντας τις δυνατότητες τεχνολογίας παραγωγής που χρησιμοποιεί.
- Την αποδοτικότητα κλίμακας (SE- Scale Efficiency), η οποία σχετίζεται με την ικανότητα ή όχι της μελετώμενης μονάδας να λειτουργεί στο βέλτιστο μέγεθος.
- Τη διανεμητική αποδοτικότητα (AE- Allocative Efficiency), η οποία αναφέρεται στο πόσο σωστά ή όχι χρησιμοποιεί μία μονάδα τις εισροές της στις βέλτιστες ποσότητες, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος των εισροών αυτών αλλά και την τεχνολογία παραγωγής.

Ο συνδυασμός των δύο πρώτων συνιστωσών δημιουργούν την παραγωγική αποδοτικότητα (PE- Productive Efficiency), ενώ και των τριών την οικονομική αποδοτικότητα (EE- Economic Efficiency). Η τεχνική αποδοτικότητα μπορεί να εκτιμηθεί από δύο διαφορετικές οπτικές γωνίες. Η πρώτη αφορά στο πόσο πρέπει να μειωθούν οι χρησιμοποιούμενοι πόροι ώστε να αυξηθεί η αποτελεσματικότητά της

(input- oriented efficiency), ενώ η δεύτερη σχετίζεται αντίστοιχα με το πόσο πρέπει να αυξηθούν οι παραγόμενες εκροές (output- oriented efficiency). Τέτοιους προσανατολισμούς έχει και η αποδοτικότητα κλίμακας, και πιο συγκεκριμένα, ως προς τις εισροές, όπου υποδεικνύει τι ποσοστό πόρων θα μπορούσε να εξοικονομήσει μία μονάδα που λειτουργεί τεχνικά αποδοτικά, ώστε να μεγιστοποιεί το μέσο παραγόμενο προϊόν και ως προς τις εκροές, όπου παρουσιάζεται το ποσοστό των επιπλέον εκροών που θα μπορούσε να παράγει κ μονάδα, προσαρμόζοντας ανάλογα το μέγεθός της.

4.1.2 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ DEA

Τα τελευταία χρόνια η συγκριτική αξιολόγηση αποτελεί μία εξαιρετικά διαδεδομένη μέθοδο για την εκτίμηση της αποδοτικότητας των αεροδρομίων. Οι κλασικές οικονομετρικές μέθοδοι αξιολόγησης αποδοτικότητας εμφάνιζαν αρκετές δυσκολίες κυρίως γιατί έπρεπε να υπολογιστούν αναλυτικές συναρτήσεις παραγωγής. Τη λύση αυτού του προβλήματος έδωσε ο Ferrell το 1957 με μια νέα μεθοδολογία εκτίμησης της αποτελεσματικότητας. Μιας που ήταν αδύνατο να υπολογιστεί μία γενική συνάρτηση για την εκάστοτε εξεταζόμενη μονάδα, προσπεράστηκε εντελώς η εσωτερική διαδικασία παραγωγής και η νέα μεθοδολογία βασίστηκε στις μετρήσεις των χρησιμοποιούμενων εισροών και των παραγόμενων εξόδων, μεγέθη μετρήσιμα σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις μονάδων.

Τι εννοούμε όμως με τον όρο συγκριτική αξιολόγηση; Η DEA αξιολογεί την αποδοτικότητα ενός συνόλου μονάδων με το να συγκρίνει ξεχωριστά για κάθε DMU τη διαδικασία μετατροπής των εισροών σε εκροές σε σχέση με τις υπόλοιπες μονάδες του χρησιμοποιούμενου δείγματος. Γι' αυτό λοιπόν, η εκτιμώμενη αποδοτικότητα καλείται συγκριτική.

Ο Farrell κατάφερε, βασιζόμενος σε προγενέστερες μελέτες, να εισαγάγει το γραμμικό προγραμματισμό για την εκτίμηση της αποδοτικότητας, χωρίς όμως να καταφέρει να ορίσει ένα μοντέλο που να συνδυάζει πολλαπλές εισόδους και εξόδους. Συνεχιστές του έργου του Farrell υπήρξαν οι Charnes, Cooper, Rhodes (Charnes et al., 1978) απ'

τους οποίους θεμελιώθηκε και ο όρος Περιβάλλουσα Ανάλυση Δεδομένων- ΠΑΔ (Data Envelopment Analysis- DEA). Η ΠΑΔ αποτελεί μία μη παραμετρική μέθοδο, η οποία στηριζόμενη σε γραμμικά μοντέλα, χρησιμοποιείται για τη συγκριτική αξιολόγηση ομοειδών λειτουργικών μονάδων που έχουν πολλαπλούς χρησιμοποιούμενους πόρους (εισροές) και πολλαπλές εξόδους (εκροές). Οι Charnes et al. καθόρισαν την τεχνική αποδοτικότητα ως τον λόγο του σταθμισμένου αθροίσματος των εξόδων προς το σταθμισμένο άθροισμα των εισόδων.

Οι εισροές αλλά και οι εκροές καθορίζονται βάσει των μελετώμενων μονάδων καθώς και της διαθεσιμότητας των δεδομένων και μπορούν να μετρηθούν σε διαφορετικές μονάδες μέτρησης, γεγονός ιδιαίτερα ευνοϊκό για την εκάστοτε μελέτη. Στα πλαίσια της εκτίμησης της αποδοτικότητας, οι εισροές είναι επιθυμητό να είναι μειωμένες, δηλαδή η κάθε μονάδα να χρησιμοποιεί όσο το δυνατόν λιγότερους πόρους. Αντίστοιχα, για τις εκροές επιδιώκεται η μεγιστοποίησή τους, δηλαδή υψηλότερα επίπεδα παραγωγής για την κάθε μονάδα. Η έννοια της μονάδας δεν είναι μονοσήμαντη, μονάδες λήψης αποφάσεων μπορεί να είναι δημόσιοι οργανισμοί, επιχειρήσεις, τράπεζες, νοσοκομεία, αεροδρόμια, σχολεία αλλά και οτιδήποτε άλλο στο οποίο θέλουμε να εφαρμόσουμε συγκριτική αξιολόγηση. Αυτή η ποικιλία στην εφαρμογή οφείλεται στη μεγάλη ευελιξία της μεθόδου σχετικά με τα διαφορετικά δεδομένα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα μοντέλα.

Η DEA είναι ένα ανεκτίμητο εργαλείο εκτίμησης αποδοτικότητας, που όμως ο τρόπος που λειτουργεί δεν είναι να προτείνει αλλαγές ώστε οι μη αποδοτικές μονάδες να γίνουν αποδοτικές. Αυτό που μπορεί να προσφέρει στις μονάδες που θα προκύψουν μη αποδοτικές είναι να εντοπίσει ποιες είναι εκείνες οι αποδοτικές μονάδες που μπορούν να λειτουργήσουν ως πρότυπο (ομότιμες μονάδες- peers) για τις αναποτελεσματικές. Το κέρδος αυτής της υπόδειξης για την κάθε μη αποδοτική μονάδα είναι ότι μπορεί να εξετάσει ποιες είναι εκείνες οι διαχειριστικές ικανότητες των αποδοτικών DMUs που θα μπορούσε να αφομοιώσει για τη βελτίωση της λειτουργίας της.

4.1.3 ΤΑ ΔΥΟ ΒΑΣΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΗΣ DEA

Τα κύρια μοντέλα της DEA που χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι δύο, της σταθερής οικονομίας κλίμακος (Constant Returns to Scale- CRS) και της μεταβλητής οικονομίας κλίμακος (Variable Returns to Scale- VRS). Και τα δύο αυτά μοντέλα, ανάλογα με το πού προσανατολίζονται διακρίνονται σε αυτά που στοχεύουν στη μεγιστοποίηση των εκροών (προσανατολισμός προς τις εκροές- output oriented) και σε αυτά που στοχεύουν στην ελαχιστοποίηση των εισροών (προσανατολισμός προς τις εισροές- input oriented). Κυρίως στα VRS μοντέλα έχει επικρατήσει να επιλέγεται ο προσανατολισμός σύμφωνα με το αν μία παραγωγική μονάδα επηρεάζει πρωτίστως τις εισροές ή τις εκροές. Στα αεροδρόμια, όπου το κύριο προϊόν που παρέχουν είναι υπηρεσίες, το ζητούμενο είναι η αύξηση της απόδοσης των παρεχόμενων υπηρεσιών, ενώ ταυτόχρονα τίθενται περιορισμοί (π.χ. προϋπολογισμού), οι οποίοι δεν επιτρέπουν την αύξηση των εισροών. Συνεπώς, στην παρούσα εργασία, στα χρησιμοποιούμενα μοντέλα επιλέγεται ο προσανατολισμός προς τις εκροές.

Το μοντέλο CRS υπολογίζει τη συνολική τεχνική αποδοτικότητα (Technical Efficiency- TE) των μονάδων, δηλαδή την καθαρά τεχνική αποδοτικότητα (Pure Technical Efficiency- PTE) και την αποδοτικότητας κλίμακας (Scale Efficiency- SE). Απ' την άλλη μεριά το μοντέλο VRS υπολογίζει μόνο την PTE των μονάδων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο CRS μοντέλο το μέγεθος των μονάδων δε λαμβάνεται υπόψη για τον υπολογισμό της σχετικής αποδοτικότητας. Για τις τρεις αυτές αποδοτικότητες ισχύει:

$$SE = \frac{TE}{PTE} \quad \text{και} \quad PTE \geq T$$

Γενική μαθηματική διατύπωση της αποδοτικότητας

Έστω ότι για κάποιες μονάδες που επιθυμούμε να μελετήσουμε, συμβολίζουμε με x τις εισροές και y τις εκροές που έχουμε επιλέξει. Επίσης έστω ότι οι δείκτες i και j αντιπροσωπεύουν συγκεκριμένες εισροές και εκροές αντίστοιχα. Τέλος θεωρούμε πως m είναι ο συνολικός αριθμός των εισροών και s ο συνολικός αριθμός των εκροών, όπου $m, s > 0$.

Με τη χρήση της DEA, η αποδοτικότητα με πολλαπλές εισροές (inputs) και εκροές (outputs) προκύπτει ως εξής:

$$\text{Αποδοτικότητα} = \frac{\text{Virtual Output}}{\text{Virtual Input}} = \frac{\sum_{j=1}^s v_j y_j}{\sum_{i=1}^m u_i x_i}$$

Όπου u_i, v_j οι συντελεστές βαρύτητας των inputs και outputs αντίστοιχα. Είναι προφανές πως η εκτίμηση αυτών των συντελεστών είναι μείζονος σημασίας και οι τιμές που λαμβάνουν προκύπτουν από την επίλυση των γραμμικών εξισώσεων με σκοπό τη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας και καταδεικνύουν τις σημαντικές μεταβλητές για κάθε μονάδα (Decision Making Unit- DMU).

Μοντέλο CRS

Ένα από τα κύρια μοντέλα της DEA είναι το CRS, το οποίο αλλιώς λέγεται και CCR από τα αρχικά των Charnes, Cooper and Rhodes, από τους οποίους και προτάθηκε το 1978. Αυτό το μοντέλο υποδεικνύει πως μια αύξηση στα inputs θα έχει ως αποτέλεσμα ανάλογη αύξηση και στα outputs των DMUs.

Το μοντέλο αναπτύσσεται ως εξής:
 Έστω ότι έχουμε n DMUs, m inputs και s outputs. Τότε για όλες μας τις μονάδες DMUs προκύπτουν τα δεδομένα όπως φαίνεται παρακάτω.

Πίνακας 4-1: Παράδειγμα συγκεντρωτικού πίνακα εισροών και εκροών για το μοντέλο DEA

DMUs	Input 1st	...	Input mth	Output 1st	...	Output sth
1st	x11	...	xm1	y11	...	ys1
2nd	x12	...	...	y12	...	...
.	...	...	...	...	...	...
.	...	...	...	...	...	...
.	...	...	...	...	...	...
.	...	...	...	...	...	...
nth	x1n	...	xmn	y1n	...	ysn

Υπολογίζεται αρχικά η αποδοτικότητα της πρώτης μονάδας. Η λύση αυτού του κλασματικού προβλήματος παρατίθεται ως εξής:

$$\text{Max } \theta = \text{Max } \frac{v_1 * y_{11} + v_2 * y_{21} + \dots + v_s * y_{s1}}{u_1 * x_{11} + u_2 * x_{21} + \dots + u_m * x_{m1}}$$

Με περιορισμούς:

- $\frac{\text{Σταθμισμένο άθροισμα εκροών}}{\text{Σταθμισμένο άθροισμα ειροών}} \leq 1$ για κάθε DMU
- $u_1, u_2, \dots, u_m \geq 0$
- $v_1, v_2, \dots, v_s \geq 0$

Το παραπάνω κλασματικό μοντέλο μετατρέπεται σε γραμμικό με την κανονικοποίηση του αριθμητή της αντικειμενικής συνάρτησης. Συνεπώς προκύπτει:

$$\text{Max } \theta = \text{Max } (v_1 * y_{11} + v_2 * y_{21} + \dots + v_s * y_{s1})$$

Με περιορισμούς:

- $u_1 * x_{11} + u_2 * x_{21} + \dots + u_m * x_{m1} = 1$
- $v_1 * y_{11} + v_2 * y_{21} + \dots + v_s * y_{s1} \leq u_1 * x_{11} + u_2 * x_{21} + \dots + u_m * x_{m1}$
- $u_1, u_2, \dots, u_m \geq 0$
- $v_1, v_2, \dots, v_s \geq 0$

Τα δύο αυτά προβλήματα είναι ισοδύναμα και καταλήγουν σε κοινά αποτελέσματα. Για να θεωρείται μία DMU αποδοτική κατά CCR θα πρέπει να ισχύει $\theta = 1$ και για ένα τουλάχιστον ζεύγος $u, v > 0$. Μέσω αυτής της μεθόδου προκύπτουν οι αποδοτικότητες για όλα τις DMUs και έτσι είναι εφικτό, μέσω της συγκριτικής αξιολόγησης, να οριστούν ομότιμες (peers) DMUs πλήρως αποδοτικές, οι οποίες θα αποτελέσουν πρότυπο για τις υπόλοιπες. Το σύνολο που προκύπτει γραφικά από το σύνολο των ομότιμων μονάδων καλείται σύνολο αποδοτικότητας.

Σύμφωνα με τη βασική θεωρία του γραμμικού προγραμματισμού κάθε γραμμικό πρόβλημα (primal problem) έχει ένα αντίστοιχο γραμμικό δυικό πρόβλημα (dual). Για τη λύση ενός CCR μοντέλου δε συνιστάται η απευθείας επίλυσή του, αλλά μέσω του δυικού προβλήματος. Σύμφωνα με τους William W. Cooper, Lawrence M. Seiford και Kaoru Tone, προτιμάται η χρήση του δυικού προβλήματος για τους παρακάτω λόγους.

- ✓ Στο primal problem εμφανίζονται τόσοι περιορισμοί όσοι και ο αριθμός των DMUs, ενώ στο dual όσοι ο αριθμός των inputs και outputs, το άθροισμα των οποίων είναι αισθητά μικρότερο από το

συνολικό αριθμό των DMUs. Συνεπώς το δυικό πρόβλημα λύνεται με λιγότερους περιορισμούς, άρα πιο αρκετά πιο εύκολα.

- ✓ Το primal problem δεν μπορεί να λυθεί αν επιλέξουμε το βασισμένο στις αποκλίσεις μοντέλο (slack-based model).
- ✓ Οι ερμηνείες του δυικού προβλήματος είναι πιο ορθές επειδή οι λύσεις του χαρακτηρίζονται από inputs και outputs που αντιστοιχούν σε ακριβή δεδομένα, ενώ οι πολλαπλασιαστές που παρέχονται από τις λύσεις του αρχικού προβλήματος αντιπροσωπεύουν εκτιμήσεις αυτών των παρατηρηθεισών τιμών και θα ήταν καλύτερο να χρησιμοποιηθούν για συμπληρωματικές αναλύσεις αφού έχουμε τα αποτελέσματα από τη λύση του δυικού προβλήματος.

Το δυικό πρόβλημα του αρχικού γραμμικού προβλήματος έχει την παρακάτω μορφοποίηση.

Primal Problem

Απ' τον πίνακα 2.1 έστω X το κομμάτι του πίνακα με τα inputs και Y το τμήμα του πίνακα με τα outputs. Επίσης θεωρούμε ότι ο δείκτης o εκφράζει την εκάστοτε DMU που μελετάται. Οι πολλαπλασιαστές u, v αντιμετωπίζονται τώρα ως μεταβλητές και έτσι προκύπτει:

$$\text{Max } v * y_o$$

Με περιορισμούς:

- $u * x_o = 1$
- $v * Y - u * X \leq 0$
- $u, v \geq 0$

Dual problem

Έστω θ η διπλή μεταβλητή που αντιστοιχεί στον περιορισμό ισότητας που ομαλοποιεί το σταθμισμένο άθροισμα των εισροών και λ η διπλή μεταβλητή που αντιστοιχεί στους άλλους ανισοτικούς περιορισμούς του primal problem.

Min θ

με $0 < \theta < 1$

Με περιορισμούς:

- $\theta * x_0 - X * \lambda \geq 0$
- $u * \lambda \geq y_0$
- $\lambda \geq 0$

Μοντέλο VRS

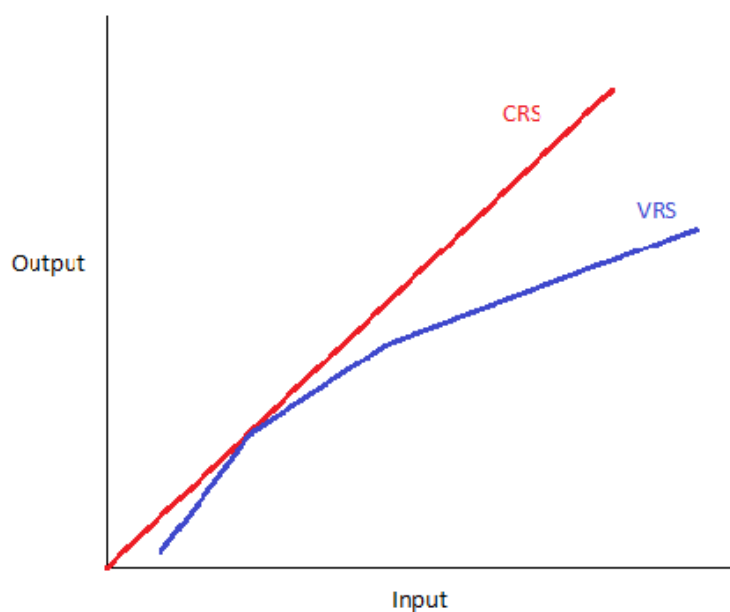
Το αρχικό μοντέλο CCR υπέθετε πως οι DMUs λειτουργούν υπό κλίμακα σταθερών αποδόσεων και έτσι ήταν επαρκές για μονάδες που λειτουργούν στο βέλτιστο μέγεθος. Πάνω σ' αυτό το μοντέλο βασίστηκαν οι Banker, Charnes και Cooper και διατύπωσαν ένα τροποποιημένο μοντέλο (γνωστό και ως BCC), το οποίο μπορεί να αποδώσει κατάλληλα τη σχέση μεγέθους- αποδοτικότητας, διότι επιτρέπει την εκτίμηση της αποδοτικότητας σε μονάδες υπό κλίμακα μεταβλητών αποδόσεων (Variable Returns to Scale- VRS).

Το BCC μοντέλο, όπως έχει ήδη αναφερθεί, υπολογίζει μόνο την καθαρά τεχνική αποδοτικότητα (PTE) της κάθε DMU και έτσι δεν επηρεάζεται από τις αποδοτικότητες κλίμακας. Και σε αυτό το μοντέλο για να θεωρείται μία DMU αποδοτική θα πρέπει $\theta=1$. Η διαφορά των δύο μοντέλων είναι ότι στο BCC προκύπτει ένας επιπρόσθετος περιορισμός, αυτός της κυρτότητας, ο οποίος εφαρμόζεται είτε χρησιμοποιούμε το output- oriented είτε το input- oriented μοντέλο.

Αυτός ο επιπλέον περιορισμός κυρτότητας εκφράζεται πρακτικά στη μαθηματική επίλυση του μοντέλου με τον επιπλέον περιορισμό:

$$\sum_{n=1} \lambda_n = 1$$

Γραφικά αυτή η διαφορά των δύο μοντέλων παρουσιάζεται ως εξής:



Διάγραμμα 4-1: Σύνορα αποδοτικότητας στα μοντέλα CRS- VRS

Σε ότι αφορά στην αποδοτικότητα κλίμακας (Scale Efficiency- SE), αυτή μπορεί να προσδιοριστεί με την εφαρμογή της DEA πάνω στα ίδια δεδομένα (DMUs, inputs, outputs, μετρήσεις) χρησιμοποιώντας και τα δύο μοντέλα CCR και BCC. Όταν εκτιμάται η BCC αποδοτικότητα, η τιμή που προκύπτει για κάθε μονάδα αναφέρεται μόνο στην τεχνική αποδοτικότητα, που είναι αποτέλεσμα διάφορων συνθηκών που όμως δε σχετίζονται με την κλίμακα της DMU. Αυτό κατά συνέπεια υποδηλώνει πως οι δείκτες αποδοτικότητας (PTE) που προκύπτουν από μία VRS

προσέγγιση είναι υψηλότεροι ή ίσοι με εκείνους που λαμβάνονται από την επίλυση ενός CRS μοντέλου.

Πίνακας 4-2: Αποδοτικότητες των μοντέλων CCR και BCC

CCR MODEL		BCC MODEL
TOTAL TECHNICAL EFFICIENCY (TE):		TOTAL TECHNICAL EFFICIENCY (TE):
PTE	SE	PTE

4.2 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Από τα πιο σημαντικά βήματα της μεθόδου αποτελεί η αξιοπιστία και η εγκυρότητα των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν για την ποσοτικοποίηση των μεταβλητών που έχουμε επιλέξει. Η συλλογή δεδομένων αποτελεί μία αρκετά χρονοβόρα διαδικασία και ενέχει δυσκολίες στο να βρεθεί μια αξιόπιστη πηγή δεδομένων, που να μπορεί κιάλας να διαθέσει τα ζητούμενα στοιχεία. Αυτό είναι και ένα από τα εμπόδια που τίθενται στη μέθοδο διότι πρέπει να περιορίσεις τις επιλεγόμενες μεταβλητές βάσει και του αν είναι εφικτό να βρεις και τα απαιτούμενα στοιχεία για αυτές.

Στην παρούσα εργασία, τα δεδομένα που σχετίζονται με την επιφάνεια του διαδρόμου, την επιφάνεια του κτιρίου επιβατών καθώς και το συνολικό αριθμό πτήσεων και επιβατών ελήφθησαν από αρχείο της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας (Υ.Π.Α.) και αφορούν στο έτος 2015.

Για καθένα από τα 15 αεροδρόμια είχαμε για κάθε μήνα του έτους 2015 κάθε πτήση που πραγματοποιήθηκε από το αεροδρόμιο προέλευσης στο εκάστοτε αεροδρόμιο προορισμού, καθώς και των αριθμό των επιβατών για όλες αυτές τις πτήσεις. Τα δεδομένα αυτά ήταν σε μορφή υπολογιστικών φύλλων του excel. Συνεπώς με τη συνάρτηση SUM αθροίστηκαν οι στήλες με τους επιβάτες των πτήσεων που έρχονταν και αναχωρούσαν από το κάθε αεροδρόμιο. Και αφού έγινε αυτή η δουλειά για κάθε μήνα αθροίστηκαν τα αποτελέσματα για όλο το έτος.

Εξαιρέθηκαν από τις μετρήσεις, τα αεροσκάφη που έχουν χωρητικότητα κάτω από 10, συνεπώς αυτές οι πτήσεις και ο αντίστοιχος αριθμός επιβατών δεν υπολογίστηκε. Αυτό έγινε κατά βάση για το περιβαλλοντικό κομμάτι των δεδομένων, όπως φαίνεται στη συνέχεια. Για τα τόσο μικρά αεροσκάφη δεν ήταν πολύ εύκολο να υπολογιστούν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα με τη χρησιμοποιούμενη βάση δεδομένων.

Στα παρακάτω συγκεντρωτικά διαγράμματα φαίνεται πως μεταβλήθηκαν ο αριθμός των επιβατών αλλά και ο αριθμός των πτήσεων κατά τη διάρκεια του εξεταζόμενου έτους. Είναι εμφανές αλλά και αναμενόμενο πως την καλοκαιρινή σεζόν ο αριθμός των πτήσεων και αντίστοιχα των επιβατών είναι αισθητά αυξημένος σε σχέση με τους υπόλοιπους μήνες.

4.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Όπως αναφέρθηκε ήδη παραπάνω το CCR μοντέλο λειτουργεί σε συνθήκες σταθερής κλίμακας. Το μέγεθος της κάθε μονάδας δε λαμβάνεται υπόψη για την εκτίμηση της αποδοτικότητάς της. Αυτό σημαίνει πως τόσο οι μεγάλες μονάδες όσο και οι μικρές μπορούν να παράγουν εκροές με ίδιες αναλογίες εισροών προς εκροών.

Αυτές οι συνθήκες όμως δεν είναι καθόλου ευνοϊκές για τις επιχειρήσεις, τους οργανισμούς ή τις υπηρεσίες που παρουσιάζουν μεταβλητές οικονομίες κλίμακας. Εάν σε μια επιχείρηση με αυξανόμενες οικονομίες κλίμακας διπλασιαστούν όλες οι εισροές της, τότε οι εκροές θα αυξηθούν περισσότερο από το διπλάσιο. Αυτό μπορεί να συμβαίνει γιατί ίσως η επιχείρηση είναι ικανή να επιμερίσει πιο σωστά τα έξοδά της. Από την άλλη μεριά, όταν αναφερόμαστε σε μια επιχείρηση με φθίνουσες αποδόσεις κλίμακας, τότε ένας πιθανός διπλασιασμός των πόρων θα οδηγούσε σε μείωση μικρότερη από το διπλάσιο σε ότι αφορά στις εκροές.

Είναι λοιπόν κατανοητό πως για μία DMU αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα το να λειτουργεί στο βέλτιστο μέγεθος, όχι πολύ μεγάλο αν

αναφερόμαστε σε φθίνουσες αποδόσεις κλίμακας και όχι πολύ μικρό αν πρόκειται για αύξουσες οικονομίες κλίμακας.

Συμπεραίνεται πως το μοντέλο που μπορεί να ανταπεξέλθει σε ρεαλιστικές συνθήκες μονάδων παραγωγής, όπου το μέγεθός τους επηρεάζει την απόδοσή τους, τότε το ιδανικό μοντέλο είναι το BCC, όπου και χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα διπλωματική εργασία. Με αυτό αποδίδεται πιο σωστά η σχέση μεγέθους- αποδοτικότητας.

Σε ότι αφορά στον προσανατολισμό του μοντέλου, χρησιμοποιήθηκε ο *output orientation*, μιας που τα αεροδρόμια έχουν ως σκοπό την παροχή υπηρεσιών και το ζητούμενο είναι η αύξηση απόδοσης των παρεχόμενων υπηρεσιών.

4.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ DEA

Η DEA αποτελεί μία πολύ ισχυρή τεχνική για την εκτίμηση αποδοτικότητας. Αυτή είναι μια διαπίστωση που έχει επέλθει από αναρίθμητες εφαρμογές πάνω σε αυτό το μοντέλο. Από αυτές τις εφαρμογές προκύπτουν και οι αποδείξεις για τα δυνατά σημεία της μεθόδου.

- Πρόκειται για μια τεχνική που βασίζεται στην αντικειμενικότητα. Υπολογίζει την αποδοτικότητα ενώ βασίζεται σε δεδομένα από πραγματικές μετρήσεις και όχι σε ανθρώπινες εκτιμήσεις.
- Μπορεί να διαχειριστεί πολλαπλές εισροές και εκροές, οι οποίες μάλιστα μπορούν να έχουν διαφορετικές μονάδες μέτρησης.
- Αποτελεί μη- παραμετρική μέθοδο, πράγμα που σημαίνει ότι δεν προϋποθέτει κάποια συνάρτηση που να συσχετίζει τις εισροές με τις εκροές.
- Είναι εφικτό το να λαμβάνεται υπόψη η διαφορά μεγέθους των DMUs.
- Υπάρχει η δυνατότητα να ελέγχονται τα περιθώρια των εισροών και των εκροών.
- Είναι εφικτή η ενσωμάτωση περιβαλλοντικών μετρήσεων και γενικότερα εκροών που δρουν αρνητικά στην αποδοτικότητα της μονάδας. Σ' αυτές τις ανεπιθύμητες μεταβλητές επιβάλλεται η

μείωσή τους αντί για τη συνηθισμένη αύξουσα φορά που είναι επιθυμητή για τις εκροές γενικότερα.

- Αναγνωρίζονται οι πλήρως αποδοτικές DMUs που ορίζουν και το άνω όριο αποδοτικότητας για τις υπόλοιπες.
- Γίνεται επιπλέον και αξιολόγηση του τρόπου διοίκησης και της χρησιμοποιούμενης πολιτικής των επιλεγόμενων DMUs.

Παρόλα αυτά η μέθοδος έχει και ορισμένες αδυναμίες, που και αυτές διαπιστώθηκαν μέσα από τις εφαρμογές της στο πέρασμα των χρόνων.

- Απαιτείται να λύνεται ξεχωριστά για την κάθε μονάδα το γραμμικό μοντέλο, οπότε υπάρχει ένα μειονέκτημα από άποψη χρόνου.
- Σε ότι αφορά στους συντελεστές βαρύτητας, υπάρχει περίπτωση να κατανεμηθούν σχεδόν όλοι σε μία εκροή ή εισροή, με αποτέλεσμα να μηδενιστούν οι υπόλοιποι και εν τέλει η DMU να προκύπτει αποδοτική, χωρίς όμως να συμπεριλαμβάνονται και οι υπόλοιπες μεταβλητές.
- Η μέθοδος δεν μπορεί να δώσει λύσεις για τον τρόπο όπου μια μονάδα μπορεί να γίνει αποδοτική.

4.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ

4.5.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΩΝ

Σύμφωνα με το Διεθνή Οργανισμό Πολιτικής Αεροπορίας (International Civil Aviation Organization- ICAO) τα αεροδρόμια χωρίζονται σε 4 κατηγορίες ανάλογα με την επιβατική τους κίνηση. Οι κατηγορίες ορίζονται ως εξής:

Πίνακας 4-3: Κατηγορίες αεροδρομίων βάσει του ICAO

Κατάταξη ICAO	
Επιβάτες/έτος	Κατηγορία
>5000000	1
>1000000	2
>250000	3
> ή < 100000	4

Συνεπώς τα 15 μελετώμενα αεροδρόμια κατατάσσονται όπως φαίνεται παρακάτω.

Πίνακας 4-4: Κατηγοριοποίηση των 15 εξεταζόμενων αεροδρομίων

ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΑ	Συνολικός αριθμός επιβατών	Κατηγορία
Άκτιο	388925	3
Καβάλα	243745	οριακά 4
Θεσσαλονίκη	5341096	2
Ηράκλειο	6057842	2
Κέρκυρα	2438225	2
Χανιά	2702260	2
Κεφαλονιά	492608	3
Κως	2143936	2
Μυτιλήνη	481504	3
Μύκονος	876505	3
Ρόδος	4579387	2
Σάμος	403240	3
Σαντορίνη	1497677	2
Σκιάθος	353022	3
Ζάκυνθος	1268670	2

Όπως φαίνεται απ' την κατάταξη, τα αεροδρόμια ανήκουν σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες λόγω της διαφοράς τους στον όγκο επιβατών που εξυπηρετούν. Παρόλου που έχει αναλυθεί παραπάνω αναλυτικά η επιλογή μοντέλου είναι εμφανές πως λόγω του διαφορετικού τους μεγέθους, ιδανικό μοντέλο DEA αποτελεί το μοντέλο BCC, το οποίο χρησιμοποιείται για μεταβλητές οικονομίας κλίμακας.

4.5.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΞΕΡΧΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ

Μία βασική δυσκολία στη μέθοδο DEA είναι η επιλογή των κατάλληλων εισροών και εκροών. Το κριτήριο της επιλογής είναι αρκετά υποκειμενικό και αυτό καθιστά ακόμα δυσκολότερη αυτή τη διαδικασία. Δεν υπάρχει συγκεκριμένος κανόνας, παρόλα αυτά θα πρέπει σίγουρα οι μεταβλητές που θα επιλεγούν να σχετίζονται άμεσα με τη λειτουργία των μονάδων. Και συγκεκριμένα, οι εισροές θα πρέπει να απευθύνονται στους χρησιμοποιούμενους πόρους των μελετώμενων μονάδων, ενώ οι εκροές στα προϊόντα και τις υπηρεσίες που παράγονται.

Το πρώτο βήμα λοιπόν είναι να κάνουμε μία λίστα με όλες εκείνες τις μεταβλητές που σχετίζονται με τη λειτουργία των μονάδων και παράλληλα επηρεάζουν την αποδοτικότητά τους. Έπειτα, για να μειώσουμε λίγο τον αριθμό των μεταβλητών που έχουμε καταγράψει, εξετάζουμε για ποιες από αυτές δεν είναι εφικτό να βρούμε διαθέσιμα και έγκυρα δεδομένα και ποιες είναι αυτές που φέρουν περίπου την ίδια πληροφορία με άλλους παράγοντες της λίστας.

Σε ότι αφορά στον αριθμό των επιλεγόμενων μεταβλητών υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί, όπως φαίνονται παρακάτω.

- Σύμφωνα με τους Cooper (2006), Tsalias (2010) και Färe et al. (2004) θα πρέπει να ισχύει:

$$DMUs \geq \max \{ \text{inputs} * \text{outpus}; 3 * (\text{inputs} + \text{outpus}) \}$$

- Σύμφωνα με τους Tai et al. (2010), Zhou et al. (2008) και Azaden et al. (2007) θα πρέπει:

$$DMUs \geq 2 * (\text{inputs} + \text{outputs})$$

Έχοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω οι μεταβλητές που επιλέχθηκαν είναι οι εξής:

- **Μεταβλητές εισόδου:** Επιφάνεια διαδρόμου (m^2)
Επιφάνεια κτιρίου επιβατών (m^2)
- **Μεταβλητές εξόδου:** Συνολικός αριθμός πτήσεων
Συνολικός αριθμός επιβατών

Οι πραγματικές τιμές των μεταβλητών για το έτος 2015 ελήφθησαν από την Υ.Π.Α και παρουσιάζονται συνοπτικά στο παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4-5: Συγκεντρωτικός πίνακας των εισροών και των εκροών (χωρίς την ανεπιθύμητη εκροή του CO₂)

ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΑ	Επιφάνεια διαδρόμου (m^2)	Επιφάνεια κτιρίου επιβατών (m^2)	Συνολικός αριθμός πτήσεων	Συνολικός αριθμός επιβατών
Άκτιο	129195	6775	4342	388925
Καβάλα	135000	6800	3216	243745
Θεσσαλονίκη	266600	37850	47360	5341096
Κέρκυρα	106875	26662	18736	2438225
Χανιά	150750	13500	17764	2702260
Κεφαλονιά	109350	6200	4536	492608
Κως	108000	5900	17034	2143936
Μυτιλήνη	108630	2500	6346	481504
Μύκονος	57000	8510	10298	876505
Ρόδος	148770	49150	34448	4579387

Σάμος	91350	8850	5390	403240
Σαντορίνη	63750	3700	12622	1497677
Σκιάθος	50520	6400	3294	353022
Ζάκυνθος	67020	26500	9552	1268670
Ηράκλειο	122130	43300	44074	6057842

4.5.3 ΤΡΟΠΟΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ- DEA SOLVER

Γενικά για την επίλυση προβλημάτων της DEA έχουν χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές εξειδικευμένα προγράμματα. Αναλυτική αναφορά τέτοιων προγραμμάτων γίνεται στο βιβλίο του R. Ramanathan με τίτλο «An Introduction to Data Envelopment Analysis- A Tool for Performance Measurement». Παρόλο αυτά, τα μοντέλα μπορούν να επιλυθούν και στο excel μέσα από το πρόσθετο Solver. Αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο το οποίο εντοπίζει τη βέλτιστη τιμή ενός κελιού προορισμού αλλάζοντας τις τιμές στα κελιά που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του κελιού προορισμού. Για να μπορεί να επιλυθεί ένα γραμμικό πρόβλημα DEA μέσω του excel κρίνεται αναγκαίο να παρέχονται όλα τα απαραίτητα δεδομένα, τα inputs, τα outputs, οι μεταβλητές απόφασης, η αντικειμενική συνάρτηση καθώς και όλοι οι περιορισμοί.

4.6 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ- ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία, για την επίλυση των γραμμικών προβλημάτων επιλέγεται το output oriented μοντέλο, έναντι του input oriented. Και στους δύο προσανατολισμούς, πάντα η τιμή της μονάδας αντιστοιχεί στις πλήρως αποδοτικές DMUs.

Δίνεται μια εικόνα του πως οργανώθηκε το Solver στο excel. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα φαίνεται η εκτίμηση για την Κεφαλονιά.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	ΑΕΡΟΔΟΜΙΑ	Επιφάνεια διαδρόμου (m ²)	Επιφάνεια κτιρίου επιβατών (m ²)		Συνολικός αριθμός πτήσεων	Συνολικός αριθμός επιβατών		λ
2	Άκτιο	129195	6775		4342	388925		0
3	Καβάλα	135000	6800		3216	243745		0
4	Θεσσαλονίκη	266600	37850		47360	5341096		1
5	Κέρκυρα	106875	26662		18736	2438225		0
6	Χανιά	150750	13500		17764	2702260		0
7	Κεφαλλονιά	109350	6200		4536	492608		0
8	Κως	108000	5900		17034	2143936		0
9	Μυτιλήνη	108630	2500		6346	481504		0
10	Μύκονος	57000	8510		10298	876505		0
11	Ρόδος	148770	49150		34448	4579387		0
12	Σάμος	91350	8850		5390	403240		0
13	Σαντορίνη	63750	3700		12622	1497677		0
14	Σκιάθος	50520	6400		3294	353022		0
15	Ζάκυνθος	67020	26500		9552	1268670		0
16	Ηράκλειο	122130	43300		44074	6057842		8.88178E-16
17					Efficiency			
18				3	1	1		
19		Reference		DMU under				
20	CONSTRAINTS	set		evaluation				
21	Input 1	266600	<=	266600				
22	Input 2	37850	<=	37850				
23	Output 1	47360	>=	47360				
24	Output2	5341096	>=	5341096				
25	Σλ	1	=	1				
26								

Εικόνα 4-1 : Επίλυση μοντέλου στο Excel Solver, παράδειγμα Θεσσαλονίκης

Παράμετροι Επίλυσης

Ορισμός στόχου: Efficiency

Σε: ☒ Μέγιστη ☐ Ελάχιστη ☐ Ισμή του: 0

Με αλλαγή μεταβλητών κελιών: \$H\$2:\$H\$16;Efficiency

Σύμφωνα με τους περιορισμούς:

ReferenceSetInput <= DMUInput
ReferenceSetOutput >= DMUOutput
SumLambda = 1

☒ Καταστήστε τις μεταβλητές που δεν έχουν περιορισμούς μη αρνητι

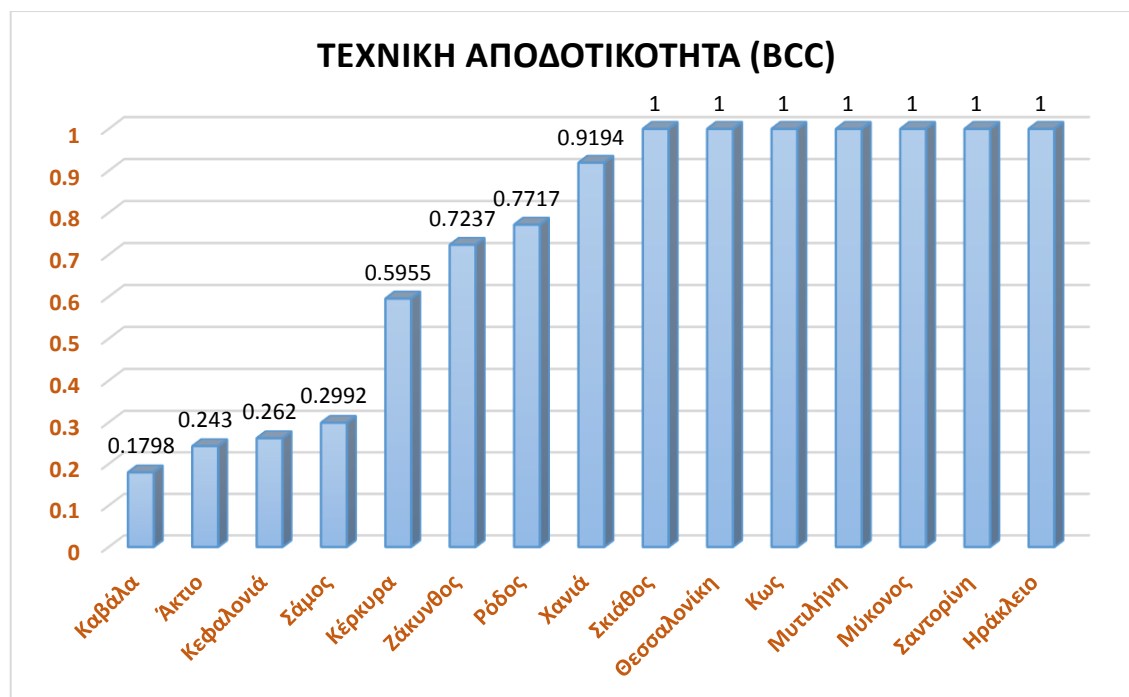
Επιλέξτε μια μέθοδο επίλυσης: Simplex LP

Μέθοδος επίλυσης

Επιλέξτε το μη γραμμικό GRG μηχανισμό για προβλήματα της Επίλυσης που είναι ομαλά μη γραμμικά. Επιλέξτε το μηχανισμό LP Simplex για γραμμικά προβλήματα της Επίλυσης και επιλέξτε το μηχανισμό Evolutionary για προβλήματα της Επίλυσης που δεν είναι ομαλά.

Εικόνα 4-2: Excel Solver window, παράμετροι και περιορισμοί

Εφαρμόζοντας το μοντέλο για κάθε αεροδρόμιο προέκυψαν οι αποδοτικότητες όπως εμφανίζονται στο παρακάτω γράφημα.



Διάγραμμα 4-2: Τεχνική αποδοτικότητα των 15 εξεταζόμενων αεροδρομίων. Πηγή: αποτελέσματα του BCC μοντέλου

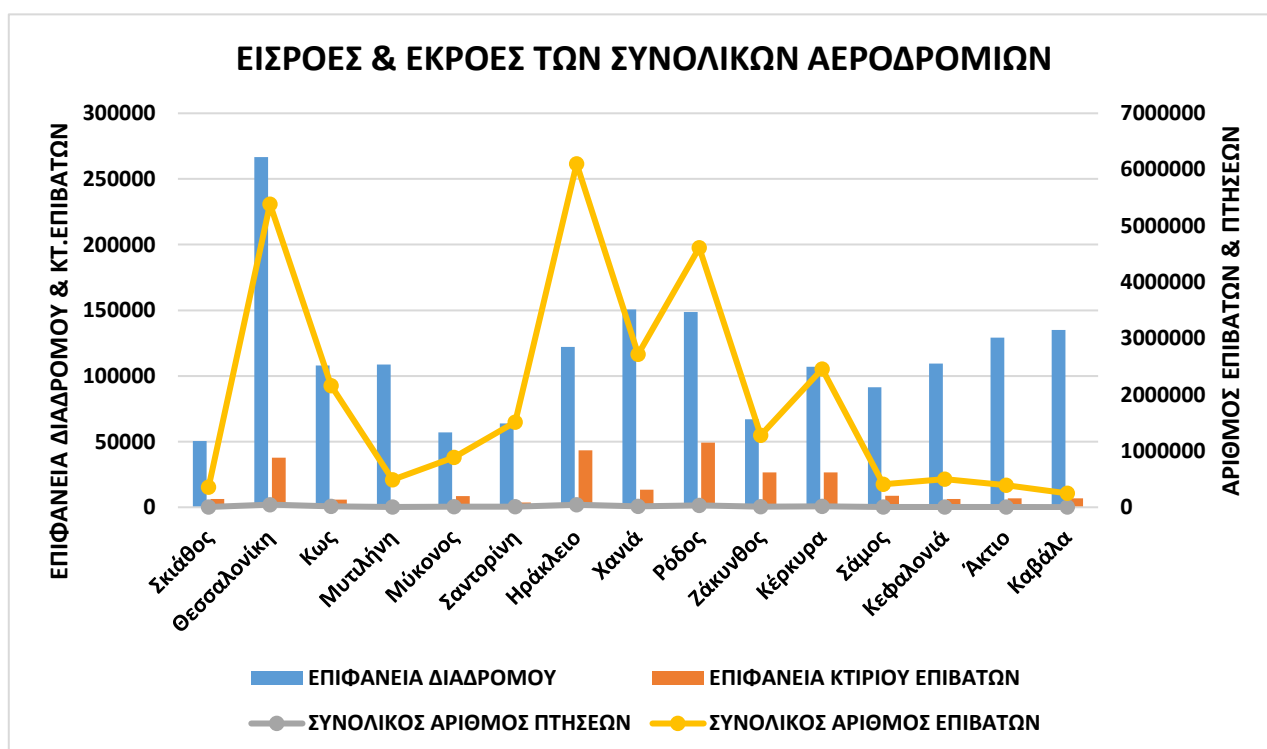
Τα αεροδρόμια που προέκυψαν πλήρως αποδοτικά είναι της Θεσσαλονίκης, της Κω, της Μυτιλήνης, της Μυκόνου, της Σαντορίνης, του Ηρακλείου και της Σκιάθου. Τα αεροδρόμια που εκτιμήθηκαν ως αποδοτικά ανήκουν στα σχετικά μεγάλα αεροδρόμια (κατηγορία 2), εκτός από αυτά της Μυτιλήνης, της Μυκόνου και της Σκιάθου που ανήκουν στην κατηγορία 3.

Για κάθε μη αποδοτικό αεροδρόμιο προέκυψαν από το μοντέλο και τα αεροδρόμια που λειτουργούν σαν πρότυπα (ομότιμα αεροδρόμια-peers) για αυτά, όσον αφορά τη λειτουργία τους, τη διαχείριση και τις υποδομές τους.

Για το αεροδρόμιο του Ακτίου, ομότιμα αεροδρόμια αποτέλεσαν της Θεσσαλονίκης και της Κω. Για το αεροδρόμιο της Ζακύνθου, ήταν της Σαντορίνης και του Ηρακλείου. Ομότιμα για το αεροδρόμιο της Καβάλας

ήταν της Θεσσαλονίκης και της Κω. Για την Κέρκυρα ήταν τρία τα peers αεροδρόμια, αυτά της Κω, της Σαντορίνης και του Ηρακλείου. Για το αεροδρόμιο της Κεφαλονιάς προέκυψαν επίσης τρία πρότυπα, τα αεροδρόμια της Θεσσαλονίκης, της Κω και του Ηρακλείου. Τα ομότιμα αεροδρόμια για τη Σάμο ήταν αυτά της Κω, του Ηρακλείου και της Σαντορίνης, ενώ για τη Ρόδο της Θεσσαλονίκης και του Ηρακλείου. Και τέλος, για τα Χανιά, σαν ομότιμα λειτούργησαν τα αεροδρόμια του Ηρακλείου και της Κω. Συνοψίζοντας, το αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης λειτούργησε 4 φορές σαν ομότιμο αεροδρόμιο για κάποια από τα μη αποδοτικά, της Κω 5 φορές, ενώ της Σαντορίνης 2 και του Ηρακλείου 5 φορές.

Στο παρακάτω διάγραμμα 4-3 φαίνεται η αναλογία των συνολικών εισροών και εκροών των 15 εξεταζόμενων αεροδρομίων.



Διάγραμμα 4-3: Συνολικά δεδομένα των εισροών και των εκροών των εξεταζόμενων αεροδρομίων. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων Υ.Π.Α

Από το διάγραμμα 4-3 μπορούμε να κάνουμε μια σύγκριση ανάμεσα στα αποδοτικά και μη αεροδρόμια και στις υποδομές τους, έχοντας στο μυαλό μας τα αποτελέσματα της συγκριτικής αποδοτικότητας που προέκυψαν για καθένα από αυτά.

Τα αεροδρόμια της Καβάλας, του Ακτίου, της Κεφαλονιάς και της Σάμου έχουν παρεμφερή στοιχεία αυτά του διαδρόμου και του κτιρίου επιβατών με το αποδοτικό αεροδρόμιο της Κω, αλλά η Κως φιλοξενεί αισθητά περισσότερους επιβάτες, γι' αυτό και προέκυψε συγκριτικά πλήρως αποδοτική.

Μία ακόμα σημαντική παρατήρηση που σίγουρα επαληθεύει το μοντέλο της συγκριτικής αξιολόγησης είναι το παράδειγμα του Ηρακλείου και της Ρόδου. Ανάμεσα σ' αυτά τα δύο αεροδρόμια, της Ρόδου υπερτερεί λίγο και στο μέγεθος του διαδρόμου και στο μέγεθος του κτιρίου επιβατών. Και παρόλα αυτά το Ηράκλειο έχει πολύ περισσότερους επιβάτες. Όταν λοιπόν επιχειρήσαμε να τρέξουμε το μοντέλο χωρίς να συμπεριλάβουμε το Ηράκλειο, τότε η Ρόδος προέκυψε πλήρως αποδοτική. Αυτό αποτελεί λογικό επακόλουθο μιας που χωρίς το Ηράκλειο δεν είχε κάποιο αντίστοιχο αεροδρόμιο να συγκριθεί και γι' αυτό έβγαινε αποδοτικό σε σχέση με τα υπόλοιπα. Με την εισαγωγή του Ηρακλείου όμως στο μοντέλο, η αποδοτικότητα της Ρόδου έπεσε στο 0,77.

Η κατάταξη των αεροδρομίων της Σκιάθου και της Μυκόνου μπορεί εκ πρώτης όψεως να αποτελεί έκπληξη για κάποιον. Σ' αυτό το σημείο υπενθυμίζεται πως το BCC μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε λαμβάνει υπόψιν και το μέγεθος των μονάδων για την εκτίμηση της αποδοτικότητας. Τα δύο αυτά αεροδρόμια προέκυψαν αποδοτικά γιατί έχουν μεγάλο αριθμό επιβατών σε σχέση με το μέγεθος του διαδρόμου και του κτιρίου επιβατών. Το ίδιο μπορούμε να παρατηρήσουμε και στη Σαντορίνη και τη Μυτιλήνη, που έχουν μεν μεγαλύτερο διάδρομο, αλλά έχουν πολύ μικρά κτίρια επιβατών.

Το αεροδρόμιο των Χανίων έχει πολύ καλή αποδοτικότητα ($=0,92$). Παρόλα αυτά ίσως τα αεροδρόμια που ευθύνονται για το ότι δεν προέκυψε πλήρως αποδοτικό είναι αυτά της Ρόδου, της Κέρκυρας και του Ηρακλείου.

Τέλος, για το αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης δεν χρειάζεται να αναφερθούμε σε συγκριτικά κριτήρια γιατί είναι αισθητά το μεγαλύτερο διάδρομο και είναι τρίτο σε μέγεθος κτιρίου επιβατών μετά το Ηράκλειο και τη Ρόδο.

5 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

5.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

5.1.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΣΕ ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟ

Τα κυριότερα αέρια του θερμοκηπίου είναι οι υδρατμοί (H_2O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O), οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) και το τροποσφαιρικό όζον (O_3). Αυτό όμως που παρουσιάζει την υψηλότερη αύξηση συγκέντρωσης, η οποία οφείλεται σε ανθρώπινη δραστηριότητα, είναι το CO_2 . Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των αερίων του θερμοκηπίου ποικίλουν και περιλαμβάνουν ένα συνδυασμό συντελεστών εκπομπών, υπολογισμών και μοντέλων, ενώ απαραίτητη είναι η γνώση των κατάλληλων δεδομένων, στην οποία δεν υπάρχει πάντα εύκολα πρόσβαση. Η επιλογή της μεθόδου σίγουρα περιορίζεται αρχικά από τα δεδομένα που μπορούμε να έχουμε, αλλά παίζουν ρόλο και άλλοι παράγοντες όπως, ο σκοπός του υπολογισμού των εκπομπών αλλά και το μέγεθος του αεροδρομίου για το οποίο θέλουμε να εκτιμήσουμε τις εκπομπές.

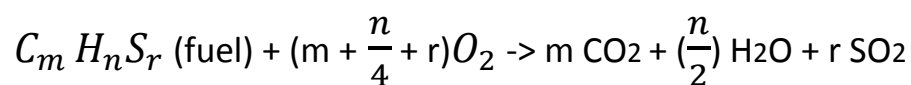
Η γενική εξίσωση υπολογισμού των εκπομπών είναι:

$$\text{Εκπομπές} = \text{Δραστηριότητα} * \text{Συντελεστή εκπομπών}$$

Στις δραστηριότητες περιλαμβάνονται είτε το καύσιμο που καταναλώνεται, είτε τα χιλιόμετρα από οχήματα και αεροπλάνα, είτε η καταναλισκόμενη ενέργεια είτε η χρονική διάρκεια.

Η εκτίμηση των συντελεστών εκπομπών γίνεται βάσει της σύνθεσης του καυσίμου που καίγεται και παράγει τους ρύπους. Ο όρος δείκτες εκπομπών («emission indices»- EI) χρησιμοποιείται συχνά και αντιπροσωπεύει τους συντελεστές εκπομπών (emission factors- EF) οι οποίοι προκύπτουν βάσει της μάζας του ρύπου προς τη μάζα του καυσίμου που καταναλώνεται.

Η Society of Automotive Engineers (SAE), μέσω του report AIR5715 υπολογίζει τους δείκτες εκπομπών ως ακολούθως. Για λόγους απλούστευσης έχει υποτεθεί ότι καταναλώνεται ολόκληρη η ποσότητα του καυσίμου και ότι ο άνθρακας C και το υδρογόνο H μετατρέπονται πλήρως σε διοξείδιο του άνθρακα CO₂ και νερό H₂O. Το καύσιμο μπορεί να αποτελείται και από άλλα στοιχεία, όπως από κάποια μέταλλα, παρόλα αυτά, εδώ λαμβάνονται υπόψιν τα τρία βασικά (άνθρακας, υδρογόνο και θείο) γιατί αυτά είναι που αποτελούν το βασικό μέρος της μάζας του καυσίμου.



Τα δεδομένα για τη σύνθεση του καυσίμου συνήθως αναφέρονται σαν ποσοστό μάζας, όπως φαίνεται παρακάτω:

- M= % μάζα άνθρακα C
 - N= % μάζα υδρογόνου H
 - R= % μάζα θείου S
- M + N + R= 100% of fuel

Με την πλήρη κατανάλωση του καυσίμου οι δείκτες εκπομπών υπολογίζονται ως εξής:

- EI CO₂ = $\frac{1000 * m * (12.011 + 2 * 15.9994)}{m * 12.011 + n * 1.0079 + r * 32.06}$ (g/kg)
- EI H₂O = $\frac{1000 * (\frac{n}{2}) * (2 * 1.0079 + 15.9994)}{m * 12.011 + n * 1.0079 + r * 32.06}$ (g/kg)
- EI SO_x = $\frac{1000 * r * (32.06 + 2 * 15.9994)}{m * 12.011 + n * 1.0079 + r * 32.06}$ (g/kg)

Όπου οι δείκτες m, n, r ισούνται με:

- $m = \frac{M}{12.011}$ (moles)

- $n = \frac{N}{1.0079}$ (moles)

- $r = \frac{R}{32.06}$ (moles)

Αφού υπολογιστούν οι παραπάνω δείκτες εκπομπών, χρησιμοποιούνται σαν σταθερές, οι οποίες εξαρτώνται μόνο από τη σύσταση του καυσίμου και δεν επηρεάζονται από άλλους παράγοντες, όπως από το είδος του εξοπλισμού, από τον τρόπο λειτουργίας του ή από διάφορες περιβαλλοντικές επιδράσεις.

5.1.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΑΠΟ ΤΟ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΣ

Οι 3 βασικοί φορείς βάσει των οποίων μπορεί να γίνει ο υπολογισμός των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου είναι κατά βάση τρεις, οι Intergovernmental panel on climate change (IPCC), International Civil Aviation Authority (ICAO), EMEP CORINAIR emission inventory guidebook.

5.1.2.1 ΔΙΑΚΥΒΕΡΝΗΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC)

Υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες μέθοδοι με τις οποίες μπορούν να υπολογιστούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τα αεροσκάφη. Ένα από τα βασικότερα κριτήρια που καθορίζουν την επιλογή μεθόδου είναι τα διαθέσιμα δεδομένα που μπορούν να βρεθούν σχετικά με τη λειτουργία του αεροσκάφους. Κάποιες από τις πληροφορίες που

χρειάζονται για την εκτίμηση των εκπομπών αυτών είναι τα καύσιμα που διανέμονται στο αεροδρόμιο, ο τύπος του αεροσκάφους και ο συνδυασμός των χρησιμοποιούμενων κινητήρων, ο χρόνος που ξοδεύεται για την κάθε λειτουργία του αεροσκάφους, η απόσταση ή η χρονική διάρκεια της πτήσης και τέλος οι συντελεστές εκπομπών για το καταναλισκόμενο καύσιμο.

Οι συντελεστές εκπομπών που πρέπει να χρησιμοποιηθούν, μπορούν είτε να υπολογιστούν είτε να αποκτηθούν από τους εξής φορείς: U.S. Energy Information Administration (EIA), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), United States Environmental Protection Agency (USEPA). Για τις διάφορες πηγές καύσης η IPCC χρησιμοποιεί τους συντελεστές εκπομπών (EFs) με μονάδες μάζας ρύπου προς ενέργεια καυσίμου. Σε περίπτωση που δεν επέλθει πλήρης καύση καυσίμου, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας συντελεστής οξείδωσης, ο οποίος υπολογίζει το τμήμα αυτό του καυσίμου που δεν έχει καταναλωθεί. Βέβαια, ήδη από τη έκδοση IPCC 2006, λαμβάνεται υπόψιν η πλήρης οξείδωση (100% κατανάλωση καυσίμου), οπότε για τους συντελεστές που λαμβάνονται από την IPCC δεν είναι απαραίτητη η παραπάνω διαδικασία.

Έχοντας λάβει τους συντελεστές εκπομπών, ο τύπος που υπολογίζει τη μάζα των εκπομπών είναι:

$$E = F * EF$$

Όπου E: οι εκπομπές (g, kg, κλπ)

F: κατανάλωση καυσίμου (kg, TJ, κλπ)

EF: συντελεστής εκπομπών (g/kg, kg/TJ, κλπ)

Για να υπολογίσουμε τις εκπομπές πρέπει να εκτιμηθεί και η ποσότητα του καυσίμου που καταναλώνεται, κάτι που μπορεί ποικιλοτρόπως, αναλόγως με το τι θέλουμε να υπολογίσουμε.

- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί η συνολική ποσότητα καυσίμου που ξοδεύεται στο σύνολο του αεροδρομίου, τόσο από το σύνολο των πτήσεων όσο και από τις υπόλοιπες δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στο αεροδρόμιο.

- Μπορεί να χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά τα καύσιμα που παράγονται από τα αεροσκάφη, μια επιλογή η οποία δίνει με τη σειρά της άλλες τρεις.
 - Κατανάλωση καυσίμων κατά τον κύκλο της προσαπογείωσης σε πολιτικά αεροδρόμια (έχοντας σαν βάση δεδομένων την IPCC)
 - Μέση κατανάλωση καυσίμου μιας πλήρους πτήσης για πολεμικά αεροδρόμια (έχοντας σαν βάση δεδομένων την IPCC)
 - Κατανάλωση καυσίμων σε πολιτικά αεροδρόμια κατά τον κύκλο της προσαπογείωσης αλλά και κατά τον κύκλο της πλεύσης (χρησιμοποιώντας σαν βάση δεδομένων την EMEP/CORINAIR- EEA)
- Ακόμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί συγκεκριμένο μοντέλο βασισμένο στις επιδόσεις των αεροσκαφών, σε ότι αφορά στο κύκλο των προσαπογειώσεων (FAA' s Aviation Environmental Design Tool (AEDT)/Emissions and Dispersion Modeling System (EDMS)).
- Τέλος, μια άλλη επιλογή είναι αντίστοιχο μοντέλο αλλά τόσο για τον κύκλο των προσαπογειώσεων όσο και για τον κύκλο της πλεύσης (FAA' s AEDT/System for assessing Aviation' s Global Emissions (SAGE)).

Η IPCC παρέχει κάποιες κατευθυντήριες γραμμές για το υπολογισμό των εκπομπών των αεροσκαφών, όπως φαίνεται στα παρακάτω βήματα:

- Υπολογισμός των συνολικών εκπομπών των αεροσκαφών χρησιμοποιώντας πληροφορίες σχετικά με τη συνολική κατανάλωση των καυσίμων. Σε αυτή την περίπτωση δεν διαχωρίζεται ο κύκλος της πλεύσης και ο κύκλος των προσαπογειώσεων (LTO cycle), αλλά λαμβάνονται υπόψιν αθροιστικά.
- Υπολογισμός των συνολικών εκπομπών χρησιμοποιώντας τα στοιχεία για τη συνολική κατανάλωση καυσίμων. Και έπειτα γίνεται ο υπολογισμός μόνο το των LTO εκπομπών μέσω των συγκεκριμένων δεδομένων για τον κύκλο LTO. Η διαφορά των δύο είναι οι εκπομπές του κύκλου της πλεύσης.

- Υπολογίζονται οι εκπομπές για κάθε πτήση (χωριστά για τον κύκλο LTO και πλεύσης), χρησιμοποιώντας συγκεκριμένα δεδομένα πτήσεων (κινήσεις και απόσταση πτήσης). Για αυτή τη μέθοδο υπολογισμού, τα δεδομένα μπορούν να ληφθούν από την EMEP/CORINAIR (EEA).
- Χρήση εξελιγμένων υπολογιστικών μοντέλων όπως AEDT/SAGE και AERO2K της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, με τα οποία υπολογίζονται οι εκπομπές κατά τη διάρκεια της πτήσης, χρησιμοποιώντας λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την επίδοση και τις εκπομπές των αεροσκαφών.

Η πιο απλουστευμένη μορφή είναι αυτή στην οποία υπολογίζεται η συνολική ποσότητα του καυσίμου που καταναλώνεται στο αεροδρόμιο. Παρόλα αυτά, αυτή η πληροφορία πολλές φορές δεν μπορεί να διατίθεται από όλα τα αεροδρόμια γιατί πολλά από αυτά δεν έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία των αεροσκαφών.

5.1.2.2 ICAO

Ο ICAO ακολουθεί μία μεθοδολογία όπου εκτιμάται η ποσότητα των εκπομπών CO₂ ανά επιβάτη κάθε πτήσης. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία χρησιμοποιεί μία προσέγγιση βάσει αποστάσεων χρησιμοποιώντας διαθέσιμα πρόσφατα δεδομένα για τους τύπους των αεροσκαφών. Η μεθοδολογία του ICAO σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να απαιτούνται ελάχιστα δεδομένα σχετικά με στοιχεία της πτήσης.

Τα δεδομένα που απαιτούνται για τη συγκεκριμένη μεθοδολογία παρουσιάζονται παρακάτω.

- ΚΑΥΣΙΜΑ

Από τις αρχές της δεκαετίας του '90 ο ICAO ξεκίνησε να δημιουργεί κάποιες εξισώσεις για την εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου ανά τύπο αεροσκάφους. Αυτές οι εξισώσεις ενημερώνονται και διορθώνονται τακτικά με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου. Η θεμελιώδης αρχή των τύπων κατανάλωσης καυσίμων του ICAO είναι η εκτίμηση της χρησιμοποιούμενης κατανάλωσης. Γι' αυτό για

τη διατύπωσή τους, χρησιμοποιούνται αρχικά στοιχεία κατανάλωσης που δημοσιεύονται από τους κατασκευαστές των αεροσκαφών σαν μια βασική εκτίμηση της κατανάλωσης καυσίμου από την απόσταση ταξιδιού και έπειτα αυτά τα αριθμητικά στοιχεία διορθώνονται από τα διαθέσιμα δεδομένα κατανάλωσης καυσίμου.

- ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΤΗΣΗΣ

Η μεθοδολογία χρησιμοποιεί σαν απόσταση για τον υπολογισμό των καυσίμων και κατ' επέκταση των εκπομπών CO₂ το συνολικό κύκλο ανάμεσα στα δύο αεροδρόμια (προέλευση και προορισμού)- Great Circle Distance (GCD). Αυτή η απόσταση μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τις γεωγραφικές συντεταγμένες των δύο σημείων που μας ενδιαφέρουν. Όταν υπολογιστεί η απόσταση GCD τότε διορθώνεται από ένα συντελεστή ο οποίος εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ των δύο αεροδρομίων προέλευσης- προορισμού. Ο λόγος που χρησιμοποιείται αυτός ο διορθωτικός συντελεστής είναι για να ληφθούν υπόψιν και κάποιες επιπλέον αποστάσεις για τον υπολογισμό των εκπομπών. Αυτές οι επιπλέον αποστάσεις αναφέρονται σε υπέρβαση του GCD, σε χρόνους αναμονής, σε κίνηση και σε καιρικές συνθήκες.

- ΤΥΠΟΣ ΑΕΡΟΣΚΑΦΟΥΣ

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα υπολογίζονται από τα καύσιμα που καταναλώνονται από τα αεροσκάφη. Τα προγραμματισμένα αεροσκάφη ταυτοποιούνται από την τακτική βάση δεδομένων των πτήσεων και χαρτογραφούνται σε έναν από τους 312 τύπους που υπάρχουν στη βάση δεδομένων για την κατανάλωση καυσίμων. Τα αεροσκάφη για τα οποία δεν μπορεί να γίνει η αντιστοίχιση εξαιρούνται από τους υπολογισμούς.

- ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΕΠΙΒΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΠΟ ΕΠΙΒΑΤΗ ΣΕ ΦΟΡΤΙΟ

Μιας που η συγκεκριμένη μεθοδολογία υπολογίζει τις εκπομπές CO₂ ανά επιβάτη, πρέπει να αφαιρεθούν από τις συνολικές εκπομπές πτήσης αυτές που συνδέονται με το φορτίο και το ταχυδρομείο. Τα απαραίτητα δεδομένα προέρχονται από το σύνολο δεδομένων TFS του ICAO, το οποίο περιλαμβάνει το συνολικό αριθμό θέσεων και επιβατών καθώς και τους μεταφερόμενους τόνους φορτίου και ταχυδρομείου.

- ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΑΜΠΙΝΑΣ

Ο συντελεστής διόρθωσης κατηγορίας καμπίνας χρησιμοποιείται μόνο σε αεροσκάφη που υποστηρίζουν τέτοια διαφοροποίηση και σε πτήσεις πάνω από 3000 χλμ. Ο συγκεκριμένος συντελεστής βασίζεται στην αρχή ότι τα πολυτελή καθίσματα καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο από τα καθίσματα οικονομικής θέσης και κατά συνέπεια η καμπίνα με τα πολυτελή καθίσματα είναι διαμορφωμένη για λιγότερους επιβάτες.

Αφού έχει ολοκληρωθεί η συλλογή δεδομένων, υπολογίζονται οι εκπομπές CO₂ ανά επιβάτη όπως ορίζεται στην παρακάτω εξίσωση.

$$\text{CO}_2 \text{ per pax} = 3,16 * (\text{total fuel} * \text{pax-to-freight factor}) / (\text{number of y-seats} * \text{pax load factor})$$

Όπου:

Total fuel: Ο σταθμισμένος μέσος όρος των καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν από όλες τις πτήσεις που αναχώρησαν από το αεροδρόμιο προέλευσης για να φτάσουν στο αεροδρόμιο προορισμού.

Pax-to-freight factor: Είναι ο λόγος που υπολογίζεται από τη στατιστική βάση δεδομένων του ICAO και ορίζεται από τον αριθμό των επιβατών προς τη μεταφερόμενη ποσότητα φορτίου και ταχυδρομείου.

Number of y-seats: Ο συνολικός αριθμός των ισοδύναμων θέσεων οικονομίας που διατίθενται σε όλες τις πτήσεις από το αεροδρόμιο προέλευσης στο αεροδρόμιο προορισμού.

Pax load factor: Ο λόγος που ορίζεται από τον αριθμό των επιβατών προς τον αριθμό των διαθέσιμων θέσεων.

3,16: Σταθερά που σχετίζεται με τον αριθμό των τόνων CO₂ που παράγονται από την καύση 1 τόνου καυσίμου.

5.1.2.3 EMEP/CORINAIR

Οι εκπομπές καυσαερίων από την αεροπορία προκύπτουν από την καύση αεριωθούμενου καυσίμου και βενζίνης και αφορούν δύο δραστηριότητες, τη φάση της προσαπογείωσης (takeoff and landing cruise- LTO) και τη φάση της πτήσης (cruise). Ο LTO κύκλος συμπεριλαμβάνει όλες τις δραστηριότητες που πραγματοποιούνται μέχρι τα 3000 πόδια (914 μέτρα) υψόμετρο. Η φάση της πτήσης συμπεριλαμβάνει τις δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα πάνω από τα 3000 πόδια και χωρίς να υπάρχει ανώτατο όριο υψομέτρου.

Οι μέθοδοι για τον υπολογισμό των εκπομπών από τα καύσιμα των αεροσκαφών όπως αναφέρονται στο EMEP/EEA emission inventory guidebook είναι τρεις (tier 1, tier 2, tier 3) και αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω.

- Tier 1

Η πρώτη προσέγγιση για τον υπολογισμό των εκπομπών ρυπογόνων αερίων βασίζεται στην ποσότητα του καυσίμου που καταναλώνεται κατά τις φάσεις της προσαπογείωσης και της πλεύσης για εσωτερικές και διεθνείς πτήσεις ξεχωριστά. Η γενική εξίσωση για τον υπολογισμό των εκπομπών ισοδυναμεί με το ποσοστό της δραστηριότητας από την κατανάλωση καυσίμου σε κάθε φάση επί το συντελεστή εκπομπών για τον εξεταζόμενο ρύπο για την αντίστοιχη φάση της πτήσης. Γίνεται η υπόθεση πως η ετήσια ποσότητα καυσίμου που χρησιμοποιείται είναι και αυτή που πωλείται. Πληροφορίες που είναι απαραίτητο να διατίθενται αφορούν το συνολικό αριθμό των LTO της χώρας καθώς και κάποιες γενικά στοιχεία για τους τύπους των αεροσκαφών που εκτελούν τις πτήσεις στο εκάστοτε εξεταζόμενο αεροδρόμιο.

Αφού έχει ολοκληρωθεί η συλλογή δεδομένων, ακολουθείται μια σειρά βημάτων για τον τελικό υπολογισμό των εκπομπών. Αρχικά καταγράφεται η συνολική ποσότητα καυσίμων που έχουν πωληθεί και έπειτα και η ποσότητα καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν μόνο για εσωτερικές πτήσεις. Απ' την αφαίρεση αυτών των δύο προκύπτουν και τα καύσιμα μόνο των διεθνών πτήσεων. Στη συνέχεια, για το συνολικό αριθμό LTOs των εσωτερικών πτήσεων υπολογίζονται τα συνολικά χρησιμοποιούμενα καύσιμα, με τον πολλαπλασιασμό του αριθμός των LTOs των εσωτερικών πτήσεων επί την ποσότητα χρησιμοποιούμενου

καυσίμου για έναν αντιπροσωπευτικό τύπο αεροσκάφους πάλι βέβαια των εσωτερικών πτήσεων. Μετά, υπολογίζονται τα καύσιμα των εσωτερικών πτήσεων στον cruise cycle. Και τελικά εκτιμώνται οι εκπομπές που σχετίζονται με τις εσωτερικές πτήσεις, τόσο στη LTO φάση όσο και στη φάση της πτήσης. Για την πρώτη φάση πολλαπλασιάζονται οι συντελεστές εκπομπών επί τον αριθμό των LTOs, ενώ στη δεύτερη φάση πολλαπλασιάζονται οι αντίστοιχοι συντελεστές εκπομπών επί τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα στη διάρκεια της πτήσης. Τα παραπάνω βήματα γίνονται ξανά τώρα αλλά για τις διεθνείς πτήσεις.

- Tier 2

Η δεύτερη μέθοδος εφαρμόζεται όταν είναι εφικτό να αποκτηθούν δεδομένα των LTO φάσεων ανά τύπο αεροσκάφους. Δεν χρειάζονται πληροφορίες για αποστάσεις πτήσεων. Τα στοιχεία που χρειάζονται είναι οι τύποι αεροσκαφών τόσο για τις εσωτερικές όσο και για τις διεθνείς πτήσεις και ο αριθμός των LTO κύκλων που πραγματοποιήθηκαν απ' τους διάφορους τύπους αεροσκαφών.

Η διαφορά με την πρώτη μέθοδο αφορά αποκλειστικά τα διαφορετικά δεδομένα που είναι απαραίτητα. Κατά τ' άλλα οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται είναι ίδιες.

- Tier 3

Η τρίτη μέθοδος βασίζεται σε πραγματικά δεδομένα πτήσεων, είτε σε στοιχεία προέλευσης- προορισμού (tier 3A), είτε σε δεδομένα πτήσης πλήρους τροχιάς (tier 3B). Η tier 3B διαφέρει από τη tier 3A στον υπολογισμό του καυσίμου που καταναλώνεται και των εκπομπών κατά την πλήρη τροχιά κάθε τμήματος πτήσης, χρησιμοποιώντας πληροφορίες για την αεροδυναμική απόδοση των αεροσκαφών και των μηχανών. Για τη χρήση του tier 3B απαιτούνται εξελιγμένα υπολογιστικά μοντέλα για την αντιμετώπιση όλων των μεταβλητών εξοπλισμού, επιδόσεων και τροχιάς και τον υπολογισμό όλων των πτήσεων σε ένα δοσμένο χρόνο. Έτσι, η μέθοδος που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο είναι η tier 3A, όπου είναι πιο απλή και αυτή είναι που θα περιγραφεί και παρακάτω.

Εδώ οι εκπομπές υπολογίζονται με τη χρήση των συντελεστών εκπομπών και τα δεδομένα πτήσεων σε εσωτερικό και διεθνές επίπεδο. Οι συντελεστές εκπομπών για τη μεθοδολογία αυτή παρατίθενται στο υπολογιστικό φύλλο το οποίο είναι διαθέσιμο στην ιστοσελίδα

EMEP/EEA Guidebook. Οι συνολικές εκπομπές από τα αεροσκάφη δίνονται από το άθροισμα των επιμέρους εκπομπών από διάφορες τεχνολογίες αεροσκαφών σε ένα συνεχές σύνολο λειτουργιών πτήσης. Για την απλοποίηση της μεθόδου τα αεροσκάφη κατατάσσονται σε ένα αντιπροσωπευτικό σύνολο τύπων γενικών αεροσκαφών και οι λειτουργίες πτήσης σε δύο φάσεις, LTO και cruise cycle.

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα βήματα που ακολουθούνται σ' αυτή τη μεθοδολογία. Αρχικά επιλέγονται τα στοιχεία των αεροσκαφών και των πτήσεων από διεθνείς βάσεις δεδομένων, όπως είναι τα αρχεία της Πολιτική Αεροπορίας, τα αρχεία αεροδρομίων, Ο Οργανισμός Eurocontrol στην Ευρώπη ή το χρονοδιάγραμμα της OAG. Έτσι λοιπόν θα προσδιοριστούν οι τύποι αεροσκαφών που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εξεταζόμενη περίοδο, ο αριθμός των LTOs για κάθε τύπο καθώς και η πραγματοποιούμενη απόσταση. Από τα υπολογιστικά φύλλα που διατίθενται στην ιστοσελίδα EMEP/EEA Guidebook επιλέγονται τα δεδομένα που αντιστοιχούν στη φάση LTO για το εκάστοτε αντιπροσωπευτικό αεροσκάφος τόσο για τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα όσο και για όλες τις εκπομπές. Έπειτα υπολογίζονται και τα καύσιμα στη φάση της πτήσης, δηλαδή σε υψόμετρο πάνω από 3000 πόδια. Από τον πίνακα των αντιπροσωπευτικών τύπων αεροσκαφών έναντι της απόστασης αποστολής επιλέγεται το αεροσκάφος και οι αποστολές που περιλαμβάνουν αυτή που είναι πραγματικά εν πτήσει. Το χρησιμοποιούμενο καύσιμο προσδιορίζεται ως παρεμβολή μεταξύ των δύο. Η συνολική ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται είναι το άθροισμα αυτού στην LTO φάση και αυτού που χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις δραστηριότητες που έλαβαν χώρα σε υψόμετρο πάνω από 3000 πόδια. Η παραπάνω διαδικασία γίνεται και για τον υπολογισμού και των άλλων ρύπων, όπως NOx, CO και HC.

Οι εκπομπές εξαρτώνται από τις λειτουργίες των αεροσκαφών και από τον χρόνο που ξοδεύεται σε κάθε φάση. Ο πραγματικός χρόνος λειτουργίας μπορεί να διαφέρει από αεροδρόμιο σε αεροδρόμιο και αυτό λόγω της κίνησης, περιβαλλοντικών εκτιμήσεων, των τύπων αεροσκαφών αλλά και των τοπογραφικών συνθηκών.

5.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ

Για αυτή την επιλογή σίγουρα πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν το να χρησιμοποιούνται όσες πιο πολλές πληροφορίες είναι διαθέσιμες. Το βασικότερο όμως κριτήριο για την επιλογή μεθόδου είναι τα διατιθέμενα δεδομένα που είναι εφικτό να βρεθούν. Αν υπάρχουν δεδομένα για τον τύπο του αεροσκάφους από τον αρχικό και τελικό προορισμό, τότε επιλέγονται οι συντελεστές της τρίτης μεθόδου για κάθε πτήση. Αν όχι, αναρωτιόμαστε αν είναι διαθέσιμα στοιχεία σχετικά με την προσαπογείωση ανά τύπο αεροσκάφους. Αν ναι, τότε επιθυμητή είναι η δεύτερη μέθοδος για την κατανάλωση καυσίμου διεθνών και εγχώριων πτήσεων, για τους κύκλους προσαπογείωσης και πλεύσης και για τον τύπο του αεροσκάφους. Τώρα αν δε υπάρχουν τα παραπάνω δεδομένα κινούμαστε ως εξής. Αν αυτά αποτελούν το βασικά μας εργαλείο τότε συλλέγονται δεδομένα σχετικά με την προσαπογείωση ανά τύπο αεροσκάφους και χρησιμοποιούμε τη δεύτερη μέθοδο. Από την άλλη αν δεν είναι τόσο σημαντικά χρησιμοποιείται η πρώτη μέθοδος που βασίζεται στην κατανάλωση καυσίμου.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, επιλέγεται η τρίτη μέθοδος (TIER 3) μιας που μέσω στοιχείων της Υ.Π.Α πραγματοποιήθηκε η συλλογή δεδομένων για πραγματικές πτήσεις, τόσο για τους τύπους των χρησιμοποιούμενων αεροσκαφών όσο και για τον αριθμό των LTOs που αντιστοιχεί σε κάθε τύπο.

5.3 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΟΥ ΕΠΙΔΡΟΥΝ ΣΤΙΣ ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΤΟΥ CO₂

Το CO₂ αποτελεί το αέριο του θερμοκηπίου που παίζει τον πιο καθοριστικό ρόλο στην παγκόσμια υπερθέρμανση και την κλιματική αλλαγή. Από τη συνολική διαδικασία μιας πτήσης υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα των εκπομπών CO₂. Οι βασικότεροι είναι ο τύπος του αεροσκάφους, η απόσταση της πτήσης, το βάρος του αεροσκάφους, το είδος του χρησιμοποιούμενου καυσίμου, διάφορες λειτουργικές διαδικασίες καθώς και οι καιρικές συνθήκες.

Κάθε αεροσκάφος καταναλώνει τα καύσιμά του με διαφορετικό ρυθμό, πράγμα που οφείλεται στο διαφορετικό σχεδιασμό, στο βάρος καθώς και στους κινητήρες που διαθέτει. Ήδη από το 1960, οι κατασκευαστές των αεροσκαφών και των μηχανών έχουν βελτιώσει την αποδοτικότητά τους όσο αφορά την κατανάλωση καυσίμου.

Σε επίπεδο πτήσης, εξετάζονται ξεχωριστά τα δύο τμήματα, ο κύκλος της προσαπογείωσης (LTO cycle) και η κύκλος της πτήσης (cruise cycle). Στην απογείωση καταναλώνεται υψηλό ποσοστό καυσίμου. Αυτό συμβαίνει γιατί απαιτείται μεγάλη ισχύς για την απογείωση του αεροσκάφους, επίσης γιατί ο αέρας σε χαμηλότερο υψόμετρο είναι πιο πυκνός και δημιουργεί μεγαλύτερη αντίσταση στο αεροσκάφος και τέλος στη φάση της προσγείωσης το αεροσκάφος έχει το μεγαλύτερο βάρος του μιας που φέρει όλα τα απαιτούμενα καύσιμα για το ταξίδι. Στη φάση της προσγείωσης το αεροσκάφος έχει το μικρότερο βάρος, μιας που έχει καταναλώσει τα περισσότερα καύσιμα. Επίσης μιας που το αεροσκάφος έχει καθοδική πορεία δεν απαιτεί μεγάλη ισχύ για να λειτουργήσει. Το πιο ευνοϊκό υψόμετρο είναι αυτό κατά τη διάρκεια της πλεύσης, μιας που εκεί ο αέρας είναι λιγότερο πυκνός και το αεροσκάφος πετάει στην πιο αποδοτική ταχύτητα λειτουργίας.

Το βάρος του αεροσκάφους συμβάλλει επίσης στο διαφορετικό ρυθμό που καίει καύσιμα, όσο ελαφρύτερο είναι τόσο λιγότερα καύσιμα καταναλώνει. Από πολλές αεροπορικές εταιρείες λαμβάνονται μέτρα για τη μείωση του βάρους των αεροσκαφών. Στα μέτρα αυτά συμπεριλαμβάνονται ελαφρύτερα καθίσματα, ελαφρύτερα καροτσάκια τροφοδοσίας, μείωση των ποσοστών αποζημιώσεων αποσκευών κ.τ.λ.

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα δεν καθορίζονται μόνο από την ποσότητα του καυσίμου, αλλά και από την ποιότητά του. Τα συμβατικά καύσιμα αεριωθούμενων (jets), όπως συμβαίνει και με τα καύσιμα οδικών μεταφορών, έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα και έτσι δημιουργούν υψηλά επίπεδα εκπομπών. Η αεροπορική βιομηχανία έχει εξετάσει εναλλακτικές λύσεις, όπως αυτή σχετικά με τα βιοκαύσιμα. Πρόκειται για καύσιμα που προέρχονται από οργανική ύλη, όπως τα φυτά ή διάφορες πηγές αποβλήτων και επιτρέπουν τη συνολική μείωση CO₂.

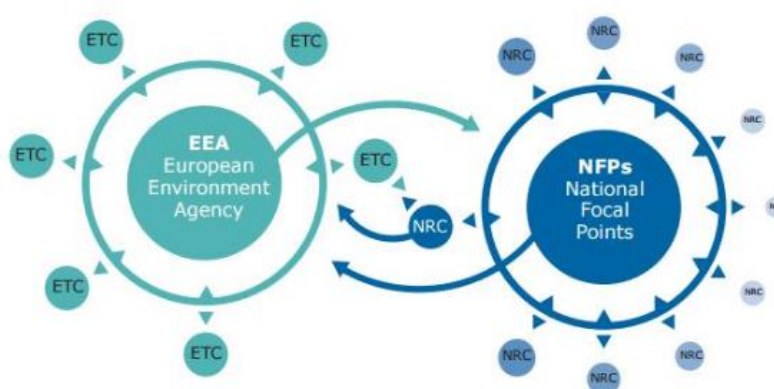
Τέλος, ο απρόβλεπτος παράγοντας των καιρικών συνθηκών μπορεί να έχει θετικές ή αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον. Οι έντονοι άνεμοι

απαιτούν περισσότερη κατανάλωση καυσίμων, τόσο κατά τη διάρκεια της πτήσης, όσο και στο έδαφος, μιας που προκαλούν καθυστέρηση στις προσγειώσεις και απογειώσεις και τα αεροσκάφη αναγκάζονται να μένουν με τους κινητήρες στο ρελαντί, δημιουργώντας όλο και περισσότερες εκπομπές CO₂.

5.4 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (European Environment Agency- EEA) είναι ένας οργανισμός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ο οποίος παρέχει έγκυρες και ανεξάρτητες πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον. Αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές πηγές πληροφοριών για το ευρύ κοινό αλλά και για όσους ειδικεύονται σε θέματα περιβαλλοντικής πολιτικής. Ο EEA, μέσω του Ευρωπαϊκού Δικτύου Πληροφοριών και Παρατηρήσεων για το Περιβάλλον (Eionet), συγκεντρώνει πληροφορίες για τα περιβαλλοντικά ζητήματα διαφόρων χωρών και έτσι μπορεί να παρέχει υψηλής ποιότητας δεδομένων πληροφόρηση.

European environment information and observation network (Eionet)



Εικόνα 5-1: European environment information and observation network. Πηγή: European Environment Agency website

Όλες αυτές οι πληροφορίες διατίθενται μέσω της διαδικτυακής σελίδας του ΕΕΑ, όπου μπορεί να γίνει αναζήτηση σε σχετικά άρθρα, δημοσιεύσεις, έρευνες, στατιστικά στοιχεία και άλλα θέματα που αφορούν το περιβάλλον.

Για τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂ χρησιμοποιήθηκε ο οδηγός 2016 καταγραφής εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων EMEP/ΕΕΑ (European Monitoring and Evaluation Programme/ European Environment Agency), ο οποίος παρέχει πλήρη τεχνική καθοδήγηση για την εκπόνηση απογραφών των εκπομπών αερίων.

Η έκδοση του 2016 είναι η τελευταία που έχει δημοσιευτεί στη σελίδα του ΕΕΑ και παρέχει επιπλέον ένα υπολογιστικό φύλλο excel το οποίο δίνει μοντελοποιημένες εκτιμήσεις (όχι απόλυτες τιμές) εκπομπών καυσίμων. Τα δεδομένα που είναι απαραίτητο να εισαχθούν για το εκάστοτε μελετώμενο αεροδρόμιο είναι ο τύπος του αεροσκάφους, η χώρα, το αεροδρόμιο και το έτος μελέτης.

**Aviation LTO emissions calculator. File to accompany:
Chapter 1.A.3.a 'Aviation' of the 'EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016'**

Disclaimer: The fuel burnt and emission data provided in this spreadsheet are for supporting the European Union at efficiency and emission data between aircraft types and/or manufacturers. Fuel burn and emission data in this spreadsheet are based on the best equivalent type of engine, for that aircraft type. Where several types of engine are associated with a particular aircraft type, the 'best equivalent' engine is selected from the 'EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016' for a description of the method used to produce these data.

Enter aircraft and airport details here (using the drop-down menus in the dark blue boxes)

1) Type of aircraft: A320 (Airbus A-320) with TCM008 engines

2) Airport:

a) Country: United_Kingdom

b) Airport: XGB (Gibraltar International Airport, GIBRALTAR)

c) Year: 2009

Scroll to cycle fuel burnt and emissions totals here

Εικόνα 5-2: Υπολογιστικό φύλλο excel από την EMER/CORINAIR- Εισαγωγή δεδομένων

Εισάγοντας τα παραπάνω δεδομένα στο υπολογιστικό φύλλο προκύπτουν οι εκπομπές καυσίμων κατά τον κύκλο προσαπογείωσης, όπως φαίνεται παρακάτω.

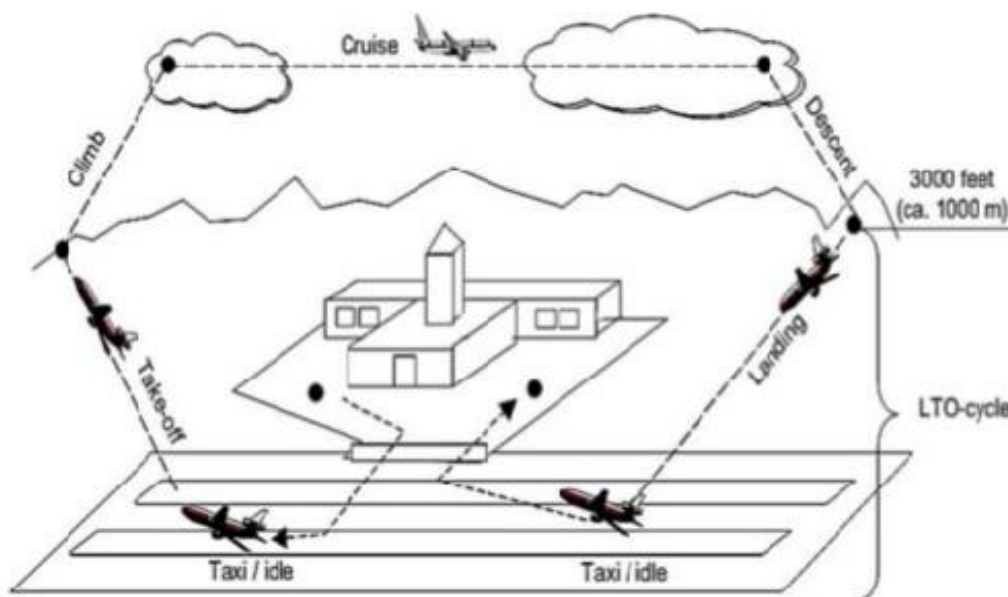
See LTO cycle fuel burnt and emissions totals here

	Departure phase total				LTO cycle total		Arrival phase total						
	Taxi out		Take off		Climb out		Approach/landing	Taxi in					
	Average taxi-out time for the selected airport and year	ICAO default taxi-out time (=1140 s)	Average taxi-out time for the 25 busiest airports in 2015 (=816 s)					Average taxi-in time for the selected airport and year	ICAO default taxi-in time (=420 s)	Average taxi-in time for the 25 busiest airports in 2015 (=306 s)			
	(7% thrust)		(10% thrust)	(8% thrust)			(8% thrust)	(7% thrust)					
Mass of fuel burnt (kg)	143.941	230.508	165.020	88.284	227.568	459.793	139.880	65.518	84.924	78.070	205.198	884.991	Mass of fuel burnt (kg)
Mass of CO emitted (kg)	2.533	4.099	2.904	0.079	0.205	2.817	0.349	1.153	1.494	1.374	1.502	4.319	Mass of CO emitted (kg)
Mass of HC emitted (kg)	0.201	0.323	0.231	0.020	0.052	0.274	0.056	0.092	0.119	0.109	0.148	0.422	Mass of HC emitted (kg)
Mass of NOx emitted (kg)	0.576	0.922	0.660	2.471	4.462	7.209	1.117	0.262	0.340	0.312	1.380	8.888	Mass of NOx emitted (kg)
Mass of CO ₂ emitted (kg)	453.415	726.100	519.837	278.095	716.839	1448.348	439.392	206.382	267.511	249.920	646.374	2094.723	Mass of CO ₂ emitted (kg)

Εικόνα 5-3: Υπολογιστικό φύλλο excel από την EMER/CORINAIR- Αποτελέσματα εκπομπών

Τα δεδομένα για τους τύπους των αεροσκαφών που προσαπογειώθηκαν στα μελετώμενα αεροδρόμια το 2015 ελήφθησαν και αυτά από τα φύλλα υπολογισμού του excel που μας παραχώρησε η Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας. Χρησιμοποιήθηκαν όλοι οι τύποι εκτός από αυτούς που έχουν χωρητικότητα κάτω των 10 θέσεων.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι εκπομπές CO₂ από τα αεροσκάφη προκύπτουν από δύο φάσεις, στον κύκλο της προσαπογείωσης (Landing/Take off- LTO cycle) και στον κύκλο της πλεύσης (Cruise cycle). Στον κύκλο της προσαπογείωσης (LTO cycle) περιλαμβάνονται όλες οι δραστηριότητες του αεροσκάφους που λαμβάνουν χώρα κάτω από τα 3000 πόδια (~ 914 μέτρα) ενώ πάνω από τα 3000 πόδια έχουμε τον κύκλο της πλεύσης (cruise cycle). Στην παρούσα εργασία μελετώνται οι εκπομπές του CO₂ στον κύκλο της προσαπογείωσης.



Εικόνα 5-4: Κύκλοι πτήσεων: προσαπογείωσης και πλεύσης. Πηγή: Google images

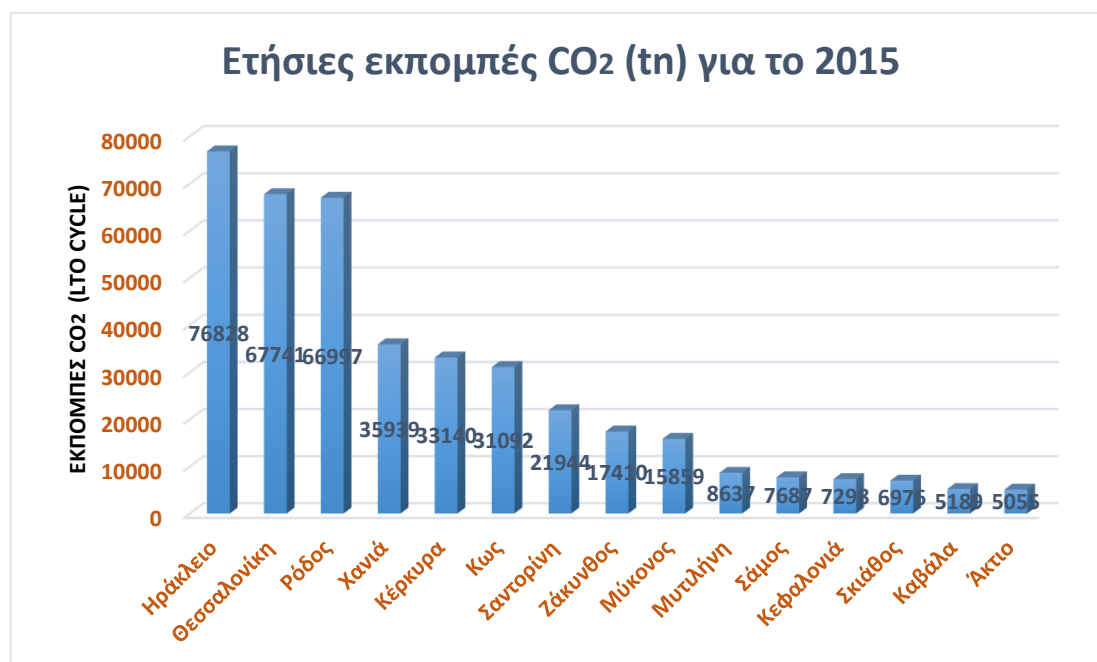
Στο υπολογιστικό excel της ΕΜΕΡ/ΕΕΑ συμπληρωνόταν κάθε φορά η χώρα, το αεροδρόμιο, το μελετώμενο έτος και επιλέγοντας συγκεκριμένο τύπο αεροσκάφους κάθε φορά προέκυπταν για αυτό οι εκπομπές CO₂. Και στο τέλος αθροίστηκαν οι εκπομπές από όλα τα αεροσκάφη για το κάθε αεροδρόμιο. Οι εκπομπές που υπολογίστηκαν φαίνονται συνολικά για όλα τα αεροδρόμια στο παρακάτω διάγραμμα. Όπως παρατηρείται το Ηράκλειο και η Θεσσαλονίκη έχουν τα δύο αεροδρόμια με τις υψηλότερες εκπομπές CO₂.

5.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.5.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΕΤΗΣΙΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

Για κάθε αεροδρόμιο, απομονώθηκαν όλοι οι τύποι αεροσκαφών από προσαπογειώθηκαν κατά το έτος 2015. Από το υπολογιστικό φύλλο excel της ΕΜΕΡ/CORINAIR προέκυψαν οι εκπομπές CO₂ για τον κάθε τύπο αεροσκάφους. Έπειτα, με τη συνάρτηση VLOOKUP του excel έγινε η αντιστοιχία των εκπομπών του κάθε αεροσκάφους με τις φορές που αυτό

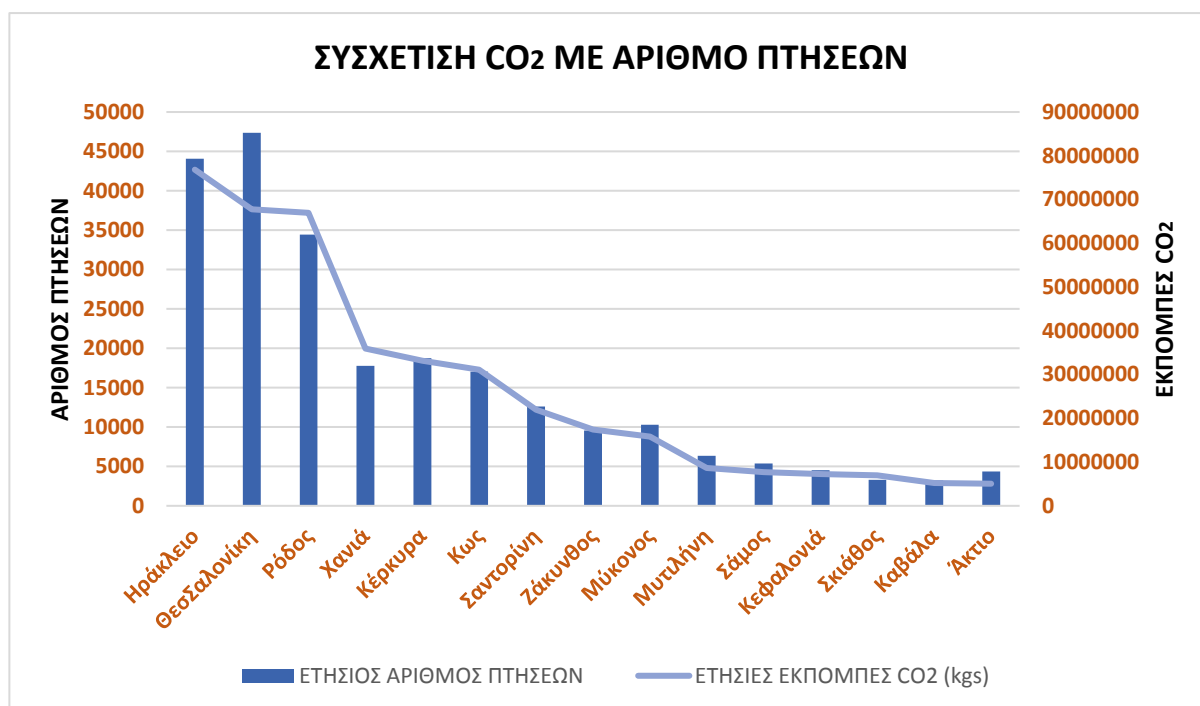
προσαπογειώθηκε. Αυτή η διαδικασία έγινε για όλους τους μήνες του εξεταζόμενου έτους και τελικά αθροίστηκαν οι εκπομπές κάθε μήνα και προέκυψαν οι συνολικές ετήσιες εκπομπές για το κάθε αεροδρόμιο. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με φθίνουσα σειρά, από το αεροδρόμιο με τις περισσότερες ετήσιες εκπομπές CO₂.



Διάγραμμα 5-1: Αποτελέσματα ετήσιων εκπομπών CO₂

Το Ηράκλειο, η Θεσσαλονίκη και η Ρόδος παρουσιάζουν τις υψηλότερες εκπομπές CO₂, ενώ η Σκιάθος, η Καβάλα και το Άκτιο τις χαμηλότερες. Μιας που η εξεταζόμενη φάση είναι αυτή του landing/take off οι αιτίες σχετικά με τα αποτελέσματα αναφέρονται στους τύπους των αεροσκαφών και τον αριθμό των πτήσεων.

Όσον αφορά τον αριθμό των πτήσεων, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα, είναι ευθέως ανάλογος με τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Όσα περισσότερα αεροσκάφη προσαπογειώνονται σε κάθε αεροδρόμιο, τόσο περισσότερες εκπομπές CO₂ προκύπτουν.



Διάγραμμα 5-2: Συνδυαστικό διάγραμμα πτήσεων και εκπομπών CO₂

Κάποια αεροδρόμια, βέβαια, ενώ έχουν περισσότερες πτήσεις από κάποια άλλα, εμφανίζουν μικρότερες εκπομπές CO₂. Αυτό συμβαίνει και γιατί χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι αεροσκαφών από το ένα αεροδρόμιο στο άλλο, αλλά γιατί ακόμα και ίδιοι τύποι αεροσκαφών έχουν διαφορετικές εκπομπές CO₂ από αεροδρόμιο σε αεροδρόμιο. Παρατηρείται πως η Θεσσαλονίκη με 47360 πτήσεις, έναντι του Ηρακλείου με 44074, έχει υψηλότερες εκπομπές. Αντίστοιχα το ίδιο συμβαίνει και με την Κέρκυρα και τα Χανιά και με την Κεφαλονιά και το Άκτιο.

Όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (5-1) με τα τρία αεροδρόμια με τις υψηλότερες εκπομπές, ακόμα και σε ίδιο τύπο αεροσκάφους, οι εκπομπές αλλάζουν από αεροδρόμιο σε αεροδρόμιο. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στους χρόνους αναμονής του αεροσκάφους τόσο όταν προσεγγίζει το αεροδρόμιο, όσο και όταν είναι να απογειωθεί. Στο υπολογιστικό φύλλο της EMEP/CORINAIR (εικόνα 5-4) για κάθε αεροδρόμιο συμπληρωνόταν αυτόματα ο μέσος όρος χρόνων taxi- in και taxi- out, που έχουν υπολογιστεί από τον ICAO.

1) Type of aircraft: **A321 (Airbus A-321) with 3CM020 engines** $\Rightarrow$ Type of engine: **Turbofan/turbojet**

2) Airport

a) Country: **Greece**

b) Airport: **LGTS (Thessaloniki International "Macedonia" Airport, THESSALONIKI)** $\Rightarrow$ Number of engines: **2**

c) Year: **2015** $\Rightarrow$ See airport annual average taxi times here

Taxi out time (s): **535**

Taxi in time (s): **304**

Rate of emission of CO₂ (kg/s/engine): 0.004380

Rate of emission of HC* (kg/s/engine): 0.0003480

Rate of emission of NOX* (kg/s/engine): 0.0004920

1 There are no turboprop-engined aircraft.

2 CO is carbon monoxide.

3 HC is unburnt hydrocarbons.

4 NOX are mono-nitrogen oxides (NO and NO₂)

See LTO cycle fuel burnt and emissions totals here

	Departure phase total					LTO cycle total					Arrival phase total	
	Average taxi-out time for the selected airport and year	ICAO default taxi-out time (=1140 s)	Average taxi-out time for the 25 busiest airports in 2015 (=816 s)	Take off	Climb out	Approach+landing	Average taxi-in time for the selected airport and year	ICAO default taxi-in time (=420 s)	Average taxi-in time for the 25 busiest airports in 2015 (=386 s)			
	(7% thrust)			(100% thrust)	(86% thrust)					(50% thrust)	(7% thrust)	
Mass of fuel burnt (kg)	128.460	273.600	195.378	110.880	282.480	521.820	177.600	73.031	100.800	92.865		
Mass of CO emitted (kg)	4.689	9.988	7.150	0.089	0.537	5.314	4.103	2.666	3.679	3.382		
Mass of HC emitted (kg)	0.373	0.793	0.568	0.011	0.028	0.412	0.657	0.212	0.282	0.269		
Mass of NOX emitted (kg)	0.527	1.122	0.803	2.584	4.633	7.744	1.296	0.299	0.413	0.380		

Εικόνα 5-4: Υπολογιστικό φύλλο excel από την EMER/CORINAIR- Χρόνοι taxi-out & taxi-in

Πίνακας 5-1: Τα τρία αεροδρόμια με τις περισσότερες εκπομπές CO₂ και οι τύποι αεροσκαφών που αποτελούν περίπου το 75% των συνολικών αεροσκαφών που προσαπογειώνονται στα συγκεκριμένα αεροδρόμια

ΤΥΠΟΣ Α/Φ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ	ΕΚΠΟΜΠΕΣ LTO (kgs)
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ		
RJ85	3.340%	2381.4
A321	6.164%	4077.0
A319	8.219%	3526.7
B738	25.850%	3029.3
A320	32.513%	3527.3
ΗΡΑΚΛΕΙΟ		
A321	10.169%	4151.9
B738	24.213%	3820.7
A320	39.654%	3554.0
ΡΟΔΟΣ		
A319	2.72%	3477.6
B737	4.36%	8514.2
A321	8.07%	4342.1
B738	29.15%	3872.4
A320	31.33%	3529.9

6 ΜΕΘΟΔΟΣ DEA- ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

6.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΜΕΘΟΔΟΥ

Ο υπολογισμός της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας ενέχει την εξής δυσκολία, την εισαγωγή ανεπιθύμητων εκροών στο μοντέλο της DEA. Τα κλασικά μοντέλα της DEA βασίζονται στην υπόθεση ότι οι εισροές πρέπει να μειωθούν και οι εκροές να αυξηθούν. Γι' αυτό λοιπόν η εισαγωγή του διοξειδίου του άνθρακα σαν ένα ακόμα output θα οδηγούσε σε σφάλμα του μοντέλου. Η χρήση των εκπομπών CO₂ σαν εισροή για το μοντέλο δεν ενδείκνυται από καμία μελέτη, μάλιστα αυτή η προσέγγιση δεν αντικατοπτρίζει καθόλου την πραγματική παραγωγική διαδικασία. Για την αύξηση των επιθυμητών εκροών και τη μείωση των ανεπιθύμητων επιβάλλεται να πραγματοποιηθεί κάποιος μετασχηματισμός στα αρνητικά outputs και μετά μπορούν να εισαχθούν κανονικά στο κλασικό μοντέλο της DEA.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, αφού γίνεται ο μετασχηματισμός, έπειτα τα δεδομένα εισάγονται ξανά σε ένα VRS μοντέλο με προσανατολισμό προς τα outputs καθώς οι υπόλοιπες μεταβλητές εισόδων και εξόδων παραμένουν ως έχουν και σε αυτό το μοντέλο. Για τη μετατροπή των εκπομπών CO₂ ακολουθείται το μοντέλο κατά Zhu, σύμφωνα με το οποίο κάθε ανεπιθύμητο output πολλαπλασιάζεται επί -1 και μετά βρίσκουμε μία κατάλληλη τιμή v_r ώστε να παραμένουν με θετικές τιμές όλα τα ανεπιθύμητα outputs. Θεωρώντας y_{rj}^g και y_{rj}^b τα επιθυμητά και αντίστοιχα τα ανεπιθύμητα outputs, έχουμε:

$$\overline{y_{rj}^b} = -y_{rj}^b + v_r$$

Όπου $v_r = \max \{ y_{rj}^b \} + 1$

Και τελικά το VRS μοντέλο (με output orientation) γίνεται ως εξής:

Max h

Με περιορισμούς:

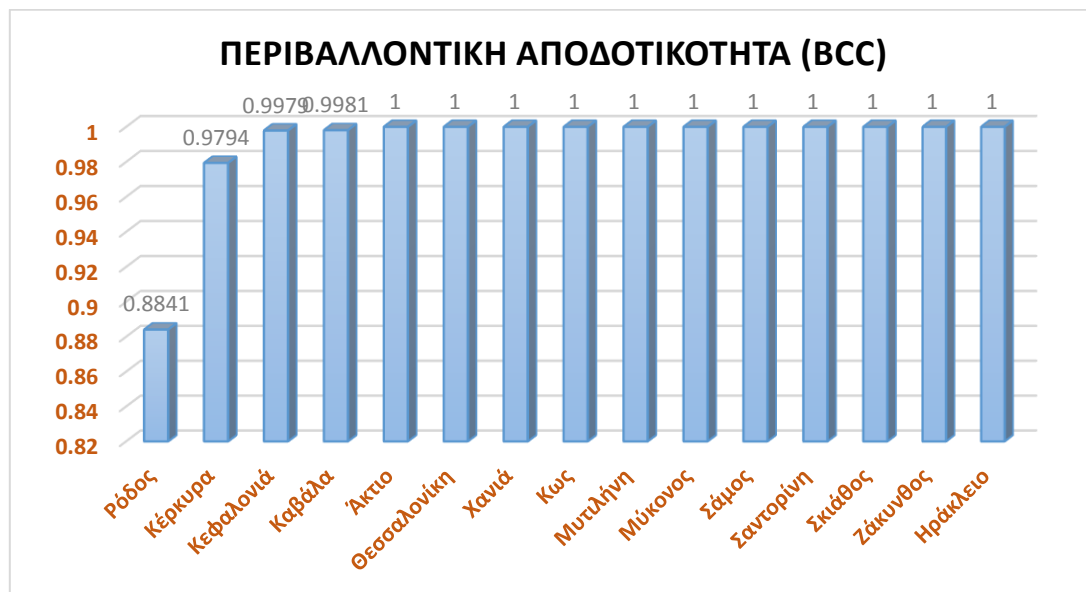
- $\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj}^g \geq h * y_{ro}^g$
- $\sum_{j=1}^n \lambda_j \overline{y_{rj}^b} \geq h * \overline{y_{ro}^b}$
- $\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{io}$
- $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$
- $\lambda_j \geq 0$

$j=1, \dots, n$

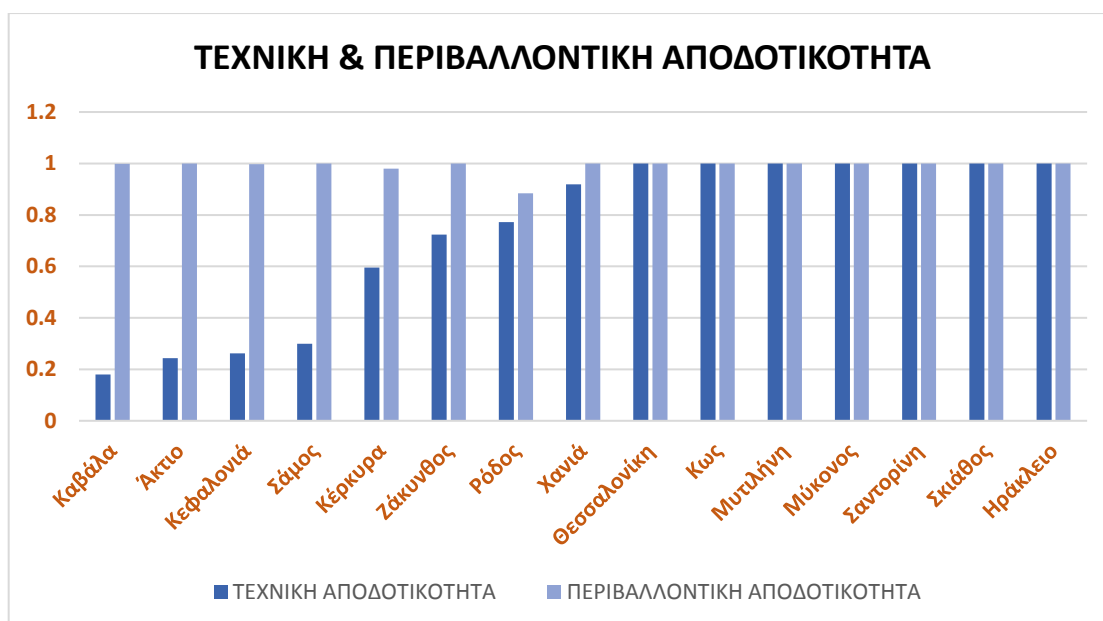
6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΘΟΔΟΥ

6.2.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Οι περιβαλλοντικές αποδοτικότητες προέκυψαν όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα 6-1: Περιβαλλοντική αποδοτικότητα των 15 εξεταζόμενων αεροδρομίων. Πηγή: αποτελέσματα του τροποποιημένου BCC μοντέλου



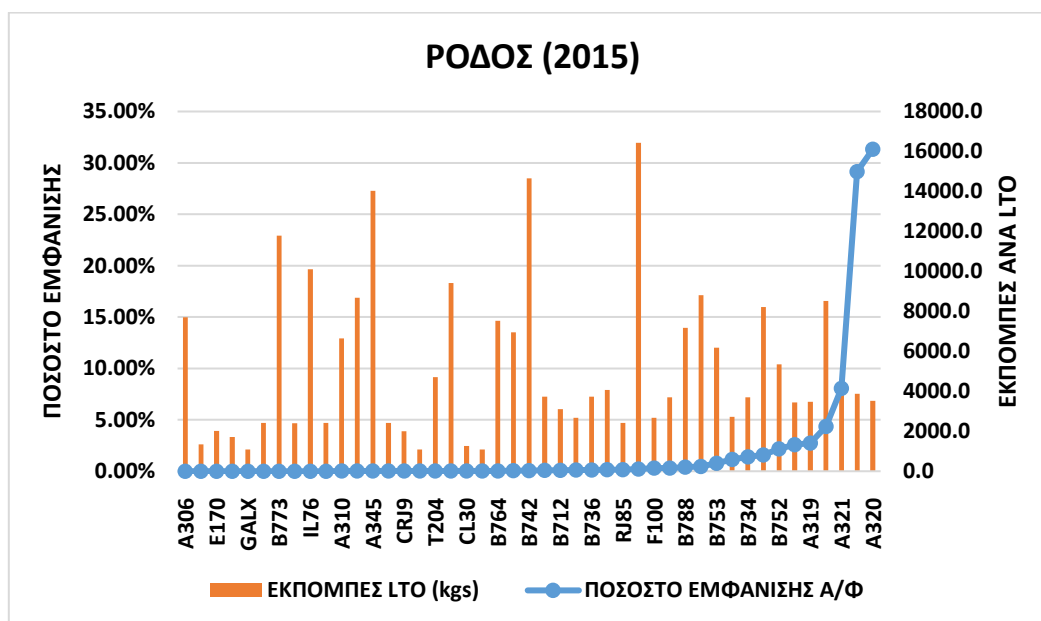
Διάγραμμα 6-2: Σύγκριση τεχνικής και περιβαλλοντικής αποδοτικότητας στα εξεταζόμενα αεροδρόμια. Πηγή: αποτελέσματα των μοντέλων

Παρατηρείται πως σε όλα τα αεροδρόμια αυξήθηκε η αποδοτικότητα και σχεδόν όλα έγιναν πλήρως αποδοτικά. Εκ πρώτης όψεως τα αποτελέσματα σίγουρα δεν ήταν αναμενόμενα. Ένα πολύ βασικό κομμάτι του μοντέλου είναι το γεγονός ότι αναφέρεται σε συγκριτική αξιολόγηση, συνεπώς τα αποτελέσματα υποδηλώνουν πως τα εξεταζόμενα αεροδρόμια είναι περιβαλλοντικά αποδοτικά στη μεταξύ τους σύγκριση και χρησιμοποιώντας τα συγκεκριμένα inputs και outputs που έχουν εισαχθεί στο μοντέλο.

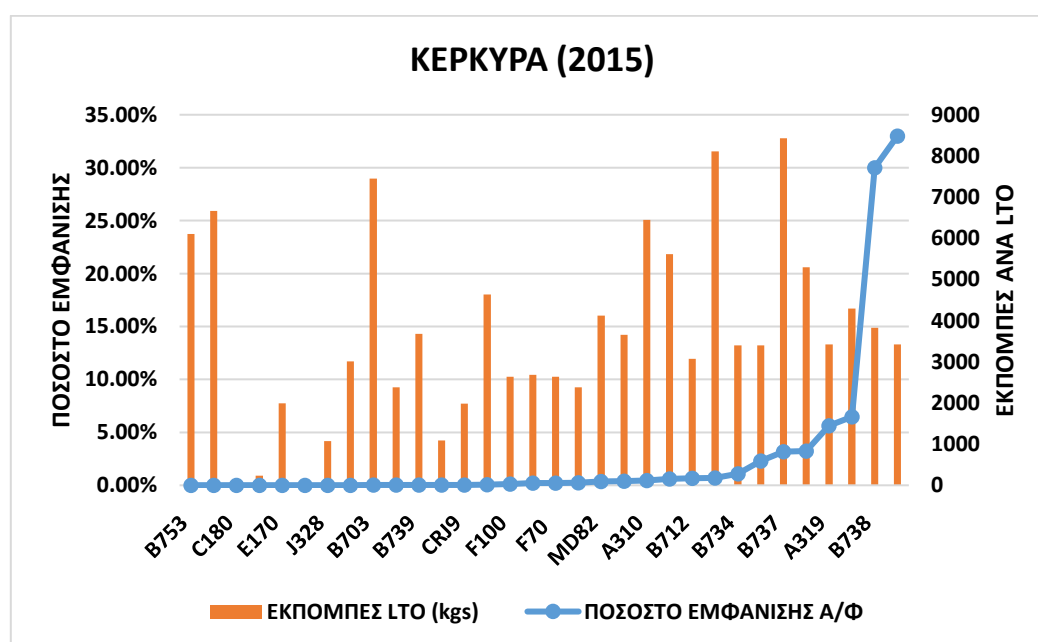
6.2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Τα εξεταζόμενα αεροδρόμια προέκυψαν σχεδόν πλήρως αποδοτικά μετά την εισαγωγή των εκπομπών CO₂ στο μοντέλο της DEA. Οι παράγοντες που καθόρισαν το αποτέλεσμα κρύβονται στις μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο, και συγκεκριμένα στις εκροές (αριθμός πτήσεων και αριθμός επιβατών) μιας που τέτοιος προσανατολισμός έχει επιλεγεί.

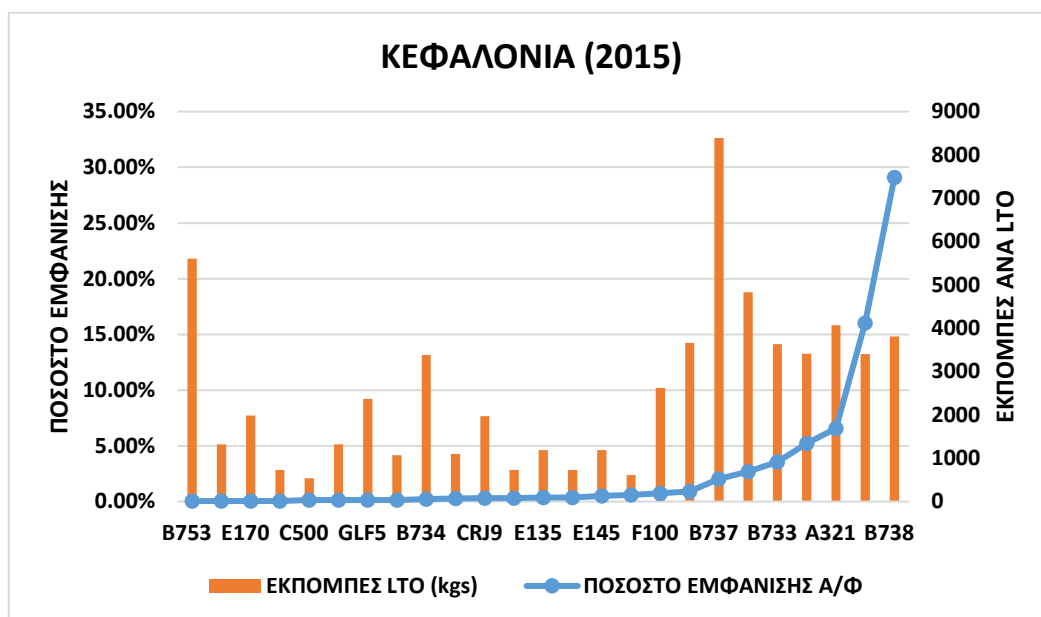
Παρακάτω παρουσιάζονται τα διαγράμματα με τους συνολικούς τύπους των αεροσκαφών για το κάθε αεροδρόμιο, μαζί με το ποσοστό που εμφανίζονται καθώς και τις εκπομπές ανά LTO cycle που παράγουν.



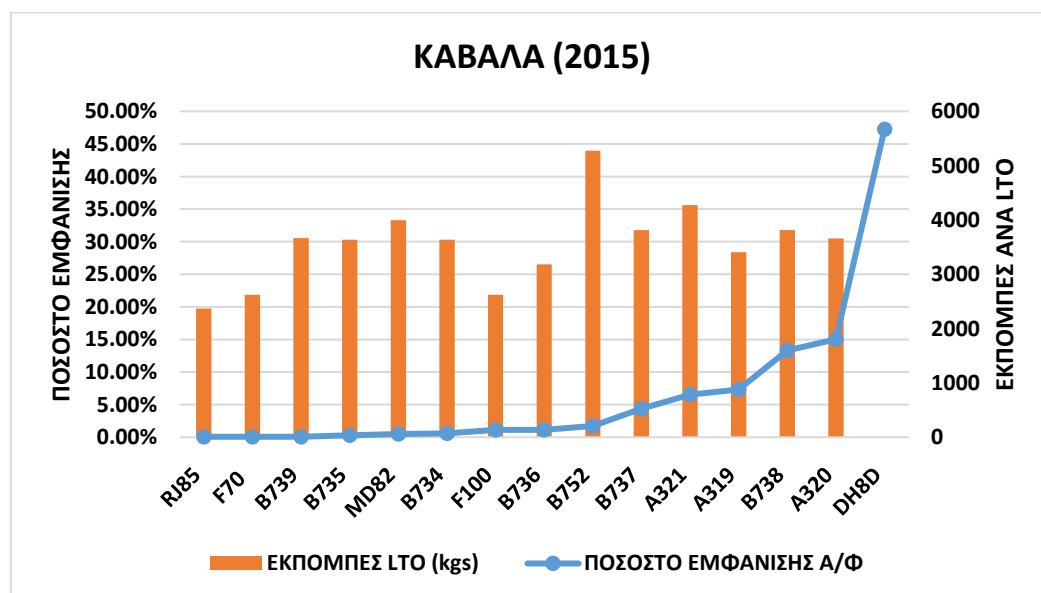
Διάγραμμα 6-3: Συσχέτιση πτήσεων και εκπομπών CO₂ από τους διάφορους τύπους α/φ για το αεροδρόμιο της Ρόδου. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων Υ.Π.Α και αποτελεσμάτων από τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂



Διάγραμμα 6-4: Συσχέτιση πτήσεων και εκπομπών CO₂ από τους διάφορους τύπους α/φ για το αεροδρόμιο της Κέρκυρας. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων Υ.Π.Α και αποτελεσμάτων από τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂

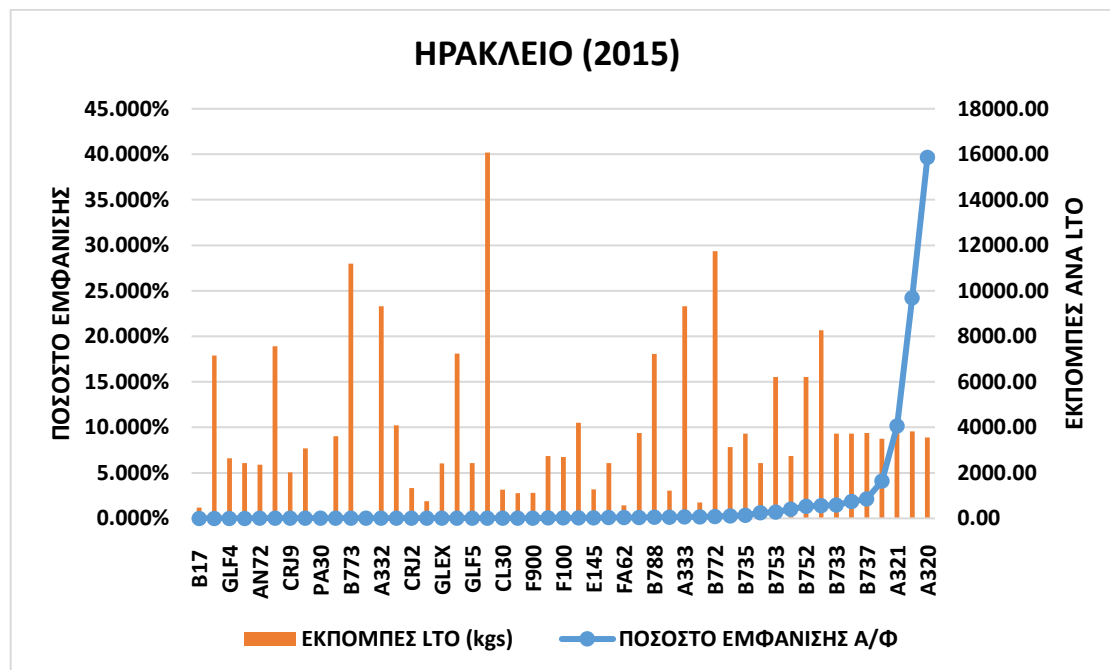


Διάγραμμα 6-5: Συσχέτιση πτήσεων και εκπομπών CO₂ από τους διάφορους τύπους α/φ για το αεροδρόμιο της Κεφαλονιάς. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων Υ.Π.Α και αποτελεσμάτων από τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂

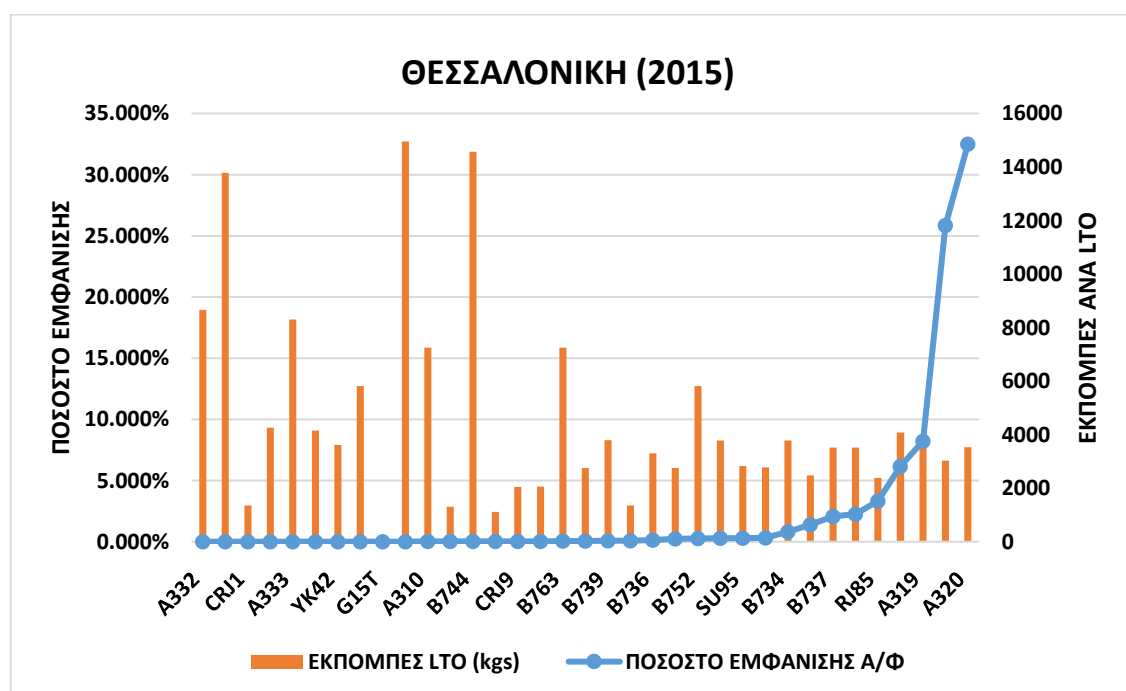


Διάγραμμα 6-6: Συσχέτιση πτήσεων και εκπομπών CO₂ από τους διάφορους τύπους α/φ για το αεροδρόμιο της Καβάλας. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων Υ.Π.Α και αποτελεσμάτων από τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂

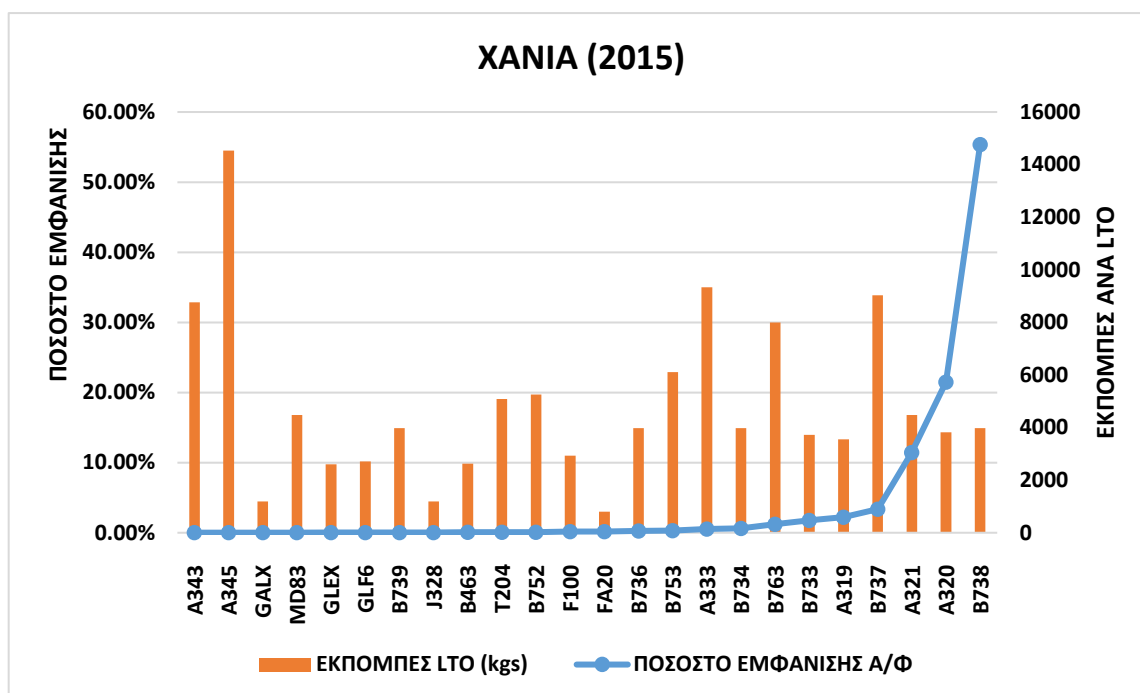
Ο τύπος αεροσκάφους DH8D έχει πολύ λίγες εκπομπές και δεν αναφερόταν καν στο υπολογιστικό φύλλο της ΕΜΕΡ/CORINAIR.



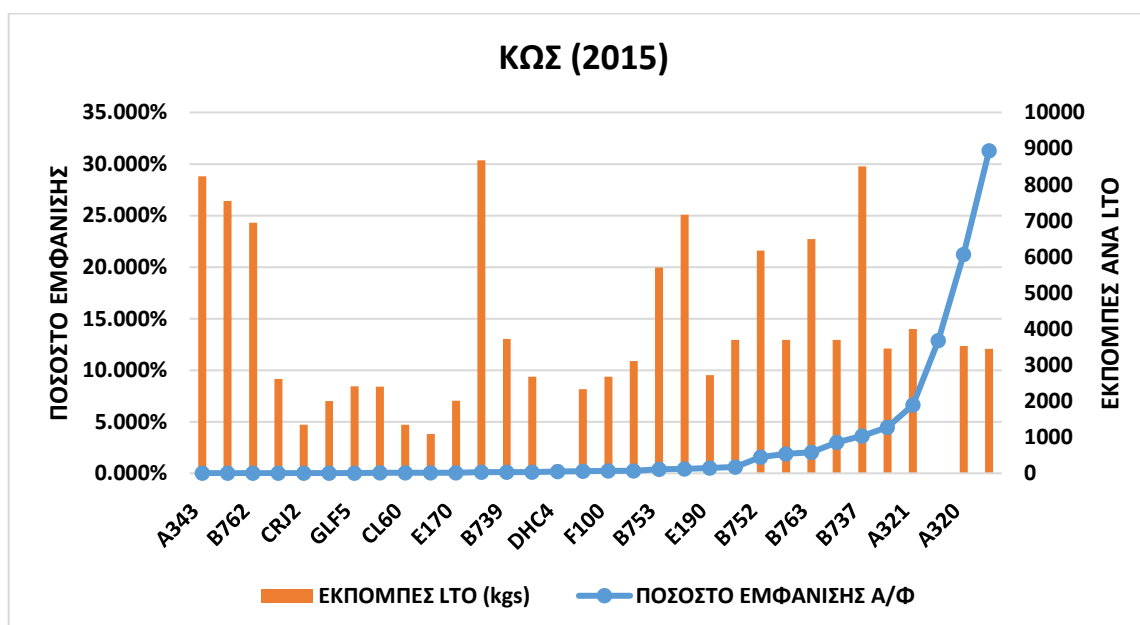
Διάγραμμα 6-7: Συσχέτιση πτήσεων και εκπομπών CO₂ από τους διάφορους τύπους α/φ για το αεροδρόμιο του Ηρακλείου. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων Υ.Π.Α και αποτελεσμάτων από τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂



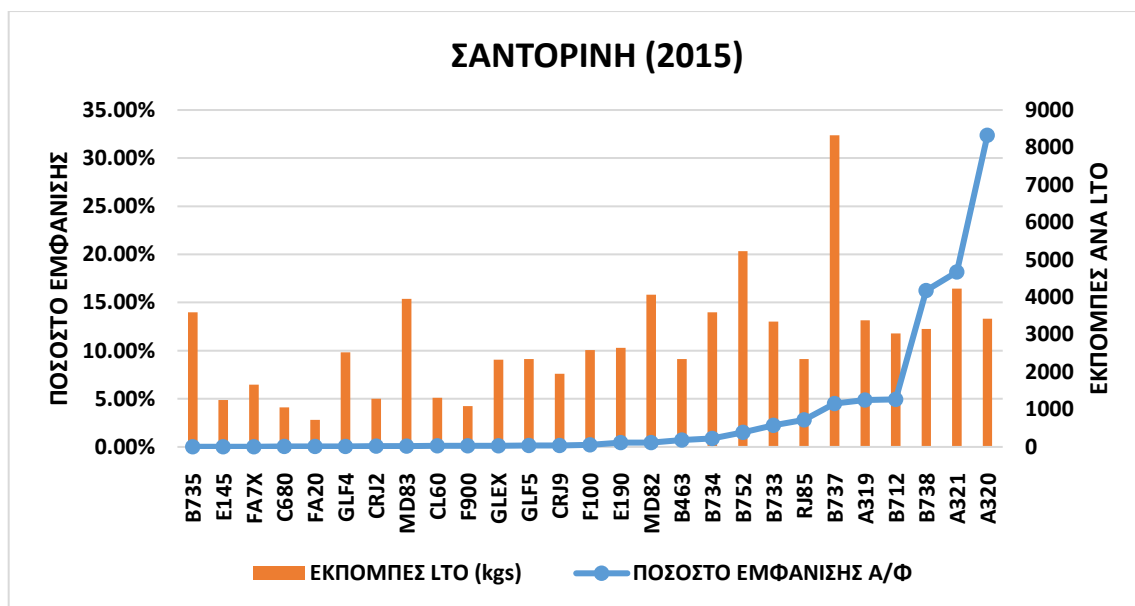
Διάγραμμα 6-8: Συσχέτιση πτήσεων και εκπομπών CO₂ από τους διάφορους τύπους α/φ για το αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων Υ.Π.Α και αποτελεσμάτων από τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂



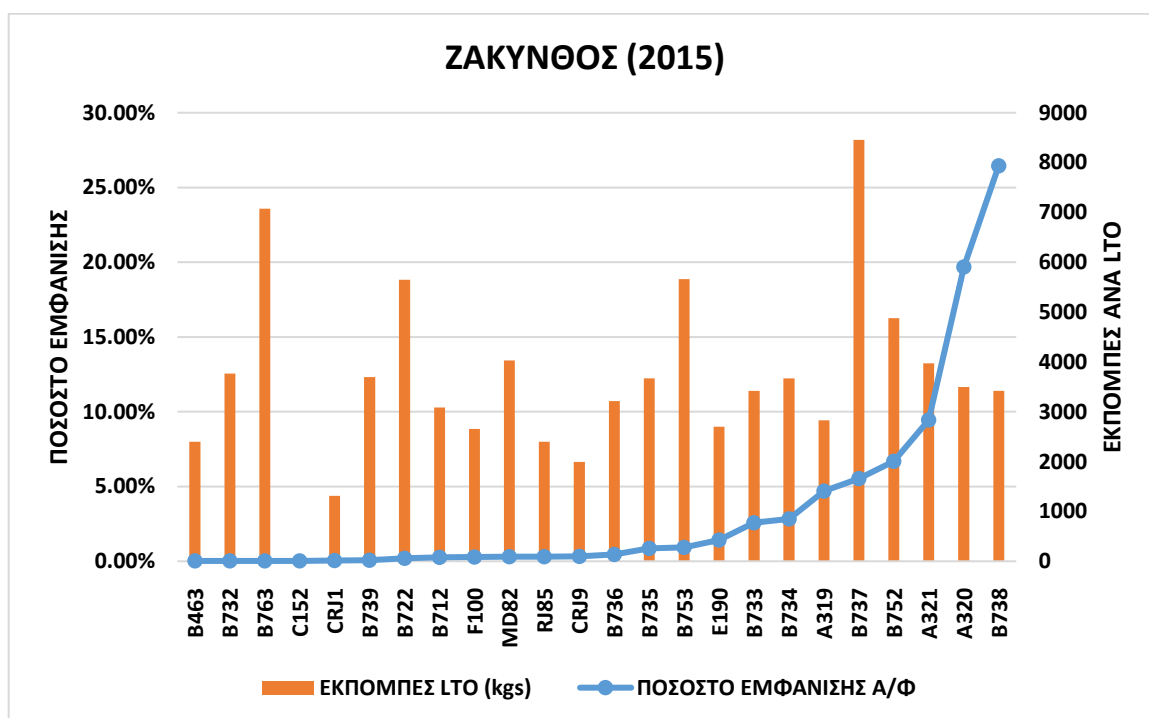
Διάγραμμα 6-9: Συσχέτιση πτήσεων και εκπομπών CO₂ από τους διάφορους τύπους α/φ για το αεροδρόμιο των Χανίων. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων Υ.Π.Α και αποτελεσμάτων από τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂



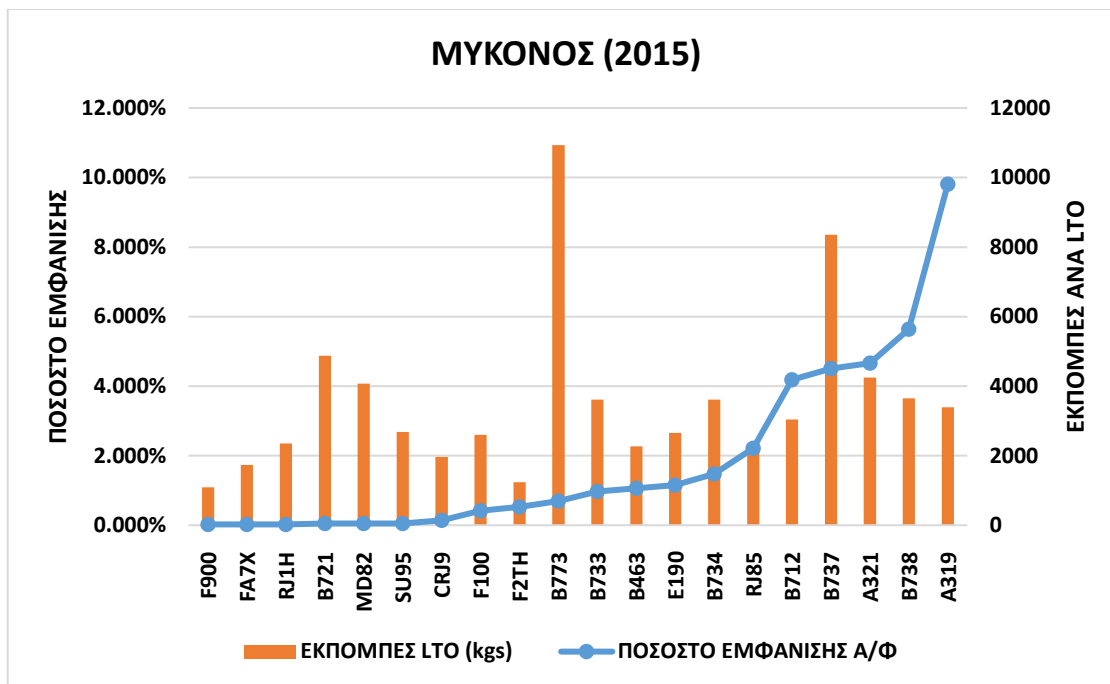
Διάγραμμα 6-10: Συσχέτιση πτήσεων και εκπομπών CO₂ από τους διάφορους τύπους α/φ για το αεροδρόμιο της Κω. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων Υ.Π.Α και αποτελεσμάτων από τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂



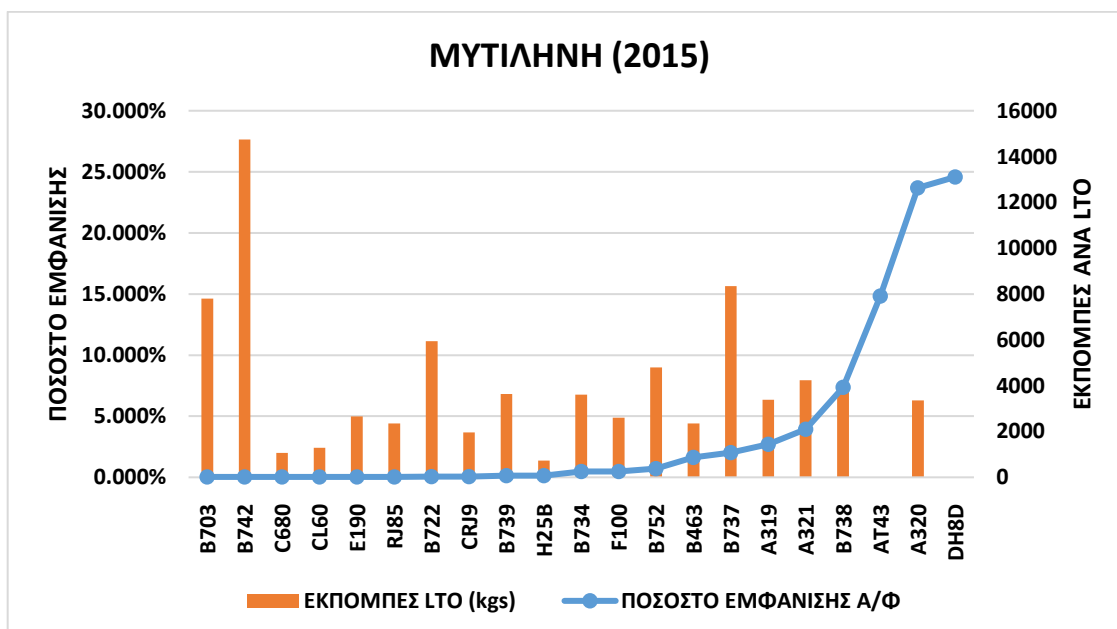
Διάγραμμα 6-11: Συσχέτιση πτήσεων και εκπομπών CO₂ από τους διάφορους τύπους α/φ για το αεροδρόμιο της Σαντορίνης. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων Υ.Π.Α και αποτελεσμάτων από τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂



Διάγραμμα 6-12: Συσχέτιση πτήσεων και εκπομπών CO₂ από τους διάφορους τύπους α/φ για το αεροδρόμιο της Ζακύνθου. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων Υ.Π.Α και αποτελεσμάτων από τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂

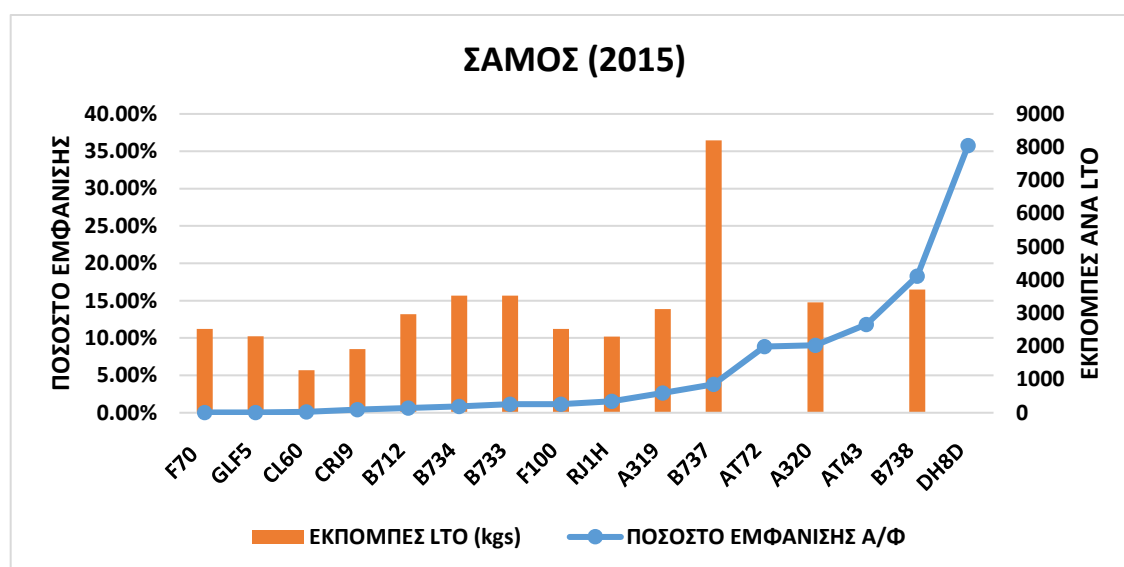


Διάγραμμα 6-13: Συσχέτιση πτήσεων και εκπομπών CO₂ από τους διάφορους τύπους α/φ για το αεροδρόμιο της Μυκόνου. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων Υ.Π.Α και αποτελεσμάτων από τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂

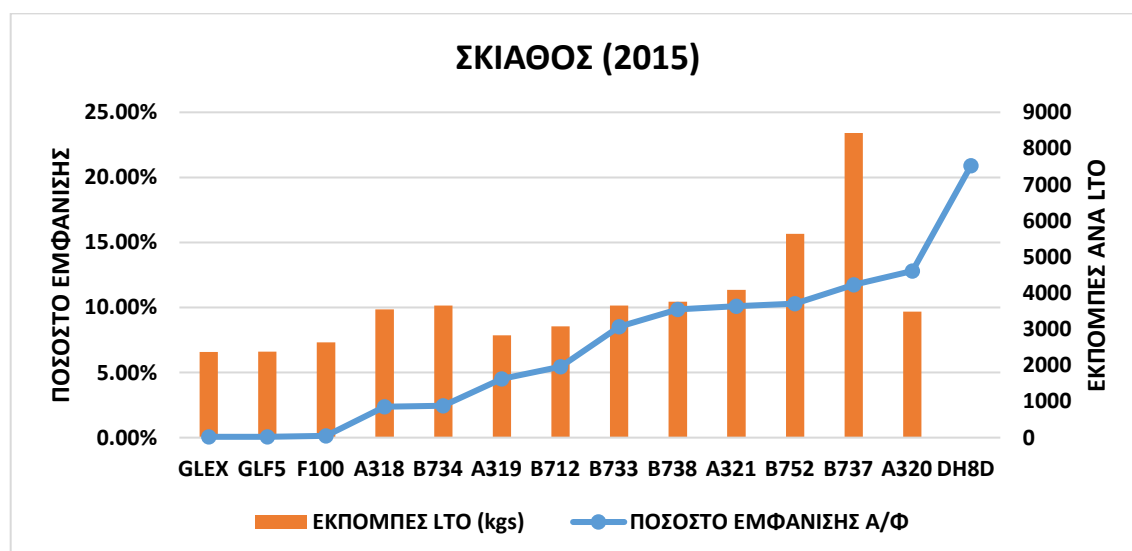


Διάγραμμα 6-14: Συσχέτιση πτήσεων και εκπομπών CO₂ από τους διάφορους τύπους α/φ για το αεροδρόμιο της Μυτιλήνης. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων Υ.Π.Α και αποτελεσμάτων από τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂

Και στην περίπτωση της Μυτιλήνης, δύο από τα αεροσκάφη που προσγειώνονται πιο συχνά στο αεροδρόμιο είναι το AT43 και το DH8D, τα οποία έχουν ελάχιστες εκπομπές και δεν υπήρχαν καν στο υπολογιστικό φύλλο Excel της ΕΜΕΡ/CORINAIR. Όπως και για τη Μυτιλήνη, το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση της Σάμου με τα αεροσκάφη AT72, AT43 και DH8D.

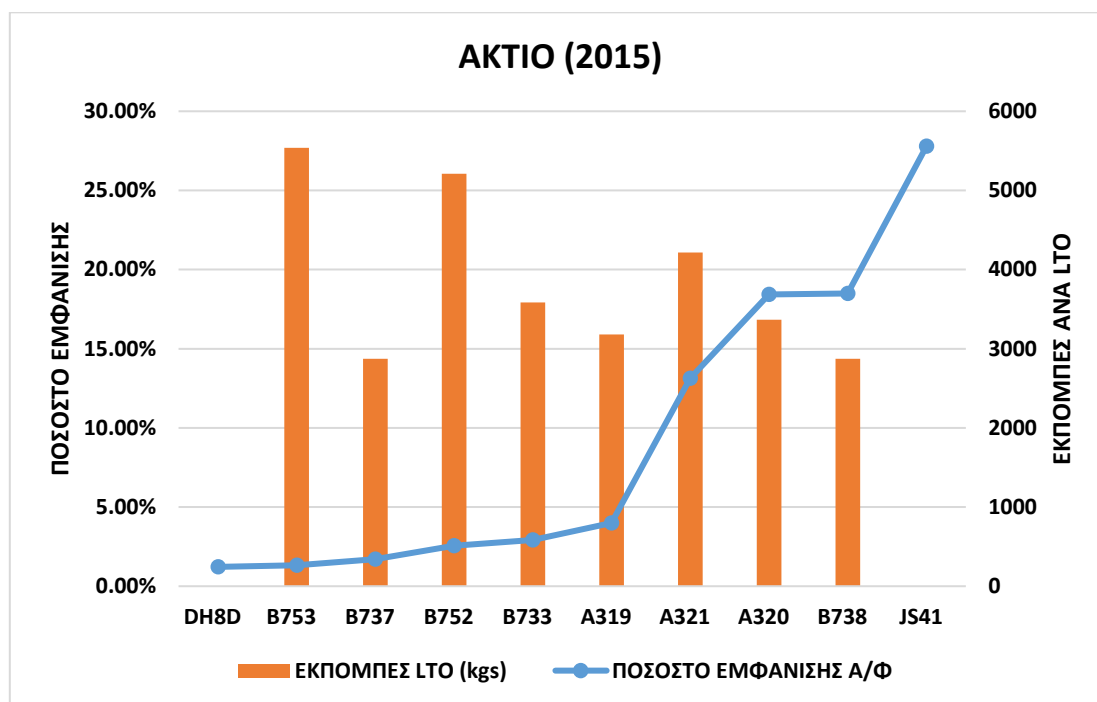


Διάγραμμα 6-15: Συσχέτιση πτήσεων και εκπομπών CO₂ από τους διάφορους τύπους α/φ για το αεροδρόμιο της Σάμου. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων Υ.Π.Α και αποτελεσμάτων από τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂



Διάγραμμα 6-16: Συσχέτιση πτήσεων και εκπομπών CO₂ από τους διάφορους τύπους α/φ για το αεροδρόμιο της Σκιάθου. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων Υ.Π.Α και αποτελεσμάτων από τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂

Και στην περίπτωση της Σκιάθου εμφανίζεται ξανά το DH8D το οποίο έχει ελάχιστες εκπομπές CO₂.



Διάγραμμα 6-17: Συσχέτιση πτήσεων και εκπομπών CO₂ από τους διάφορους τύπους α/φ για το αεροδρόμιο του Ακτίου. Πηγή: επεξεργασία στοιχείων Υ.Π.Α και αποτελεσμάτων από τον υπολογισμό των εκπομπών CO₂

Τέλος, και στο αεροδρόμιο του Ακτίου παρατηρείται ότι το JS41 που αποτελεί περίπου το 28% των συνολικών κινήσεων του αεροδρομίου έχει ανεπαίσθητες εκπομπές και δεν υπολογίστηκαν.

Βάσει όλων των παραπάνω διαγραμμάτων παρατηρείται πως συνολικά από όλους τους τύπους αεροσκαφών αυτά που έχουν τις περισσότερες συνολικές ετήσιες κινήσεις σε κάθε αεροδρόμιο είναι αυτά με τις μέτριες ή χαμηλές εκπομπές CO₂. Συνεπώς, έχουμε πολλές κινήσεις με χαμηλές εκπομπές CO₂. Με βάση τις μεταβλητές που έχουμε επιλέξει για τη διεκπεραίωση του μοντέλου αλλά και τη συγκριτική του φύση, μία τέτοια σχέση μεταξύ των κινήσεων και του CO₂ είναι αυτή που μπορεί να εξηγήσει τα αρχικά μη αναμενόμενα αποτελέσματα.

Στο αεροδρόμιο της Θεσσαλονίκης για παράδειγμα το 72% των πτήσεων διεκπεραιώνεται από τους τύπους A321, A319, B738, A320 με εκπομπές CO₂ ανά LTO 4077 kgs, 3527 kgs, 3029 kgs και 3527 kgs αντίστοιχα. Ενώ παράλληλα στο αεροδρόμιο κινούνται και τύποι όπως οι B747, A310 και B744 με εκπομπές CO₂ ανά LTO 14572 kgs, 7246 kgs και 14572 kgs αντίστοιχα.

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στις λειτουργίες των αεροδρομίων πάντα υπήρχαν και θα υπάρχουν και επιθυμητές και ανεπιθύμητες εκροές. Στις περισσότερες μελέτες δινόταν βάση στις επιθυμητές για την εκτίμηση της αποδοτικότητας. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εκτιμήθηκε η περιβαλλοντική αποδοτικότητα 15 ελληνικών περιφερειακών αεροδρομίων, λαμβάνοντας υπόψιν σαν αρνητική εκροή τις εκπομπές CO₂ από τα αεροσκάφη κατά τη φάση Landing/ Take off. Παράλληλα εκτιμήθηκε και η τεχνική αποδοτικότητα (χωρίς ανεπιθύμητες εκροές), ώστε με τη σύγκριση των δύο να έχουμε πιο καθαρή εικόνα για την επίδραση του περιβάλλοντος στα αεροδρόμια.

7.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Από το σύνολο των 15 εξεταζόμενων αεροδρομίων πλήρως αποδοτικά προέκυψαν τα 7. Αυτά ήταν τα αεροδρόμια του Ηρακλείου, της Σαντορίνης, της Μυκόνου, της Μυτιλήνης, της Κω, της Θεσσαλονίκης και της Σκιάθου. Στην ομάδα αυτή ανήκουν αεροδρόμια τα οποία δεν έχουν όλα παρόμοια κλίμακα μεγέθους.

Ήδη από το κεφάλαιο 4 έχουμε διαπιστώσει αρχικά την έννοια της συγκριτικής αποδοτικότητας καθώς και την επίδραση του μεγέθους των αεροδρομίων (με το χρησιμοποιούμενο μοντέλο BCC) στην αποδοτικότητά τους.

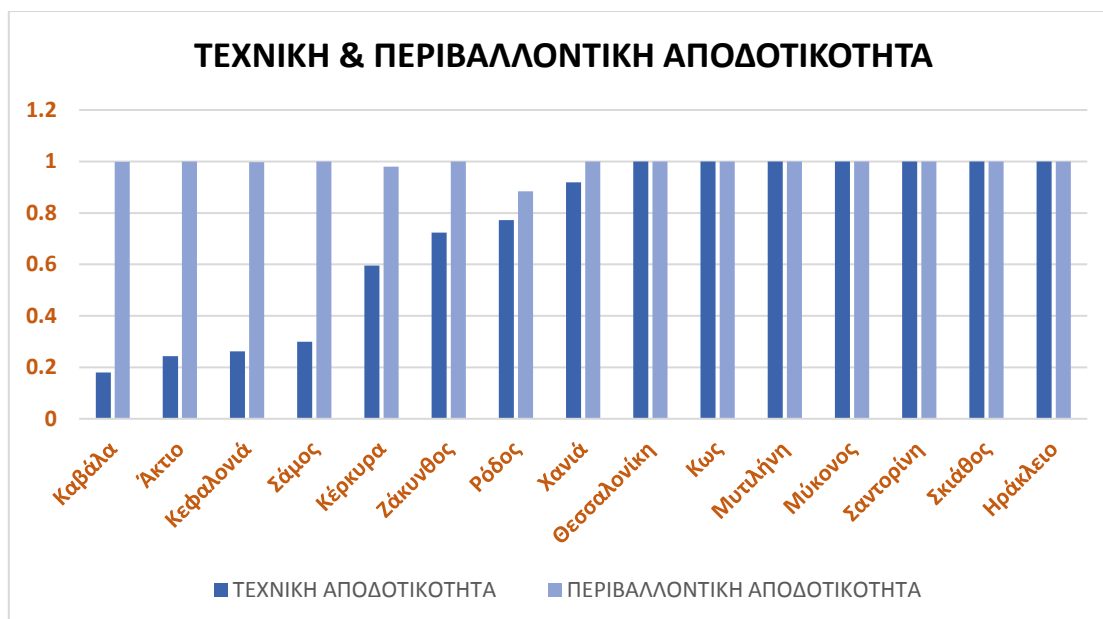
Τα αεροδρόμια της Θεσσαλονίκης και του Ηρακλείου δεν αποτελούν έκπληξη που προέκυψαν πλήρως αποδοτικά. Κατά το έτος 2015, το αεροδρόμιο του Ηρακλείου εξυπηρέτησε 6.057.842 επιβάτες και δεύτερη έρχεται η Θεσσαλονίκη με τις συνολικές ετήσιες κινήσεις για το ίδιο έτος να φτάνουν τους 5.341.096 επιβάτες. Το αεροδρόμιο της Ρόδου, αν και τρίτο όσον αφορά την ετήσια επιβατική κίνηση για το 2015, δεν προέκυψε πλήρως αποδοτικό. Αυτό οφείλεται στη σύγκρισή του με το αεροδρόμιο του Ηρακλείου. Της Ρόδου, ενώ υπερτερεί σε μέγεθος, εξυπηρετεί 1.478.455 λιγότερους επιβάτες, γεγονός που αυτόματα το καθιστά συγκριτικά μη αποδοτικό.

Σημαντικό κομμάτι βέβαια, ίσως και σημαντικότερο από τα αεροδρόμια που προέκυψαν πλήρως αποδοτικά, είναι το να εστιάσουμε στα μη αποδοτικά, μιας που αυτά χρήζουν βελτίωσης. Τα συγκριτικά μη αποδοτικά αεροδρόμια είναι της Καβάλας, του Ακτίου, της Κεφαλονιάς, της Σάμου, της Κέρκυρας, της Ζακύνθου, της Ρόδου και των Χανίων. Για αυτά τα αεροδρόμια προέκυψαν από την επίλυση του μοντέλου και τα ομότιμά τους (peers airports), δηλαδή εκείνα τα αποδοτικά αεροδρόμια που θα μπορούσαν να αποτελέσουν πρότυπα όσον αφορά τις υποδομές τους. Η εξέταση, λοιπόν, των ομότιμων αεροδρομίων για κάθε μη αποδοτικό σίγουρα αποτελεί μία καλή αρχή που αποσκοπεί στη βελτίωση της αποδοτικότητας. Στην παρούσα κατάσταση, αυτά τα «πρότυπα» χαρακτηριστικά υποδομών αναφέρονται στο διάδρομο προσαπογείωσης και στα κτίρια επιβατών μιας που αυτές οι μεταβλητές έχουν χρησιμοποιηθεί στο μοντέλο μας.

7.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ-ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ

Κατά τη μέτρηση της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας τα αεροδρόμια του Ακτίου, της Θεσσαλονίκης, των Χανίων, της Κω, της Μυτιλήνης, της Μυκόνου, της Σάμου, της Σαντορίνης, της Σκιάθου, της Ζακύνθου και του Ηρακλείου προέκυψαν πλήρως αποδοτικά, τα αεροδρόμια της Καβάλας, της Κεφαλονιάς και της Κέρκυρας έχουν τιμές αποδοτικότητας 0,998, 0,998 και 0,979 αντίστοιχα και το αεροδρόμιο της Ρόδου 0,884.

Οι παραπάνω αποδοτικότητες δεν είναι μόνο πολύ υψηλές αλλά και μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες τεχνικές αποδοτικότητες όταν δεν είχε εισαχθεί στο μοντέλο η ανεπιθύμητη εκροή των εκπομπών CO₂, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα (7-1).



Διάγραμμα 7-1: Σύγκριση τεχνικής και περιβαλλοντικής αποδοτικότητας. Πηγή: αποτελέσματα χρησιμοποιούμενων μοντέλων

Οι εκπομπές του CO₂ κατά την LTO φάση εξαρτώνται κυρίως από τους διαφορετικούς χρόνους αναμονής σε κάθε αεροδρόμιο.

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε και να ερμηνεύσουμε τα αποτελέσματα, πρέπει να εστιάσουμε στις μεταβλητές που έχουμε χρησιμοποιήσει στο μοντέλο μας. Ο λόγος έγκειται στο ότι τα δεδομένα αυτών των μεταβλητών επεξεργάστηκε στο μοντέλο και προέκυψαν αυτά τα αποτελέσματα.

Έπειτα από μία ανάλυση στα δεδομένα που σχετίζονται με τους τύπους των αεροσκαφών που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε αεροδρόμιο, τις εκπομπές CO₂ στην φάση LTO για κάθε τύπο καθώς και τον αριθμό των πτήσεων που αντιστοιχεί σε κάθε τύπο αεροσκάφους, προκύπτει πως το μεγαλύτερο ποσοστό των κινήσεων αντιστοιχεί σε αεροσκάφη με χαμηλές εκπομπές CO₂ σε σχέση πάντα με τους υπόλοιπους τύπους αεροσκαφών που κινήθηκαν στο εκάστοτε αεροδρόμιο.

7.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Τα αποτελέσματα της διπλωματικής εργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περαιτέρω έρευνα εξετάζοντας κάποια στοιχεία από άλλη οπτική και με διαφορετικές παραμέτρους.

Τα αποτελέσματα της περιβαλλοντικής αποδοτικότητας δείχνουν με τις μεταβλητές που έχουμε χρησιμοποιήσει στο μοντέλο μας δεν τίθεται θέμα βελτίωσης των εκπομπών για καλύτερη επίδοση στο αεροδρόμιο. Γι' αυτό λοιπόν θα είχε πολύ μεγάλο ενδιαφέρον να μελετηθεί ο κρίσιμος παράγοντας που επηρεάζει τις εκπομπές του CO₂ στο αεροδρόμιο και να γίνει η συγκριτική αξιολόγηση με νέες μεταβλητές εισόδου και εξόδου.

Επίσης, η συγκεκριμένη έρευνα θα μπορούσε να εφαρμοστεί και για το σύνολο των ελληνικών περιφερειακών αεροδρομίων, πρώτον για να έχουμε μια συνολική εικόνα για όλα τα περιφερειακά αεροδρόμια και δεύτερον, για να έχουμε όσο το δυνατό πιο ρεαλιστικό αποτέλεσμα, μιας που θα προκύπτουν αποδοτικότητες συγκριτικά με το σύνολο των αεροδρομίων.

Τέλος, θα μπορούσαν να εκτιμηθούν οι εκπομπές CO₂ με διαφορετικό και πιο λεπτομερή τρόπο, ώστε ελαχιστοποιούσαμε τα σφάλματα των μετρήσεων και να είχαμε ένα αποτέλεσμα πιο κοντά στην πραγματικότητα.

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Appendices to ACRP Report 11: Guidebook on Preparing Airport GHG Emissions Inventories (2008). Chapter: Appendix C: Methods for Calculating GHG Emissions

Arjomandi, A. & Seufert, J. Heinz. (2014). An evaluation of the world's major airlines' technical and environmental performance. *Economic Modelling*, 41 133-144.

Barros, C.P., Dieke, P.U.C. (2007). Performance evaluation of Italian airports: A data envelopment analysis. *Journal of Air Transport Management* 13 (2007) 184–191

Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K. *Data Envelopment Analysis. A comprehensive text with models, applications, references and DEA- solver software*. Second edition

De Neufville, R., Odoni, A., Psaraki- kalouptsidi, V. *Συστήματα Αεροδρομίων, Βιβλίο της σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ*.

EMEP/EEA emission inventory guidebook 2013 & 2016

Fragoudaki, A., Giokas, D. (2016). Airport performance in a tourism receiving country: Evidence from Greece. *Journal of Air Transport Management* 52 (2016) 80-89"

Fragoudaki, A., Giokas, D., Glyptou, K. (2016). Efficiency and productivity changes in Greek airports during the crisis years 2010-2014. *Journal of Air Transport Management* 57 (2016) 306-315

Huang, R., Li, Y. (2011). Undesirable input–output two-phase DEA model in an environmental performance audit. *Mathematical and Computer Modelling* 58 (2013) 971–979

ICAO Carbon Emissions Calculator Methodology Version 10 (2017)

Korhonen, P.J., Luptacik, M. (2003). Eco-efficiency analysis of power plants: An extension of data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research* 154 (2004) 437–446

- Liu, X., Zhou, D., Zhou, P., Wang, Q. (2017). Dynamic carbon emission performance of Chinese airlines: A global Malmquist index analysis. *Journal of Air Transport Management* 65 (2017) 99e109
- Loo, B.P.Y., Li, L., Psaraki, V., Pagoni I. (2013). CO2 emissions associated with hubbing activities in air transport: an international comparison. *Journal of Transport Geography*. Contents lists available at ScienceDirect
- Lozano, S., Gutierrez, E. (2010). Slacks-based measure of efficiency of airports with airplanes delays as undesirable outputs. *Computers & Operations Research* 38 (2011)131–139"
- Mad Ithnin, S., Osman, J. Measuring efficiency of stations in an airline network: An application of Data Envelopment Analysis. Faculty of Business and Economy. University Pendidikan Sultan Idris, Malaysia
- Martin, C. J., Roman, C. (2001). An application of DEA to measure the efficiency of Spanish airports prior to privatization. *Journal of Air Transport Management* 7 (2001) 149- 157"
- Pagoni, I., Psaraki, V. (2011). A tool for calculating aircraft emissions and its application to Greek airspace. *Transportation Planning and Technology*, 37:2, 138-153, DOI: 10.1080/03081060.2013.851510
- Pathomsiri, S., Haghani, A., Dresner, M., Windle, R.J. (2007). Impact of undesirable outputs on the productivity of US airports. *Transportation Research Part E* 44 (2008) 235–259
- Psaraki- Kalouptsidi, V., Kalakou, S. (2009). Assessment of efficiency of greek airports. Researchgate
- Ramanathan, R. An introduction to Data Envelopment Analysis. A tool for performance measurement
- Scheel, H. (1999). Undesirable outputs in efficiency valuations. *European Journal of Operational Research* 132 (2001) 400-410
- Scotti, D., Dresnetr, M., Martini, G., Yu, C. (2013). Incorporating negative externalities into productivity assessments of US airports. *Transportation Research Part A*. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/tra"

Seiford, L.M., Zhu, J. (2001) Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. *European Journal of Operational Research* 142 (2002) 16–20

Thanassoulis, E. Introduction to the theory and application of Data Envelopment Analysis. A foundation text with integrated software

Tsekeris, T. (2010). Greek Airports: Efficiency Measurement and Analysis of Determinants. Centre for planning and economic research No 110

Yu, M.M. (2004). Measuring physical efficiency of domestic airports in Taiwan with undesirable outputs and environmental factors. *Journal of Air Transport Management* 10 (2004) 295-303"

Zhou, P., Ang, B.W., Poh, K.L. (2006). Measuring environmental performance under different environmental DEA technologies. *Energy Economics* 30 (2008) 1–14 "

Zhu, J., Quantitative models for performance evaluation and benchmarking. *Data Envelopment Analysis with spreadsheets and DEA excel solver*

Αξιολόγηση θερμοηλεκτρικών σταθμών με τη μέθοδο Data Envelopment Analysis (DEA), Διπλωματική εργασία, Αθανάσιος Γ. Τσαλιάνης (2015), Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών στη διοίκηση επιχειρήσεων, MBA για στελέχη επιχειρήσεων, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας.

Αξιολόγηση περιβαλλοντικής αποδοτικότητας με τη μέθοδο της περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων. Διπλωματική εργασία Πολυτεχνείου Κρήτης. Αναγνωστάκης, Θ.

Μέτρηση της αποτελεσματικότητας των ελληνικών αεροδρομίων με μη παραμετρικές μεθόδους (DEA). Διπλωματική εργασία. Καλάκου, Σ. (2009)

Μοντέλα λήψης αποφάσεων, Άγγελος Σιφαλέρας, Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής

Περιβάλλουσα ανάλυση δεδομένων- Data envelopment analysis (DEA), Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Κωνσταντίνος Α. Σαϊττης (2015), Πτυχιούχος Μαθηματικός Πανεπιστημίου Πατρών

Χρήση της περιβάλλουσας ανάλυσης δεδομένων για την αποδοτική κάλυψη ή σύμπτυξη ενός συνόλου. Διπλωματική εργασία μεταπτυχιακού προγράμματος MBA «ΝΕΕΣ ΑΡΧΕΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ». Πανεπιστήμιο Πατρών. Τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων. Γεωργαντζίνος, Σ. (2009)

ΠΗΓΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

- Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας
- <https://www.wikipedia.org/>
- <https://www.nap.edu/read/22022/chapter/5#24>
- https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Documents/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Calculator_v10-2017.pdf
- <https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Pages/default.aspx>
- <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/european-aviation-environmental-report-2016-72dpi.pdf>
- https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/envir_policy/media/Primer_Jan2015.pdf
- <https://www.eea.europa.eu/>
- <https://www.news247.gr/epixeiriseis/poia-einai-i-dynami-ton-14-aerodromion-poy-parachorei-i-ellada.6393077.html>
- <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency>
- <http://el.aegeanair.com/aegeancms/Uploads/ptisikaiperivallon2.PDF>
- <http://traveldailynews.gr/columns/article/1652>
- <http://www.aviationnews.gr/analysis.pl?id=142>