

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ  
ΑΕΡΙΩΝ ΡΥΠΩΝ ΑΠΟ ΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ  
ΑΕΡΟΔΡΟΜΙΟΥ ΣΤΟ ΚΑΣΤΕΛΛΙ ΠΕΔΙΑΔΟΣ»**

**ΚΟΥΝΤΑΚΗΣ ΣΤΑΜΑΤΗΣ**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

**Καθ. ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ ΜΙΧΑΗΛ (Επιβλέπων Καθηγητής)**

**Καθ. ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**Επικ. Καθ. ΒΕΝΙΕΡΗ ΔΑΝΑΗ**

**ΧΑΝΙΑ 2014**

## **Ευχαριστίες**

Η ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας υλοποιήθηκε με την υποστήριξη ενός αριθμού ανθρώπων στους οποίους θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου.

Τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μιχάλη Λαζαρίδη κυρίως για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, και την υπομονή που έκανε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της διπλωματικής εργασίας, καθώς και για τη συνεχή καθοδήγηση, τις ουσιώδεις συμβουλές, και την αδιάκοπη συμπαράσταση και ενθάρρυνση που μου παρείχε σε όλο αυτό το διάστημα.

Την Χαλβατζάκη Ελευθερία για την πολύτιμη βοήθεια της σχετικά με το υλικό αλλά και με την διευθέτηση της διπλωματικής μου εργασίας.

Την κα. Γαρυφαλιά Παππά για την παροχή των μετεωρολογικών δεδομένων, από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία(ΕΜΥ).

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου που με την καθημερινή τους συμπαράσταση, την υπομονή τους και την θετική τους σκέψη συνέβαλαν στην εκπλήρωση του στόχου μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση του επιπέδου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκύπτει από τη λειτουργία του πολιτικού αεροδρομίου στη περιοχή του Καστελλίου Πεδιάδος, χρησιμοποιώντας μετεωρολογικά δεδομένα για το έτος 2012. Στη περιοχή προς το παρόν υφίσταται μόνο πολεμικό αεροδρόμιο ενώ υπάρχει σχέδιο για την κατασκευή και πολιτικού αεροδρομίου. Η εκτίμηση λοιπόν των εκπομπών και συγκεντρώσεων των αέριων ρύπων της εργασίας βασίζεται μόνο στην υποτιθέμενη λειτουργία του υπο μελέτη πολιτικού αεροδρομίου της περιοχής.

Οι υπολογισμοί των εκπομπών των αέριων ρύπων που έγιναν είναι προσεγγιστικοί και υπολογίστηκαν με την εφαρμόγη του γκαουσιανού μοντέλου διασποράς ISC3. Με το μοντέλο αυτό γίνεται υπολογισμός των συγκεντρώσεων των ρύπων σε μια περιοχή που περιλαμβάνει το χώρο του αεροδρομίου και απόσταση 10 χιλιόμετρα γύρω από αυτό.

Συγκεκριμένα η εκτίμηση των εκπομπών των αέριων ρύπων έγινε βάση λειτουργίας των αεροσκαφών μέσα στο χώρο του αεροδρομίου που περιλαμβάνει τις φάσεις της προσγείωσης, απογείωσης, καθώς και φάσεις όπου το αεροσκάφος λειτουργεί σε ρυθμούς ρελαντί (τροχοδρομήσεις εξόδου-εισόδου, από και προς τον αεροδιάδρομο).

Επίσης επιλέχθηκε ότι στο συγκεκριμένο αεροδρόμιο γίνεται χρήση ενός είδους αεροπλάνου το οποίο είναι το Boeing 737-800 με κινητήρα CFM56-7B27. Ο κύριος λόγος είναι, για να έχουμε συγκεκριμένους συντελεστές εκπομπής κάθε ρύπου καθώς επίσης και συγκεκριμένη κατανάλωση καυσίμου στη κάθε φάση.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα που επίκρατουςαν καθόλη τη διάρκεια του έτους 2012 στη περιοχή, και τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή του γκαουσιανού μοντέλου ISC3, δώθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία και προέρχονται από τον μετεωρολογικό σταθμό του πολεμικού αεροδρομίου Καστελλίου πεδιάδος.

Η μεθοδολογία αυτή της προγνωστικής εκτίμησης της τοπικής ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τη λειτουργία του αεροδρομίου μπορεί να αποτελέσει κριτήριο για την καταλληλότητα της θέσης του αεροδρομίου στη περιοχή με σκοπό την ασφάλεια και την προστασία της δημόσιας υγείας καθώς και στη πρόληψη της υποβάθμισης του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος.

# Περιεχόμενα

<b>1.Εισαγωγή.....</b>	<b>8</b>
1.1.Γενικά .....	8
1.2.Περιγραφή αεροδρομίου.....	10
1.3.Φάση Κατασκευής-Ατμοσφαιρικό περιβάλλον.....	11
<b>2.Ατμοσφαιρική ρύπανση.....</b>	<b>12</b>
2.1.Γενικά.....	12
2.2.Ανάλυση ρύπων.....	13
2.2.1.Γενικά.....	13
2.2.2.Μονοξείδιο του Άνθρακα.....	14
2.2.3.Υδρογονάνθρακες.....	14
2.2.4.Οξείδια του Αζώτου.....	15
2.2.5.Οξείδια του Θείου.....	16
2.2.6.Αιωρούμενα Σωματίδια.....	16
2.3.Περιγραφή Boeing 737-800.....	17
2.4.Περιγραφή κινητήρα.....	19
<b>3.Περιγραφή μοντέλου ISC3.....</b>	<b>21</b>
3.1.Εισαγωγή.....	21
3.2.Μοντέλο Industrial Source Complex 3– Short Term.....	21
<b>4.Μετεωρολογικά δεδομένα.....</b>	<b>28</b>
4.1.Γενικά.....	28
4.2.Εκτίμηση μετεωρολογικών παραμέτρων.....	28
4.2.1.Εκτίμηση διεύθυνσης.....	29
4.2.2.Εκτίμηση ταχύτητας ανέμου.....	30
4.2.3.Εκτίμηση θερμοκρασίας.....	32

4.2.4.Εκτίμηση κλάσης ευστάθειας.....	32
4.2.5.Εκτίμηση ύψους ανάμιξης.....	34
4.3.Μετεωρολογικά αποτελέσματα.....	39
4.3.1.Διεύθυνση ανέμου.....	39
4.3.2.Ταχύτητα ανέμου.....	40
4.3.3.Θερμοκρασία.....	43
4.3.4.Κλάση ευστάθειας.....	45
4.3.5.Ύψος ανάμιξης.....	50
<b>5.Εκτίμηση Ρύπων από τις Εκπομπές των</b>	
<b>Αεροσκαφών.....</b>	<b>52</b>
5.1.Γενικά.....	52
5.2.Διαστασιολόγηση αεροδρομίου.....	53
5.2.1.Σχεδίαση πηγών τη Θερινή	
και τη Χειμερινή περίοδο.....	55
5.3.Υπολογισμός ρυθμού εκπομπής των αέριων ρύπων.....	61
5.3.1.Εισαγωγή.....	61
5.3.2.Εξισώσεις υπολογισμού εκπομπών των ρύπων.....	62
5.3.3.Υπολογισμός εκπομπής των ρύπων	
Χειμερινής περιόδου.....	66
5.3.4.Υπολογισμός εκπομπών των ρύπων	
Θερικής περιόδου.....	68
5.3.5.Υπολογισμός των ρυθμών εκπομπής των ρύπων.....	69
<b>6.Ανάλυση των συγκεντρώσεων των αερίων</b>	
<b>Ρύπων.....</b>	<b>75</b>
6.1.Γενικά.....	75
6.2.Συμπεράσματα από τα διαγράμματα των μέγιστων τιμών	
συγκέντρωσης των ρύπων.....	76

6.3.Ανάλυση ισορροπιατικών καμπυλών Χειμερινής Περιόδου.....	81
6.4.Ανάλυση Ισορροπιατικών καμπυλών Θερινής Περιόδου.....	91
6.5.Επιπτώσεις αέριων ρύπων στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον της περιοχής.....	101
<b>7.Προτάσεις για τον περιορισμό της ρύπανσης της τοπικής ατμόσφαιρας.....</b>	<b>106</b>
<b>8.Βιβλιογραφία.....</b>	<b>108</b>

## **1.Εισαγωγή**

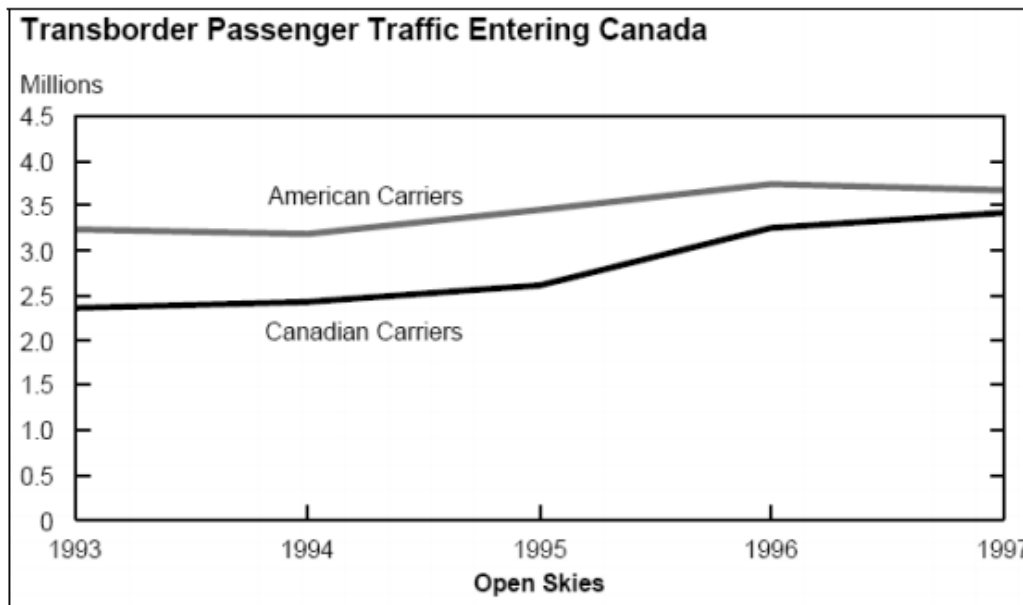
### **1.1.Γενικά**

Η ανάπτυξη των αερομεταφορών έχουν μεγάλη επίδραση στην οικονομία και στην ανάπτυξη μιας χώρας. Μερικοί τομείς στους οποίους επιδρούν θετικά οι αερομεταφορές είναι οι επίγειες μεταφορές, ο τουρισμός, τα καταλύματα, η εστίαση, η διασκέδαση, οι οικονομικές υπηρεσίες τεχνολογίας πληροφορικής ακόμη και η λιανική πώληση. Ταυτόχρονα όμως η δημιουργία και λειτουργία των αεροδρομίων επιβαρύνει το περιβάλλον με διαφόρων ειδών τρόπους όπως είναι, η ρυπανση του ατμοσφαιρικού αέρα, η ηχορύπανση, η μεταβολή των κλιματικών συνθηκών της περιοχής κ.α [Κορμανιώτης Αλέξανδρος, 2012]. Εξετάζοντας σε μεγαλύτερο βάθος τη βιομηχανία των αερομεταφορών γίνεται φανερό πως αποτελεί έναν τομέα που απασχολεί μεγάλο πληθυσμό. Οι αερομεταφορές όπως και οι οδικές μεταφορές επηρεάζουν όσο λίγοι άλλοι μεγάλους τομείς της οικονομίας. Παρατηρώντας αναπτυσσόμενες χώρες όπως την Μαλαισία ή την Ταϊλάνδη εύκολα βλέπει κανείς πως οι αερομεταφορές έχουν σπρώξει στην ραγδαία ανάπτυξή τους.

Επαρκή στοιχεία δείχνουν πως υπάρχει μια κοντινή σχέση μεταξύ της κίνησης των αερομεταφορών και της οικονομικής περιόδου. Έρευνα για το παγκόσμιο ΑΕΠ και την κίνηση των αερομεταφορών, που πραγματοποιήθηκε από το ICAO (International Civil Aviation Organisation), κατά τη διάρκεια 20 ετών περιόδου από το 1975 έως το 1995, έδειξε θετική συσχέτιση μεταξύ του τομέα των αερομεταφορών και της παγκόσμιας ευημερίας.

Σε έρευνα των αποτελεσμάτων της συμφωνίας Η.Π.Α και Καναδά το 1995 «Open Skies», φάνηκε ότι η διμερής συμφωνία πυροδότησε μια αύξηση της κίνησης στα αεροδρόμια κατά ένα εκατομμύριο επιβάτες τον πρώτο χρόνο, μια αύξηση της τάξης του 15%. Η αύξηση αυτή ήταν πέντε φορές μεγαλύτερη από την μέχρι τότε μέση ετήσια αύξηση του 3%. Η αύξηση της κινητικότητας μεταξύ των δύο χωρών ήλπιζε να δώσει ώθηση στις οικονομικές δραστηριότητες των δύο χωρών της τάξης των 15 δισεκκετομύριων δολαρίων αλλά και την δημιουργία χιλιάδων θέσεων εργασίας. Τα δυνατά στοιχεία που προέκυψαν εκ των υστέρων από την έρευνα δείχνουν ότι μια τέτοια συσχέτιση, μια αύξηση στην κίνηση των αερομεταφορών μπορεί να λειτουργήσει ως δείκτης για την οικονομική ανάπτυξη της χώρας.





Πίνακας 1 Διασυνοριακή Κίνηση Προς Καναδά  
Πηγή: Travel Log 1999 Volume 18, Number 3

Οι αερομεταφορές επηρεάζουν κάποιους τομείς όπως είναι η αύξηση των αφίξεων των τουριστών. Οι τουρίστες μαζί τους φέρνουν πολλά χρήματα για να ξοδέψουν,ενισχύοντας τα συναλλαγματικά αποθέματα της χώρας,επίσης δημιουργούν ζήτηση στην κατάλυση,την εστίαση,τις μεταφορές,τη λιανική πώληση καθώς και άλλες υπηρεσίες συνδεδεμένες με τον τουρισμό.

Η αυξημένη κινητικότητα στις αερομεταφορές ενισχύει και τις εξαγωγές. Οι επιχειρήσεις επωφελούνται όταν τα εμπορεύματα μπορούν να μεταφερθούν γρήγορα και σε χαμηλότερο κόστος. Για παράδειγμα οι αερομεταφορές είναι καθοριστικές στη μεταφορά νωπών φρέσκων τροπικών φρούτων από την Λατινική Αμερική και την Καραϊβική στην Ευρώπη. Τα αεροδρόμια δεν λειτουργούν πλέον απλά ως πύλες μετακίνησης αλλά ανγνωρίζονται ως βασικοί παράγοντες για την οικονομική ανάπτυξη, τη δημιουργία θέσεων εργασίας και τη γενικότερη ευημερία. Τα αεροδρόμια προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών υψηλών προδιαγραφών προς άλλες επιχειρήσεις και βιομηχανίες αλλά και τους άμεσους καταναλωτές,ταξιδιώτες [Κορμανιώτης Αλέξανδρος,2012].

Η προσφορά των αεροδρομίων στην οικονομία μέσω της ανάπτυξης των αερομεταφορών είναι φανερή από τα παραπάνω.

**Ποιά όμως είναι η επίδραση των αεροδρομίων στο περιβάλλον των περιοχών που έχει αναπτυχθεί το αεροδρόμιο και την ευρύτερη περιοχή;**

Οι αερομεταφορές εμπλέκουν μεγάλο φάσμα λειτουργιών και υπηρεσιών που επιβαρύνουν ή επιδρούν στο περιβάλλον όπως η λειτουργία των αεροσκαφών, η λειτουργία οχημάτων του αεροδρομίου αλλά και των συσσωρευμένων οχημάτων επιβατών, η λειτουργία του επίγειου εξοπλισμού του αεροδρομίου (Ground Service Equipment – GSE), ο καθαρισμός και η συντήρηση των αεροσκαφών, των GSE και οχημάτων. Άλλοι επιβλαβείς παράγοντες είναι οι διαδικασίες αποπάγωσης και αποφυγής τήξης των αεροσκαφών και αεροδιαδρόμων, η τροφοδοσία των αεροσκαφών και οχημάτων με καύσιμα καθώς και η αποθήκευση καυσίμων διαδικασίες συντήρησης και λειτουργίας των εγκαταστάσεων των αεροδρομίων και οικοδομικές εργασίες που συνδιάζονται με την κατασκευή των αεροδρομίων ή την επέκτασή τους.

## **1.2.Περιγραφή αεροδρομίου**

Η εργασία αναφέρεται στη λειτουργία του νέου Αεροδρομίου στο Καστέλλι του Νομού Ηρακλείου στην Κρήτη. Ο υπό μελέτη λοιπόν Νέος Αερολιμένας Καστελίου (**εικόνα.1**) βρίσκεται στο μέσο του Ανατολικού τμήματος του Νομού Ηρακλείου, σε απόσταση περίπου 35 Km νοτιοανατολικά από την πόλη του Ηρακλείου και χωροθετείται πλησίον του υφιστάμενου στρατιωτικού αεροδρομίου. Διοικητικά υπάγεται εντός των ορίων των Δήμων Καστελίου και Αρκαλοχωρίου.

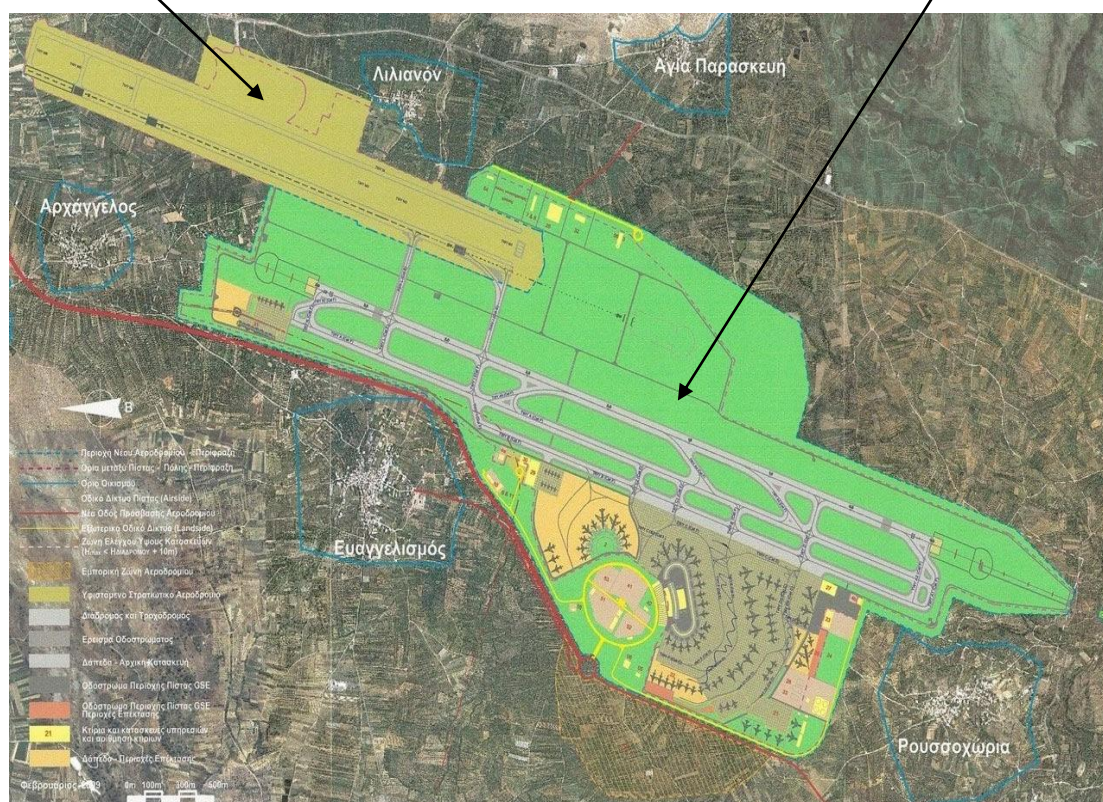
Ο διάδρομος του νέου αεροδρομίου προβλέπεται παράλληλος προς τον στρατιωτικό διάδρομο σε απόσταση 450 m προς τα δυτικά με το κέντρο του μετατιθέμενο κατά 2.300 m προς νότο σε σχέση με το κέντρο του στρατιωτικού αεροδρομίου. Θα έχει μήκος 3800 m και δίπλα του θα εκτείνεται διπλός παράλληλος τροχόδρομος κατηγορίας 4F, καθώς και δύο κάθετοι σε αυτόν τροχόδρομοι κατηγορίας 4E.

Όλες οι εγκαταστάσεις επί του εδάφους και λειτουργίες του νέου αεροδρομίου προβλέπονται ανεξάρτητες από το στρατιωτικό αεροδρόμιο με εξαίρεση τον

Πύργο Ελέγχου και τις εγκαταστάσεις Ελέγχου Εναέριας Κυκλοφορίας, που θα είναι κοινά.

**Στρατιωτικό αεροδρόμιο**

**Νέο πολιτικό αεροδρόμιο**



Εικόνα.1 Προτεινόμενη θέση του νέου αεροδρομίου στο Καστέλλι

### 1.3.Φάση Κατασκευής -Ατμοσφαιρικό περιβάλλον

Οι πηγές αέριας ρύπανσης κατά την διάρκεια της κατασκευής του έργου σχετίζονται με τις εξής παραμέτρους: τις εκτεταμένες χωματουργικές εργασίες, τη λειτουργία των μηχανημάτων του εργοταξίου που θα χρησιμοποιηθούν σε διάφορες φάσεις της κατασκευής, την κυκλοφορία των βαρέων οχημάτων στο οδικό δίκτυο (φορτηγά, ανατρεπόμενα, εκσκαπτικά κλπ.)

Οι εκπομπές αερίων ρύπων από τις παραπάνω δραστηριότητες κατασκευής του έργου είναι αφενός η εκπομπή καυσαερίων των μηχανημάτων του εργοταξίου και των φορτηγών μεταφοράς υλικών, και αφετέρου η σκόνη που εκπέμπεται από τις χωματουργικές εργασίες. Κατά την κατασκευαστική περίοδο οι εκπομπές αερίων ρύπων του υπό μελέτη αερολιμένα, θα είναι σε

αμελητέα επίπεδα. Όσον αφορά τη σκόνη που παράγεται από τις ανωτέρω κατασκευαστικές δραστηριότητες, εκτιμάται εμπειρικά ότι στην άμεση περιοχή του έργου θα υπάρξουν μικρής έκτασης επιπτώσεις από τη σκόνη, οι οποίες αξιολογούνται ως μη σημαντικές, παροδικές και μερικώς αναστρέψιμες με τη λήψη κατάλληλων μέτρων (*Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων αεροδρομίου Καστελλίου, 2009*). Στην παρούσα όμως εργασία δεν θα γίνει περεταίρω ανάλυση των εκπομπών για τη φάση αυτή.

## **2.Ατμοσφαιρική ρύπανση**

### **2.1.Γενικά**

Οι αεροπορικές μεταφορές επηρεάζουν με δύο τρόπους την ποιότητα της ατμόσφαιρας στην περιοχή επιρροής του αεροδρομίου. Πρώτον λειτουργεί σαν πόλος έλξης κυκλοφοριακής φόρτισης στα οδικά δίκτυα της περιοχής και επιβαρύνεται έτσι η ατμοσφαιρική ρύπανση. Δεύτερον λόγω των αεροπορικών κινήσεων, ειδικά κατά τις φάσεις προσγείωσης και απογείωσης, οι οποίες πραγματοποιούνται είτε σε μικρή απόσταση, είτε σε επαφή με το έδαφος, εκπέμποντας σημαντικές ποσότητες ρύπων, οι οποίες ενδέχεται να δημιουργήσουν τοπικό πρόβλημα, ορισμένες τουλάχιστον ώρες αιχμής κίνησης του αεροδρομίου. Κατά τις φάσεις τροχοδρόμησης και αναμονής των αεροσκαφών εκπέμπονται σε μεγάλη ποσότητα CO και υδρογονάνθρακες και τούτο διότι οι προαναφερθέντες ρύποι αποτελούν προϊόντα ατελών καύσεων και οι κινητήρες των αεροπλάνων κατά τις ανωτέρω φάσεις λειτουργούν με μικρότερη απόδοση. Κατά τις φάσεις απογείωσης και αναρρίχησης του κύκλου λειτουργίας των αεροσκαφών εκπέμπονται σε μεγαλύτερη ποσότητα NOx τα οποία σχηματίζονται κατά την οξείδωση του ατμοσφαιρικού αζώτου στις υψηλές θερμοκρασίες καύσεως των κινητήρων των αεροσκαφών (*Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων αεροδρομίου Καστελλίου, 2009*). Επιπλέον κατά τη διάρκεια της κίνησης των αεροπλάνων έχουμε εκπομπές διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) το οποίο πρόκειται για ένα επιβλαβές ανόργανο αέριο. Τα καύσιμα των αεροπλάνων περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις θείου, περίπου 1000 ppm. Συγκρινόμενα, η περιεκτικότητα σε θείο στα καύσιμα ντίζελ είναι 10 ppm, δηλαδή περίπου 100 φορές μικρότερη από ότι στα καύσιμα των

αεροπλάνων. Στις περισσότερες μηχανές εσωτερικής καύσης το θείο οξειδώνεται, και ελευθερώνεται από τον κινητήρα ως SO<sub>2</sub>. Οι Κινητήρες αεροσκαφών είναι μια βασική πηγή για SO<sub>2</sub> στα αεροδρόμια [Βλασακούδης,2011].

Ένας ακόμα ρύπος που μελετάμε είναι και τα αιωρούμενα σωματίδια (PM),που συχνά στη βιβλιογραφία αναφέρονται και ως αεροζόλ. Τα σωματίδια αυτά μπορούν να παρουσιάσουν μια τάση συσσωμάτωσης, καθώς και την ικανότητα να μεταφέρουν διάφορες χημικές ενώσεις ή και βιολογικούς ρυπαντές που προσκολλώνται πάνω τους [Λαζαριδης.2005].

Τέλος για τον υπολογισμό των εκπομπών όλων αυτών των αέριων ρύπων χρησιμοποιείται ένα είδος αεροσκάφους που χρησιμοποιεί ένα συγκεκριμένο είδος κινητήρα.Αυτό γίνεται γιατί κάθε αεροσκάφος έχει διαφορετικό είδος κινητήρα και κατά συνέπεια διαφορετικούς συντελεστές εκπομπής για τους ρύπους,από τους άλλους κινητήρες. Λόγω έλλειψης λοιπόν πληροφοριών σχετικά με τις ταυτότητες κινητήρων που είναι προσαρμοσμένοι σε κάθε αεροσκάφος ξεχωριστά και για λόγους ελαχιστοποίησης της πολυπλοκότητας, η μελέτη αερίων εκπομπών εφαρμόζεται για ένα τύπο κινητήρα. Στην παρούσα λοιπόν εργασία επιλέξαμε το Boeing 737-800 ως τύπο αεροσκάφους που λειτουργεί με τον τύπο κινητήρα CFM56-7BE.

## **2.2.Ανάλυση ρύπων**

### **2.2.1.Γενικά**

Οι ρύποι που μελετώνται στη παρούσα μελέτη είναι, το Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO), οι Υδρογονάνθρακες (HC), τα Οξείδια του Αζώτου (NO<sub>x</sub>), τα Αιωρούμενα Σωματίδια (PM<sub>10</sub>) και το διοξείδιο του Θείου (SO<sub>2</sub>). Αυτοί αποτελούν τους κυριότερους ρύπους γνωστοί και ως συμβατικοί ρύποι, που καθορίζουν την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα.

### **2.2.2.Μονοξείδιο του Άνθρακα**

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα από τα προϊόντα της καύσεως της οργανικής ύλης υπό συνθήκες περιορισμένης παροχής οξυγόνου, το οποίο αποτρέπει την πλήρη οξείδωση σε διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ). Είναι άχρωμο και άοσμο αέριο. Οι συνθήκες περιορισμένης παροχής οξυγόνου, εμφανίζονται σε στάδια λειτουργίας αεροσκαφών κάτω από χαμηλή ώθηση, δηλαδή σε χώρους ρελαντί και τροχοδρόμησης. Η έκθεση σε μεγάλες συγκεντρώσεις μπορεί να οδηγήσει σε δηλητηρίαση, ακόμη και σε θάνατο. Τα συχνότερα συμπτώματα της δηλητηρίασης από μονοξείδιο του άνθρακα είναι πονοκέφαλος, ζαλάδα, αδυναμία, ναυτία και εμετός, πόνος στο στήθος και σύγχυση. Έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια των αισθήσεων και θάνατο. Ο μηχανισμός της δηλητηρίασης από μονοξείδιο του άνθρακα περιγράφεται ακολούθως. Η αιμοσφαιρίνη που βρίσκεται μέσα στα ερυθρά αιμοσφαίρια συνδέεται πιο γρήγορα και αποτελεσματικά με το μονοξείδιο του άνθρακα παρά με το οξυγόνο. Αν υπάρχει αυξημένη συγκέντρωση CO στην ατμόσφαιρα, τότε μεγάλο ποσοστό των ερυθρών αιμοσφαιρίων θα μεταφέρει μονοξείδιο του άνθρακα αντί το οξυγόνο που χρειάζονται όλοι οι ανθρώπινοι ιστοί για να λειτουργήσουν. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη των ιστών, ακόμη και σε θάνατο [Οικονομόπουλος, 2000]. Τα όρια ασφαλείας που έχουν τεθεί από τον Π.Ο.Υ για το μονοξείδιο του άνθρακα είναι τα  $10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### **2.2.3.Υδρογονάνθρακες**

Οι υδρογονάνθρακες αποτελούν όλες τις οργανικές ενώσεις που περιλαμβάνουν άνθρακα και υδρογόνο. Εκπροσωπούνται από το γενικό χημικό τύπο  $\text{C}_x\text{H}_y$ . Συναντώνται σε πολλές μορφές στη φύση, είτε ως ευθείες αλυσίδες ή διακλαδισμένες, κορεσμένοι ή ακόρεστοι, κυκλικοί ή πολυκυκλικοί και αντιδρούν με άλλα στοιχεία όπως οξυγόνο, χλώριο, άζωτο, θείο σχηματίζοντας ένα μεγάλο φάσμα παραγώγων. Οι υδρογονάνθρακες που παίζουν καταλυτική σημασία στην ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζονται αέριοι και πτητικοί υδρογονάνθρακες και είναι αυτοί που περιέχουν λιγότερα από δώδεκα άτομα άνθρακα. Υδρογονάνθρακες με μεγαλύτερο μοριακό

βάρος, βρίσκονται στην ατμόσφαιρα σε μορφή αιωρούμενων σωματιδίων [Οικονομόπουλος, 2000]. Οι συντελεστές εκπομπής των υδρογονανθράκων που υπολογίζονται από τον Διεθνή Οργανισμό Πολιτικής Αεροπορίας (ΔΟΠΑ) προκύπτουν από μέτρηση όλων των ολικών πτητικών οργανικών ενώσεων (VOC) συμπεριλαμβανομένου και το μεθανίου [ICAO Engine Standards, 2003]. Η ανάλυση των υδρογονανθράκων σε πολλές πολύπλοκες ενώσεις και η ταυτοποίηση αυτών δεν έχει πραγματοποιηθεί για κινητήρες αεροσκαφών, με συνέπεια ο συντελεστής εκπομπής να περιλαμβάνει σε μια κατηγορία όλες τις ολικές οργανικές ενώσεις (THC). Δεν υπάρχουν σαφή θεσμοθετημένα όρια ασφαλείας, με την Αμερικάνικη Υπηρεσία Περιβάλλοντος να θέτει ως όρια τα  $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### **2.2.4.Οξείδια του Αζώτου**

Με τον όρο οξείδια του αζώτου γίνεται αναφορά στο αέριο μίγμα που αποτελείτε από μονοξείδιο του αζώτου (NO) και διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>). Το σύνολο τους συμβολίζεται ως NO<sub>x</sub>. Το NO είναι άχρωμο, άγευστο, άοσμο και μη τοξικό αέριο. Το NO<sub>2</sub> ανάλογα με τη συγκέντρωση έχει χρώμα από ελαφρά κίτρινο ως ερυθροκαστανό και έντονη ερεθιστική οσμή. Εξ αιτίας της υψηλής οξειδωτικής του κατάστασης είναι εξαιρετικά τοξικό και διαβρωτικό. Το άζωτο(N<sub>2</sub>) και το οξυγόνο(O<sub>2</sub>) σε κανονικές θερμοκρασίες δεν αντιδρούν. Σε θερμοκρασίες καύσης όμως αντιδρούν και σχηματίζουν οξείδια του αζώτου, στα οποία το παραγόμενο ποσοστό του NO σε σχέση με το NO<sub>2</sub> θα είναι ανάλογο με τη θερμοκρασία της καύσης. Το NO μπορεί να αντιδράσει επιπλέον με O<sub>2</sub> ή με φωτοχημική αντίδραση με όζον και να οξειδωθεί σε NO<sub>2</sub> [Οικονομόπουλος, 2000]. Συνεπάγεται ότι η αναλογία παραγωγής NO και NO<sub>2</sub> παρουσιάζει εποχιακές διακυμάνσεις με τις εκπομπές του NO να είναι μεγαλύτερες το χειμώνα λόγω ταχείας ψύξης των καυσαερίων ενώ το καλοκαίρι το NO<sub>2</sub> είναι αυξημένο λόγω της άφθονης ηλιακής ακτινοβολίας που συμβάλλει στη μετατροπή του NO σε NO<sub>2</sub>. Όσον αφορά τα αεροσκάφη έχει αποδειχθεί ότι μεγαλύτερη παραγωγή NO<sub>2</sub> από οξείδια του αζώτου παρατηρούνται σε λειτουργίες χαμηλής ώθησης (ρελαντί και τροχοδρόμηση), ενώ σε λειτουργίες με υψηλή ώθηση (απογείωση) έχουμε μεγαλύτερη

παραγωγή NO. Τέλος, σύμφωνα με πειραματικές μετρήσεις σε κινητήρα CFM56 σε συνθήκες χαμηλής ώθησης, έχει αποδειχθεί ανεξάρτητα από την ύπαρξη όζοντος, ότι κάτω από 916 μέτρα ύψος, το 25% των NOx μετατρέπεται σε NO<sub>2</sub>, ενώ κάτω από 153 μέτρα ύψος το αντίστοιχο ποσοστό αγγίζει το 50% [Ezra C.Wood]. Τα θεσμοθετημένα όρια για το διοξείδιο του αζώτου είναι σύμφωνα με την Ε.Ε. στα 200 μg/m<sup>3</sup>. [Ανδρεοπούλου, 2010] .

### 2.2.5.Οξείδια του Θείου

Τα οξείδια του θείου προέρχονται από καύση φυσικών καυσίμων που περιέχουν ανόργανα σουλφίδια και οργανικές ενώσεις του θείου. Το διοξείδιο του θείου είναι ένα άχρωμο αέριο. Ο εντοπισμός του μπορεί να επιτευχθεί με τη μυρωδιά ή τη γεύση σε συγκεντρώσεις 0,38 – 1,15 ppm. Υπολογίζεται ότι το καύσιμο που χρησιμοποιείται στην αεροπλοΐα περιέχει ένα ποσοστό σουλφιδίων 5% [CICERO, 2004].

Επανεπιλημμένη βραχυπρόθεσμη έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις σε συνδυασμό με μακρόχρονη έκθεση σε χαμηλότερες συγκεντρώσεις προκαλεί χρόνια βρογχίτιδα, ιδιαίτερα σε καπνιστές. Το όριο ασφαλείας που θεσμοθετείται από τη Π.Ο.Υ για 24ωρη έκθεση είναι 125 μg/μ<sup>3</sup>.

### 2.2.6.Αιωρούμενα Σωματίδια

Ο όρος αιωρούμενα σωματίδια αναφέρεται σε σωματίδια στερεής ή υγρής φάση που μπορούν να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα και έχουν διαμέτρους από 2 nm έως 200 μm [Λαζαρίδης, 2005]. Το μέγεθος των σωματιδίων συνήθως εκφράζεται με την ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρο που αντιστοιχεί σε σφαιρικό σωματίδιο με πυκνότητα 1g/m<sup>3</sup> και ίδια ταχύτητα καθίζησης με το υπό εξέταση σωματίδιο.

Για την εκτίμηση της έκθεσης του πληθυσμού στις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των σωματιδίων έχει γίνει η κατηγοριοποίηση τους σε PM<sub>10</sub> και PM<sub>2,5</sub>, όπου ο δείκτης αναφέρεται στη μέγιστη αεροδυναμική διάμετρο (μm) των σωματιδίων. Ο διαχωρισμός τους σχετίζεται με τη δυνατότητα των PM<sub>2,5</sub> να διεισδύουν στο αναπνευστικό σύστημα.



Οι συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων  $PM_{10}$  σε αστικές περιοχές στην Ευρώπη το χειμώνα έχουν μέσες τιμές μικρότερες των  $20-30 \mu g/m^3$ . Στη Δυτική Ευρώπη τα επίπεδα είναι υψηλότερα ( $40-50 \mu g/m^3$ ) με μόνο μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών (Λαζαρίδης, 2005). Αυτό τα καθιστά σε περιπτώσεις τοξικά και συνεπώς βλαβερά για το αναπνευστικό σύστημα. Επιπροσθέτως, τα μη τοξικής προέλευσης αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν αρνητικά το αναπνευστικό, επιτρέποντας τα μικρής διαμέτρου σωματίδια να εισχωρήσουν στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα δημιουργώντας χρόνιες ασθένειες των πνευμόνων. Στο αναπνευστικό σύστημα εισέρχονται σωματίδια, κυρίως με διάμετρο μικρότερη των  $10 \mu m$ . Όσο μικραίνει η διάμετρος, πραγματοποιείται εισχώρηση στους κατώτερους αεραγωγούς και τις κυψελίδες [Οικονομόπουλος, 2000].

Το όριο ασφαλείας που έχει τεθεί για τα αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των  $10 \mu m$  είναι  $50 \mu g/m^3$  το οποίο δεν πρέπει να ξεπερνιέται πάνω από 35 φορές σε ετήσια συχνότητα [Ανδρεοπούλου, 2010].

### 2.3.Περιγραφή Boeing 737-800



Εικόνα.2 Boeing 737-800

Το Boeing 737-800 είναι η καλύτερη σε πωλήσεις έκδοση της επιτυχημένης Next-Generation 737. Μπορεί να φιλοξενήσει μέχρι 189 επιβάτες, να πετάξει 260 ναυτικά μίλια μακρύτερα και να καταναλώνει 7 τοις εκατό λιγότερο καύσιμο. Έχει μήκος 39,5m, άνοιγμα φτερών 35,8m, ύψος ουράς 12,5m και πλάτος καμπίνας 3,5m.

Το 737-800 ξεκίνησε στις 5 του Σεπτεμβρίου του 1994, με τις δεσμεύσεις από τους πελάτες για πάνω από 40 αεροπλάνα. Η πρώτη παράδοση ήταν στο φορέα γερμανική Harpag-Lloyd, την άνοιξη του 1998. Στις 13 Μαρτίου 1998, το 737-800 κερδίζει την πιστοποίηση τύπου από την αμερικανική Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Αεροπορίας JAA. Η επικύρωση τύπου των 737-800 ακολούθησε στις 9 Απριλίου 1998.

Τον Απρίλιο του 2009, η Boeing και η CFM εισήγαγε το New CFM56-7BE κινητήρα με πρόγραμμα βελτίωσης που μειώνει την κατανάλωση καυσίμου κατά δύο τοις εκατό.

Ο Κινητήρας CFM βελτιώνει την ροή του αέρα, λειτουργεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες με αποτέλεσμα τη μείωση στην κατανάλωση καυσίμου και επιπλέον παρέχει έως τέσσερα τοις εκατό χαμηλότερο κόστος συντήρησης. Οι συνδυασμένες βελτιώσεις επίσης αντιστοιχούν και σε δύο τοις εκατό μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα.

Εν συνεχεία το Boeing 737-800 ενσωματώνει μια προηγμένη τεχνολογία φτερού που βοηθά στην αύξηση της παραγωγικής ικανότητας και της αποδοτικότητας των καυσίμων. Η προηγμένης σχεδίασης αεροτομή παρέχει μια οικονομική ταχύτητα πλεύσης των 0.789 Mach (530 mph) - σε σύγκριση με 0.745 Mach για τα προηγούμενα 737 μοντέλα.

Τέλος, τα προηγμένης τεχνολογίας Blended Winglets(είδος πτερυγίων) προσφέρονται ως επιλογή παραγωγής για το 737-800. Αυτές οι επεκτάσεις wingtip θα ενίσχυσουν, το εύρος κατά 8 πόδια, την αποδοτικότητα των καυσίμων, την επίδοση της απογείωσης, ενώ θα έχουμε και μείωση, των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, του κόστους συντήρησης του κινητήρα καθώς και του θορύβου. Τα οφέλη απόδοσης περιλαμβάνουν την

κατανάλωση καυσίμων και τις μειώσεις εκπομπών έως 3,5 τοις εκατό [Delta Virtual Airlines,2013].

## 2.4.Περιγραφή κινητήρα



**Εικόνα.3 Κινητήρας CFM56-7B26**

Κάθε αεροπορική εταιρία έχει στη διάθεση της μεγάλη ποικιλία σε τύπους αεροσκαφών. Κάθε τύπος είναι δυνατόν να προσαρμόσει πολλά μοντέλα κινητήρων από διαφορετικές εταιρίες κατασκευής. Ο κινητήρας που επιλέχθηκε είναι της εταιρίας CFM International με ταυτοποίηση μοντέλου CFM56-7B26. Πρόκειται για υποηχητικό κινητήρα κατηγορίας TF και αποτελεί τον πιο διαδεδομένο κινητήρα ευρέως χρησιμοποιούμενο σε αεροσκάφη 737-800. Συγκεντρωτικές πληροφορίες γι αυτό τον κινητήρα παρέχονται στην παρακάτω εικόνα όπως εκτίθεται από το Διεθνή Οργανισμό Πολιτικής Αεροπορίας [ICAO ENGINE EXHAUST EMISSIONS DATA BANK, 2012]:



# ICAO ENGINE EXHAUST EMISSIONS DATA BANK

## SUBSONIC ENGINES

ENGINE IDENTIFICATION: CFM56-7B27/2      BYPASS RATIO: 5  
 UNIQUE ID NUMBER: 4CM043      PRESSURE RATIO ( $\pi_{00}$ ): 28.84  
 ENGINE TYPE: TF      RATED OUTPUT ( $F_{00}$ ) (kN): 121.44

### REGULATORY DATA

CHARACTERISTIC VALUE:	HC	CO	NOx	SMOKE NUMBER
$D_p/F_{00}$ (g/kN) or SN	13.1	82.7	40.5	0.8
AS % OF ORIGINAL LIMIT	66.7 %	70.1 %	41.5 %	3.7 %
AS % OF CAEP/2 LIMIT (NOx)			51.8 %	
AS % OF CAEP/4 LIMIT (NOx)			62.2 %	

### DATA STATUS

- PRE-REGULATION
- x CERTIFICATION
- REVISED (SEE REMARKS)

### TEST ENGINE STATUS

- x NEWLY MANUFACTURED ENGINES
- DEDICATED ENGINES TO PRODUCTION STANDARD
- OTHER (SEE REMARKS)

### EMISSIONS STATUS

- x DATA CORRECTED TO REFERENCE  
(ANNEX 16 VOLUME II)

### CURRENT ENGINE STATUS

- (IN PRODUCTION, IN SERVICE UNLESS OTHERWISE NOTED)
- OUT OF PRODUCTION
  - OUT OF SERVICE

### MEASURED DATA

MODE	POWER SETTING (% $F_{00}$ )	TIME minutes	FUEL FLOW kg/s	EMISSIONS INDICES (g/kg)			SMOKE NUMBER
				HC	CO	NOx	
TAKE-OFF	100	0.7	1.265	0.05	0.54	20.81	-
CLIMB OUT	85	2.2	1.033	0.06	1.97	15.59	-
APPROACH	30	4.0	0.351	4.21	24.28	7.53	-
IDLE	7	26.0	0.115	5.56	38.73	4.36	-
LTO TOTAL FUEL (kg) or EMISSIONS (g)			453	1363	9291	4648	-
NUMBER OF ENGINES				3	3	3	3
NUMBER OF TESTS				3	3	3	3
AVERAGE $D_p/F_{00}$ (g/kN) or AVERAGE SN (MAX)				11.21	76.46	38.23	0.75
SIGMA ( $D_p/F_{00}$ in g/kN, or SN)				-	-	-	-
RANGE ( $D_p/F_{00}$ in g/kN, or SN)				10.1-12.3	72.7-80.4	37.9-38.8	0.3-1.6

Εικόνα.4 [ ICAO ENGINE EXHAUST EMISSIONS DATA BANK, 2012]

Όπως παρατηρούμε από τον πίνακα μέτρησης των δεδομένων (measure data) ανάλογα με τα ποσοστά ώθησης κινητήρα [**Power Setting, (%F)**] σε κάθε φάση (**Mode:Take-off, Climp out, Approach, Idle**), προκύπτουν τιμές ρυθμού ροής καυσίμου (**fuel flow**) και συντελεστών εκπομπής ρύπων (**emissions indices**). Τα στοιχεία αυτά είναι απαραίτητα για τον προσδιορισμό της μάζας των αέριων εκπομπών και κατ' επέκταση του ρυθμού αέριων εκπομπών. Οι παράμετροι που προκύπτουν από τα ποσοστά ώθησης διαφέρουν ανάλογα με την κατασκευαστική εταιρία και τη κατηγορία του κινητήρα.

### **3.Περιγραφή μοντέλου ISC3**

#### **3.1.Εισαγωγή**

Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται ανάλυση της εφάρμογής του μοντέλου Industrial Source Complex (ISC3) το οποίο χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων αέριων εκπομπών που εκλύονται από τις λειτουργίες των αεροσκαφών και δημιουργήθηκε από την Αμερικάνικη υπηρεσία προστασίας περιβάλλοντος(U.S.EPA).Το συγκεκριμένο μοντέλο εφαρμόζεται με δύο τρόπους, βραχυπρόθεσμα(Industrial Source Complex-Short Term),και μακροπρόθεσμα(Industrial Source Complex-Long Term).Στη συγκεκριμένη εργασία γίνεται εφαρμογή του βραχυπρόθεσμου τύπου.

#### **3.2 Μοντέλο Industrial Source Complex 3– Short Term**

Αρχικά το μοντέλο αυτό χρησιμοποιεί, μιας σταθερής κατάστασης,εξίσωση θυσάνου του Gauss(EPA,1995). Οι τύποι των πηγών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν απ'αυτό το μοντέλο είναι, σημειακές,επιφανειακές και όγκου.Στην συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιείται επιφανειακή πηγή. Για την εκτέλεση του μοντέλου απαιτούνται δύο αρχεία εισαγωγής δεδομένων το Deptest.INP, και το Deptest.MET.

Αρχικά δημιουργείται το μετεωρολογικό αρχείο το οποίο αποτελείται από ωριαίες μετεωρολογικές παραμέτρους από το μετεωρολογικό σταθμό του πολεμικού αεροδρομίου του Καστελλίου. Το αρχείο εισάγεται στο αρχείο Deptest.Met και περιλαμβάνει τα εξής:

- Έτος
- Μήνας
- Ημέρα
- Ώρα
- Διεύθυνση Ανέμου
- Ταχύτητα Ανέμου
- Θερμοκρασία
- Κλάση Ευστάθειας
- Ύψος Ανάμιξης
- Ξηρή εναπόθεση που περιλαμβάνει τα εξής:(ταχύτητα τριβής, μήκος Monin Obukhov, μήκος τραχύτητας). Η συγκεκριμένη παράμετρος λαμβάνεται υπόψιν μόνο για την εκτίμηση των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων των  $PM_{10}$  που εκλύονται από τις λειτουργίες των αεροσκαφών.

Συγκεκριμένα το πώς ακριβώς εισάγονται τα παραπάνω δεδομένα φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν.

#### ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ ΓΙΑ ISC3-ST

3928	87	13996	87
87 1 1 1	247.5000	6.3000	289.1 4
87 1 1 2	225.0000	6.1667	288.9 4
87 1 1 3	266.3000	6.7667	289.3 4
87 1 1 4	270.0000	6.9667	289.0 4
87 1 1 5	270.0000	6.9000	288.8 4
87 1 1 6	270.0000	6.3667	288.8 4
87 1 1 7	270.0000	6.6333	288.5 4
87 1 1 8	266.3000	6.5000	288.1 4
87 1 1 9	270.0000	6.7667	289.7 4

**Σχόλιο [U1]:** ΟΙ ΚΩΔΙΚΟΙ ΤΟΥ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ

**Σχόλιο [U2]:** Έτος

**Σχόλιο [U3]:** Μήνας

**Σχόλιο [U4]:** Ημέρα

**Σχόλιο [U5]:** Ώρα

**Σχόλιο [U6]:** FLOW VECTOR. Για παράδειγμα εάν η διεύθυνση άνεμου είναι 90 η flow vector είναι 270.

**Σχόλιο [U7]:** Ταχύτητα άνεμου σε m/s.

**Σχόλιο [U8]:** Θερμοκρασία σε Kelvin.

**Σχόλιο [U9]:** Κλάση ευστάθειας

**Σχόλιο [U10]:** Ύψος ανάμιξης αγροτικό και αστικό

Εικόνα.5 Εισαγωγή δεδομένων στο μετεωρολογικό αρχείο του ISC3-ST

#### ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ ΓΙΑ ISC3-ST ΜΕ ΞΗΡΗ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ

3928	87	13996	87
87 1 1 1	247.5000	19.3000	289.1 4
87 1 1 2	225.0000	13.1667	288.9 4
87 1 1 3	266.3000	22.7667	289.3 4
87 1 1 4	270.0000	21.9667	289.0 4

**Σχόλιο [U1]:** Ταχύτητα τριβής σε m/s.

**Σχόλιο [U2]:** Μήκος Monin-Obukhov σε m.

**Σχόλιο [U3]:** Μήκος τραχύτητας της επιφάνειας σε m.

**Σχόλιο [U4]:** ΑΥΤΑ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΎΓΡΗ ΑΠΟΘΕΣΗ.

Εικόνα.6 Συμπληρωματικά δεδομένα στο μετεωρολογικό αρχείο του ISC3-ST με ξηρή εναπόθεση

Αφού λοιπόν ολοκληρωθεί το μετεωρολογικό αρχείο (Deptest.Met),ακολουθεί η δημιουργία του κυρίως αρχείου του μοντέλου (Deptest.INP),το οποίο περιλαμβάνει παραμέτρους όπως:

- Ορισμός του ύψους αποδέκτη των εκπομπών (1,5m)
- Ορισμός του ύψους των μετεωρολογικών παρατηρήσεων πάνω από το επίπεδο του εδάφους (10m)
- Τις αποστάσεις του αποδέκτη από την πηγή όπου θα υπολογιστούν οι συγκεντρώσεις. Ορίζονται αποστάσεις από 0 έως 10000 μέτρα.
- Διαστασιολόγηση των επιφανειακών πηγών που εισάγονται στο Deptest.INP

Σε αυτό το σημείο περιλαμβάνονται όλες οι διαστασιολογημένες επιφανειακές πηγές, όλων των λειτουργιών του αεροσκάφους στους χώρους του αεροδρομίου, κάθε μία εκ των οποίων χαρακτηρίζεται από:

- i. Σημεία ορισμού της επιφάνειας στο χώρο μελέτης ( $X_s, Y_s, Z_s$ ) (m)
- ii. Το μήκος της πηγής από βορρά προς νότο ( $X_{init}$ ) (m)
- iii. Το μήκος της πηγής από ανατολή προς δύση ( $Y_{init}$ ) (m)
- iv. Τη γωνία που σχηματίζει η επιφάνεια με τη βόρεια διεύθυνση ( $30^\circ$ )
- v. Το ύψος απελευθέρωσης των εκπομπών (2,5m)
- vi. Το ρυθμό εκπομπής που συντελείται στην επιφάνεια η οποία διαφέρει για κάθε λειτουργία του αεροσκάφους.

Ο τρόπος με τον οποίο τοποθετούνται στο κυρίως αρχείο οι παραπάνω παπαράμετροι,φαίνεται αναλυτικά στις παρακάτω εικόνες.



## ISC3-ST INPUT FILE

### CO STARTING

TITLEONE A PROJECT for the ISCST Model

MODELOPT RURAL CONC

AVERTIME 24

POLLUTID PM10

FLAGPOLE 1.5

RUNORNOT RUN

### CO FINISHED

### SO STARTING

\*\* SRCID SRCTYP XS YS ZS

\*\* -----

SO LOCATION 1 AREA 0 0 0

\*\* SRCID QS HS XINIT YINIT angle

\*\* -----

SO SRCPARAM 1 0.000321 2.1 81 30. 5

SO SRCGROUP ALL

### SO FINISHED

### RE STARTING

GRIDPOLR POL1 STA

POL1 ORIG 0 0

POL1 DIST 100 200 300 500 1000

POL1 GDIR 36. 10. 10.

POL1 END

**Σχόλιο [U1]:** Τίτλος που ορίζεται από το χρήστη. Επίσης μπορεί να εισαχθεί ένας δεύτερος τίτλος με τη λέξη TITLETWO

**Σχόλιο [U2]:** Βρισκόμαστε σε αγροτική περιοχή. Στην περίπτωση που είναι αστική περιοχή γράφουμε urban αντί για rural.

**Σχόλιο [U3]:** οι υπολογισμοί που επιθυμούμε είναι τιμές συγκεντρώσεων.

**Σχόλιο [U4]:** ορίζουμε την χρονική διάρκεια για την οποία επιθυμούμε να γίνουν οι υπολογισμοί.

**Σχόλιο [U5]:** εισάγουμε τον ρύπο που θέλουμε να εξετάσουμε.

**Σχόλιο [U6]:** Ύψος αποδέκτη.

**Σχόλιο [U7]:** ορίζουμε ότι θέλουμε να γίνουν οι υπολογισμοί με την επιλογή RUN.

**Σχόλιο [U8]:** ο κωδικός της πηγής σε αυτή την περίπτωση 1. Για να ξεχωρίζουμε τις πηγές στην περίπτωση που έχουμε πάνω από μια πηγή.

**Σχόλιο [U9]:** πρόκειται για μια επιφανειακή πηγή. Στην περίπτωση που ήταν σημειακή πηγή αντί για AREA θα γράφαμε Point.

**Σχόλιο [U10]:** η πηγή μας τοποθετείται στην θέση (x,y,z)=(0,0,0).

**Σχόλιο [U11]:** Πρέπει να σημειώσουμε ότι εάν στις δύο πρώτες στήλες υπάρχουν αστεράκια (\*\*), τότε αυτές δεν λαμβάνονται υπόψη από το μοντέλο χρησιμεύουν απλά σαν σχολιασμό.

**Σχόλιο [U12]:** Άφορα την πηγή 1 όπου έχουμε ρυθμό εκπομπής= 0.000321 gr/sm<sup>2</sup> και ύψος απελευθέρωσης από το έδαφος =2.1m. Για το Xinit Yinit και angle δες σχήμα 1 (σελ2). Αυτά αφορούν μόνο για επιφανειακές πηγές για σημειακές πηγές δες στο τέλος της σελίδας.

**Σχόλιο [U13]:** Τέλος, υπάρχει η λέξη-κλειδί SRCGROUP που ακολουθείται από την παράμετρο ALL, ομαδοποιώντας όλες τις πηγές σε μία ομάδα.

**Σχόλιο [U14]:** ορίζει την θέση της αρχής των συντεταγμένων (x,y), για να ορισθεί το πολικό σύστημα.

**Σχόλιο [U15]:** θεωρούμε αποδέκτες σε αποστάσεις 100m, 200m, 300m 500m και 1000m. Τέλος θα υπάρχουν 36 διευθύνσεις, ξεκινώντας από τις 10<sup>0</sup> και θα αυξάνονται κατά 10<sup>0</sup> δεξιόστροφα (δες σχήμα 2).

Εικόνα.7 Εισαγωγή παραμέτρων στο κυρίως αρχείο του ISC3-ST

# ISC3-ST INPUT FILE ΜΕ ΞΗΡΗ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗ

CO STARTING

TITLEONE A PROJECT for the ISCST Model

MODELOPT RURAL CONC **DRYDPLT**

AVERTIME 24

POLLUTID PM10

FLAGPOLE 1.5

RUNORNOT RUN

CO FINISHED

SO STARTING

\*\* SRCID SRCTYP XS YS ZS

\*\* -----

SO LOCATION 1 AREA 0 0 0

\*\* SRCID QS HS XINIT YINIT angle

\*\* -----

SO SRCPARAM 1 0.000321 2.1 81 30. 5

**PARTDIAM 1 9.5 7.2 5.2 3.9 2.6 1.5 0.88 0.53 0.06**

**MASSFRAX 1 0.13 0.14 0.12 0.11 0.11 0.15 0.08 0.09 0.07**

**PARTDENS 1 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1.**

SO SRCGROUP ALL

SO FINISHED

RE STARTING

Σχόλιο [U1]: ξηρή εναπόθεση.

Σχόλιο [U2]: η διάμετρος των σωματιδίων.

Σχόλιο [U3]: η μάζα των συγκεκριμένων σωματιδίων προς τη συνολική μάζα.

Σχόλιο [U4]: είναι η πυκνότητα σε  $gr/cm^3$

Εικόνα.8 Συμπληρωματικές παράμετροι για το κυρίως αρχείο του ISC3-ST με ξηρή εναπόθεση

Αφού ολοκληρωθεί και το κυρίως αρχείο (Deptest.INP) το μοντέλο είναι έτοιμο προς εκτέλεση και πραγματοποιεί εκτελέσεις για τους πέντε πρωτογενείς ρύπους, που έχουν προαναφερθεί στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο. Τα αποτελέσματα αντλούνται από το αρχείο Maxial όπου περιλαμβάνονται οι συγκεντρώσεις του κάθε ρύπου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) σε καρτεσιανές συντεταγμένες (m). Χαρακτηριστικό παράδειγμα ακολουθεί στην εικόνα.9, όπου για συγκεκριμένες καρτεσιανές συντεταγμένες (x,y) αντιστοιχεί και μια συγκέντρωση (average concentration) ,του ρύπου που μελετάται κάθε φορά.

ISCST3 (02035): A PROJECT for the ISCST Model

MODELING OPTIONS USED:

CONC							
RURAL FLAT FLGPOL							
MAXI-FILE FOR 24-HR VALUES >= A THRESHOLD OF 0.000							
FOR SOURCE GROUP: ALL							
FORMAT: (1X,I3,1X,A8,1X,I8.8,2(1X,F13.5),2(1X,F7.2),1X,F13.5)							
IVE	GRP	DATE	X	Y	ELEV	FLAG	AVERAGE CONC
24	ALL	87123024	-10000.00000	-10000.00000	0.00	1.50	0.00000
24	ALL	87123024	-10000.00000	-7500.00000	0.00	1.50	0.00000
24	ALL	87123024	-10000.00000	-5000.00000	0.00	1.50	0.00000
24	ALL	87123024	-10000.00000	-4000.00000	0.00	1.50	0.00000
24	ALL	87123024	-10000.00000	-3000.00000	0.00	1.50	0.00000
24	ALL	87123024	-10000.00000	-2500.00000	0.00	1.50	0.00000
24	ALL	87123024	-10000.00000	-2000.00000	0.00	1.50	0.00000
24	ALL	87123024	-10000.00000	-1500.00000	0.00	1.50	0.00182
24	ALL	87123024	-10000.00000	-1000.00000	0.00	1.50	0.04594
24	ALL	87123024	-10000.00000	-750.00000	0.00	1.50	0.15241
24	ALL	87123024	-10000.00000	-500.00000	0.00	1.50	0.39110
24	ALL	87123024	-10000.00000	-300.00000	0.00	1.50	0.63278
24	ALL	87123024	-10000.00000	-250.00000	0.00	1.50	0.69061
24	ALL	87123024	-10000.00000	-200.00000	0.00	1.50	0.74154
24	ALL	87123024	-10000.00000	-150.00000	0.00	1.50	0.78688
24	ALL	87123024	-10000.00000	-100.00000	0.00	1.50	0.81684
24	ALL	87123024	-10000.00000	100.00000	0.00	1.50	0.83081
24	ALL	87123024	-10000.00000	150.00000	0.00	1.50	0.80647
24	ALL	87123024	-10000.00000	200.00000	0.00	1.50	0.76714
24	ALL	87123024	-10000.00000	250.00000	0.00	1.50	0.72092
24	ALL	87123024	-10000.00000	300.00000	0.00	1.50	0.66743
24	ALL	87123024	-10000.00000	500.00000	0.00	1.50	0.43374
24	ALL	87123024	-10000.00000	750.00000	0.00	1.50	0.18613

Εικόνα.9 Παράδειγμα αποτελεσμάτων αρχείου «Maxial»

## **4.Μετεωρολογικά δεδομένα**

### **4.1.Γενικά**

Η γνώση των κλιματικών στοιχείων, οι επιδράσεις και οι αλληλεπιδράσεις τους είναι απαραίτητα στοιχεία στην έρευνα των περιβαλλοντικών συνθηκών μιας περιοχής, των οποίων η πληρέστερη γνώση και διερεύνηση οδηγούν στην ορθολογικότερη διαχείριση και διερεύνηση του περιβάλλοντος. Όσον αφορά για την εκτίμηση του μετεωρολογικού αρχείου δεδομένων, χρησιμοποιούνται καταγεγραμμένες μετρήσεις από τον μετεωρολογικό σταθμό του πολεμικού αεροδρομίου του Καστελλίου.

### **4.2.Εκτίμηση μετεωρολογικών παραμέτρων**

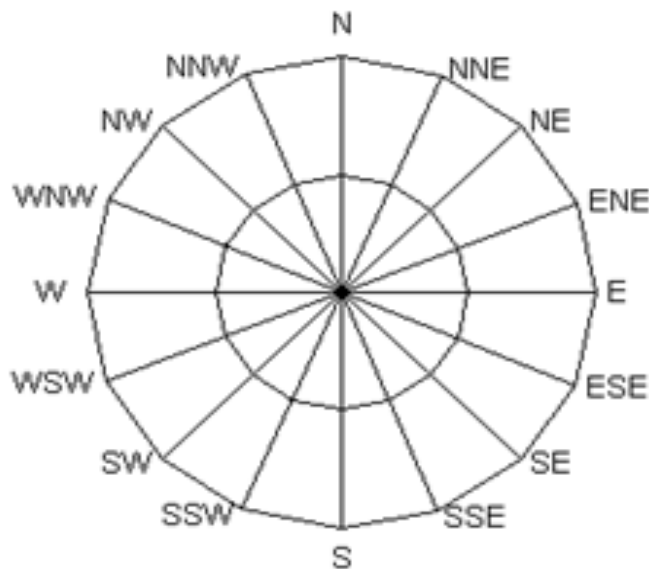
Στο μετεωρολογικό αρχείο (DEPTTEST.MET) αφού εισάγουμε το έτος, το μήνα και την ώρα κάθε φορά, έπειτα επεξεργαζόμαστε τα αρχικά μετεωρολογικά δεδομένα που έχουμε πάρει από το Μετεωρολογικό Σταθμό της Αεροπορίας Καστελλίου και τα εισάγουμε στο αρχείο με την εξής σειρά:

1. Διεύθυνση
2. Ταχύτητα Ανέμου
3. Θερμοκρασία
4. Κλάση Ευστάθεια
5. Ύψος Ανάμιξης

Η συχνότητα καταγραφής του Μετεωρολογικού Σταθμού είναι δεκάλεπτη, οπότε οι τιμές των μετεωρολογικών δεδομένων πριν εισαχθούν στο μετεωρολογικό αρχείο θα πρέπει να μετατραπούν σε μέσες ωριαίες.

#### 4.2.1.Εκτίμηση διεύθυνσης

Τα δεδομένα που δώθηκαν από την Μετεωρολογικό Σταθμό της Αεροπορίας Κατελλίου,όσον αφορά την διεύθυνση του ανέμου για το έτος 2012 αποδίδονται σε μονάδες μοιρών για κάθε ώρα. Η μορφή αυτή των δεδομένων αποτελεί και απαραίτητη προϋπόθεση για την εισαγωγή τους στο μετεωρολογικό αρχείο (Deptest.MET), καθώς η στήλη της διεύθυνσης ανέμου δέχεται μόνο μοίρες. Για να καταφέρουμε αργότερα να βγάλουμε συνολικά συμπεράσματα για τις διευθύνσεις των ανέμων που επικρατούσαν στην περιοχή δεν μπορούμε να αναλύουμε μοίρες, αλλά θα πρέπει με κάποιο τρόπο αυτές να αποδοθούν ποιοτικά. Ο ποιοτικός λοιπόν προσδιορισμός των διευθύνσεων των ανέμων, γίνεται με τη βοήθεια του σχήματος.1και πίνακα.1,που ακολουθούν παρακάτω.



Σχήμα.1 Ποιοτικές ενδείξεις ανέμου

Κάθε ενδεικτική τιμή διεύθυνσης ανέμου πρεσβεύει ένα εύρος διευθύνσεων σε μοίρες,όπως αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα:

<b>Διεύθυνση Ανέμου</b>	<b>Εύρος Μοιρών</b>	
<b>N</b> (Βόρειος)	348,75	371,25
<b>NNE</b> (Βόρειος-Βορειοανατολικός)	11,25	33,75
<b>NE</b> (Βορειοανατολικός)	33,75	56,25
<b>ENE</b> (Ανατολικός-Βορειοανατολικός)	56,25	78,75
<b>E</b> (Ανατολικός)	78,75	101,25
<b>ESE</b> (Ανατολικός-Νοτιοανατολικός)	101,25	123,75
<b>SE</b> (Νοτιοανατολικός)	123,75	146,25
<b>SSE</b> (Νότιος-Νοτιοανατολικός)	146,25	168,75
<b>S</b> (Νότιος)	168,75	191,25
<b>SSW</b> (Νότιος-Νοτιοδυτικός)	191,25	213,75
<b>SW</b> (Νοτιοδυτικός)	213,75	236,25
<b>WSW</b> (Δυτικός-Νοτιοδυτικός)	236,25	258,75
<b>W</b> (Δυτικός)	258,75	281,25
<b>WNW</b> (Δυτικός-Βορειοδυτικός)	281,25	303,75
<b>NW</b> (Βορειοδυτικός)	303,75	326,75
<b>NNW</b> (Βόρειος-Βορειοδυτικός)	326,75	348,75

Πίνακας.2 Εύρος μοιρών για κάθε διεύθυνση ανέμου

#### 4.2.2.Εκτίμηση ταχύτητας ανέμου

Όσον αφορά την στήλη της ταχύτητας του ανέμου,το μετεωρολογικό αρχείο (Deptest.MET) δέχεται τιμές σε meters/second (m/s) ενώ τα δεδομένα του Μετεωρολογικού Σταθμού της Αεροπορίας Καστελλίου που δώθηκαν είναι σε κλίμακα Beaufort(θ). Για αυτό το λόγο λοιπόν απαιτείται η μετατροπή των ποσοτικών μετρήσεων του σταθμού από τη κλίμακα beaufort (θ) σε m/s. Στο παρακάτω πίνακα.3 φαίνεται ότι για κάθε τιμή της κλίμακας Beaufort αντιστοιχεί και ένα εύρος τιμών σε m/s. Αφού γίνουν όλες οι

μετατροπές,εισάγουμε στο μετεωρολογικό αρχείο (Deptest,Met), τη μέση τιμή κάθε εύρους τιμών των m/s σε ωριαία βάση.

Θ.	(km/h)	Τύπος	(knots)	Περιγραφή	(m/s)
0	0-1	άπνοια	0-1	Ο καπνός υψώνεται κατακόρυφα.	< 0.3
1	1-5	σχεδόν άπνοια	1-3	Η διεύθυνση του ανέμου φαίνεται από τον καπνό και όχι απο από τον ανεμοδείκτη. <b>Υψος κυμάτων: 0 - 0.1 m.</b>	0.3-1.5
2	6-11	πολύ ασθενής	4-6	Ανεμος αισθητός στο πρόσωπο. Τα φύλλα των δένδρων θροίζουν και ο ανεμοδείκτης κινείται. <b>Υψος κυμάτων: 0.1 - 0.5 m</b>	1.6-3.3
3	12-19	ασθενής	7-10	Τα φύλλα και τα μικρά κλωνάρια των δένδρων βρίσκονται σε συνεχή κίνηση. Ο άνεμος τεντώνει μικρή σημαία. <b>Υψος κυμάτων: 0.5 - 1.25 m.</b>	3.4-5.4
4	20-28	σχεδόν μέτριος	11-16	Ο άνεμος σηκώνει σκόνη και φύλλα χάρτου. Κινεί μικρά δένδρα. <b>Υψος κυμάτων:1 - 1.5 m.</b>	5.5-7.9
5	29-38	μέτριος	17-21	Μικρά δένδρα με φύλλα αρχίζουν να κινούνται. Σχηματίζονται κυματίδια σε λίμνες. <b>Υψος κυμάτων: 1.25 - 2.5 m.</b>	8-10.7
6	39-49	ισχυρός	22-27	Κινούνται μεγάλα κλαδιά δένδρων. Ακούγεται συριγμός στα τηλεγραφικά σύρματα. Οι ομπρέλες χρησιμοποιούνται με δυσκολία. <b>Υψος κυμάτων:2-5.4 m.</b>	10.8-13.8
7	50-61	σχεδόν θυελλώδης	28-33	Τα δένδρα κινούνται ολόκληρα. Το αντίθετο στον άνεμο βάδισμα γίνεται δύσκολα. <b>Υψος κυμάτων: 4-6 m.</b>	13.9-17.1
8	62-74	θυελλώδης	34-40	Σπάνε μικρά κλωνάρια δένδρων. Γενικά εμποδίζει το αντίθετο στον άνεμο βάδισμα. <b>Υψος κυμάτων: 5.5 - 5.7 m.</b>	17.2-20.7
9	75-88	πολύ θυελλώδης	41-47	Προκαλούνται μικρές ζημιές σε κατασκευές. Αναρπάζονται πηλίνοι καπνοδόχοι και κεραμίδια. <b>Υψος κυμάτων: 6-9 m.</b>	20.8-24.4
10	89-102	θύελλα	48-55	Σπάνια παρατηρείται στο εσωτερικό της ξηράς. Ξεριζώνει δένδρα και προξενεί μεγάλες ζημιές σε κατασκευές. <b>Υψος κυμάτων: 8-12.5 m.</b>	24.5-28.4
11	103-117	ισχυρή θύελλα	56-63	Πολύ σπάνια παρατηρείται. Γίνονται πολύ μεγάλες ζημιές. <b>Υψος κυμάτων: 9-14 m.</b>	28.5-32.6
12	over 118	τυφώνας	64+	Καταστρέφονται κτίσματα, ο αφρός και το σπρέϋ στη θάλασσα μειώνει εξαιρετικά την ορατότητα. <b>Υψος κυμάτων: 14 m και περισσότερο.</b>	32.7+

Πίνακας.3 Περιγραφή και προσδιορισμός του τύπου της κλίμακας beaufort,καθώς και αναλύσή της σε (Km/h),(Knots) και (m/sec).

### 4.2.3.Εκτίμηση θερμοκρασίας

Αναφορικά με τη θερμοκρασία, τα δεδομένα μου δίνονται από το Μετεωρολογικό Σταθμό είναι σε βαθμούςκελσίου ( $^{\circ}\text{C}$ ). Για να εισαχθούν στο μετεωρολογικό αρχείο (Deptest.MET), οι θερμοκρασίες μετατρέπονται σε βαθμούς Kelvin ( $237,15+^{\circ}\text{C}$ ), και προσδιορίζεται κάθε φορά η μέση τιμή σε ωριαία βάση.

### 4.2.4.Εκτίμηση κλάσης ευστάθειας

Στην περίπτωση αυτή λαμβάνονται από τις μετρήσεις του σταθμού, οι τιμές της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας την ημέρα (Πίνακας.4) καθώς και οι τιμές νέφωσης κατά τη διάρκεια της νύχτας. Εν συνεχεία, με τη μέθοδο Pasquill (Πίνακας.5) οι τιμές ηλιακής ακτινοβολίας και νέφωσης, σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες, υπολογισμένες, μέσες ωριαίες τιμές ταχύτητας ανέμου (m/sec) δίνουν ποιοτικά αποτελέσματα για τον προσδιορισμό των κλάσεων ευστάθειας σε ωριαία βάση.

#### Προσδιορισμός κλάσεων ηλιακής ακτινοβολίας:

Ύψος ηλίου	Ηλιακή ακτινοβολία ( $\text{Wm}^{-2}$ )	Κλάση ηλιακής ακτινοβολίας
$>60^{\circ}$	<b>&gt;600</b>	Έντονη
$35^{\circ} - 60^{\circ}$	<b>300-600</b>	Μέση
$15^{\circ} - 35^{\circ}$	<b>&lt;300</b>	Λίγη

Πίνακας.4 Απόδοση των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας σε κλάσεις



### Προσδιορισμός Κλάσεων Ευστάθειας:

	ΚΛΑΣΕΙΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ				
ΑΝΕΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ m/s	ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ			ΝΥΧΤΑ	
	ΕΝΤΟΝΗ	ΜΕΣΗ	ΛΙΓΗ	ΛΕΠΤΗ ΝΕΦΩΣΗ >4/8	ΧΑΜΗΛΗ ΝΕΦΩΣΗ <3/8
< 2 m/s	A	A	B	F	F
2-3 m/s	A	B	C	E	E
3-5 m/s	B	C	C	D	E
5-6 m/s	C	C	D	D	D
>6 m/s	C	D	D	D	D

Πίνακας.5 Προσδιορισμός κλάσεων ευστάθειας αναλόγως των ταχυτήτων του ανέμου, των κλάσεων ηλιακής ακτινοβολίας και των νεφώσεων που επικρατούν τη νύχτα.

### Οι κλάσεις ευστάθειας του πίνακα αναλύονται ως εξής:

- A:** Πολύ ασταθείς συνθήκες
- B:** Μέτρια ασταθείς συνθήκες
- C:** Ελαφρά ασταθείς συνθήκες
- D:** Ουδέτερες συνθήκες
- E:** Ελαφρά ευσταθείς συνθήκες
- F:** Μέτρια ευσταθείς συνθήκες

Η εισαγωγή των κλάσεων ευστάθειας στο μετεωρολογικό αρχείο του μοντέλου ISC3-ST δεν γίνεται ποιοτικά, αλλά απαιτείται η μετατροπή τους σε ποσοτικές τιμές. Αυτό γίνεται με το να αποδίδεται η κάθε κλάση σε ένα αριθμό. Η απόδοση αυτή έχει ως εξής:

A → 1  
B → 2  
C → 3  
D → 4  
E → 5  
F → 6

#### 4.2.5. Εκτίμηση ύψους ανάμιξης

Για τον υπολογισμό του ύψους ανάμιξης προσδιορίζονται:

- i. Οι τιμές συντελεστών  $a$  και  $b$  ανάλογα με την ποιοτική κλάση ευστάθειας, που έχει προκύψει από την προηγούμενη παράγραφο.

ΚΛΑΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ	ΤΙΜΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ	
		a	b
A	Εξαιρετικά Ασταθείς	-0,096	0,029
B	Μέτρια Ασταθείς	-0,037	0,029
C	Ελαφρώς Ασταθείς	-0,002	0,018
D	Ουδέτερες	0	0
E	Ελαφρώς Ευσταθείς	0,004	-0,018
F	Μέτρια Ευσταθείς	0,035	-0,036

Πίνακας.6 Κάθε κλάση ευστάθειας αντιστοιχεί σε μια τιμή των συντελεστών  $a$  και  $b$  αντίστοιχα

ii. Το μήκος τραχύτητας  $Z_0$

Κατηγορία χρήσης γης	Κατηγορία εδαφικάλυψης	Μήκος τραχύτητας			
		Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Χειμώνας
Υδάτα	Υδάτινα σώματα	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Φυλλοβόλο δάσος	Μικτό δάσος/ Δάσος πλατύφυλλων	1	1,3	0,8	0,5
Κωνοφόρο δάσος	Δάσος κωνοφόρων	1,3	1,3	1,3	1,3
Βάλτος	Υγρότοποι	0,2	0,2	0,2	0,05
Καλλιεργήσιμη έκταση	Αγροτικές εκτάσεις εκτός από βοσκότοπους	0,03	0,2	0,05	0,01
Λιβάδι	Βοσκότοποι	0,05	0,1	0,01	0,001
Αστική έκταση	Δομημένες εκτάσεις	1	1	1	1
Έρημος/θαμνότοπος	Εκτάσεις με θαμνώδη, και/ή ποώδη βλάστηση/ Ανοικτές εκτάσεις με λίγη ή καθόλου βλάστηση	0,3	0,3	0,3	0,15

Πίνακας.7 Παράμετροι που καθορίζουν το μήκος τραχύτητας ( $Z_0$ )

Με κριτήρια λοιπόν τις κατηγορίες χρήσης γής και εδαφικάλυψης,που στη συγκεκριμένη μελέτη για τη περιοχή του Καστελλίου είναι καλλιεργήσιμη και αγροτική έκταση, το μήκος τραχύτητας ( $Z_0$ ),για κάθε εποχή έχει ως εξής:

	ΑΝΟΙΞΗ	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	ΧΕΙΜΩΝΑΣ
$Z_0$	0,03	0,2	0,05	0,01

Πίνακας.8 Μήκος τραχύτητας για κάθε εποχή,στη συγκεκριμένη μελέτη

iii. Το ύψος του μετεωρολογικού σταθμού  $z = 10\text{m}$

Ο μετεωρολογικός σταθμός της Αεροπορίας Καστελλίου βρίσκεται σε ύψος, $z=10\text{m}$ .

iv. Το γεωγραφικό πλάτος.  
 Στη συγκεκριμένη μελέτη το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής είναι,  $\varphi = 35.2^0$

Για τον υπολογισμό του ύψους ανάμιξης απαιτείται πρώτα να υπολογιστούν κάποιοι άλλοι παράμετροι οι οποίοι μετά θα χρησιμοποιηθούν στον τελικό τύπο. Αρχικά προσδιορίζεται το μήκος Monin-Obukhov σε ωριαία βάση από τον ακόλουθο τύπο [Golder D., 1972]:

$$\frac{1}{L} = a + (b \cdot \log Z_0) \quad (1)$$

Όπου :

$Z_0$ , το μήκος τραχύτητας (πίνακας.8)

a και b, οι συντελεστές που οι τιμές του εξαρτώνται από την κλάση ευστάθειας κάθε φορά (πίνακας.6)

Εν συνεχεία υπολογίζονται οι δυναμικές παράμετροι ευστάθειας ( $\Psi_M$ ) σε ωριαία βάση από τους εξής τύπους [Fatogoma & Jacko, 2002]:

- Για ασταθείς συνθήκες ( $1/L < 0$ ) ισχύουν:

$$\Psi_M\left(\frac{Z}{L}\right) = 2 \ln\left(\frac{1 + \mu}{2}\right) + \ln\left(\frac{1 + \mu^2}{2}\right) - 2 \tan^{-1}(\mu) + \frac{\pi}{2} \quad (2)$$

$$\Psi_M\left(\frac{Z_0}{L}\right) = 2 \ln\left(\frac{1 + \mu_0}{2}\right) + \ln\left(\frac{1 + \mu_0^2}{2}\right) - 2 \tan^{-1}(\mu_0) + \frac{\pi}{2} \quad (3)$$

Όπου έχουμε:

$$\mu = \left(1 - 16 \frac{z}{L}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (4)$$

$$\mu_o = \left(1 - 16 \frac{z_o}{L}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (5)$$

Με  $z$ , το ύψος του μετεωρολογικού σταθμού και  $z_o$ , το μήκος τραχύτητας.

- Για σταθερές συνθήκες ( $1/L > 0$ ) ισχύουν:

$$\Psi_M\left(\frac{z}{L}\right) = -5 \cdot \frac{z}{L} \quad (6)$$

$$\Psi_M\left(\frac{z_o}{L}\right) = -5 \cdot \frac{z_o}{L} \quad (7)$$

- Για ουδέτερες συνθήκες ( $1/L = 0$ ) ισχύει:

$$\Psi_M = 0 \quad (8)$$

Μια επιπλέον παράμετρος που υπολογίζεται, είναι η ταχύτητα τριβής, η οποία προσδιορίζεται από τον εξής τύπο [Fatogoma & Jacko, 2002]:

$$u_* = k U_z \left\{ \ln\left(\frac{z}{z_o}\right) - \Psi_M\left(\frac{z}{L}\right) + \Psi_M\left(\frac{z_o}{L}\right) \right\} \quad (9)$$

Όπου:

$k=0.4$  (σταθερά Von Karman)

$U_z$ : ωριαία ταχύτητα ανέμου σε ύψος  $z$

$Z_0$ : μήκος τραχύτητας

$\Psi_M$ : δυναμικές παράμετροι ευστάθειας

Η τελευταία παράμετρος που υπολογίζεται είναι η κοριόλος δύναμη όπως φαίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$F_{coriolis} = 1.458 \cdot 10^{-4} \cdot \sin \varphi \quad (10)$$

Τέλος εφόσον έχουμε υπολογίσει την ταχύτητα τριβής απ' την εξίσωση (9) και την κοριόλο δύναμη απ' την εξίσωση (10), υπολογίζουμε και το ωριαίο ύψος ανάμιξης (Mixing Layer) σύμφωνα με τον τύπο του Arya 1981 [Seibert P., 1997]:

$$Mixing\ Layer = 0.142 \frac{U_*}{F_{coriolis}} \quad (11)$$

### 4.3.Μετεωρολογικά αποτελέσματα

Αφού πάρουμε τα μετεωρολογικά δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό της αεροπορίας Καστελλίου, και τα επεξεργαστούμε σύμφωνα με τις διαδικασίες που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4.2, τα προσαρμόζουμε στη συγκεκριμένη μελέτη και καταληγούμε σε συμπεράσματα για το καθένα ξεχωριστά. Τα επεξεργασμένα μετεωρολογικά δεδομένα μας δίνουν πληροφορίες για το τι επικρατεί 24 ώρες τη μέρα, για όλες τις μέρες του έτους 2012. Στη συγκεκριμένη εργασία το μοντέλο ISC3-ST, μελετά εκπομπές σε ωριαία βάση, δημιουργώντας έτσι ημερήσια προφίλ συγκεντρώσεων αέριας ρύπανσης για κάθε υπό μελέτη ρύπο. Για αυτό το λόγο θα πρέπει και τα μετεωρολογικά δεδομένα που θα εισαχθούν στο μετεωρολογικό αρχείο (Deptest.MET) να είναι για τη διάρκεια μιας ημέρας. Για να γίνει αυτό στο μετεωρολογικό αρχείο εισάγονται για κάθε ώρα της ημέρας μια τιμή, που προκύπτει από το μέσο όρο των τιμών των μετεωρολογικών δεδομένων, της ίδιας ώρας, όλων των ημερών του κάθε μήνα. Το ίδιο γίνεται και για τις υπόλοιπες ώρες τις μέρας, με αποτέλεσμα για κάθε μετεωρολογική παράμετρο να προκύπτει ένα μέσο ημερήσιο μετεωρολογικό αρχείο, για κάθε μήνα. Αναλυτικά τα αποτελέσματα για κάθε μετεωρολογική παράμετρο ακολουθούν παρακάτω.

#### 4.3.1.Διεύθυνση ανέμου

Οι διευθύνσεις ανέμου που επικρατούν μια μέση ημέρα κάθε μήνα του έτους 2012 φαίνονται στους παρακάτω πίνακες:

Μήνας	Διεύθυνση ανέμου
Νοέμβριος	NNE
Δεκέμβριος	SSW
Ιανουάριος	N
Φεβρουάριος	SW
Μάρτιος	NNE
Απρίλιος	SW

Πίνακας.9 Διευθύνσεις ανέμων χειμερινής περιόδου

Για τους μήνες Νοέμβριο, Ιανουάριο και Μάρτιο όπως βλέπουμε επικρατούν Βόρειοι-Βορειοανατολικοί άνεμοι, ενώ το Δεκέμβριο, Φεβρουάριο και Απρίλιο επικρατούν Νότιοι-Νοτιοδυτικοί.

Μήνας	Διεύθυνση ανέμου
Μάιος	NNE
Ιούνιος	NE
Ιούλιος	NE
Αύγουστος	NE
Σεπτέμβριος	NE
Οκτώβριος	SW

Πίνακας.10 Διευθύνσεις ανέμων θερινής περιόδου

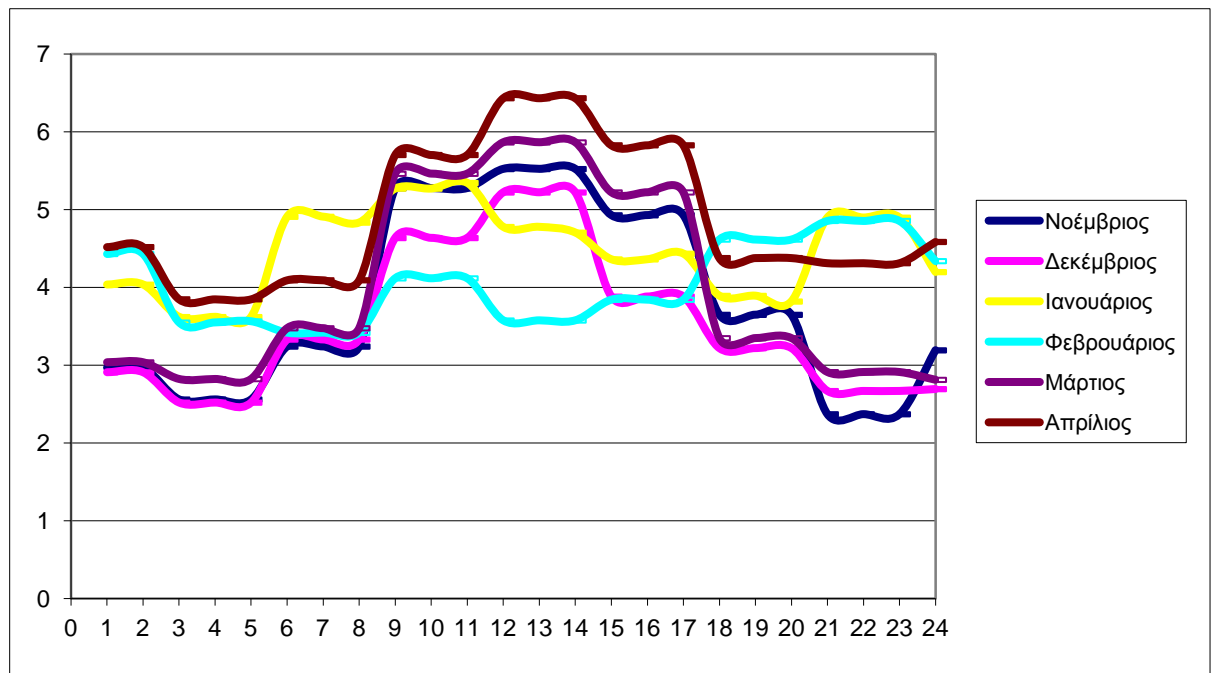
Από το μήνα Μάιο μέχρι και το Σεπτέμβριο επικρατούν κυρίως Βόρειοι-Βορειοανατολικοί άνεμοι ενώ μόνο τον Οκτώβριο έχουμε Νοτιοδυτικούς ανέμους.

#### 4.3.2.Ταχύτητα ανέμου

Τα παρακάτω διαγράμματα 1, 2 απεικονίζουν τις ωριαίες ταχύτητες ανέμου μιας μέσης ημέρας κάθε μήνα του έτους 2012. Στον οριζόντιο άξονα παρατίθενται οι ώρες μιας ημέρας, ενώ στον κάθετο άξονα οι τιμές των ταχυτήτων ανέμου(m/sec).



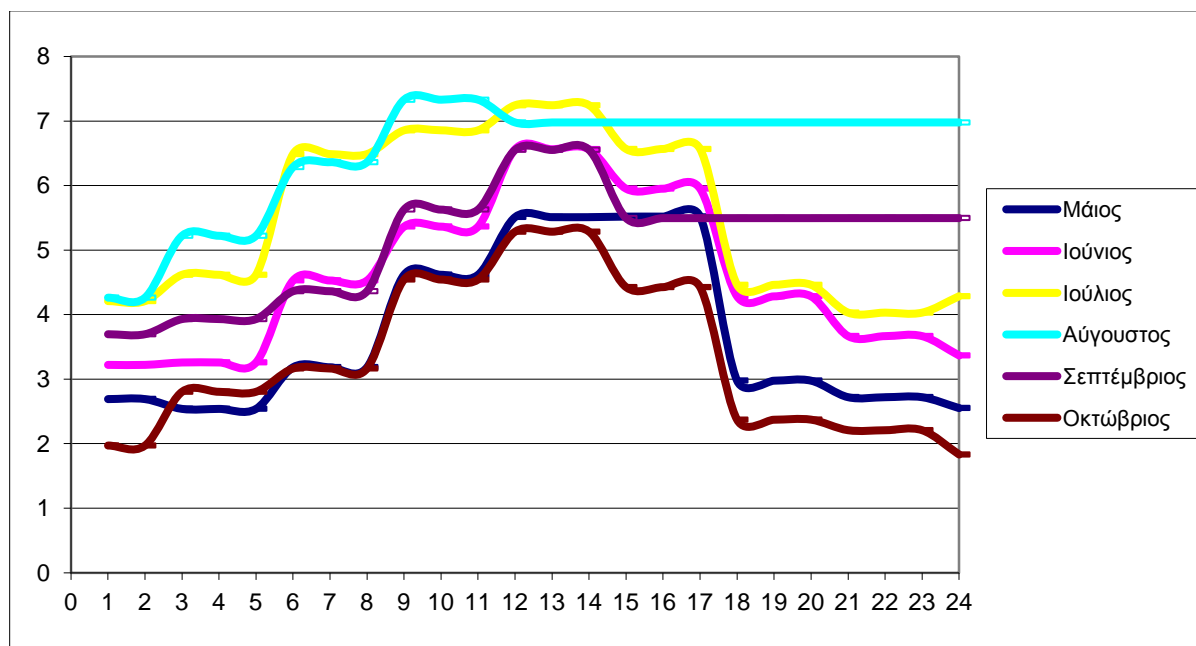
**ι. Διάγραμμα μέσων ωριαίων ταχυτήτων ανέμου τη χειμερινή περίοδο**



Διάγραμμα.1 Απεικόνιση διακύμανσης ωριαίων ταχυτήτων μέσης ημέρας για κάθε μήνα

Για τη Χειμερινή περίοδο οι μέγιστες μέσες ωριαίες ταχύτητες ανέμου (6,5 m/sec) παρουσιάζονται το μήνα Απρίλιο, ενώ οι ελάχιστες (2,3 m/sec) το μήνα Νοέμβριο. Γενικότερα παρατηρείται στο διάγραμμα ότι μεγάλες ωριαίες ταχύτητες ανέμου για πέντε από τους έξι συνολικά μήνες εντοπίζονται κατά τη διάρκεια της μέρας δηλαδή τις ώρες 8 το πρωί με 6 το απόγευμα, και οι μέγιστες κατά τη διάρκεια του μεσημεριού δηλαδή τις ώρες 10 με 3. Τις υπόλοιπες ώρες που αφορούν κυρίως τη νύχτα από τις 7 το απόγευμα μέχρι τις 7 το πρωί και για τους πέντε αυτούς μήνες οι τιμές κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα και μόνο το μήνα Ιανουάριο εντοπίζονται για λίγο μεγάλες τιμές τις βραδυνές ώρες 8 με 11. Εξαίρεση αποτελεί η μέση ημέρα του μήνα Φεβρουάριου, όπου παρουσιάζει τη μέγιστη τιμή ταχύτητας ανέμου (4,8 m/sec) κατά τη διάρκεια της νύχτας δηλαδή τις ώρες 8 με 11. Επίσης είναι και ο μοναδικός μήνας που παρουσιάζει μια ομαλότητα στο διάγραμμα των ωριαίων τιμών των ταχυτήτων ανέμου, καθώς όπως φαίνεται και από τη γραμμή του, όλο το εικοσιτετράωρο δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά στη διακύμανση τους.

## ii. Μέσες ωριαίες ταχύτητες ανέμου τη θερινή περίοδο



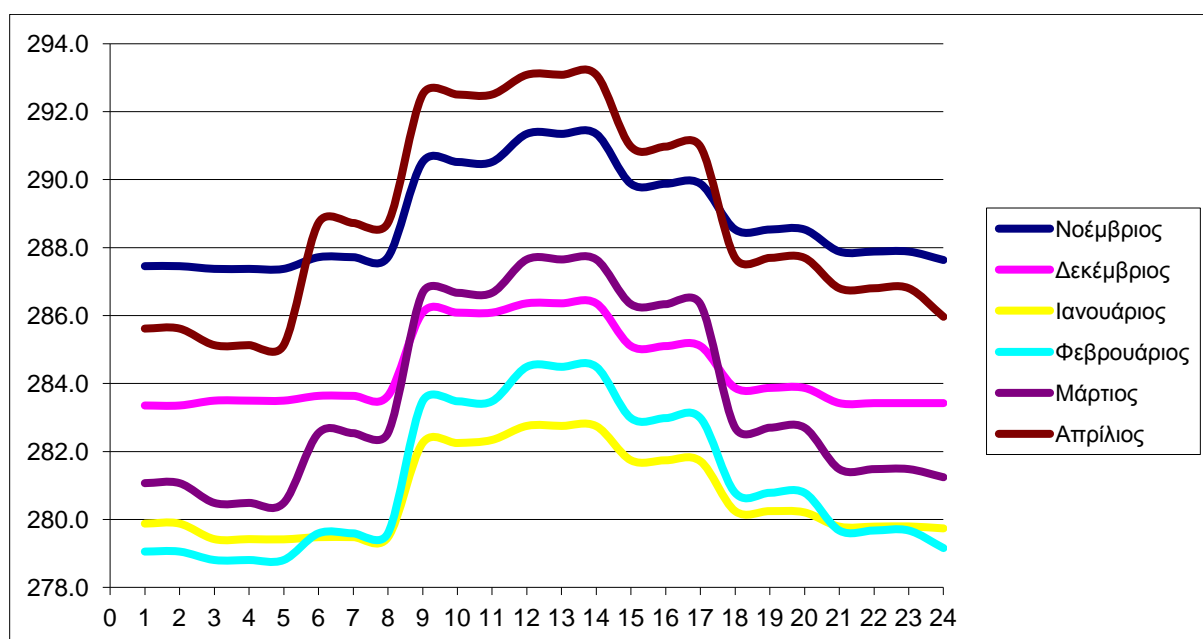
Διάγραμμα.2 Απεικόνιση διακύμανσης ωριαίων ταχυτήτων μέσης ημέρας για κάθε μήνα

Για τη θερινή περίοδο οι μέγιστες μέσες ωριαίες ταχύτητες ανέμου (7,4m/sec) εντοπίζονται το μήνα Αύγουστο ενώ οι ελάχιστες(1,8 m/sec) το μήνα Οκτώβριο. Η γραμμή του διαγράμματος που απεικονίζει τη μέση ημέρα του μήνα Αυγούστου μας δείχνει ότι οι χαμηλές ταχύτητες ανέμου για το συγκεκριμένο μήνα κυμαίνονται από την ώρα 0(μεσάνυχτα) μέχρι και τις 7 το πρωί,ενώ μεγάλες τιμές επικρατούν όλη την υπόλοιπη διάρκεια του 24 ώρου με σχεδόν μηδενική διακύμανση, και με εξαίρεση τις μέγιστες τιμές από τις 9 μέχρι τις 11 το πρωί. Όσον αφορά τη μέση ημέρα του μήνα Ιουλίου παρατηρούμε από τη γραμμή διακύμανσης των ωριαίων ταχυτήτων ανέμου ότι η μέγιστη τιμή είναι λίγο μικρότερη (7,3 m/sec) από αυτή του Αυγούστου,καθώς επίσης ότι και σε αυτό το μήνα παρουσιάζεται μεγάλη διάρκεια μεγάλων ταχυτήτων με μικρή διακύμανση,από τις 6 το πρωί μέχρι τις 5 το απόγευμα. Για τους υπόλοιπους τέσσερις μήνες οι μέγιστες μέσες ωριαίες τιμές των ταχυτήτων ανέμου εντοπίζονται τις ώρες 11 το πρωί με 3 το μεσημέρι. Τις υπόλοιπες ώρες οι τιμές κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα αναλόγως βέβαια και τις αντίστοιχες μέγιστες τιμές κάθε μήνα. Οι ελάχιστες τιμές για καθένα απ αυτούς τους 4 μήνες εντοπίζονται κυρίως από τις 9 το βράδυ μέχρι τις 4 τα ξημερώματα.

### 4.3.3.Θερμοκρασία

Εφόσον έγινε η μετατροπή των θερμοκρασιών του μετεωρολογικού σταθμού από βαθμούς Κελσίου( $^{\circ}\text{C}$ ) σε Κέλβιν(K)τα παρακάτω διαγράμματα 3,4 απεικονίζουν τις ωριαίες θερμοκρασίες μιας μέσης ημέρας κάθε μήνα του έτους 2012. Στον οριζόντιο άξονα των διαγραμμάτων είναι τοποθετημένες οι ώρες της ημέρας και στον κάθετο άξονα οι θερμοκρασίες σε βαθμούς Κέλβιν.

#### ι. Μέσες ωριαίες θερμοκρασίες χειμερινής περιόδου



Διάγραμμα.3 Απεικόνιση διακύμανσης θερμοκρασιών μέσης ημέρας για κάθε μήνα

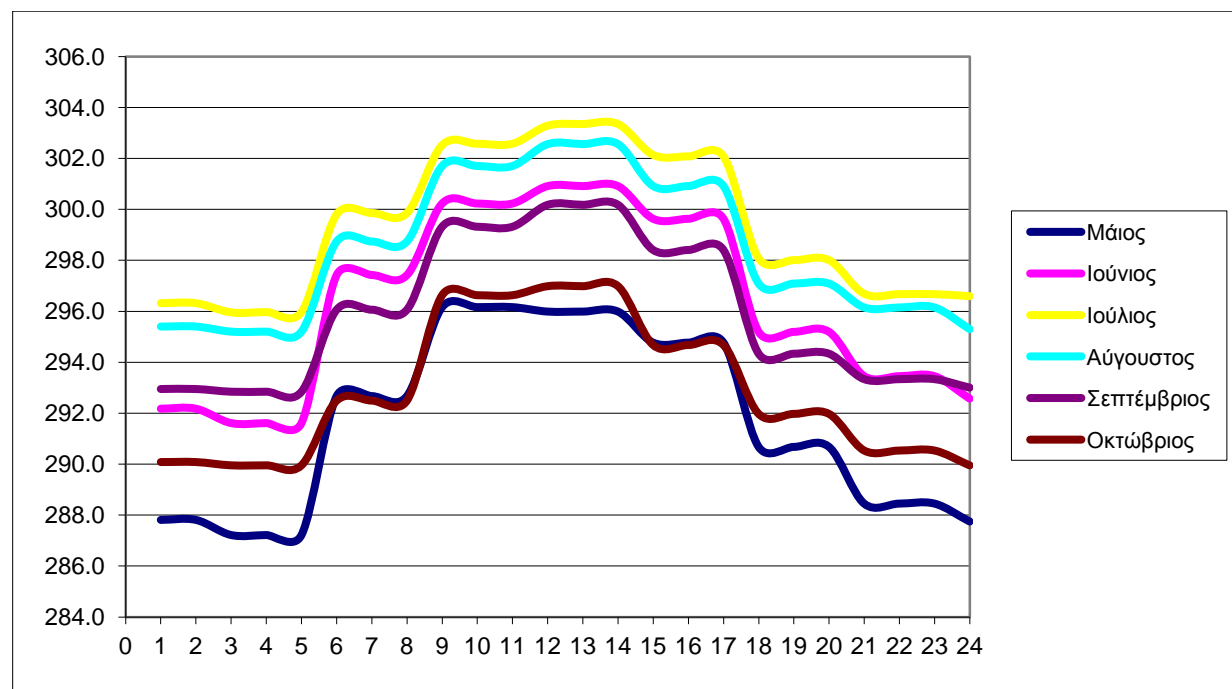
Όπως φαίνεται από το διάγραμμα, αλλά και όπως είναι λογικό λόγω του ήλιου οι υψηλές τιμές των θερμοκρασιών για όλους τους μήνες εντοπίζονται κατά τη διάρκεια της μέρας ενώ τη νύχτα παρατηρείται πτώση. Οι μέγιστες τιμές των μέσων ωριαίων θερμοκρασιών για τους μήνες αυτούς εντοπίζονται τις ώρες 12 με 2 το μεσημέρι. Μεταξύ των μέγιστων τιμών κάθε μέσης ημέρας του κάθε μήνα,τη μεγαλύτερη τιμή θερμοκρασίας(293 K) την έχει ο μήνας Απρίλιος ενώ τη μικρότερη(283 K) ο μήνας Ιανουάριος. Η σειρά λοιπόν των μέγιστων θερμοκρασιών για κάθε μήνα σύμφωνα με το διάγραμμα έχει ως εξής:

Απρίλιος > Νοέμβριος > Μάρτιος > Δεκέμβριος > Φεβρουάριος > Ιανουάριος  
Από την άλλη οι ελάχιστες τιμές των μέσων ωριαίων τιμών θερμοκρασίας για τους συγκεκριμένους μήνες εντοπίζονται τις ώρες 3 με 5 τα ξημερώματα.

Μεταξύ των ελάχιστων τιμών κάθε μέσης ημέρας του κάθε μήνα, τη μικρότερη τιμή (279 K) την έχει ο Φεβρουάριος και τη μεγαλύτερη (287,5 K) ο Νοέμβριος. Η σειρά λοιπόν των ελάχιστων θερμοκρασιών για κάθε μήνα σύμφωνα με το διάγραμμα έχει ως εξής:

Φεβρουάριος < Ιανουάριος < Μάρτιος < Δεκέμβριος < Απρίλιος < Νοέμβριος

## ii. Μέσες ωριαίες θερμοκρασίες θερινής περιόδου



Διάγραμμα.4 Απεικόνιση διακύμανσης θερμοκρασιών μέσης ημέρας για κάθε μήνα

Και για τη θερινή περίοδο ισχύει το ίδιο με τη χειμερινή όσον αφορά τη διακύμανση των θερμοκρασιών. Όπως είναι λογικό λόγω του ήλιου και παρατηρώντας και το διάγραμμα οι υψηλές τιμές των θερμοκρασιών για όλους τους μήνες εντοπίζονται κατά τη διάρκεια της μέρας ενώ τη νύχτα παρατηρείται πτώση. Οι μέγιστες τιμές των μέσων ωριαίων θερμοκρασιών για τους μήνες αυτούς εντοπίζονται τις ώρες 11 με 3 το μεσημέρι. Μεταξύ των μέγιστων τιμών κάθε μέσης ημέρας του κάθε μήνα, τη μεγαλύτερη τιμή θερμοκρασίας (303 K) την έχει ο μήνας Ιούλιος ενώ τη μικρότερη (296 K) ο μήνας Μάιος. Η σειρά λοιπόν των μέγιστων θερμοκρασιών για κάθε μήνα σύμφωνα με το διάγραμμα έχει ως εξής:

Ιούλιος > Αύγουστος > Ιούνιος > Σεπτέμβριος > Οκτώβριος > Μάιος

Από την άλλη οι ελάχιστες τιμές των μέσων ωριαίων τιμών θερμοκρασίας για τους συγκεκριμένους μήνες εντοπίζονται τις ώρες 3 με 5 τα ξημερώματα. Μεταξύ των ελάχιστων τιμών κάθε μέσης ημέρας του κάθε μήνα ,τη μικρότερη τιμή (287 K) την έχει ο Μάιος και τη μεγαλύτερη (296 K) ο Ιούλιος. Η σειρά λοιπόν των ελάχιστων θερμοκρασιών για κάθε μήνα σύμφωνα με το διάγραμμα έχει ως εξής:

Μάιος < Οκτώβριος < Ιούνιος < Σεπτέμβριος < Αύγουστος < Ιούλιος

#### 4.3.4.Κλάση ευστάθειας

Εφόσον γίνει ο προσδιορισμός των κλάσεων ευστάθειας σύμφωνα με τις μεθόδους που αναφερθήκαμε αναλυτικά στο κεφάλαιο (4.2.4) καταλήγουμε στα αποτελέσματα όπως φαίνονται στους παρακάτω πίνακες 11,12. Για κάθε αριθμό αντιστοιχεί και μια κλάση ευστάθειας ως εξής:

- A:** Πολύ ασταθείς συνθήκες → 1
- B:** Μέτρια ασταθείς συνθήκες → 2
- C:** Ελαφρά ασταθείς συνθήκες → 3
- D:** Ουδέτερες συνθήκες → 4
- E:** Ελαφρά ευσταθείς συνθήκες → 5
- F:** Μέτρια ευσταθείς συνθήκες → 6

**ι. Μέσες ωριαίες τιμές κλάσης ευστάθειας τη χειμερινή περίοδο**

Ώρα	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος
1	5	5	4	4	5	5
2	5	5	4	4	5	5
3	5	5	4	4	6	5
4	5	5	4	4	6	5
5	5	5	4	4	6	5
6	4	4	3	3	2	5
7	3	3	3	3	2	2
8	3	3	3	3	2	2
9	4	3	4	3	3	3
10	4	3	4	3	3	3
11	4	3	4	3	3	3
12	4	4	3	3	3	3
13	4	4	3	3	3	3
14	4	4	3	3	3	3
15	3	3	3	3	3	3
16	3	3	3	3	3	3
17	3	3	3	3	3	3
18	4	4	4	4	5	2
19	4	4	4	4	5	5
20	4	4	4	4	5	5
21	5	5	4	4	6	5
22	5	5	4	4	6	5
23	5	5	4	4	6	5
24	4	5	4	4	6	5

Πίνακας.11 Ωριαίες κλάσεις ευστάθειας μέσης ημέρας για κάθε μήνα

Συγκεκριμένα σύμφωνα με τον πίνακα.11 παρατηρούμε ότι για τους μήνες Νοέμβριος και Δεκέμβριο επικρατούν κυρίως ελαφρά ευσταθείς συνθήκες για τις νυχτερινές ώρες από τις 9 μέχρι τις 5 τα ξημερώματα, ενώ από τις έξι το πρωί μέχρι και τις 8 αργά το απόγευμα έχουμε ουδέτερες ή ελαφρά ασταθείς συνθήκες. Εν συνεχεία για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο δεν παρουσιάζεται μεγάλη διακύμανση των συνθηκών καθώς κατά τη διάρκεια της μέρας από τις 6 το πρωί μέχρι και τις 6 το απόγευμα έχουμε ελαφρά ασταθείς συνθήκες ενώ για όλες τις υπόλοιπες ώρες επικρατούν ουδέτερες συνθήκες. Για το μήνα Μάρτιο τις πρώτες πρωινές ώρες από τις 6 μέχρι 8 επικρατούν μέτρια ασταθείς συνθήκες, εν συνεχεία μέχρι τις 5 το απόγευμα γίνονται ελαφρά ασταθείς και τις υπόλοιπες ώρες που αφορούν κυρίως τη νύχτα μετατρέπονται σε ελαφρά ή και μέτρια ευσταθείς συνθήκες. Τέλος το μήνα Απρίλιο παρατηρούμε από τις 7 το απόγευμα μέχρι και τις 6 το πρωί μέτρια ευσταθείς συνθήκες ενώ τις υπόλοιπες ώρες επικρατούν κυρίως ελαφρά ασταθείς συνθήκες.

ii. Μέσες ωριαίες τιμές κλάσης ευστάθειας της Θερινής περιόδου

Ώρα	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος
1	6	5	5	5	5	6
2	6	5	5	5	5	6
3	6	5	5	4	5	5
4	6	5	5	4	5	5
5	6	5	5	4	5	5
6	5	2	3	3	5	4
7	2	2	3	3	2	3
8	2	2	3	3	2	3
9	2	3	3	3	3	3
10	2	3	3	3	3	3
11	2	3	3	3	3	3
12	3	3	3	3	3	3
13	3	3	3	3	3	3
14	3	3	3	3	3	3
15	3	3	3	3	3	3
16	3	3	3	3	3	3
17	3	3	3	3	3	3
18	2	2	2	3	3	3
19	2	2	2	3	3	5
20	2	2	2	3	4	5
21	6	5	5	4	4	5
22	6	5	5	4	4	5
23	6	5	5	4	4	5
24	6	5	5	4	4	6

Πίνακας.12 Ωριαίες κλάσεις ευστάθειας μέσης ημέρας για κάθε μήνα

Τα συμπεράσματα για τη θερινή περίοδο στα οποία καταλήγουμε σύμφωνα με τον πίνακα.12 είναι, αρχικά για το μήνα Μάιο ότι τις βραδυνές ώρες από τις 9 μέχρι και τις 6 το πρωί επικρατούν μέτρια ευσταθείς συνθήκες ενώ την

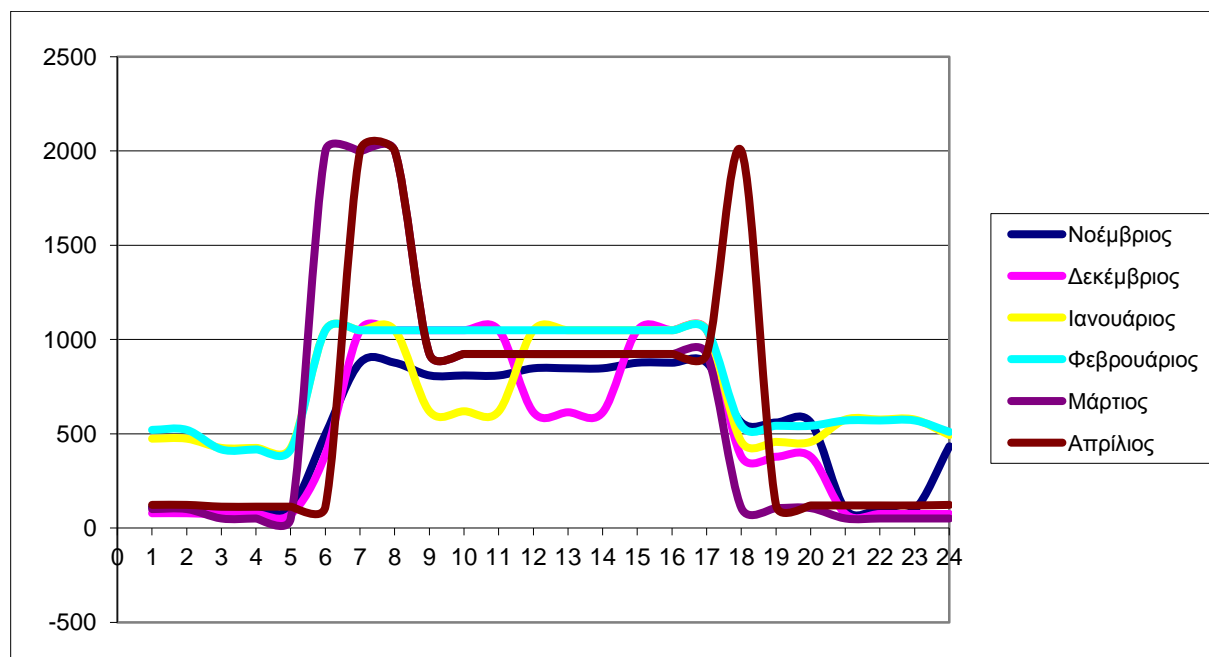


υπόλοιπη μέρα έχουμε κυρίως ελαφρά ασταθείς συνθήκες με μικρά διαστήματα και μέτρια ασταθών συνθηκών. Για τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο παρατηρούνται και για τους δύο σχεδόν ίδιες διακυμάνσεις συνθηκών, με τις νυχτερινές ώρες από τις 9 μέχρι τις 5 τα ξημερώματα να προσδιορίζονται από ελαφρά ευσταθείς συνθήκες και τις υπόλοιπες ώρες να επικρατούν κυρίως ελαφρά ασταθείς συνθήκες με μικρά διαστήματα και μέτρια ασταθών συνθηκών. Οι ίδιες συνθήκες ισχύουν και για το μήνα Σεπτέμβριο με τη διαφορά ότι το διάστημα μεταξύ 8 το βράδυ και 12 τα μεσάνυχτα επικρατούν ουδέτερες συνθήκες. Για το μήνα Αύγουστο καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας από τις 6 το πρωί μέχρι τις 8 αργά το απόγευμα επικρατούν ελαφρά ασταθείς συνθήκες ενώ τις υπόλοιπες ώρες έχουμε ουδέτερες συνθήκες. Τέλος το μήνα Οκτώβριο τη διάρκεια της μέρας έχουμε πάλι ελαφρά ασταθείς συνθήκες ενώ τις βραδυνές κυρίως ώρες από τις 7 το απόγευμα μέχρι και τις 6 το πρωί επικρατούν ελαφρά ευσταθείς συνθήκες και παρεμβάλλονται και μικρά διαστήματα μέτρια ευσταθών συνθηκών.

#### 4.3.5. Ύψος ανάμιξης

Η διακύμανση του αγροτικού ύψους για το έτος του 2012 ακολουθεί στα παρακάτω διαγράμματα:

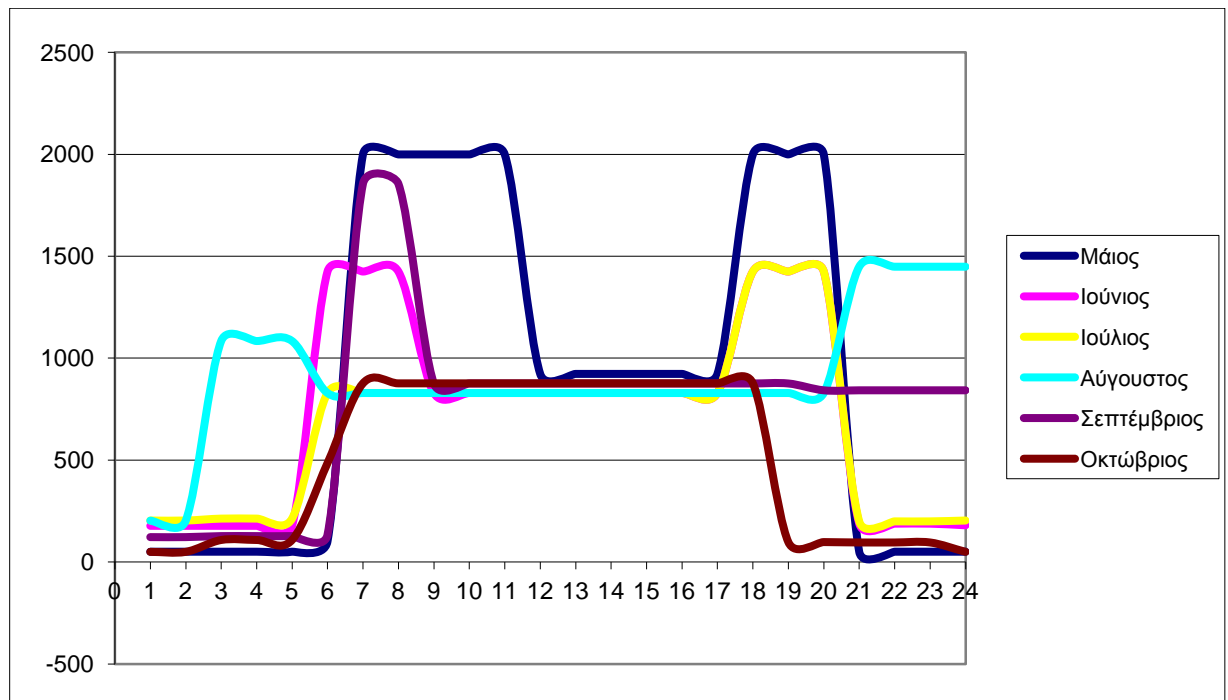
##### ι. Μέσο ύψος ανάμιξης της χειμερινής περιόδου



Διάγραμμα.5 Διακύμανση ωριαίων υψών ανάμιξης των μέσων ημερών κάθε μήνα

Σύμφωνα με το διάγραμμα.5 παρατηρούμε ότι για τις μέσες ημέρες κάθε μήνα της Χειμερινής περιόδου, η μέγιστη τιμή του ύψους ανάμιξης (2000 m) εντοπίζεται τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο και η ελάχιστη τιμή (50m) πάλι το Μάρτιο. Οι μέγιστες τιμές των υψών ανάμιξης των υπολοίπων μέσων ημερών του κάθε μήνα κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα (1000 m), με εξαίρεση το μήνα Νοέμβριο που παρουσιάζει τη μικρότερη μέγιστη τιμή (876 m). Και για τους 6 μήνες οι ώρες που εντοπίζονται μεγάλες τιμές των υψών ανάμιξης είναι από τις 5 τα ξημερώματα μέχρι τις 7 το απόγευμα, για όλες τις υπόλοιπες ώρες που αφορούν τη διάρκεια της νύχτας οι τιμές είναι πολύ μικρότερες.

## ii. Μέσο ύψος ανάμιξης της θερινής περιόδου



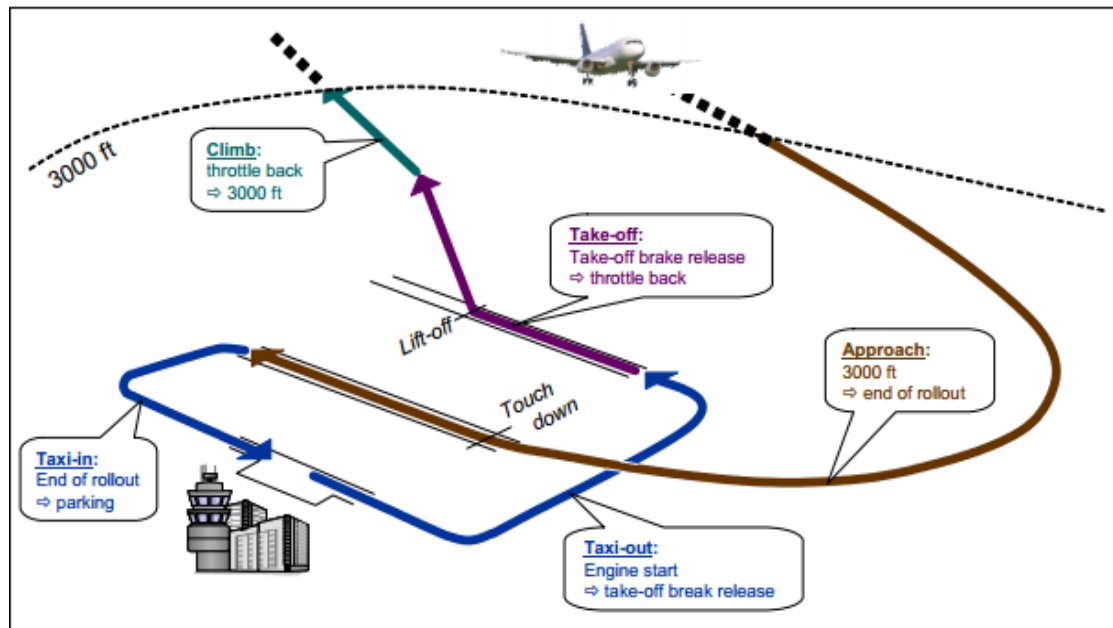
Διάγραμμα.6 Διακύμανση ωριαίων υψών ανάμιξης των μέσων ημερών κάθε μήνα

Σύμφωνα με το διάγραμμα.6 παρατηρούμε ότι για τις μέσες ημέρες κάθε μήνα της Θερινής περιόδου, η μέγιστη τιμή του ύψους ανάμιξης (2000 m) εντοπίζεται το μήνα Μάιο και η ελάχιστη τιμή (50m) πάλι το Μάιο αλλά και τον Οκτώβριο. Με τη δεύτερη μεγαλύτερη μέγιστη τιμή ύψους ανάμιξης (1855 m) ακολουθεί ο μήνας Σεπτέμβριος ενώ για τους μήνες Ιούνιος, Ιούλιος και Αύγουστος οι μέγιστες τιμές κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα (1425 m). Ο μήνας Οκτώβριος παρουσιάζει τη μικρότερη μέγιστη τιμή (876 m). Για τους πέντε μήνες οι ώρες που εντοπίζονται μεγάλες τιμές των υψών ανάμιξης είναι από τις 5 τα ξημερώματα μέχρι τις 9 το βράδυ, ενώ για όλες τις υπόλοιπες ώρες που αφορούν τη διάρκεια της νύχτας οι τιμές είναι πολύ μικρότερες. Εξαίρεση αποτελεί ο μήνας Αύγουστος στον οποίο ισχύει το ακριβώς αντίθετο, καθώς παρουσιάζει μεγάλες τιμές υψών ανάμιξης τις νυχτερινές ώρες 9 με 5 τα ξημερώματα και πολύ μικρότερες κατά τη διάρκεια της υπόλοιπης μέρας.

## 5.Εκτίμηση Ρύπων από τις Εκπομπές των Αεροσκαφών

### 5.1.Γενικά

Κατά τη φάση της λειτουργίας του έργου, οι εκπομπές των ρύπων από τα αεροσκάφη εξαρτώνται από τις συνθήκες λειτουργίας τους. Ο κύκλος λειτουργίας Αεροσκαφών περιλαμβάνει όλες τις λειτουργίες πτήσεως και εδάφους.



Εικόνα.10 Απεικόνιση κινήσεων αεροσκαφών κατά τον κύκλο LTO

Αναλυτικά περιλαμβάνει τις εξής κινήσεις:

- προσέγγιση αεροσκάφους
- προσγείωση αεροσκάφους
- μετακίνηση του αεροσκάφους στις θέσεις αποβίβασης
- στάθμευση αεροσκάφους
- τυχόν έλεγχοι ρουτίνας κινητήρων των αεροσκαφών
- αναμονή στο άκρο του διαδρόμου
- απογείωση αεροσκάφους
- ανύψωση αεροσκάφους

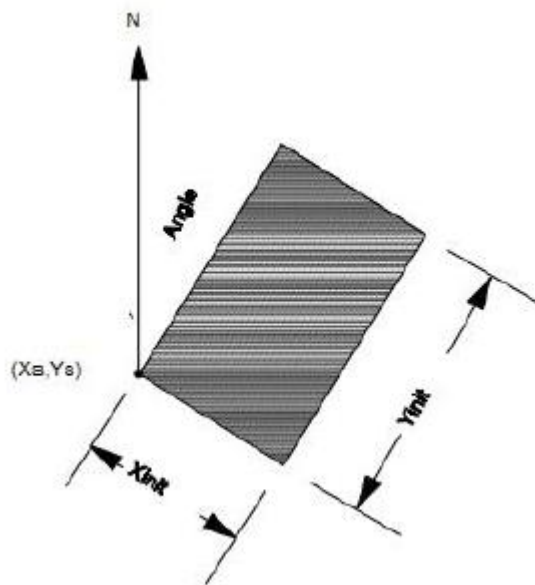
Συγκεκριμένα οι εκπομπές των ρύπων από τα αεροσκάφη εξαρτώνται από τις συνθήκες λειτουργίας τους, δηλαδή :

- αναμονή-λειτουργία σε χαμηλά στοιχεία ( ρελαντί-idle)
- απογείωση (take off)
- προσγείωση (landing)
- αναρρίχηση μέχρι τα 3000 feet (~900 m) (climbout)
- προσέγγιση εδάφους από ύψος 3000 feet (~900 m) (approach)
- Στην παρούσα εργασία δεν θα ασχοληθούμε με τις εκπομπές των αεροσκαφών εκτός αεροδρομίου αλλά μόνο με αυτές εντός του διαδρόμου προσγείωσης-απογείωσης, των διαδρόμων τροχοδρόμησης και των χώρων των εγκαταστάσεων του αεροδρομίου. Επομένως στους υπολογισμούς των εκπομπών δεν συμπεριλαμβάνουμε τις δύο τελευταίες συνθήκες λειτουργίας, της αναρρίχησης και της προσέγγισης στο έδαφος.

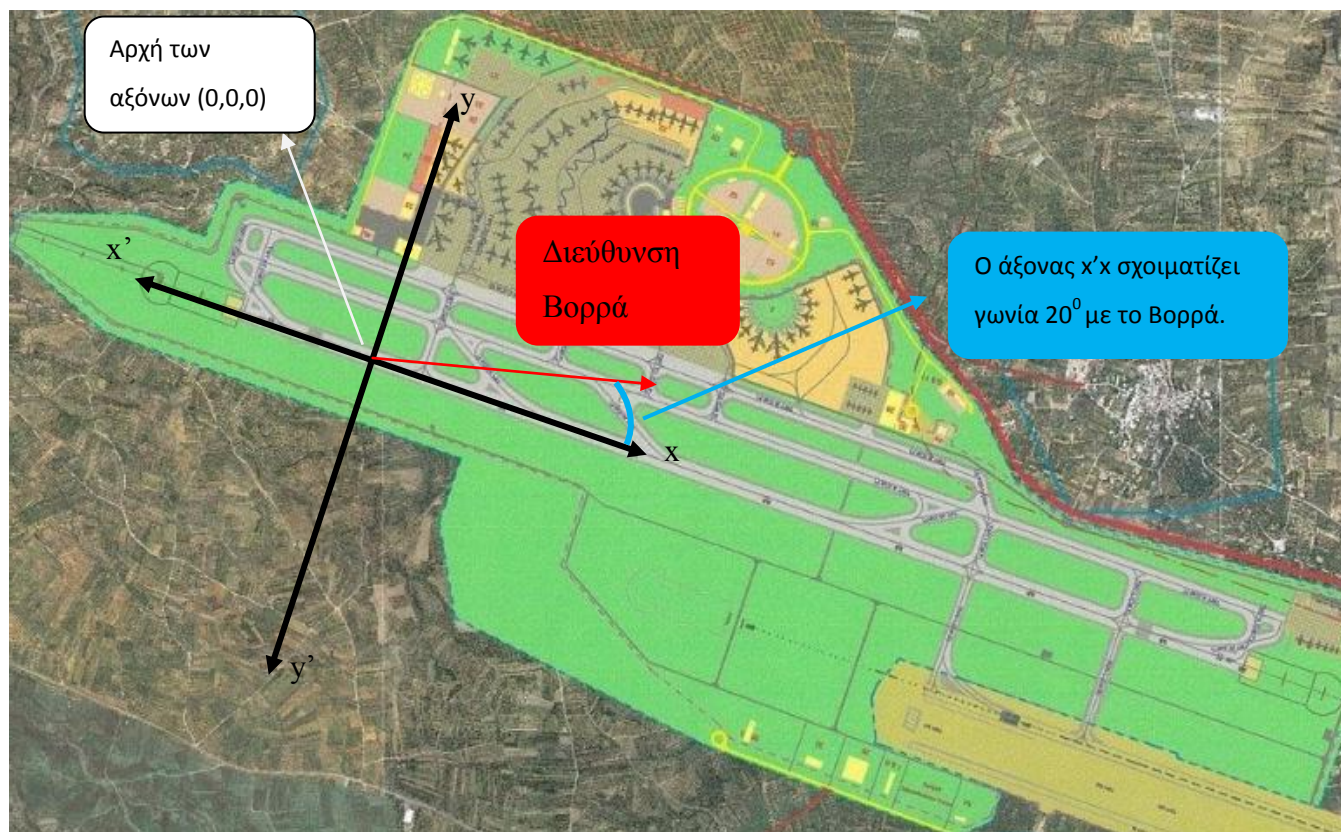
## 5.2.Διαστασιολόγηση αεροδρομίου

Η διαστασιολόγηση βασίζεται στη σχεδίαση των επιφανειακών πηγών, οι οποίες είναι απαραίτητο να εισαχθούν στο κυρίως αρχείο (Deptest.INP) για να εφαρμοστεί σωστά το μοντέλο ISC3-ST. Το μοντέλο ενσωμάτωσε σαν πηγές τον κύκλο προσγείωσης και απογείωσης του αεροσκάφους. Δηλαδή την διαδικασία της προσγείωσης του (landing), την διαδικασία επίγειας μετακίνησης εντός του αεροδρομίου (taxiing-idle), την παραμονή του σ' αυτό και στην συνέχεια την διαδικασία μετακίνησης (taxiing-idle) και απογείωσης (take off). Η απομάκρυνσή του από την ευρύτερη περιοχή του αεροδρομίου δεν συμπεριελήφθηκε.

Η κάθε πηγή διαφέρει από τις υπόλοιπες γιατί καθορίζεται από συγκεκριμένες συντεταγμένες  $(x_s, y_s, z_s)$ , συγκεκριμένες διαστάσεις  $(X_{init}, Y_{init})$  και συγκεκριμένη γωνία προς το Βορρά. Στην παρούσα εργασία όπου μελετάμε επιφανειακές πηγές το  $z_s$  κάθε φορά είναι **μηδέν**.



Σχήμα.2 Παράμετροι που καθορίζουν την τοποθέτηση της κάθε πηγής



Εικόνα.11 Απεικόνιση της αρχής των αξόνων και της γωνίας που σχηματίζει ο  $x'$  άξονας με τη διεύθυνση του Βορρά

Αφού ορίσουμε μέσα στο αεροδρόμιο και συγκεκριμένα πάνω στον αεροδιάδρομο το σημείο (0,0,0), μπορούμε να προσδιορίζουμε σύμφωνα με τις διαστάσεις του κυρίως αεροδιαδρόμου και των παραλληλων του τις τιμές που μπορούν να πάρουν οι άξονες  $x'$  και  $y'$ . Ο άξονας  $x'$  παίρνει τιμές από -500 μέχρι και 3000 ενώ ο άξονας  $y'$  παίρνει τιμές από 0 μέχρι 350. Εφόσον γνωρίζουμε και τη γωνία που σχηματίζει ο άξονας  $x'$  με τη διεύθυνση του Βορρά μπορούμε πλέον να προσδιορίσουμε την κάθε πηγή ξεχωριστά. Η σχεδίαση των πηγών αυτών καθορίζεται από τις κινήσεις των αεροσκαφών και πιο συγκεκριμένα σε ποιά συνθήκη λειτουργίας βρίσκεται κάθε φορά το κάθε αεροσκάφος.

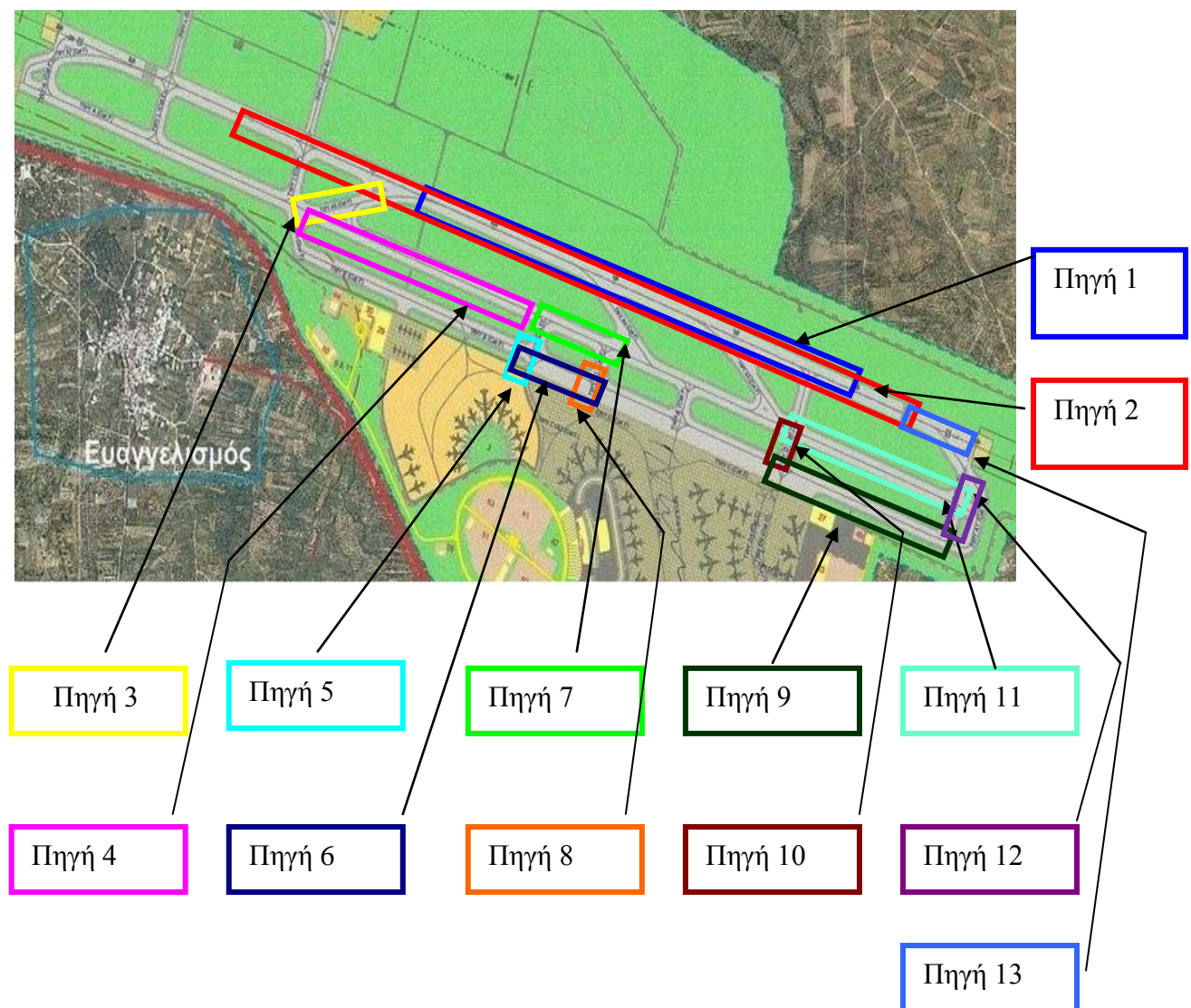
### **5.2.1.Σχεδίαση πηγών τη Θερινή και τη Χειμερινή περίοδο**

Η κάθε πηγή έχει σημαντικό ρόλο καθώς αποτελεί βασικό παράγοντα προσδιορισμού των ρυθμών εκπομπής ρύπων των αεροσκαφών. Αυτό προκύπτει από το ότι κάθε χώρος ανάλογα με το είδος της κίνησης των αεροσκαφών και αναλόγως και την έκταση που καλύπτει το αεροσκάφος κατά τη διάρκεια της κάθε κίνησης, αποτελεί και πηγή συγκεκριμένων ρυθμών εκπομπής ρύπων. Το γκαουσιανό μοντέλο (ISC3-ST) εφαρμόστηκε για δύο χρονικά σενάρια, για τη Χειμερινή περίοδο (Νοέμβριο μέχρι Απρίλιο) και για τη Θερινή περίοδο (Μάιο μέχρι Οκτώβριο), όπου η διαφοροποίηση των εκπομπών στους δύο αυτούς χρονικούς ορίζοντες είναι σημαντική. Οι βασικοί λόγοι της διαφοροποίησης αυτής είναι οι διαφορετικές καιρικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περίοδο καθώς και ο διαφορετικός αριθμός των αεροσκαφών που απογειώνονται και προσγειώνονται κατά τη διάρκεια αυτών.

Ο αριθμός των πηγών λοιπόν διαφέρει σε κάθε περίοδο καθώς διαφέρει και ο αριθμός των αεροσκαφών που βρίσκεται σε λειτουργία, ανάλογα την περίοδο. Τη θερινή περίοδο είναι λογικό να έχουμε περισσότερες πτήσεις λόγω αυξημένης κίνησης των τουριστών στην Κρήτη. Ως δεδομένο λοιπόν για την διαστασιολόγηση των πηγών παίρνουμε ότι μια μέση ημέρα αιχμής της θερινής περιόδου έχουμε 264 κινήσεις αεροσκαφών (144 προσγειώσεις, 120 απογειώσεις και 264 κινήσεις σε ρυθμούς ρελαντί), ενώ για τη μέση ημέρα



αιχμής τη Χειμερινή περίοδο οι κινήσεις περιορίζονται στις 168 (96 προσγειώσεις και 72 απογειώσεις και 168 κινήσεις σε ρυθμούς ρελαντί) [Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων αεροδρομίου Καστελλίου,2009]. Συγκεκριμένα οι πηγές σχεδιάζονται βάση των λειτουργιών των αεροσκαφών μια μέση ώρα της ημέρας. Δηλαδή για τη θερινή περίοδο κτα μέσο όρο την ώρα έχουμε 6 προσγειώσεις, 5 απογειώσεις και 11 κινήσεις σε ρυθμούς ρελαντί σε διαφορετικά σημεία, ενώ για τη Χειμερινή περίοδο έχουμε 4 προσγειώσεις,3 απογειώσεις και 7 κινήσεις σε ρυθμούς ρελαντί σε διαφορετικά σημεία.Απεικόνιση και αναλυτική περιγραφή γίνεται στα σχήματα.3,4.



Σχήμα.3 Πηγές Θερινής περιόδου



Σύμφωνα με την παραπάνω σχήμα.3 έχουμε τις εξής πηγές:

**Πηγή 1(0,0,0) με γωνία (-155°):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία αεροσκαφών κατά την προσγείωση.Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 28.000 m<sup>2</sup>.

**Πηγή 2(-200,0,0) με γωνία (-155°):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία αεροσκαφών κατά την απογείωση. Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 50.000 m<sup>2</sup>.

**Πηγή 3(1800,0,0) με γωνία 170°):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία των αεροσκαφών κατά την έξοδό τους από τον αεροδιάδρομο(κίνηση σε ρυθμούς ρελαντί). Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 4.000 m<sup>2</sup>.

**Πηγή 4(2050,0,0) με γωνία (-155°):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία των αεροσκαφών κατά την τροχοδρομησή τους προς τις θέσεις αποβίβασης(κίνηση σε ρυθμούς ρελαντί). Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 16.000 m<sup>2</sup>.

**Πηγή 5(1250,200,0) με γωνία (-70°):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία των αεροσκαφών κατά την τροχοδρομησή τους προς τις θέσεις σταθμευσή (κίνηση σε ρυθμούς ρελαντί). Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 2.800 m<sup>2</sup>.

**Πηγή 6(1250,350,0) με γωνία (-155°):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία των αεροσκαφών κατά την τροχοδρομησή τους προς τις θέσεις που γίνεται έλεγχο ρουτίνας των κινητήρων τους(κίνηση σε ρυθμούς ρελαντί). Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 5.200 m<sup>2</sup>.

**Πηγή 7(1250,200,0) με γωνία (-155°):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία των αεροσκαφών κατά την τροχοδρομησή τους προς τις θέσεις αποβίβασης(κίνηση σε ρυθμούς ρελαντί). Το εμβαδόν

της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 5.200 m<sup>2</sup>.

**Πηγή 8(950,200,0) με γωνία (-70<sup>0</sup>):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία των αεροσκαφών κατά την τροχοδρομησή τους προς τις θέσεις σταθμευσή (κίνηση σε ρυθμούς ρελαντί). Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 2.800 m<sup>2</sup>.

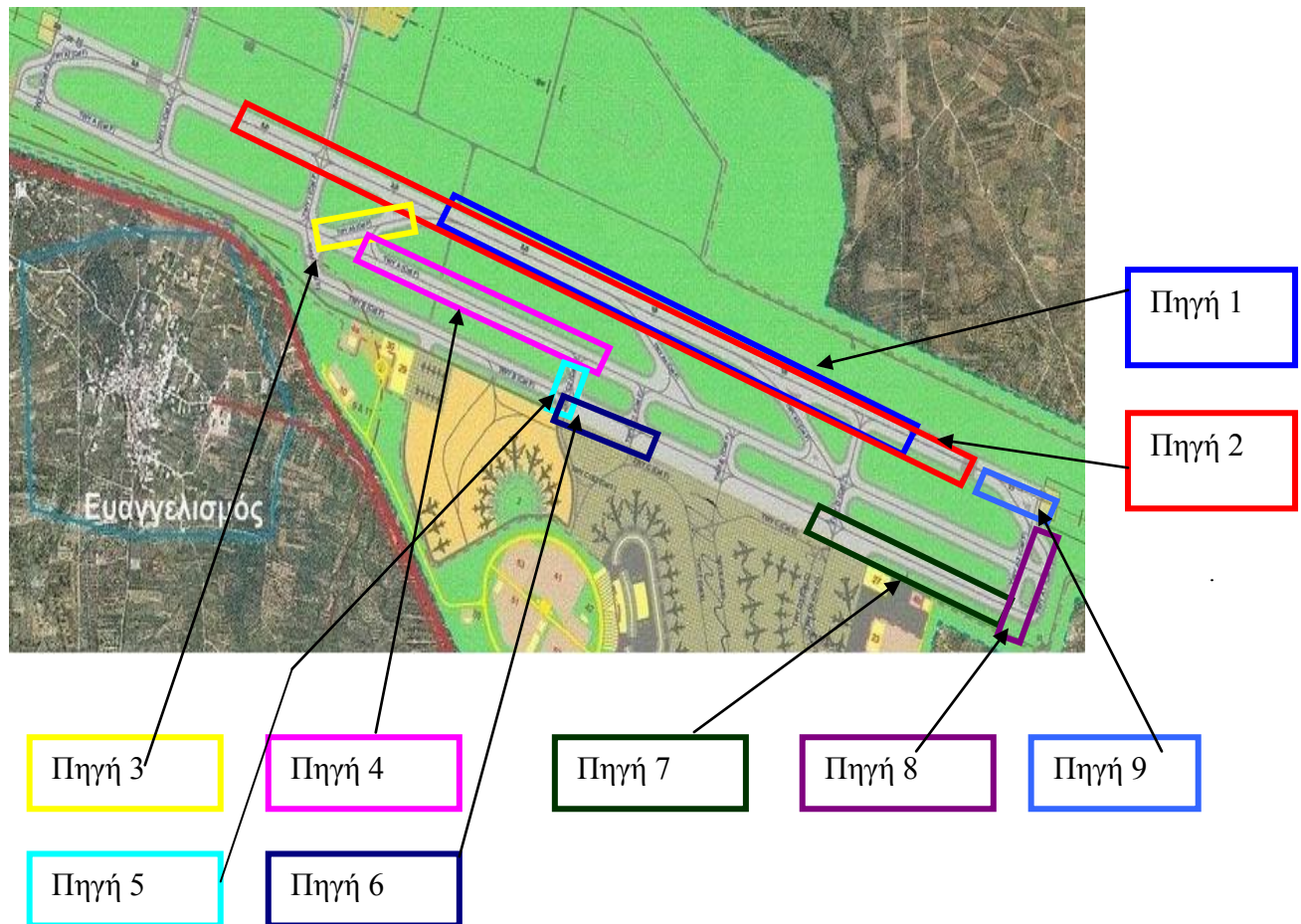
**Πηγή 9(200,350,0) με γωνία (-155<sup>0</sup>):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία των αεροσκαφών κατά την τροχοδρομησή τους στις θέσεις επιβίβασης(κίνηση σε ρυθμούς ρελαντί). Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 14.000 m<sup>2</sup>.

**Πηγή 10(200,350,0) με γωνία (-70<sup>0</sup>):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία των αεροσκαφών κατά την τροχοδρομησή τους προς τις θέσεις σταθμευσή (κίνηση σε ρυθμούς ρελαντί). Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 2.800 m<sup>2</sup>.

**Πηγή 11(200,200,0) με γωνία (-155<sup>0</sup>):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία των αεροσκαφών κατά την τροχοδρομησή τους στην εισοδό του αεροδιαδρόμου (κίνηση σε ρυθμούς ρελαντί). Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 5.200 m<sup>2</sup>.

**Πηγή 12(-500,350,0) με γωνία (-70<sup>0</sup>):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία των αεροσκαφών κατά την τροχοδρομησή τους στην εισοδό του αεροδιαδρόμου (κίνηση σε ρυθμούς ρελαντί). Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 2.800 m<sup>2</sup>.

**Πηγή 13(-500,0,0) με γωνία (-155<sup>0</sup>):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία των αεροσκαφών κατά την αναμονή τους στο άκρο του αεροδιάδρομου(κίνηση σε ρυθμούς ρελαντί). Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 5.200 m<sup>2</sup>.



Σχήμα.4 Πηγές Χειμερινής περιόδου

Σύμφωνα με την παραπάνω σχήμα.4 έχουμε τις εξής πηγές:

**Πηγή 1(0,0,0) με γωνία (-155°):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία αεροσκαφών κατά την προσγείωση.Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 28.000 m<sup>2</sup>.

**Πηγή 2(-200,0,0) με γωνία (-155°):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία αεροσκαφών κατά την απογείωση. Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 50.000 m<sup>2</sup>.

**Πηγή 3(1800,0,0) με γωνία (170°):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία των αεροσκαφών κατά την έξοδό τους από τον αεροδιάδρομο(κίνηση σε ρυθμούς ρελαντί). Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 4.000 m<sup>2</sup>.

**Πηγή 4(2050,200,0) με γωνία (-155<sup>0</sup>):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία των αεροσκαφών κατά την τροχοδρομησή τους προς τις θέσεις αποβίβασης(κίνηση σε ρυθμούς ρελαντί). Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 16.000 m<sup>2</sup>.

**Πηγή 5(1250,200,0) με γωνία (-70<sup>0</sup>):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία των αεροσκαφών κατά την τροχοδρομησή τους προς τις θέσεις σταθμευσή (κίνηση σε ρυθμούς ρελαντί). Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 2.800 m<sup>2</sup>.

**Πηγή 6(1250,350,0) με γωνία (-155<sup>0</sup>):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία των αεροσκαφών κατά την τροχοδρομησή τους προς τις θέσεις που γίνεται έλεγχο ρουτίνας των κινητήρων τους(κίνηση σε ρυθμούς ρελαντί). Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 5.200 m<sup>2</sup>.

**Πηγή 7(200,350,0) με γωνία (-155<sup>0</sup>):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία των αεροσκαφών κατά την τροχοδρομησή τους προς τις θέσεις αποβίβασης(κίνηση σε ρυθμούς ρελαντί). Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 14.000 m<sup>2</sup>.

**Πηγή 8(-500,350,0) με γωνία (-70<sup>0</sup>):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία των αεροσκαφών κατά την τροχοδρομησή τους προς τις θέσεις σταθμευσή (κίνηση σε ρυθμούς ρελαντί). Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 7.000 m<sup>2</sup>.

**Πηγή 9(-500,0,0) με γωνία (-155<sup>0</sup>):**Χώρος όπου οι εκπομπές ρύπων προέρχονται από την λειτουργία των αεροσκαφών κατά την αναμονή τους στο άκρο του αεροδιάδρομου(κίνηση σε ρυθμούς ρελαντί). Το εμβαδόν της επιφάνειας που καλύπτεται κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής είναι 5.200 m<sup>2</sup>.

### 5.3.Υπολογισμός ρυθμού εκπομπής των αέριων ρύπων



Εικόνα.12 Τροχοδρόμηση αεροσκαφών προς το διάδρομο απογείωσης.

#### 5.3.1.Εισαγωγή

Όπως στην διαστασιολόγηση έτσι και για τον υπολογισμό των εκπομπών των ρύπων παίρνουμε ότι μια μέση ημέρα αιχμής της θερινής περιόδου έχουμε 264 κινήσεις αεροσκαφών (144 προσγειώσεις, 120 απογειώσεις και 264 κινήσεις σε ρυθμούς ρελαντί), ενώ για τη μέση ημέρα αιχμής τη Χειμερινή περίοδο οι κινήσεις περιορίζονται στις 168 (96 προσγειώσεις, 72 προσγειώσεις και 168 κινήσεις σε ρυθμούς ρελαντί) *[Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων αεροδρομίου Καστελλίου, 2009]*.

Εφόσον είναι γνωστές οι επιφάνειες της κάθε μιας πηγής και αφού υπολογιστούν οι εκπομπές ρύπων που παράγονται σε κάθε φάση λειτουργίας, έπειτα μπορούμε να βρούμε και τον ρυθμό εκπομπής κάθε πηγής για κάθε ρύπο.

### 5.3.2.Εξισώσεις υπολογισμού εκπομπών των ρύπων

Για τον υπολογισμό των εκπομπών, των μονοξειδίων του άνθρακα (**CO**), των υδρογονανθράκων (**HC**), των οξειδίων του αζώτου (**NO<sub>x</sub>**) και των διοξειδίου του θείου (**SO<sub>2</sub>**), ισχύει η εξίσωση (12). Για τον υπολογισμό των εκπομπών των σωματιδίων **PM<sub>10</sub>** ισχύουν άλλες εξισώσεις που θα αναφερθούν παρακάτω [Airport air quality manual, ICAO 2011].

**Τύπος υπολογισμού εκπομπών ενός αεροσκάφους:**

$$EI(a) = 2 \times \text{time}(\text{min}) \times 60(\text{sec/min}) \times \text{Fuel flow}(\text{Kg/s}) \times \text{emission factor}(\text{g/Kg})$$

(12)

**όπου,**

- EI(a), οι εκπομπές κάθε ρύπου σε κάθε φάση λειτουργίας ενός αεροσκάφους
- 2, ο αριθμός των κινητήρων που έχει ένα αεροσκάφος
- time, η ώρα που μένει το αεροσκάφος στη κάθε λειτουργία(mode)
- 60 τα δευτερόλεπτα του ενός λεπτού
- Fuel flow, η ροή του καυσίμου
- Emission factor, ο συντελεστής εκπομπής του κάθε ρύπου

Συγκεκριμένα στον πίνακα.13 παρατίθενται αναλυτικά οι τιμές που παίρνουν οι παραπάνω παραμέτροι, έτσι ώστε να υπολογιστούν οι συνολικές εκπομπές του κάθε ρύπου σε κάθε φάση λειτουργίας.

Φάση Λειτουργίας	Ισχύς % F	Χρόνος (min)	Ροή Καυσίμου (Kg/s)	Συντελεστής εκπομπής HC(g/Kg)	Συντελεστής εκπομπής CO(g/Kg)	Συντελεστής εκπομπής NOx(g/Kg)	Συντελεστής εκπομπής SO2(g/Kg)
Απογείωση	100	0.7	1,265	0.05	0.54	20.81	1
Προσγείωση	30	4.0	0,351	4.21	24.28	7.53	1
Ρελαντί	7	26.0	0.115	5.56	38.73	4.36	1

Πίνακας.13 [ICAO ENGINE EXHAUST EMISSIONS DATA BANK, 2012]

- Για τα σωματίδια  $PM_{10}$  ο τρόπος υπολογισμού των συνολικών εκπομπών σε κάθε φάση λειτουργίας είναι διαφορετικός, καθώς η παραπάνω εξίσωση (12) ισχύει για τους υπόλοιπους τέσσερις ρύπους. Η συνολική μάζα των εκπομπών των σωματιδίων  $PM_{10}$  αποτελείται από τις μάζες των παρακάτω κατηγοριών PM [Airport air quality manual, ICAO 2011]:

- 1. Μη πτητικό PM ( $EI_{PM_{nvol}}$ ).** Ο υπολογισμός των μη πτητικών PM βασίζεται στον αριθμό αιθάλης του κινητήρα (SN) και την αναλογία αέρα, καυσίμου (AFR)
- 2. Πτητικό θειικό PM ( $EI_{PM_{vol-FSC}}$ ).** Πτητικό θειικό PM σχηματίζεται από το θείο των καυσίμων μέσω οξείδωσης του  $SO_2$  (SIV) προς  $SO_3$  (SVI).
- 3. Πτητικό οργανικό PM ( $EI_{PM_{vol-FuelOrganics}}$ ).** Οι μετρήσεις συμπυκνώσιμων οργανικών στα καυσαέρια του κινητήρα είναι πολύ περιορισμένες. Τα συμπυκνώσιμα οργανικά σχετίζονται άμεσα με άκαυστους υδρογονανθράκες.

	Sn	AFRS	δ(mg/g)
Take-off	14,70	45	115,00
Approach	4,41	83	56,25
Idle	4,41	106	6,17

Πίνακας.14 [Airport air quality manual,ICAO 2011]

Όπου:

Sn:Αριθμός αιθάλης που ορίζεται από το ICAO

AFRS: Λόγος αέρα/καυσίμου

δ:Αναλογία  $\frac{EL_{pmvol - orgCFM56}}{EL(HC_{CFM56})}$

i. Τύπος υπολογισμού Non-volatile Pm (Μη πτητικό)

$$E_{l_{pmnvol}} = CI * Q_{core} \times \text{fuel} \quad (13)$$

όπου

$$CI = 0.06949 * (Sn)^{1,234} \text{ mg}/m^3$$

$$Q_{core} = 0,776 * (AFRS) + 0.877 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

ii. Τύπος υπολογισμού Volatile sulphate Pm (Πτητικό Θεικό)

$$EL_{PMvol-fsc} = 10^6 * \left[ \frac{(fsc) * (e) * (MW_{out})}{MW_{sulphur}} \right] \text{mg} / \text{Kg} \quad (14)$$



**όπου**

(fsc)=0.00068 % κατά βάρος

(e)=0,033 % κατά βάρος

$MW_{out}=96^{(SO_4^{-2})}$

$MW_{sulphur}=32^{(SO_4^{-2})}$

**iii. Τύπος υπολογισμού Volatile organic PM (ElPMvol–FuelOrganics)  
(Πτητικό οργανικό PM)**

$$El_{PMvol-FuelOrganics} = \frac{El_{PMvol-orgCFM56}}{El_{HC_{CFM56}}} * (El_{HC_{engine}})mg / Kg$$

(15)

ή

$$El_{PMvol-FuelOrganics} = \delta * (El_{HC_{engine}})mg / Kg$$

(16)

**Αφού**

$$\delta: \left( \frac{El_{PMvol-orgCFM56}}{El_{HC_{CFM56}}} \right), \text{βλέπε πίνακα.11}$$

#### iv. Τύπος υπολογισμού ολικών PM

$$EI_{PMtotal} = (EI_{PMvol}) + (EI_{PMvol-fsc}) + (EI_{PMvol-FuelOrganics}) \quad (17)$$

Αφού υπολογιστούν οι εκπομπές ρύπων, και αφού γίνει η μετατροπή των μονάδων από γραμμάρια ανα αεροπλάνο (g/airplane) σε γραμμάρια ανα ημέρα (g/day) τελικά σε γραμμάρια ανα δευτερόλεπτο (g/sec), υπολογίζουμε τον ρυθμό εκπομπής κάθε πηγής σύμφωνα με τον τύπο (18):

$$R_E = \frac{\text{Εκπομπές ρύπων}}{\text{Εμβαδόν επιφάνειας πηγής}} g / sec \times m^2 \quad (18)$$

#### 5.3.3.Υπολογισμός εκπομπής των ρύπων Χειμερινής περιόδου

Αφού εφαρμοσθούν οι εξισώσεις (12) έως (17) που αναφέραμε στο κεφάλαιο (5.3.2) και γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί, προκύπτουν οι εκπομπές των ρύπων κατά τη Χειμερινή περίοδο. Στους πίνακες 15, 16 και 17 αναφέρονται αναλυτικά τα αποτελέσματα εκπομπής του κάθε ρύπου ξεχωριστά, για κάθε φάση λειτουργίας.

	Εκπομπές ρύπων σε g/airplane				
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>
Προσγείωση	4090,7	709,3	1268,6	168,5	56,0
Απογείωση	57,3	5,3	2211,2	106,2	15,3
Ρελαντί	13896,3	1995,0	1564,3	358,8	49,4

Πίνακας.15 Απεικόνιση των εκπομπών κάθε ρύπου σε (g/airplane) για κάθε φάση λειτουργίας

	Εκπομπές ρύπων σε g/day				
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>
Προσγείωση	392707,2	68092,8	121785,6	16176,0	5376,0
Απογείωση	4131,4	382,5	159206,4	7650,7	1098,0
Ρελαντί	333504,0	47880,0	37543,2	8611,0	1185,1

Πίνακας.16 Απεικόνιση των εκπομπών κάθε ρύπου σε (g/day) για κάθε φάση λειτουργίας

	Εκπομπές ρύπων σε g/sec				
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>
Προσγείωση	4,5452	0,7881	1,4095	0,1872	0,0622
Απογείωση	0,0478	0,0044	1,4095	0,0885	0,0127
Ρελαντί	3,86	0,5542	0,4345	0,0996	0,0137

Πίνακας.17 Απεικόνιση των εκπομπών κάθε ρύπου σε (g/sec) για κάθε φάση λειτουργίας

### 5.3.4.Υπολογισμός εκπομπών των ρύπων της Θερινής περιόδου

Αφού εφαρμοσθούν οι εξισώσεις (12) έως (17) που αναφέραμε στο κεφάλαιο (5.3.2) και γίνουν οι απαραίτητοι υπολογισμοί, προκύπτουν οι εκπομπές των ρύπων κατά τη Θερινή περίοδο. Στους πίνακες 18, 19 και 20 αναφέρονται αναλυτικά τα αποτελέσματα εκπομπής του κάθε ρύπου ξεχωριστά, για κάθε φάση λειτουργίας.

	Εκπομπές ρύπων σε g/airplane				
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>
Προσγείωση	4090,7	709,3	1268,6	168,5	56,0
Απογείωση	57,3	5,3	2211,2	106,2	15,3
Ρελαντί	13896,3	1995,0	1564,3	358,8	49,4

Πίνακας.18 Απεικόνιση των εκπομπών κάθε ρύπου σε (g/airplane) για κάθε φάση λειτουργίας

	Εκπομπές ρύπων σε g/day				
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>
Προσγείωση	589060,8	102139,2	182678,4	24264,0	8064,0
Απογείωση	6885,6	637,6	265352,4	12751,2	1830,0
Ρελαντί	333504,0	47880,0	37543,2	8611,0	1185,1

Πίνακας.19 Απεικόνιση των εκπομπών κάθε ρύπου σε (g/day) για κάθε φάση λειτουργίας

	Εκπομπές ρύπων σε g/sec				
	CO	HC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>
Προσγείωση	6,8178	1,1822	2,1143	0,2808	0,0933
Απογείωση	0,0797	0,0074	3,0712	0,1475	0,0219
Ρελαντί	3,86	0,5542	0,4345	0,0996	0,0137

Πίνακας.20 Απεικόνιση των εκπομπών κάθε ρύπου σε (g/sec) για κάθε φάση λειτουργίας

### 5.3.5.Υπολογισμός των ρυθμών εκπομπής των ρύπων

Αφού έχουν οι υπολογιστεί όλες οι εκπομπές του κάθε ρύπου σε κάθε φάση λειτουργίας των αεροσκαφών,μένει να υπολογιστούν και οι ρυθμοί εκπομπής της κάθε πηγής που ενσωματώνουμε στο κυρίως αρχείο του μοντέλου ISC3-ST,(Deptest.INP). Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή του τύπου (18) από το κεφάλαιο (5.3.2),εφόσον έχουμε υπολογίσει όλες τις εκπομπές και γνωρίζουμε και τα εμβαδά της κάθε πηγής από το κεφάλαιο (5.2.1). Στους παρακάτω πίνακες 21,22,23,24 και 25 ακολουθούν αναλυτικά τα αποτελέσματα των ρυθμών εκπομπής των πηγών, για κάθε ρύπο ξεχωριστά.

Ρυθμοί εκπομπής του Μονοξειδίου του άνθρακα (CO) (g/sec*m <sup>2</sup> )		
	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος
Πηγη(1)	0,0001620	0,0002430
Πηγη(2)	0,0000010	0,0000016
Πηγη(3)	0,0009650	0,0009650
Πηγη(4)	0,0002412	0,0002412
Πηγη(5)	0,0013785	0,0013785
Πηγη(6)	0,0007423	0,0007423
Πηγη(7)	0,0002757	0,0007423
Πηγη(8)	0,0005514	0,0013785
Πηγη(9)	0,0007423	0,0002757
Πηγη(10)	-	0,0013785
Πηγη(11)	-	0,0002757
Πηγη(12)	-	0,0013785
Πηγη(13)	-	0,0007423

Πίνακας.21 Απεικόνιση των ρυθμών εκπομπής CO κάθε πηγής για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο

Ρυθμοί εκπομπής των Υδρογονανθράκων (HC) (g/sec*m <sup>2</sup> )		
	Χειμερινή περίοδος	Θερινή περίοδος
Πηγη(1)	0,0001620	0,0000422
Πηγη(2)	0,0000001	0,0000002
Πηγη(3)	0,0001385	0,0001385
Πηγη(4)	0,0000346	0,0000346
Πηγη(5)	0,0001979	0,0001979
Πηγη(6)	0,0001065	0,0001065
Πηγη(7)	0,0000395	0,0001065
Πηγη(8)	0,0000791	0,0001979
Πηγη(9)	0,0001065	0,0000395
Πηγη(10)	-	0,0001979
Πηγη(11)	-	0,0000395
Πηγη(12)	-	0,0001979
Πηγη(13)	-	0,0001065

Πίνακας.22 Απεικόνιση των ρυθμών εκπομπής HC κάθε πηγής για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο

<b>Ρυθμοί εκπομπής των Οξειδίων του Αζώτου (NO<sub>x</sub>) (g/sec*m<sup>2</sup>)</b>		
	<b>Χειμερινή περίοδος</b>	<b>Θερινή περίοδος</b>
<b>Πηγη(1)</b>	<b>0,0000500</b>	<b>0,0000750</b>
<b>Πηγη(2)</b>	<b>0,0000642</b>	<b>0,0001096</b>
<b>Πηγη(3)</b>	<b>0,0000249</b>	<b>0,0000249</b>
<b>Πηγη(4)</b>	<b>0,0000271</b>	<b>0,0000271</b>
<b>Πηγη(5)</b>	<b>0,0001552</b>	<b>0,0001552</b>
<b>Πηγη(6)</b>	<b>0,0000835</b>	<b>0,0000835</b>
<b>Πηγη(7)</b>	<b>0,0000310</b>	<b>0,0000835</b>
<b>Πηγη(8)</b>	<b>0,0000620</b>	<b>0,0001552</b>
<b>Πηγη(9)</b>	<b>0,0000835</b>	<b>0,0000310</b>
<b>Πηγη(10)</b>	<b>-</b>	<b>0,0001552</b>
<b>Πηγη(11)</b>	<b>-</b>	<b>0,0000310</b>
<b>Πηγη(12)</b>	<b>-</b>	<b>0,0001552</b>
<b>Πηγη(13)</b>	<b>-</b>	<b>0,0000835</b>

Πίνακας.23 Απεικόνιση των ρυθμών εκπομπής NO<sub>x</sub> κάθε πηγής για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο



<b>Ρυθμοί εκπομπής του Διοξειδίου του Θείου (SO<sub>2</sub>) (g/sec*m<sup>2</sup>)</b>		
	<b>Χειμερινή περίοδος</b>	<b>Θερινή περίοδος</b>
<b>Πηγη(1)</b>	<b>0,0000066</b>	<b>0,0000100</b>
<b>Πηγη(2)</b>	<b>0,0000017</b>	<b>0,0000030</b>
<b>Πηγη(3)</b>	<b>0,0000249</b>	<b>0,0000249</b>
<b>Πηγη(4)</b>	<b>0,0000062</b>	<b>0,0000062</b>
<b>Πηγη(5)</b>	<b>0,0000356</b>	<b>0,0000356</b>
<b>Πηγη(6)</b>	<b>0,0000191</b>	<b>0,0000191</b>
<b>Πηγη(7)</b>	<b>0,0000071</b>	<b>0,0000191</b>
<b>Πηγη(8)</b>	<b>0,0000142</b>	<b>0,0000356</b>
<b>Πηγη(9)</b>	<b>0,0000191</b>	<b>0,0000071</b>
<b>Πηγη(10)</b>	<b>-</b>	<b>0,0000356</b>
<b>Πηγη(11)</b>	<b>-</b>	<b>0,0000071</b>
<b>Πηγη(12)</b>	<b>-</b>	<b>0,0000356</b>
<b>Πηγη(13)</b>	<b>-</b>	<b>0,0000191</b>

Πίνακας.24 Απεικόνιση των ρυθμών εκπομπής SO<sub>2</sub> κάθε πηγής για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο

<b>Ρυθμοί εκπομπής των Αιωρούμενων Σωματιδίων (PM<sub>10</sub>)(g/sec*m<sup>2</sup>)</b>		
	<b>Χειμερινή περίοδος</b>	<b>Θερινή περίοδος</b>
<b>Πηγη(1)</b>	<b>0,0000022</b>	<b>0,0000033</b>
<b>Πηγη(2)</b>	<b>0,0000003</b>	<b>0,0000004</b>
<b>Πηγη(3)</b>	<b>0,0000034</b>	<b>0,0000034</b>
<b>Πηγη(4)</b>	<b>0,0000008</b>	<b>0,0000008</b>
<b>Πηγη(5)</b>	<b>0,0000047</b>	<b>0,0000047</b>
<b>Πηγη(6)</b>	<b>0,0000025</b>	<b>0,0000025</b>
<b>Πηγη(7)</b>	<b>0,0000009</b>	<b>0,0000025</b>
<b>Πηγη(8)</b>	<b>0,0000018</b>	<b>0,0000047</b>
<b>Πηγη(9)</b>	<b>0,0000025</b>	<b>0,0000009</b>
<b>Πηγη(10)</b>	<b>-</b>	<b>0,0000047</b>
<b>Πηγη(11)</b>	<b>-</b>	<b>0,0000009</b>
<b>Πηγη(12)</b>	<b>-</b>	<b>0,0000018</b>
<b>Πηγη(13)</b>	<b>-</b>	<b>0,0000025</b>

Πίνακας.25 Απεικόνιση των ρυθμών εκπομπής PM<sub>10</sub> κάθε πηγής για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο

## 6.Ανάλυση των συγκεντρώσεων των αερίων ρύπων

### 6.1.Γενικά

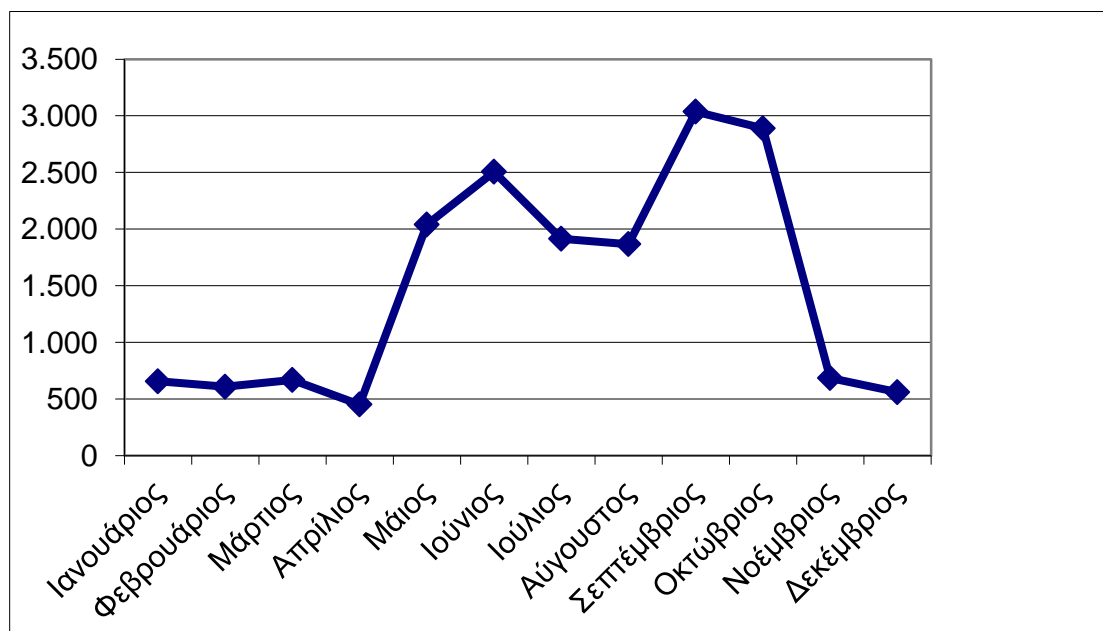
Το γκαουσιανό μοντέλο ISC-ST που χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση και ανάλυση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην ευρύτερη περιοχή του αεροδρομίου Καστελίου Ηρακλείου Κρήτη σχεδιάστηκε σε ένα κάναβο διαστάσεων 10 επί 10 χιλιόμετρα, ενώ καθ' ύψος μέχρι τα 2,5 μέτρα. Ο κάναβος αυτός συμπεριλαμβάνει το σύνολο των εγκαταστάσεων του αεροδρομίου, το διάδρομο προσγειοαπογείωσης, το παλαιότερο ομώνυμο διάδρομο (στρατιωτικό) καθώς και την ευρύτερη κατοικημένη περιοχή. Όπως έχουμε προαναφέρει και στο κεφάλαιο (3) αφού ολοκληρωθούν το κυρίως αρχείο (Deptest.INP) και το μετεωρολογικό αρχείο (Deptest.MET) το μοντέλο είναι έτοιμο προς εκτέλεση και πραγματοποιεί εκτελέσεις για τους πέντε πρωτογενείς ρύπους, που έχουν προαναφερθεί στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο. Τα αποτελέσματα αντλούνται από το αρχείο Maxial όπου περιλαμβάνονται οι συγκεντρώσεις του κάθε ρύπου ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) σε καρτεσιανές συντεταγμένες (m). Τέλος τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων που λήφθηκαν από τη χρήση του μοντέλου θα αξιολογηθούν στη συνέχεια με κριτήρια, τα όρια όπως έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή ένωση και τα οποία αναφέρονται στον πίνακα.26

Ρύπος	Όριο	Σημειώσεις
CO	10 $\text{mg}/\text{m}^3$	Η μέγιστη τιμή των 8-ωρων κυλιόμενων μέσων στο διάστημα μιας ημέρας.
NO <sub>2</sub>	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Μέγιστη ωριαία τιμή που δεν μπορεί να ξεπεραστεί περισσότερο από 18 φορές τον χρόνο
SO <sub>2</sub>	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Μέση ημερήσια τιμή
PM <sub>10</sub>	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Μέση ημερήσια τιμή που δεν πρέπει να ξεπεραστεί περισσότερο από 35 φορές τον χρόνο.
HC	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Μέση ημερήσια τιμή

Πίνακας.26 Θεσπισμένα όρια για ορισμένους αερίους ρύπους από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

## 6.2 .Συμπεράσματα από τα διαγράμματα των μέγιστων τιμών συγκεντρώσης των ρύπων

### ➤ Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

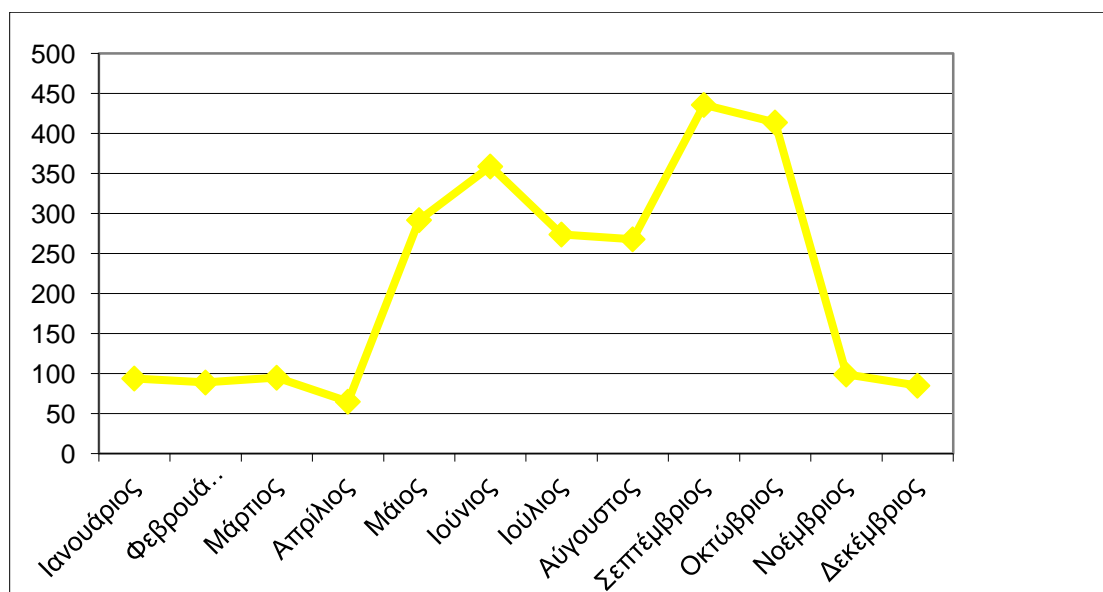


Διάγραμμα.7 Απεικόνιση μέγιστων τιμών συγκέντρωσης του μονοξειδίου του άνθρακα για κάθε μήνα του έτους 2012.

- i. Για τη χειμερινή περίοδο η μεγαλύτερη τιμή αντιστοιχεί στο μήνα Μάρτιο, που είναι τα **800 µg/m³**, ενώ και τους υπόλοιπους χειμερινούς μήνες οι τιμές κυμαίνονται σε εξίσου χαμηλά επίπεδα από **600** μέχρι **800 µg/m³**.
- ii. Για τη θερινή περίοδο η μεγαλύτερη τιμή αντιστοιχεί στο μήνα Σεπτέμβριο και είναι **3200 µg/m³**, παρόμοια τιμή παρατηρείται και το μήνα Οκτώβριο που είναι γύρω στα **3000 µg/m³**, ενώ για τους υπόλοιπους θερινούς μήνες οι τιμές κυμαίνονται από **1700** μέχρι **2500 µg/m³**.

Γενικότερα οι τιμές αυτές, όσον αφορά και τις δύο περιόδους, είναι πολύ μικρότερες απ'τα **10000 µg/m³** που είναι η τιμή που αναφέρεται ως οριακή από την Ευρωπαϊκή Ένωση για την προστασία της δημόσια υγείας.

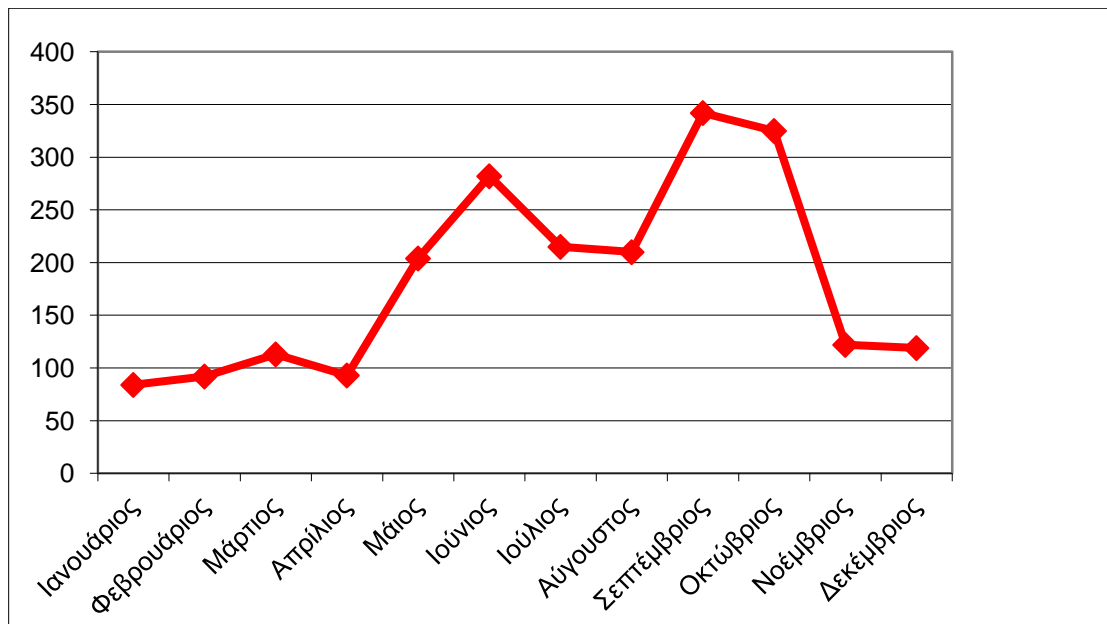
➤ Υδρογονάνθρακες (HC)



Διάγραμμα.8 Απεικόνιση μέγιστων τιμών συγκέντρωσης των υδρογονανθράκων για κάθε μήνα του έτους 2012.

- i. Όσον αφορά τους υδρογονάνθρακες η μεγαλύτερη συγκέντρωση που παρουσιάζεται στη Χειμερινή περίοδο αντιστοιχεί στο μήνα Νοέμβριο, που είναι τα **80 µg/m³**. Η συγκεκριμένη τιμή είναι αρκετά μικρότερη της θεσπισμένης οριακής τιμής από την Ευρωπαϊκή Ένωση που είναι **160 µg/m³**. Για τους υπόλοιπους χειμερινούς μήνες οι τιμές κυμαίνονται στα ίδια και σε πιο χαμηλά επίπεδα.
- ii. Για τη θερινή περίοδο η μεγαλύτερη συγκέντρωση σε HC που είναι τα **440 µg/m³**, αντιστοιχεί στο μήνα Σεπτέμβριο. Η συγκεκριμένη τιμή είναι αρκετά μεγαλύτερη της θεσπισμένης οριακής τιμής από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Αξιοσημείωτο είναι το ότι και τους υπόλοιπους θερινούς μήνες οι μέγιστες τιμές κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα, από **250** μέχρι και **420 µg/m³**.

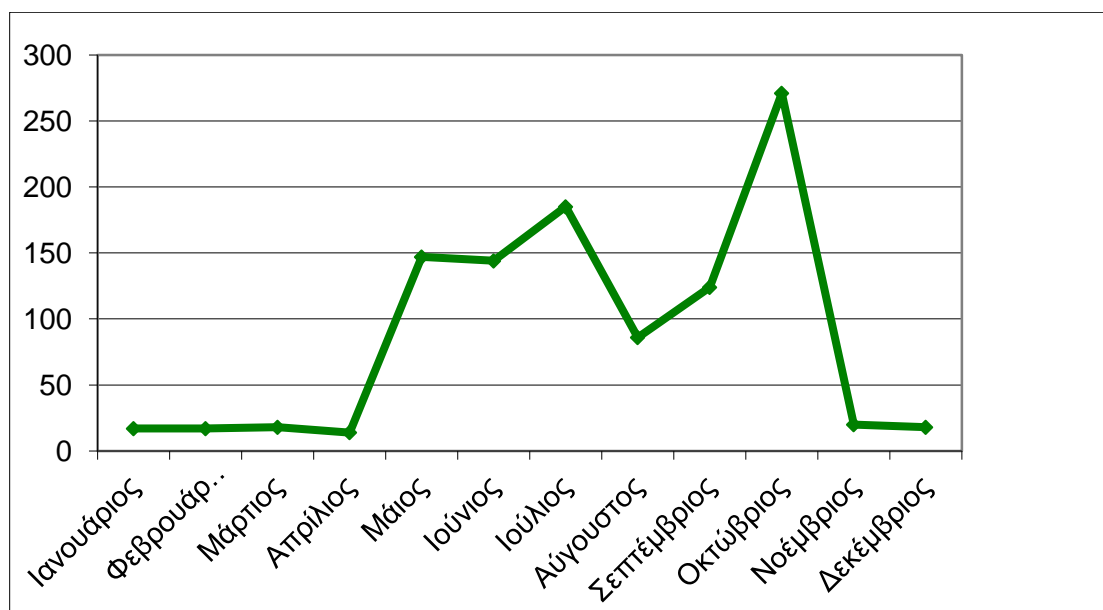
➤ **Οξείδια του αζώτου (NO<sub>x</sub>)**



Διάγραμμα.9 Απεικόνιση μέγιστων τιμών συγκέντρωσης των οξειδίων του αζώτου για κάθε μήνα του έτους 2012.

- i. Στη Χειμερινή περίοδο οι τιμές των συγκεντρώσεων σε NO<sub>x</sub> κυμαίνονται σε χαμηλά επιπέδα από **80 μg/m<sup>3</sup>** που είναι η ελάχιστη τον Ιανουάριο μέχρι τα **120 μg/m<sup>3</sup>** που είναι η μεγαλύτερη συγκέντρωση και παρατηρείται το μήνα Νοέμβριο. Η τιμή που έχει θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση ως οριακή είναι τα **200 μg/m<sup>3</sup>**.
- ii. Το μήνα Σεπτέμβριο παρουσιάζεται στη θερινή περίοδο η μεγαλύτερη συγκέντρωση σε NO<sub>x</sub> που είναι τα **340 μg/m<sup>3</sup>**. Επίσης παρατηρούμε ότι και τους υπόλοιπους θερινούς μήνες οι τιμές είναι μεγάλες με τον Οκτώβρη να δίνει την αμέσως μετά μεγαλύτερη τιμή που είναι τα **320 μg/m<sup>3</sup>** και τον Ιούνιο την τρίτη μεγαλύτερη στα **280 μg/m<sup>3</sup>**. Για τους μήνες Μάιο, Ιούλιο και Αύγουστο οι τιμές κυμαίνονται στα **200** με **220 μg/m<sup>3</sup>**, ελάχιστα πιο πάνω απ' τα όρια που έχουν θεσπιστεί, καθώς η τιμή που έχει θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση ως οριακή είναι τα **200 μg/m<sup>3</sup>**.

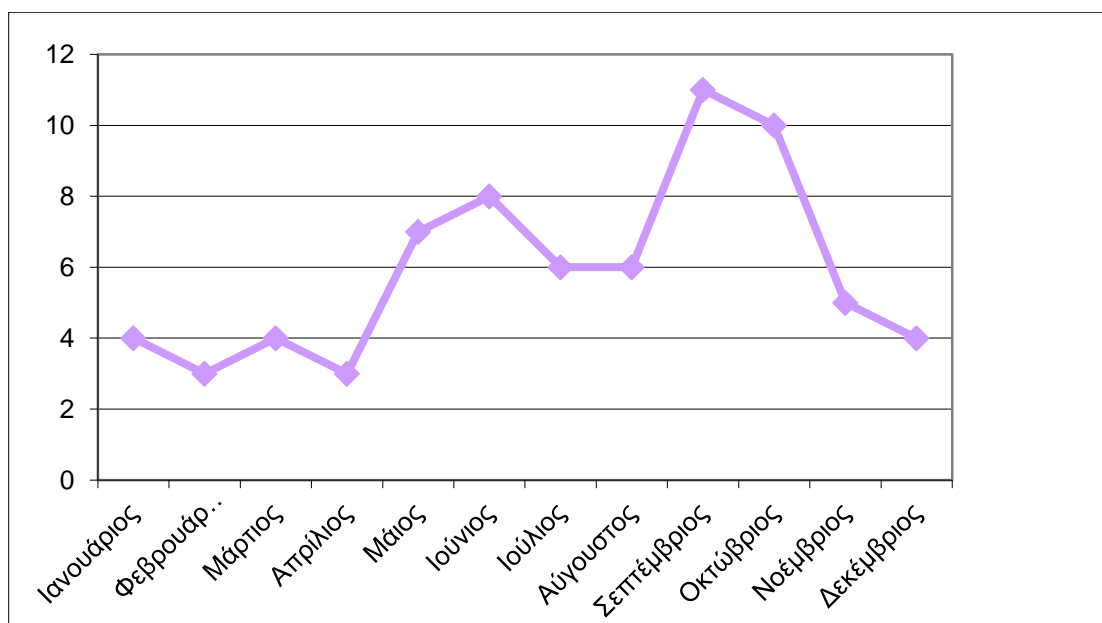
➤ **Διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>)**



Διάγραμμα.10 Απεικόνιση μέγιστων τιμών συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου για κάθε μήνα του έτους 2012.

- i. Το μήνα Νοέμβριο παρουσιάζεται στη Χειμερινή περίοδο η μεγαλύτερη συγκέντρωση σε SO<sub>2</sub> που είναι τα **15 µg/m<sup>3</sup>**. Όσον αφορά το SO<sub>2</sub> η θεσπισμένη οριακή τιμή από την Ευρωπαϊκή Ένωση είναι **125 µg/m<sup>3</sup>**.
- ii. Στο μήνα Οκτώβριο έχουμε στη θερινή περίοδο τη μεγαλύτερη συγκέντρωση σε SO<sub>2</sub> που είναι τα **260 µg/m<sup>3</sup>** με την θεσπισμένη οριακή τιμή από την Ευρωπαϊκή Ένωση να είναι **125 µg/m<sup>3</sup>**. Οι μόνοι μήνες που οι τιμές των συγκεντρώσεων είναι εντός ορίων στη θερινή περίοδο είναι ο Αύγουστος με μέγιστη την τιμή των **85 µg/m<sup>3</sup>** και ο Σεπτέμβριος με μέγιστη αυτή των **120 µg/m<sup>3</sup>**. Απ' την άλλη οι μέγιστες τιμές Μαΐου και Ιουνίου περνάνε για λίγο τη θεσπισμένη οριακή τιμή καθώς κυμαίνονται στα **145 µg/m<sup>3</sup>**, ενώ τον Ιούλιο είναι ακόμα πιο μεγάλη και προσδιορίζεται γύρω στα **180 µg/m<sup>3</sup>**.

➤ **Αιωρούμενα σωματίδια (Pm<sub>10</sub>)**



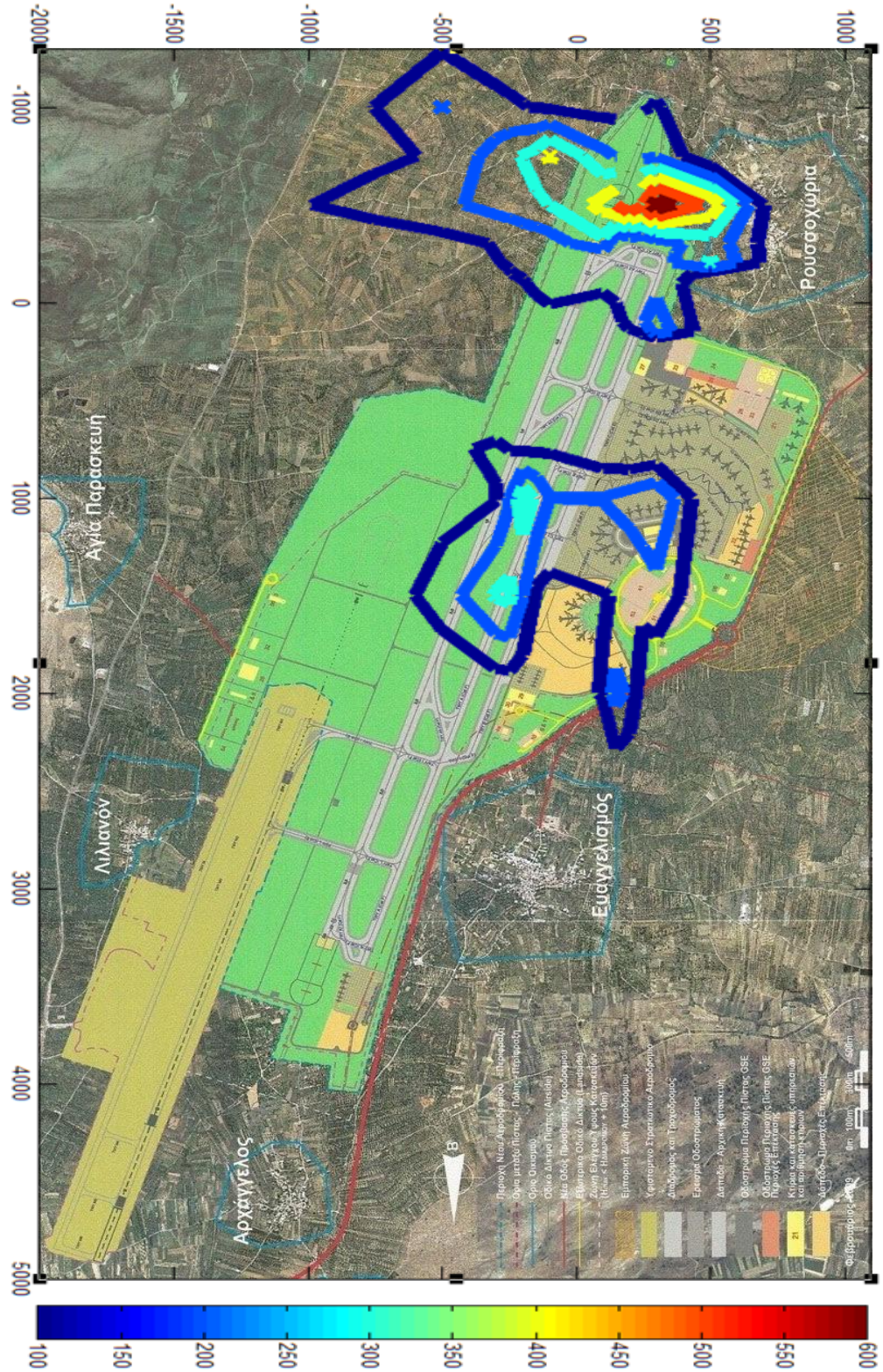
Διάγραμμα.11 Απεικόνιση μέγιστων τιμών συγκέντρωσης των αιωρούμενων σωματιδίων για κάθε μήνα του έτους 2012.

- i. Τέλος και για τα αιωρούμενα σωματίδια στο μήνα Νοέμβριο,στη Χειμερινή περίοδο έχουμε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση που είναι τα **4 µg/m<sup>3</sup>** και η συγκεκριμένη τιμή θεωρείται αμελητέα καθώς η οριακή τιμή που έχει θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση είναι τα **50 µg/m<sup>3</sup>**.
- ii. Αμελητέα επίσης είναι και η μέγιστη τιμή για τη θερινή περίοδο,που είναι τα **11 µg/m<sup>3</sup>** και παρουσιάζεται στο μήνα Σεπτέμβριο.



### 6.3.Ανάλυση ισορρυπαντικών καμπυλών Χειμερινής περιόδου

- Ισορρυπαντικές καμπύλες CO σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  το μήνα Μάρτιο



Για τη χειμερινή περίοδο οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα αντιστοιχούν στο μήνα Μάρτιο, και είναι τα **800  $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Οι συγκεντρώσεις αυτές εντοπίζονται στο νότιο τμήμα του αεροδρομίου και στη περιοχή δίπλα στο χωριό «Ρουσοχώρια» ενώ μικρότερες συγκεντρώσεις έχουμε στο διάδρομο προσγείωσης-απογείωσης, στους διαδρόμους τροχοδρόμησης, στο χώρο στάθμευσης των αεροσκαφών καθώς και στους χώρους των κτιριακών εγκαταστάσεων του αεροδρομίου.

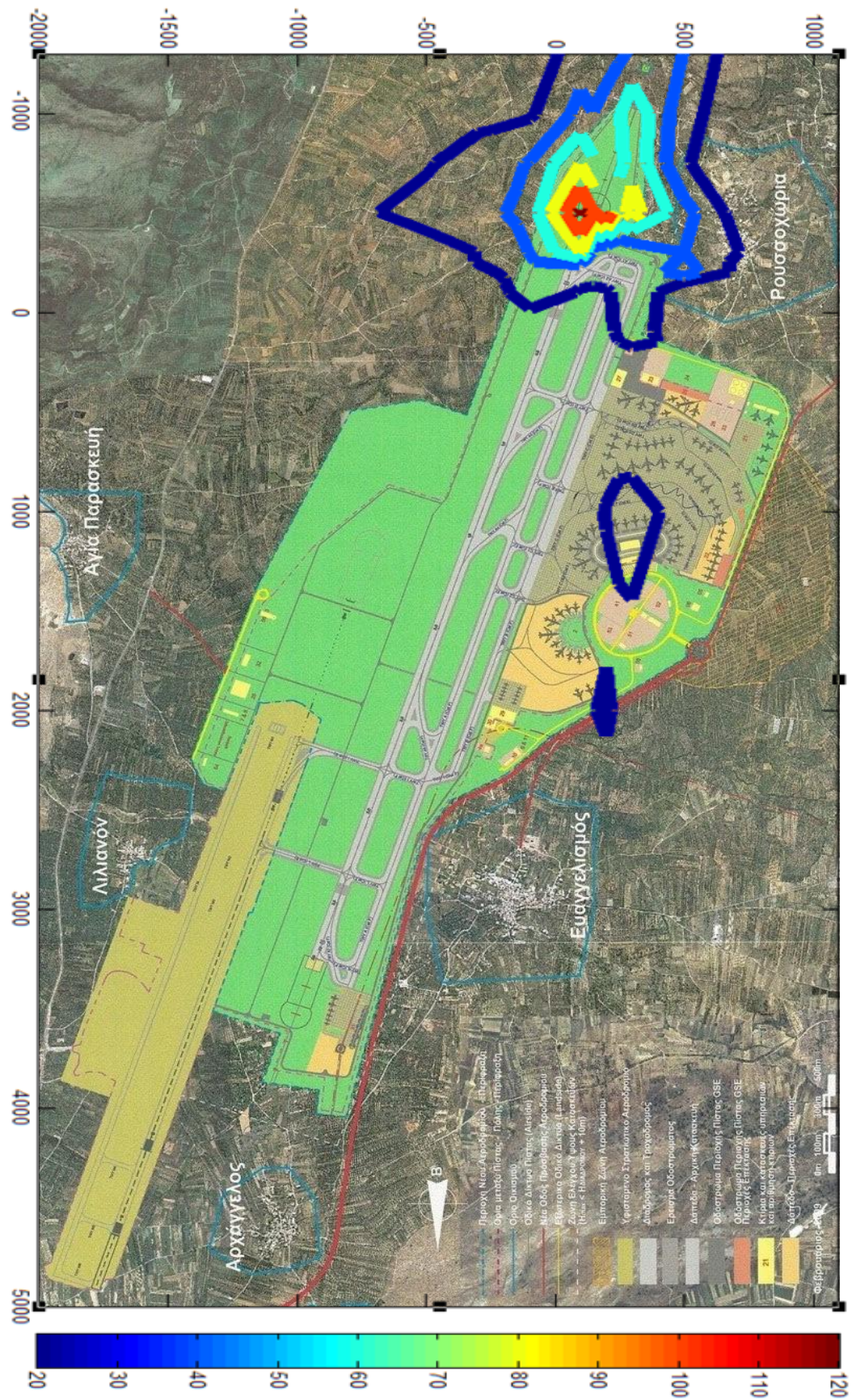


-

Οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης υδρογονανθράκων που παρουσιάζονται στη Χειμερινή περίοδο αντιστοιχούν στο μήνα Νοέμβριο, και είναι τα **80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Οι συγκεντρώσεις αυτές παρατηρούνται στο νότιο τμήμα του αεροδρομίου και στην περιοχή κοντά στο χωριό «Ρουσοχώρια». Ελάχιστη ποσότητα συγκέντρωσης του ρύπου εντοπίζεται και εντός του αεροδρομίου στο χώρο στάθμευσης των αεροπλάνων.



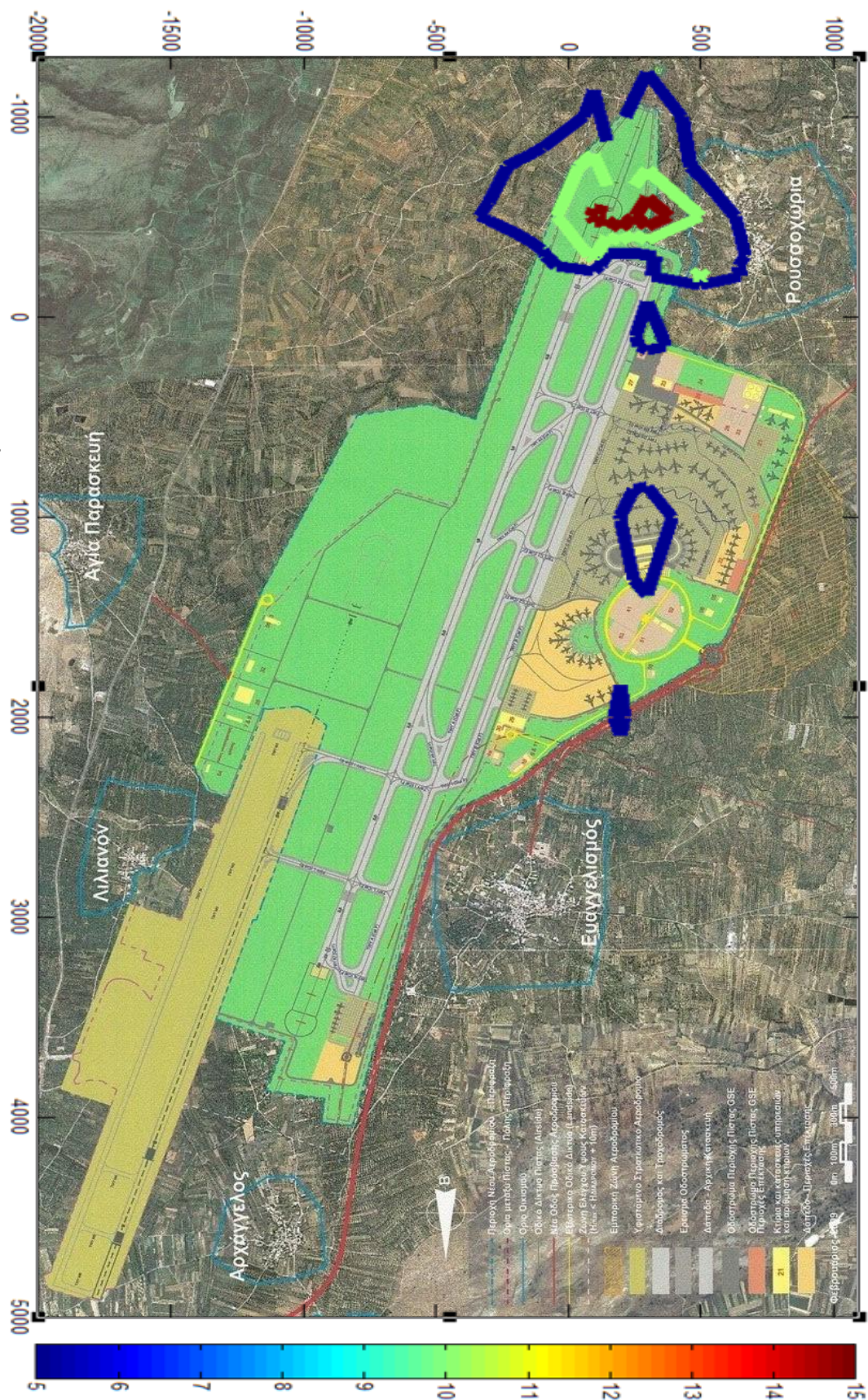
- Ισορρυσπαντικές καμπύλες NOx σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  το μήνα Νοέμβριο



Στη Χειμερινή περίοδο οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης σε NO<sub>x</sub> είναι **120 μg/m<sup>3</sup>** και παρατηρείται το μήνα Νοέμβριο. Οι τιμές αυτές των συγκεντρώσεων εντοπίζονται κυρίως στο νότιο τμήμα του αεροδιαδρόμου προσγείωσης - απογείωσης, ενώ μικρότερες τιμές παρατηρούνται γενικότερα στο νότιο τμήμα του αεροδρομίου και στη περιοχή γύρω από αυτό καθώς και στη περιοχή κοντά το χωριό «Ρουσοχώρια».



- Ισορρυσαντικές καμπύλες SO<sub>2</sub> σε µg/m<sup>3</sup> το μήνα Νοέμβριο



Το μήνα Νοέμβριο παρουσιάζονται στη Χειμερινή περίοδο οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωση σε SO<sub>2</sub> που είναι τα **15 μg/m<sup>3</sup>**. Ο εντοπισμός των τιμών αυτών γίνεται στο νότιο τμήμα του αεροδρομίου ενώ μικρότερες συγκεντρώσεις έχουμε και στη περιοχή γυρώ από αυτό το τμήμα.



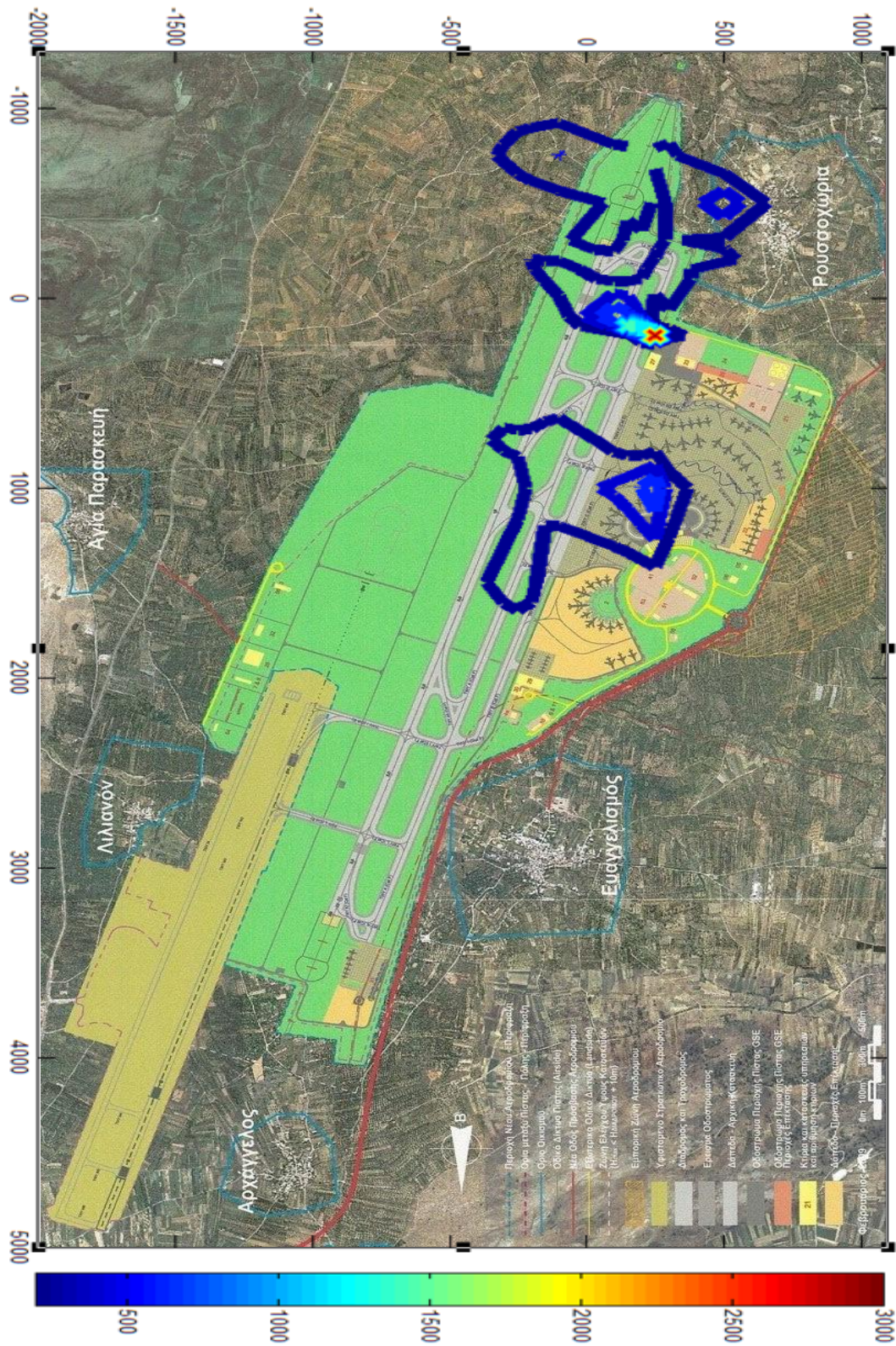
-

Τέλος και για τα αιωρούμενα σωματίδια στο μήνα Νοέμβριο,στη Χειμερινή περίοδο έχουμε τις μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης που είναι τα **4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Οι τιμές αυτές εντοπίζονται νότια του αεροδιαδρόμου προσγείωσης-απογείωσης ενώ μικρότερες τιμές γενικότερα έχουμε στο νότιο τμήμα του αεροδρομίου.



#### 6.4.Ανάλυση Ισορροπιατικών καμπυλών Θερινής Περιόδου

- Ισορροπιαστικές καμπύλες CO σε  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  το Σεπτέμβριο



Για τη θερινή περίοδο οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα αντιστοιχούν στο μήνα Σεπτέμβριο, και είναι τα **3200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Οι συγκεντρώσεις αυτές εντοπίζονται στο νότιο τμήμα του αεροδρομίου στο διάδρομο τροχοδρόμησης, και στους χώρους των κτιριακών εγκαταστάσεων του αεροδρομίου, ενώ πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις έχουμε στο χώρο στάθμευσης των αεροσκαφών στους διαδόμεους προσγείωσης-απογείωσης και τροχοδρόμησης καθώς στη περιοχή κοντά το χωριό «Ρουσοχώρια».



-

Οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης υδρογονανθράκων που παρουσιάζονται στη Θερινή περίοδο αντιστοιχούν στο μήνα Σεπτέμβριο, και είναι τα **400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Οι συγκεντρώσεις αυτές παρατηρούνται στο νότιο τμήμα του αεροδρομίου στο διάδρομο τροχοδρόμησης, και στους χώρους των κτιριακών εγκαταστάσεων του αεροδρομίου, ενώ πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις έχουμε στο χώρο στάθμευσης των αεροσκαφών στα νότια τμήματα των διαδρόμων προσγείωσης - απογείωσης και τροχοδρόμησης καθώς σε μια ευρύτερη περιοχή νοτιοδυτικά του αεροδρομίου που περιλαμβάνει μέσα και όλο το χωριό «Ρουσοχώρια».



-

Στη Θερινή περίοδο οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης σε NO<sub>x</sub> είναι **340 μg/m<sup>3</sup>** και παρατηρείται το μήνα Σεπτέμβριο. Οι τιμές αυτές των συγκεντρώσεων εντοπίζονται κυρίως στο χώρο στάθμευσης των αεροσκαφών και στη περιοχή κοντά σε κτιριακές εγκαταστάσεις, ενώ μικρότερες τιμές παρατηρούνται στον ίδιο χώρο καθώς και στο νότιο τμήμα των αεροδιαδρόμων προσγείωσης - απογείωσης και τροχοδρόμησης και στη περιοχή κοντά το χωριό «Ρουσοχώρια».



-

Το μήνα Οκτώβριο παρουσιάζονται στη θερινή περίοδο οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωση σε SO<sub>2</sub> που είναι τα **260 µg/m<sup>3</sup>**. Ο εντοπισμός των τιμών αυτών γίνεται στο χώρο στάθμευσης των αεροσκαφών και στη περιοχή κοντά σε κτιριακές εγκαταστάσεις. Μικρότερες συγκεντρώσεις έχουμε στην ίδια περιοχή καθώς και στο τμήμα του αεροδρομίου που είναι περίπου το μέσο των διαδρόμων προσγείωσης - απογείωσης και τροχοδρόμησης. Πολύ μικρές συγκεντρώσεις εντοπίζονται και σε διάφορα σημεία ανατολικά του αεροδρομίου.



-

Τέλος για τα αιωρούμενα σωματίδια το μήνα Σεπτέμβριο,στη θερινή περίοδο έχουμε τις μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης που είναι τα **11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Οι τιμές αυτές εντοπίζονται νότια του διαδρόμου τροχοδρόμησης και δίπλα στο τμήμα του αεροδρομίου που περιλαμβάνει τις κτιριακές εγκαταστάσεις και το χώρο στάθμευσης των αεροσκαφών ενώ μικρότερες τιμές γενικότερα έχουμε στο νότιο τμήμα του αεροδρομίου.

## 6.5.Επιπτώσεις αέριων ρύπων στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον της περιοχής

- ❖ Όσον αφορά τους αέριους ρύπους, μονοξείδιο του άνθρακα (**CO**) και αιωρούμενα σωματίδια (**Pm<sub>10</sub>**), δεν επιβαρύνουν το ατμοσφαιρικό περιβάλλον της περιοχής και κατ' επέκταση δεν υπάρχει και επιβάρυνση της ανθρώπινης υγείας, καθώς οι μέγιστες τιμές των συγκεντρώσεων που εντοπίζονται τις μέσες ημέρες κάθε μήνα του έτους 2012 είναι κατά πολύ χαμηλότερες των θεσπισμένων, από την Ευρωπαϊκή Ένωση, ορίων. Συγκεκριμένα για το μονοξείδιο του άνθρακα (**CO**) η μεγαλύτερη τιμή για το έτος 2012 εντοπίζεται το Σεπτέμβριο (Διάγραμμα.7) και είναι τα 3200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ενώ το θεσπισμένο όριο είναι τα 10.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Πίνακας.26). Στη συνέχεια και για τα αιωρούμενα σωματίδια (**Pm<sub>10</sub>**), η υψηλότερη τιμή συγκέντρωσης (11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) εντοπίζεται το μήνα Σεπτέμβριο (Διάγραμμα.11) ενώ το θεσπισμένο όριο είναι τα 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Πίνακας.26). Επομένως δεν συντρέχουν λόγοι ανησυχίας για την ανθρώπινη υγεία από τους δύο αυτούς ρύπους καθώς οι επιπτώσεις των μέγιστων συγκεντρώσεών τους είναι αμελητέες.
- ❖ Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συγκλεκριμένης μελέτης που συλλέξαμε από το Maxiall αρχείο του μοντέλου ISC3 οι συγκεντρώσεις των ρύπων, i) υδρογονάνθρακες (**HC**), ii) οξείδια αζώτου (**NO<sub>x</sub>**) και iii) διοξείδιο του θείου (**SO<sub>2</sub>**), δεν συμβαδίζουν με τα συμπεράσματα των δύο παραπάνω ρύπων (**CO, Pm<sub>10</sub>**) αλλά αντίθετα παράτηρουμε ότι υπάρχουν συγκεντρώσεις και για τους τρεις που ξεπερνούν τα αντίστοιχα θεσπισμένα, από την Ευρωπαϊκή Ένωση, οριά τους.
  - i. Για τους υδρογονάνθρακες (**HC**) το θεσπισμένο όριο είναι τα 160  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Πίνακας.23). Τη χειμερινή περίοδο από το μήνα Νοέμβριο μέχρι και τον Απρίλιο καμία τιμή συγκέντρωσης δεν ξεπερνά το θεσπισμένο όριο αλλά αντίθετα είναι κατά πολύ μικρότερες από 60 έως 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Οπότε για την περίοδο αυτή δεν υπάρχει επιβάρυνση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος και κατά συνέπεια δεν υπάρχει και λόγος ανησυχίας για την ανθρώπινη υγεία. Όσον αφορά όμως τη θερινή περίοδο δεν ισχύει το ίδιο καθώς για όλους τους μήνες από το Μάιο μέχρι και τον Ιούλιο παρατηρούνται μέγιστες τιμές συγκέντρωσης υδρογονανθράκων (Διάγραμμα.8) που είναι κατά πολύ πάνω από το θεσπισμένο όριο.

<b>Μαιος</b>	<b>300 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>Ιούνιος</b>	<b>350 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>Ιούλιος</b>	<b>275 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>Αύγουστος</b>	<b>270 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>Σεπτέμβριος</b>	<b>440 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>Οκτώβριος</b>	<b>420 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>

Πίνακας.27 Μέγιστες τιμές συγκέντρωσης (HC) που ξεπερνούν τη θεσπισμένη από την Ε.Ε. οριακή τιμή ( $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα.24 οι τιμές των συγκεντρώσεων που εντοπίζονται στη περιοχή είναι κατά πολύ μεγαλύτερες του θεσπισμένου ορίου, με τους μήνες Μάιο και Ιούνιο να έχουν σχεδόν διπλάσιες τιμές ενώ τους μήνες Οκτώβριο και Σεπτέμβριο να παρουσιάζουν ακόμα και τρεις φορές μεγαλύτερη τιμή. Συμπαιρένουμε λοιπόν ότι για τις μέρες αιχμής όλων των μηνών της θερινής περιόδου υπάρχει επιβάρυνση της τοπικής ατμόσφαιρας, από τις συγκεντρώσεις των υδρογονανθράκων. Όμως σύμφωνα με τις ισορυπαντικές καμπύλες του κεφαλαίου 6.4 οι μέγιστες συγκεντρώσεις υδρογονανθράκων που ξεπερνούν τα όρια αφαλείας περιορίζονται σε ένα μικρό τμήμα(μερικών τετραγωνικών μέτρων) του αεροδρομίου οπότε και η επιβάρυνση δεν θεωρείται και τόσο σημαντική. Παρόλα αυτά θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψιν το ενδεχόμενο επιβάρυνσης της ανθρώπινης υγείας των εργαζομένων του αεροδρομίου τις συγκεκριμένες αυτές μέρες.



- ii. Για τα οξειδία αζώτου (**NO<sub>x</sub>**) το θεσπισμένο όριο είναι τα 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Πίνακας.23).Όσον αφορά τη χειμερινή περίοδο καμία τιμή συγκέντρωσης δεν ξεπερνά το θεσπισμένο όριο καθώς είναι πολύ μικρότερες από 80 έως 125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Οπότε για την περίοδο αυτή δεν υπάρχει επιβάρυνση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος και κατά συνέπεια δεν υπάρχει και λόγος ανησυχίας για την ανθρώπινη υγεία.Αντίθετα για τη θερινή περίοδο δεν ισχύει το ίδιο καθώς για κάθε μέρα αιχμής του κάθε μήνα αυτής της περιόδου εντοπίζονται συγκεντρώσεις που είτε πλησιάζουν τα όρια ασφαλείας είτε τα ξεπερνούν.

<b>Μαιος</b>	<b>200 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>Ιούνιος</b>	<b>280 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>Ιούλιος</b>	<b>220 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>Αύγουστος</b>	<b>210 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>Σεπτέμβριος</b>	<b>380 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>Οκτώβριος</b>	<b>320 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>

Πίνακας.28 Μέγιστες τιμές συγκέντρωσης (NO<sub>x</sub>) που ξεπερνούν τη θεσπισμένη από την Ε.Ε. οριακή τιμή (200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Από τον πίνακα.25 παρατηρούμε ότι για τους μήνες Μάιο,Ιούλιο και Αύγουστο οι μέγιστες τιμές συγκέντρωσεις οξειδίων του αζώτου που έχουμε είναι σχεδόν ίδιες με την οριακή τιμή ασφαλείας,οπότε δεν εντοπίζεται και κάποια ιδιαίτερη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας της περιοχής.Για τους υπόλοιπους τρεις θερινούς μήνες όμως οι τιμές των συγκεντρώσεων που λαμβάνουμε από τα αποτελέσματα του μοντέλου, είναι αρκετά μεγαλύτερες του θεσπισμένου ορίου και μάλιστα το μήνα Σεπτέμβριο έχουμε σχεδόν διπλάσια τιμή.Κατα συνέπεια τις μέρες αιχμής των τριών αυτών μηνών φαίνεται να έχουμε επιβάρυνση της τοπικής ατμόσφαιρας της περιοχής. Εν συνεχεία όμως σύμφωνα με τις

ισσορυπαντικές καμπύλες του κεφαλαίου 6.4 οι μέγιστες συγκεντρώσεις οξειδίων του αζώτου που ξεπερνούν τα όρια ασφαλείας περιορίζονται σε ένα μικρό τμήμα (μερικών τετραγωνικών μέτρων) του αεροδρομίου οπότε και η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας να θεωρείται μη σημαντική αλλά ο κίνδυνος για την υγεία των ανθρώπων που εργάζονται στο τμήμα αυτό να είναι υπαρκτός.

- iii. Για το διοξείδιο του θείου (**SO<sub>2</sub>**) το θεσπισμένο όριο είναι τα 125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Πίνακας.26). Και σε αυτή τη περίπτωση τη χειμερινή περίοδο καμία τιμή συγκέντρωσης δεν ξεπερνά το θεσπισμένο όριο αλλά αντίθετα είναι ελάχιστες από 10 έως 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  με αποτέλεσμα να μην υπάρχει επιβάρυνση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος και κατά συνέπεια και λόγος ανησυχίας για την ανθρώπινη υγεία. Όσον αφορά τη θερινή περίοδο τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων αλλάζουν και είναι μεγαλύτερα ενώ κυμαίνονται και σε διάφορα επίπεδα ανάλογα με τη μέρα αιχμής κάθε μήνα.

<b>Μαιος</b>	<b>145 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>Ιούνιος</b>	<b>140 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>Ιούλιος</b>	<b>180 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>Σεπτέμβριος</b>	<b>125 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>
<b>Οκτώβριος</b>	<b>260 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>

Πίνακας.29 Μέγιστες τιμές συγκέντρωσης (**SO<sub>2</sub>**) που ξεπερνούν τη θεσπισμένη από την Ε.Ε. οριακή τιμή (125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Για το μήνα Αύγουστο οι μέγιστες τιμές συγκέντρωσης περιορίζονται στα 85  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , αρκετά κάτω από το όριο ασφαλείας οπότε και δεν συντρέχει κάποιος λόγος ανησυχίας. Το ίδιο ισχύει και για τη μέρα αιχμής του μήνα Σεπτεμβρίου καθώς η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης διοξειδίου του θείου είναι ίση με το οριακή τιμή ασφαλείας. Για τους μήνες Μάιο και Ιούνιο οι συγκεντρώσεις που λαμβάνουμε από τα αποτελέσματα του μοντέλου είναι ελάχιστα πιο πάνω από το όριο ασφαλείας πράγμα που σημαίνει ότι η επιβάρυνση της τοπικής



ατμόσφαιρας και κατά συνέπεια και της ανθρώπινης υγείας είναι ελάχιστη έως αμελητέα. Αντίθετα με τους υπόλοιπους θερινούς μήνες η μέγιστη τιμή συγκέντρωσης το μήνα Οκτώβριο είναι διπλάσια της θεσπισμένης οριακής τιμής, με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται η τοπική ατμόσφαιρα του αεροδρομίου αλλά όχι τόσο σημαντικά καθώς οι ισορροπιακές καμπύλες του διοξειδίου του θείου του κεφαλαίου 6.4 μας δείχνουν ότι οι μέγιστες συγκεντρώσεις που ξεπερνούν τα όρια ασφαλείας περιορίζονται σε ένα μικρό τμήμα (μερικών τετραγωνικών μέτρων) του αεροδρομίου. Το ενδεχόμενο επιβάρυνσης της υγείας των ανθρώπων που εργάζονται στο τμήμα αυτό καλό θα είναι να εξεταστεί.

- ❖ Όλες οι παραπάνω συγκεντρώσεις είναι αποτέλεσμα των αερίων εκπομπών από αεροσκάφη κατά τις λειτουργίες που λαμβάνουν χώρα εντός αεροδρομίου. Όμως, στην ατμοσφαιρική ρύπανση του αεροδρομίου και της γύρω περιοχής συνεισφέρουν και οι αέριες εκπομπές των λειτουργιών των αεροσκαφών που λαμβάνουν χώρα εκτός αεροδρομίου, όπως είναι πρώτον η προσεγγισή του από τα 3000 πόδια μέχρι να προσγειωθεί και δεύτερον η απομάκρυνσή του μετά την απογείωση από τα 1500 μέχρι τα 3000 πόδια [AIRPORT AIR QUALITY MANUAL, ICAO FIRST EDITION 2011]. Επίσης, στην ατμοσφαιρική ρύπανση του αεροδρομίου και της γύρω περιοχής συνεισφέρουν και οι αέριες εκπομπές των πηγών υποβάθρου (background source), του οδικού δικτύου κυκλοφορίας, των οχημάτων υποστήριξης αεροσκαφών, του ελικοδρομίου καθώς και τα μεγαλύτερης διαμέτρου σωματίδια σκόνης από τα φρένα, τα ελαστικά, την ασφαλτο και το χώμα [Κορμανιώτης, 2012]. Άλλες σημαντικές πηγές αερίων εκπομπών είναι η εκτεταμένη ανάπτυξη (οικιστική και βιομηχανική) και άλλες δραστηριότητες της περιοχής (π.χ καύσεις) [Υπηρεσία Περιβάλλοντος ΔΑΑ, 2012].

Συνεπώς, οι υπάρχουσες συγκεντρώσεις, που προέρχονται από εκπομπές των αεροσκαφών σε συνδυασμό με τις παραπάνω πηγές εκπομπών, μπορούν να ξεπεράσουν πολύ εύκολα τα θεσμοθετημένα όρια ασφαλείας, αλλά και ταυτόχρονα να αυξήσουν παραπάνω τις ήδη αυξημένες συγκεντρώσεις ρύπων.

## **7.Προτάσεις για τον περιορισμό της ρύπανσης της τοπικής ατμόσφαιρας**

Τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγουμε από τη συγκεκριμένη μελέτη δεν είναι αρκετά για να αναδείξουμε το μέγεθος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, καθώς τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε δεν είναι σε μακροπρόθεσμο επίπεδο αλλά για τη χρονική διάρκεια ενός έτους (2012) και επίσης δεν αφορούν μεγάλο εύρος έκτασης αλλά αφορούν την τοπική περιοχή που περιλαμβάνει το αεροδρόμιο και τις περιοχές (χωριά,καλλιεργήσιμες εκτάσεις κ.α) που βρίσκονται γύρω από αυτό. Με τα συμπεράσματα λοιπόν της συγκεκριμένης εργασίας πρέπει να προταθούν τρόποι με τους οποίους θα περιοριστεί όσο το δυνατόν περισσότερο η τοπική ατμοσφαιρική ρύπανση. Οι τρόποι αυτοί είναι οι εξής:

1. Οι υπηρεσίες του αεροδρομίου θα πρέπει να κρατούν αρχεία καταγραφής μάζας αερίων εκπομπών και να υποστηρίζουν ένα δίκτυο παρακολούθησης ποιότητας αέρα στις γειτονικές αστικές περιοχές.Συγκεκριμένα σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης επιβάλλεται η εγκατάσταση ενός σταθμού στη περιοχή κοντά στα «Ρουσσοχώρια», καθώς είναι το πιο κοντινό χωριό στις περιοχές που εντοπίζονται οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αέριων ρύπων.
2. Η επιβολή περιβαλλοντικού φόρου στις περιπτώσεις που η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας θεωρείται σημαντική, με κριτήρια πάντα τα θεσμοθετημένα όρια από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την εισαγωγή του αεροδρομίου στο σύστημα εμπορίας ρύπων[Bouturákis, 2009].

3. Η προσαρμογή κινητήρων ή η αντικατάστασή τους σε κινητήρες που είναι φιλικότεροι προς το περιβάλλον.
4. Η Χρησιμοποίηση ηλεκτροκίνητων οχημάτων υποστήριξης αεροσκαφών [Δρ. Μαλάκης]. Αυτό περιλαμβάνει, τα οχήματα υποστήριξης που ρυμουλκούν (Pushback Tags) ένα αεροσκάφος, αν είναι δυνατόν, να ολοκληρώνουν τη διαδικασία ρυμούλκησης έως τις επιφάνειες απογείωσης. Με αυτό τους τρόπο υς εξοικονομείται και καύσιμο από τις διάφορες εταιρίες αλλά ταυτόχρονα επιτυγχάνεται και η μείωση της εκπομπής αέριων ρύπων κυρίως στις τροχοδρομήσεις και γενικά στις ρελαντί λειτουργίες των αεροπλάνων.
5. Στα πλαίσια της συνεχούς διερεύνησης και αναβάθμισης του περιβάλλοντος στην ευρύτερη περιοχή του αεροδρομίου Καστελίου, θα μπορούσε να εφαρμόσει ένα πρόγραμμα διαχείρισης των πτήσεων όπου μια από τις συνιστώσες του να είναι η περαιτέρω μείωση των επιπτώσεων των εκπομπών αέριων ρύπων από τους κινητήρες των αεροσκαφών. Ένα τέτοιο πρόγραμμα διαχείρισης ελαχιστοποιώντας κυρίως τους χρόνους αναμονής των αεροσκαφών κατά την απογείωση και προσγείωση θα είχε σαν αποτέλεσμα σημαντική μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων.
6. Επίσης προγράμματα εξοικονόμησης ενέργειας όσον αφορά στην κεντρική θέρμανση του αεροδρομίου και την εισαγωγή της χρήσης ήπιων μορφών ενέργειας θα είχαν σαν αποτέλεσμα περαιτέρω μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων.

## 8.Βιβλιογραφία

[1] Λαζαρίδης Μιχάλης (2005) [“Ατμοσφαιρική Ρύπανση Με Στοιχεία Μετεωρολογίας”] Εκδόσεις Τζιόλα.

[2] Οικονομόπουλος Α (2000) [“Σημειώσεις Μαθήματος Ρύπανση και Έλεγχος Ρύπανσης Αέρα”] Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

[3] Διεθνής Οργανισμός Πολιτικής Αεροπορίας [<http://www.icao.int>]

[4] Environmental Protection Agency (1995) [“User’s Guide For The Industrial Source Complex ( ISC3 ) Dispersion Models”]

[5] Wikipedia (2013)

[6] Delta virtual airlines(Boeing 737-800,Aircraft Operation Manual), fourth edition, (april 2013).

[7]ICAO exhaust emissions data bank (subsonic engines), july 2002 [[www.QinetiQ.com/aviation emission data bank /index.asap](http://www.QinetiQ.com/aviation%20emission%20data%20bank/index.aspx)].

[8] Κορμανιώτης Σπυρίδων Αλέξανδρος (2012) [“Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις των Αεροδρομίων”] ΕΜΠ, Αθήνα.

[9] Roger L. Wayson and Gregg G. Fleming,(*U.S. Department of Transportation, John A Volpe National Transportation Systems Center,Cambridge, MA*),Ralph Iovinelli,(*Federal Aviation Administration, Office of Environment and Energy, Washington, DC*),[Methodology to Estimate Particulate Matter Emissions from Certified Commercial Aircraft Engines,2009].

[10] GLENN D. SEITCHEK, AIR FORCE ENGINEERING AND SERVICES CENTER, NOVEMBER 1985,[ Aircraft Engine Emissions Estimator ].

[11] ICAO (1995): [*Engine exhaust emissions databank*. First edition. Doc 9646-AN/943].

[12] ICAO (1993): International Standards and Recommended Practices, Environmental Protection Annex 16, Volume II Aircraft Engine Emissions (second ed.) ICAO, 1993.

[13] ANCAT/EC2 (1998): *Global Aircraft Emission Inventories for 1991/1992 and 2015*. Report by the ECAC/ANCAT and EC working group. Ed. R Gardener. ISBN 92-828-2914-6, 1998.

[14] [Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories].

[15] Αντώνης Ζορμπάς, [Μελετές Εκτίμησης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων], (Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πανεπιστημίου Κύπρου, 1<sup>η</sup> έκδοση 2010).

[16] Μετεωρολογική Υπηρεσία Ελλάδος (Ε.Μ.Υ)

[17] Μετεωρολογικός σταθμός της 133 Σμυναρχίας Μάχης

[18] Επιχειρησιακό Πρόγραμμα «Ενίσχυση Προσπελασιμότητας», [ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ, ΜΑΡΤΙΟΣ 2007].

[19] Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων αεροδρομίου Καστελλίου.

[20] CICERO (2004) [“Study on air quality impacts of non-LTO emissions from aviations”], ([http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/air\\_quality\\_impacts\\_final\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/air_quality_impacts_final_report.pdf)).

[21] Leonor Tarrason & Jan Eiof Jonson (2002) [“Study on air quality impacts of non-LTO emissions from aviations”].

([http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/air\\_quality\\_impacts\\_final\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/air_quality_impacts_final_report.pdf) )

[22] PM Emissions From Aviation (2007) [“Current State of Research Coordinated Under the PM Roadmap”]

[23] Πληροφορίες Αεροσκαφών [<http://www.airliners.net/>]

[24] Υπηρεσία Περιβάλλοντος ΔΑΑ, 2012 [“Φροντίδα για το Περιβάλλον”, Αθήνα s.n. 2012]

[25] <http://www.ecocrete.gr/index.php?option=content&task=view&id=6167>

[26] ENVECO A.E., «Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων από την εφαρμογή του νέου λοξού διαδρόμου στον Κρατικό Αερολιμένα Ηρακλείου Νικόλαος Καζαντζάκης», 2003.

[27] Διπλωματική Εργασία Μαμμής-Γαλάνης Ελένης,  
[ «Επίδραση της αφρικανικής σκόνης στην ατμόσφαιρα της Μεσογείου»].

[28] Διπλωματική Εργασία Χαλβατζάκης Ελευθερίας, [‘Εκτιμηση εκπομπών και συγκεντρώσεων αέριων ρύπων από το χώρο διάθεσης απορριμμάτων (ΧΔΑ) στο Ακρωτήρι Χανίων’].

[29] Relations among stability parameters in the stable surface layer (Golder, 1972. Boundary Layer Meteorology).

[30] (United States Environmental Protection Agency,(USEPA).

[31] (Προστασία περιβάλλοντος και ενέργεια,Βουτυράκης Εμμ.2009).