

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ**



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ : «ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΧΗΜΙΚΕΣ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ»**

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΑ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΜΑΤΑ
(FALL-OUT) ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΧΑΝΙΩΝ**

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΚΟΝΙΔΙΤΣΙΩΤΗΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: **Νικόλαος Καλλίθρακας-Κόντος**

ΧΑΝΙΑ , 2012

Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Αναλυτικής και Περιβαλλοντικής Χημείας του Τμήματος Επιστημών του Πολυτεχνείου Κρήτης το έτος 2012.

Στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας νιώθω μεγάλη ανάγκη να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με στήριξαν και συνείσφεραν ο κάθε ένας με το δικό του τρόπο στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Ξεκινώντας θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα της παρούσης εργασίας Καθηγητή κ. Νικόλαο Καλλίθρακα – Κόντο για όλη την βοήθεια και την εμπιστοσύνη που μου έχει δείξει κατά τη διάρκεια της συνεργασία μας.

Ευχαριστώ θερμά και τα μέλη της επιτροπής μου Καθηγητή κ. Ιωάννη Γεντεκάκη και Επίκουρη καθηγήτρια του Γενικού Τμήματος κ. Παγώνα Μαραβελάκη-Καλαιτζάκη για τις πολύτιμες συμβουλές τους στη βελτίωση της παρούσης διατριβής. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου και στον αδερφό μου που με στήριξαν και με στηρίζουν σε κάθε μου προσπάθεια.

Πίνακας Περιεχομένων

Σελίδα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	3
ΕΙΚΟΝΕΣ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	10
ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ.....	10
1.1 Γενικά	10
1.2' Ύψος και Διαίρεση της Ατμόσφαιρας	10
1.3Η Σύσταση της Ατμόσφαιρας	13
1.4Ο Ξηρός Αέρας.....	14
1.5Το Νερό Στην Ατμόσφαιρα	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	17
ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ	17
2.1 Ορισμός.....	17
2.2 Μέγεθος Σωματιδίου.....	17
2.3 Σχήμα	19
2.4 Πυκνότητα του σωματιδίου	20
2.5 Συγκέντρωση των Αεροζόλ	20

2.6 Χημική Σύσταση των Αεροζόλ	21
2.7 Κατηγοριοποίηση των ατμοσφαιρικών αιωρημάτων.....	25
2.8 Διεργασίες των Αεροζόλ στην Ατμόσφαιρα	31
2.9 Απομάκρυνση των Αεροζόλ από την Ατμόσφαιρα	33
2.10 Ρόλος των ατμοσφαιρικών αιωρημάτων.....	37
2.11 Ρόλος των ατμοσφαιρικών αιωρημάτων στο κλίμα.....	37
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	41
 ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΣΤΑ ΧΑΝΙΑ.....	41
3.1 Γεωγραφική Θέση	41
3.2 Δημογραφικά Στοιχεία	42
3.3 Κλίμα-Φυσικά Στοιχεία	42
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	50
 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	50
4.1 Ακτίνες X	50
4.2 Διάταξη XRF	51
4.3 Πηγή Πρωτογενούς Ακτινοβολίας Φασματογράφου XRF	52
4.4 Ανιχνευτές Δευτερογενούς Ακτινοβολίας Φασματογράφου XRF.....	53
4.5 Τομείς Εφαρμογής Μεθόδου XRF.....	53
4.6 Πλεονεκτήματα Μεθόδου XRF	55
4.7 Μειονεκτήματα Μεθόδου XRF.....	55
4.8 Συλλογή Δειγμάτων	55
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	60
 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	60
5.1 Αποτελέσματα	60
5.2 Συμπεράσματα	70
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	73

Εικόνες

Σελίδα

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΤΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ	13
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΧΙΟΝΟΘΥΕΛΛΑ ΣΤΟ ΛΙΜΑΝΙ ΤΩΝ ΧΑΝΙΩΝ	43
ΕΙΚΟΝΑ 3: ΕΠΙΘΕΣΗ ΑΦΡΙΚΑΝΙΚΗΣ ΣΚΟΝΗΣ, ΛΑΣΠΟΒΡΟΧΕΣ, ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ.....	46
ΕΙΚΟΝΑ 4: ΜΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΑ ΧΑΝΙΑ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ (ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ ΚΕΛΣΙΟΥ).....	48
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΑΠΟΛΥΤΗ ΜΕΓΙΣΤΗ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΣΤΑ ΧΑΝΙΑ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ ΤΟΥ ΕΤΟΥΣ (ΣΕ ΒΑΘΜΟΥΣ ΚΕΛΣΙΟΥ)	49
ΕΙΚΟΝΑ 6: ΔΙΑΤΑΞΗ XRF	54

Εισαγωγή

Η Ατμόσφαιρα είναι ο προστατευτικός αέριος μανδύας που περιβάλλει τον πλανήτη μας. Αποτελείται από ένα μίγμα αερίων, το οποίο συγκρατείται κοντά στην επιφάνεια της γης ως αποτέλεσμα της βαρύτητας της γης και της θερμικής κίνησης των μορίων των αερίων.

Η ατμόσφαιρα της γης αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν τη ζωή στον πλανήτη. Χωρίς την ύπαρξη αυτής η εμφάνιση οποιαδήποτε μορφής ζωής στη Γη θα ήταν αδιανόητη. Από τη μια προστατεύει τους ζωντανούς οργανισμούς από την επικίνδυνη υπεριώδη ακτινοβολία, απορροφώντας το μεγαλύτερο τμήμα της ($\lambda < 300 \text{ nm}$), ενώ ταυτόχρονα απορροφά την υπέρυθρη ακτινοβολία, η οποία είναι η μορφή, με την οποία ανακλάται και επανεκπέμπεται στο διάστημα η ηλιακή ενέργεια που δεν φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Με τον τρόπο αυτό, αποφεύγονται ακραίες θερμοκρασιακές μεταβολές στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας και άρα και στην γήινη επιφάνεια. Με την περιεκτικότητά της κυρίως σε οξυγόνο, άζωτο και διοξείδιο του άνθρακα, συντηρεί τις θεμελιώδεις βιολογικές διαδικασίες για την ανάπτυξη και διατήρηση της ζωής όλων των οργανισμών. Επίσης είναι σημαντικό τμήμα του υδρολογικού κύκλου, λειτουργώντας σαν μια τεράστια δεξαμενή υδρατμών. Το κλίμα του πλανήτη επηρεάζεται άμεσα από την ατμόσφαιρα ενώ κάθε παραμικρή αλλαγή σε αυτήν επιφέρει συνέπειες σε όλη τη Γη.

Η ατμόσφαιρα είναι ένα δυναμικό σύστημα που διαρκώς μεταβάλλεται λόγω των φυσικών και χημικών μετασχηματισμών που λαμβάνουν χώρα. Η φυσική κίνηση των αερίων μαζών λόγω των διαφορετικών συνθηκών της θερμοκρασίας, της πίεσης και υγρασίας δημιουργεί τον καιρό σε κάθε περιοχή του πλανήτη και κατά συνέπεια το κλίμα της περιοχής αυτής. Επίσης, η χημική σύνθεση της ατμόσφαιρας μεταβάλλεται συνεχώς έχοντας ως κινητήρια δύναμη την ηλιακή ακτινοβολία.

Κατά τη διάρκεια των εκατομμυρίων χρόνων που υπάρχει η Γη το κλίμα έχει αλλάξει αρκετές φορές. Έτσι, από τους παγετώνες που επικρατούσαν παλιότερα τώρα διανύουμε μια πιο ζεστή περίοδο κυρίως με εύκρατο κλίμα. Ο όρος κλίμα αναφέρεται τόσο στη γενικότερη έννοια που αφορά όλο τον πλανήτη, όσο, ειδικότερα στο κλίμα κάθε τόπου. Υπάρχει μεγάλος αριθμός παραγόντων και παραμέτρων που καθορίζουν το κλίμα που επικρατεί. Οι σημαντικότεροι από αυτούς είναι η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη Γη, η ευρύτερη κίνηση της Γης στο σύμπαν, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας, η δημιουργία ανέμων και τα υδατικά κατακρημνίσματα. Το κλίμα επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες όπως η ύπαρξη αιωρούμενων σωματιδίων με τα οποία θα ασχοληθούμε αναλυτικά στην παρούσα διατριβή και η χημική σύσταση της ατμόσφαιρας. Όσον αφορά τους τελευταίους, ο άνθρωπος παίζει σημαντικό ρόλο και καθορίζει σε μεγάλο βαθμό το εύρος της επίδρασης.

Τα αιωρούμενα σωματίδια ή αλλιώς αεροζόλ επηρεάζουν το κλίμα με διαφορετικό τρόπο. Έτσι, μπορούν να αυξάνουν την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας λόγω απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας ή να τη μειώνουν λόγω σκέδασης και απομάκρυνσης αυτής στο εξωτερικό σύμπαν. Επιπλέον, μπορούν να λειτουργούν ως πυρήνες συμπύκνωσης για τη δημιουργία νεφών. Τα σωματίδια υπάρχουν στην ατμόσφαιρα και προέρχονται είτε από φυσικές πηγές όπως σκόνη, επιφάνεια θάλασσας, φυτά είτε από ανθρώπινες πηγές όπως εκπομπές αυτοκινήτων, βιομηχανίας και όλων των ειδών των καύσεων. Αμέσως, γίνεται αντιληπτό ότι τη μεγαλύτερη συνεισφορά στις εκπομπές των σωματιδίων κατέχουν οι ανθρωπογενείς παράγοντες. Βέβαια, αυτό ισχύει στις περιπτώσεις όπου η ανθρώπινη δραστηριότητα σε μια περιοχή είναι αυξημένη. Το φαινόμενο γίνεται εντονότερο στα μεγάλα αστικά κέντρα. Αυξημένες συγκεντρώσεις σωματιδίων εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα με μεγαλύτερη συχνότητα και συμβάλουν στη δημιουργία νεφών πάνω από τις πόλεις.

Τα σωματίδια της ατμόσφαιρας αλληλεπιδρούν με το γύρω περιβάλλον τους. Με τον τρόπο αυτό μετέχουν σε φαινόμενα τόσο φυσικά όσο και χημικά. Οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά αυτών όπως το μέγεθος, η χημική σύσταση, το σχήμα, η πυκνότητα, η συγκέντρωση και η πηγή προέλευσης καθορίζουν το είδος των φαινόμενων που θα λάβουν χώρα και άρα τον τρόπο με τον οποίο θα επιδράσουν στον περιβάλλοντα χώρο.

Έτσι, λοιπόν, η σπουδαιότητα των ατμοσφαιρικών σωματιδίων έγκειται στον πολλαπλό ρόλο που αυτά έχουν στην ατμόσφαιρα.

Στόχος της παρούσης διπλωματικής διατριβής αποτέλεσε η μελέτη των ατμοσφαιρικών σωματιδίων από εναπόθεση στην ευρύτερη περιοχή των Χανίων και η συμβολή αυτών στη διαμόρφωση του κλίματος της περιοχής. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία ενός περίπου χρόνου στην περιοχή της Σούδας, της Χαλέπας και του Κούμ Καπί. Ταυτόχρονα συλλέχθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής.

Περίληψη

Η μελέτη της παρουσίας των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα είναι μεγάλης σημασίας, καθώς η εκτίμηση των επιπτώσεών τους στον άνθρωπο, στο περιβάλλον και κατ' επέκταση στο κλίμα είναι ένα εξαιρετικά πολύπλοκο ζήτημα για την παγκόσμια επιστημονική κοινότητα.

Η μελέτη των αιωρούμενων σωματιδίων αποτέλεσε ερευνητικό αντικείμενο μόλις τα τελευταία χρόνια και με βάση μελέτες που έγιναν, διαπιστώθηκε η επίπτωσή τους τόσο στην υγεία του ανθρώπου όσο και την κλιματική αλλαγή. Επίσης, αποδεικνύεται ο ρόλος τους στις διεργασίες σχηματισμού των νεφών και της ομίχλης και στη διαμόρφωση του ενεργειακού ισοζυγίου του πλανήτη. Ωστόσο, τα αιωρούμενα σωματίδια δεν μπορούν να μελετηθούν εύκολα εξαιτίας του μικρού μεγέθους και της σύνθετης χημικής τους σύνθεσης.

Σκοπός αυτής της διπλωματικής - ερευνητικής εργασίας είναι η ανάλυση των ιχνοστοιχείων σε ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα στην ευρύτερη περιοχή των Χανίων.

Η ανάλυση αυτή θα προκύψει από τη μέτρηση των συγκεντρώσεων των αιωρούμενων σωματιδίων, στην περιοχή της πόλης των Χανίων και στα προάστιά της.

Επίσης, σε αυτήν την εργασία γίνεται αναφορά στη μεθοδολογία XRF που χρησιμοποιήσαμε για να εξάγουμε συμπεράσματα για τα αιωρούμενα σωματίδια.

Κεφάλαιο 1

Ατμόσφαιρα

1.1 Γενικά

Η επιφάνεια της γης περιβάλλεται από ένα μίγμα αερίων. Αυτά συγκρατούνται κοντά στην επιφάνεια της γης λόγω της δύναμης της βαρύτητας. Το μίγμα των αερίων είναι γνωστό σαν **ατμοσφαιρικός αέρας** και το χώρο που καταλαμβάνει γύρω από τη γη, τον ονομάζουμε **ατμόσφαιρα**. Η ατμόσφαιρα έχει μεγάλη σημασία επειδή αποτελεί το χώρο μέσα στον οποίο πετούν και τ' αεροσκάφη και είναι και ο χώρος στον οποίο εκδηλώνονται τα μετεωρολογικά φαινόμενα. Η γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της. Μαζί της περιστρέφεται και η ατμόσφαιρα, η οποία τείνει να εκτινάσσεται προς τα έξω. Για το λόγο αυτό, η ατμόσφαιρα πάνω από τον ισημερινό εκτείνεται περισσότερο προς το διάστημα, παρά πάνω από τους πόλους.

Η κίνηση του αέρα μέσα στην ατμόσφαιρα ονομάζεται **κυκλοφορία της ατμόσφαιρας** και προκαλείται βασικά από τη μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ τροπικών και πολικών περιοχών και της περιστροφής της γης. Γίνεται δε πιο περίπλοκη λόγω της διαφορετικής θέρμανσης ξηράς και θάλασσας από τον ήλιο. Σημειώνουμε ότι στη ξηρά η αύξηση της θερμοκρασίας από την ηλιακή ακτινοβολία είναι πολύ ταχύτερη και μεγαλύτερη απ' ότι στη θάλασσα.

1.2 Ύψος και Διαίρεση της Ατμόσφαιρας

Στα μεγάλα ύψη ο αέρας γίνεται εξαιρετικά αραιός και τα ίχνη της ατμόσφαιρας χάνονται στο διάστημα και δεν μπορούμε να τα προσδιορίσουμε με μεγάλη ακρίβεια. Η ατμόσφαιρα χωρίζεται κατακόρυφα σε πέντε στρώματα που έχουν ευδιάκριτα ξεχωριστές ιδιότητες.. Αυτά είναι η τροπόσφαιρα, η στρατόσφαιρα, η μεσόσφαιρα, η θερμόσφαιρα και η εξώσφαιρα. Το κυριότερο στρώμα και αυτό που εφάπτεται στην

επιφάνεια της γης είναι **η τροπόσφαιρα**. Η ονομασία προέρχεται από το ότι μέσα σ' αυτό συμβαίνουν τροπές, δηλαδή οι μεταβολές καταστάσεως και τα μετεωρολογικά φαινόμενα. Το σύνολο σχεδόν των καιρικών φαινομένων λαμβάνει χώρα στην τροπόσφαιρα γι' αυτό είναι και το στρώμα που ασχολείται κυρίως η μετεωρολογία.

Το ύψος ή το πάχος της τροπόσφαιρας ποικίλλει από 55000 ft στον Ισημερινό μέχρι 28000 ft στους Πόλους και είναι μεγαλύτερο το καλοκαίρι και μικρότερο τον χειμώνα. Κατά μέσο όρο το θεωρούμε 36000 ft.

Τα χαρακτηριστικά της τροπόσφαιρας είναι:

- Εδώ βρίσκεται το κύριο μέρος της μάζας του αέρα (τα τρία τέταρτα)
- Το σύνολο του ατμοσφαιρικού νερού και στις τρεις του μορφές
- Παρατηρούνται μεταφορές αερίων μαζών και θερμότητας, οριζόντια και κατακόρυφα, αναταράξεις και νεφικοί σχηματισμοί με λίγα λόγια το σύνολο των καιρικών φαινομένων.
- Όσο ανερχόμαστε καθ' ύψος, η θερμοκρασία ελαττώνεται. Μετά τη τροπόσφαιρα το επόμενο στρώμα είναι η **στρατόσφαιρα**, που φθάνει σε ύψος τα 55 KM. Στο στρώμα αυτό δεν έχουμε υγρασία με αποτέλεσμα να μην έχουμε νεφώσεις, εκτός από ορισμένες περιπτώσεις στη περιοχή των τροπικών όπου μεγάλες καταιγίδες εκτείνονται σε μεγάλο ύψος και οι κορυφές τους να φτάνουν στη στρατόσφαιρα. Στο στρώμα αυτό η θερμοκρασία μένει σταθερή με το ύψος μέχρι τα 20 με 25 KM. Στο ύψος αυτό έχουμε το στρώμα του Όζοντος που λειτουργεί σαν φίλτρο για τις βλαβερές ακτίνες της υπεριώδους ακτινοβολίας που εκπέμπει ο ήλιος.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, στο ύψος αυτό, να έχουμε μια αύξηση της θερμοκρασίας.

Μεταξύ της τροπόσφαιρας και στης στρατόσφαιρας υπάρχει ένα λεπτό στρώμα που λέγεται **τροπόπαυση**. Η θερμοκρασία στο στρώμα αυτό είναι σταθερή με

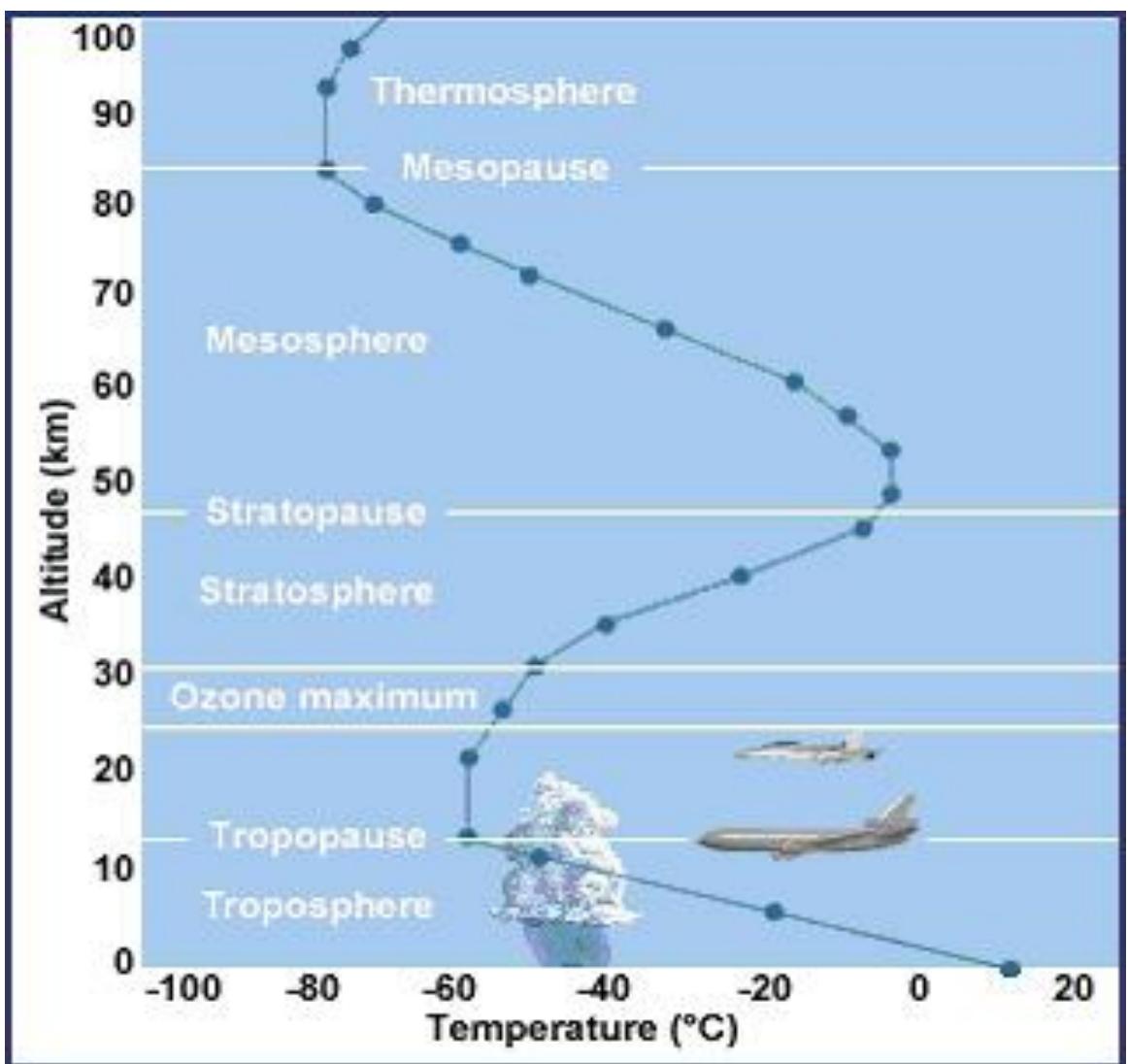
αποτέλεσμα να είναι ένα ευσταθές στρώμα που δεν επιτρέπει την ανάμειξη του τροποσφαιρικού αέρα με τον στρατοσφαιρικό αέρα. Το στρώμα αυτό ανάλογα την θερμοκρασία του εδάφους, τις εποχές του έτους, καθώς και το γεωγραφικό πλάτος και την ατμοσφαιρική πίεση, βρίσκεται σε ένα ύψος που ποικίλει από 17 με 18 KM στον Ισημερινό μέχρι τα 7 με 8 KM στους Πόλους. Στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη το ύψος είναι γύρω στα 11 KM. Η τροπόπαυση δεν είναι ένα στρώμα συνεχές αλλά έχει κάποιες περιοχές στις οποίες υπάρχουν κάποια ασυνέχειες. Στις περιοχές αυτές το ένα κομμάτι της τροπόπαυσης βρίσκεται πάνω από το άλλο, σε μια υψομετρική διαφορά της τάξης των 5 KM. Στα σημεία αυτά έχουμε τη θέση κάποιων ισχυρών ανέμων που ονομάζονται αεροχείμαροι (JET STREAM) .

Στη περιοχή που έχουμε τις ασυνέχειες της τροπόπαυσης, έχουμε και τον στρατοσφαιρικό αέρα να έρχεται σε επαφή με τον τροποσφαιρικό αέρα.

Πάνω από τη στρατόσφαιρα βρίσκεται η **μεσόσφαιρα**, μέχρι το ύψος 80 KM.

Μετά είναι η **θερμόσφαιρα** που φθάνει το ύψος των 200KM και τέλος η **εξώσφαιρα** που τα αισθητά της όρια χάνονται στο διάστημα. Τέλος κρίνουμε σκόπιμο να αναφερθεί ότι πάνω από το ύψος των 60 Km, τα περισσότερα συστατικά βρίσκονται σε ιονική μορφή, λόγω της άμεσης επίδρασης της υπεριώδους ακτινοβολίας. Η ιονόσφαιρα χωρίζεται σε τρία στρώματα (D,E,F), ανάλογα με τις ιδιότητες φωτοϊονισμού των διαφόρων συστατικών της.¹

¹ THE WEATHER BOOK, USA TODAY



Εικόνα 2: Τα στρώματα της ατμόσφαιρας²

1.3 Η Σύσταση της Ατμόσφαιρας

Η ατμόσφαιρα αποτελείται από:

² <http://www.aviamet.gr/cms.jsp?moduleId=002&extLang=>

- Ξηρό αέρα
- Νερό (υδρατμοί, βροχή, χιόνι)
- Αιωρούμενα Σωματίδια (Αεροζόλ) με τα οποία θα ασχοληθούμε στο κεφάλαιο που ακολουθεί.

1.4 Ο Ξηρός Αέρας

Ο ξηρός αέρας είναι ένα μίγμα αερίων, όπως απεικονίζεται στον πίνακα που ακολουθεί.

Αέρια	Μέρος Όγκου (%)
Αζωτο	78,084
Οξυγόνο	20,946
αργό	0,934
διοξείδιο του άνθρακα (CO2)	0,033
Ίχνη αερίων, όπως υδρογόνο (H2), μεθάνιο (CH4), υποξείδιο του αζώτου (N2O) και μερικά ευγενή αέρια [ήλιο (He), νέο (Ne), ζένο (Xe), κρυπτό (Kr)].	0,003
Σύνολο	100%

Η παραπάνω σύσταση του ξηρού αέρα είναι σταθερή μέσα στην ατμόσφαιρα από την επιφάνεια της γης μέχρι τα 85 km. Έτσι, αν και ο αέρας όσο ανεβαίνουμε είναι αραιότερος η αναλογία των παραπάνω συστατικών παραμένει η ίδια. Γι' αυτό και το τμήμα αυτό της ατμόσφαιρας ονομάζεται **ομοιόσφαιρα**. Πάνω από το ύψος των 85 km και μέχρι τα εξώτατα σημεία της ατμόσφαιρας η σύσταση αλλάζει συνεχώς και το τμήμα αυτό καλείται **ετερόσφαιρα**. Η αναλογία όμως των αερίων αυτών αλλάζει όταν ο αέρας είναι υγρός. Το CO₂ που υπάρχει στον αέρα προέρχεται από καύσεις οργανικών ενώσεων και ηφαίστεια, και είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη των φυτών. Απορροφά την υπέρυθρη ηλιακή ακτινοβολία και εμποδίζει την γήινη ακτινοβολία να φύγει στο διάστημα. Το CO₂ είναι ένα από τα κυριότερα αέρια που οφείλεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Το όζον O₃ σχηματίζεται από τη διάσπαση του οξυγόνου O₂ κάτω από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας. Βρίσκεται σε μικρή αναλογία στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας και σε μεγαλύτερη αναλογία ανάμεσα στα 15 και 45 km ύψος με μέγιστη συγκέντρωση 20-25 km. Το όζον απορροφά το μεγαλύτερο μέρος από τις βλαβερές υπεριώδεις ακτίνες του ήλιου και τις μετατρέπει σε θερμότητα αφήνοντας ένα πολύ μικρό ποσοστό να φτάσει στο έδαφος.³

1.5 Το Νερό Στην Ατμόσφαιρα

Ο αέρας πάντα περιέχει μία ποσότητα **υδρατμών**. Οι υδρατμοί που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα προέρχονται από την εξάτμιση των υδάτινων επιφανειών της γης (λίμνες, θάλασσες, ποτάμια) ή της εξάχνωση του πάγου ή από την διαδικασία της «αναπνοής» των φυτών. Το νερό στην ατμόσφαιρα βρίσκεται μέχρι το ύψος των 10 km, που είναι και το ύψος που έχουμε την εμφάνιση των νεφών. Η ύπαρξη τους είναι πολύ σημαντική γιατί οι υδρατμοί είναι αυτοί που όταν συμπυκνώνονται,

³ Μαχαιράς Π.-Μπαλαφούτης Χρ., Γενική κλιματολογία με στοιχεία μετεωρολογίας, Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη 1997

δημιουργούν τα νέφη. Τα σύννεφα με τη σειρά τους κάτω από κατάλληλες συνθήκες παράγουν φαινόμενα υετού, όπως βροχή, χιόνι, χαλάζι, κ.α. Η συμπύκνωση των υδρατμών σε νέφη και ο υετός είναι ζωτικής σημασίας για τη συνέχιση της ζωής πάνω στη γη.⁴

⁴ Μαχαιράς Π.-Μπαλαφούτης Χρ., Γενική κλιματολογία με στοιχεία μετεωρολογίας, Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη 1997

Κεφάλαιο 2

Αιωρούμενα Σωματίδια

2.1 Ορισμός

Ως αεροζόλ, ορίζεται ένα σταθερό αιώρημα στερεών ή υγρών σωματιδίων ή και των δύο στον αέρα. Τα αεροζόλ αποτελούν ένα διφασικό σύστημα που αποτελείται από το σωματίδιο και το αέριο στο οποίο είναι διεσπαρμένο. Ο όρος αναφέρεται πάντα στο μίγμα του σωματιδίου και του αερίου όπου βρίσκεται αιωρούμενο. Το ατμοσφαιρικό αεροζόλ είναι ουσιαστικά ο συνδυασμός όλων των συμπυκνωμένων συστατικών που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα καθώς επίσης και ο αέρας στον οποίο περιέχονται τα συμπυκνωμένα σωματίδια.

Συχνά στην βιβλιογραφία η έννοια των αιωρούμενων σωματιδίων και του αεροζόλ ταυτίζεται. Ο ρόλος των αιωρούμενων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα είναι ιδιαίτερα σημαντικός, τόσο στη δυναμική της όσο και στη ρύπανση. Τόσο στις αστικές όσο και στις αγροτικές περιοχές οι ποσότητες της σωματιδιακής ρύπανσης είναι σημαντικές και η συγκέντρωσή τους φτάνει συχνά τα 107 με 108 σωματίδια /cm³. Τα βασικά χαρακτηριστικά των αιωρούμενων σωματιδίων είναι το μέγεθος, η χημική τους σύσταση και η φάση τους. Οι ιδιότητες των αεροζόλ εξαρτώνται από το μέγεθος των σωματιδίων και τη συγκέντρωση στην οποία βρίσκονται στο αέριο όπου αιωρούνται.

2.2 Μέγεθος Σωματιδίου

Το μέγεθος του σωματιδίου αποτελεί την πιο σημαντική παράμετρο για τον χαρακτηρισμό της συμπεριφοράς του γιατί δεν χαρακτηρίζει απλά τις ιδιότητες του, αλλά, πολλές φορές η φύση των νόμων που διέπουν τα σωματίδια αλλάζει με το μέγεθος. Όλες οι ιδιότητες των σωματιδίων εξαρτώνται από το μέγεθος τους, μερικές

σε πολύ μεγάλο βαθμό. Το εύρος του μεγέθους των σωματιδίων είναι πολύ μεγάλο και μπορεί να κυμαίνεται από μερικά νανόμετρα (nm) έως αρκετές δεκάδες μικρόμετρα (μμ) (συνήθως από 2 nm έως πάνω από 100 μμ).

Το μέγεθος χαρακτηρισμού των αεροζόλ είναι η διάμετρος. Συνήθως, συμβολίζεται με d, d_p ή D.⁵

Ένας διαχωρισμός των αιωρούμενων σωματιδίων γίνεται βάση του μεγέθους τους. Τα ατμοσφαιρικά αιωρούμενα σωματίδια απαντώνται σε μεγάλη ποικιλία μεγεθών, από μερικές 10/άδες Å έως κάποιες 100/άδες μμ.

Οι κατηγορίες που τα διακρίνουμε είναι οι εξής:

- **Μικροί πυρήνες (nucleation mode):**

Σωματίδια πρόσφατα σχηματισμένα με διαδικασίες πυρηνοποίησης και με διάμετρο <10 nm. (Ως κατώτερο όριο της κατηγορίας αυτής συνήθως θεωρείται >3nm)

- **Σωματίδια Αιτκεν (Aitkin mode):**

Σωματίδια που προέρχονται από την πυρηνοποίηση⁶ αερίων ή από σωματίδια πυρήνων με διαδικασίες συμπύκνωσης και με διάμετρο 10nm < d < 100nm.

- **Συσσωματώματα (Accumulation mode):**

Σωματίδια που δημιουργούνται κατά την συσσωμάτωση των μικρότερων σωματιδίων ή την συμπύκνωση αέριων συστατικών. Η διάμετρος τους κυμαίνεται από 0,1 < d < 1 έως 3 μμ.

- **Υπέρλεπτα σωματίδια (ultrafine particles):**

⁵ Seinfeld και Pandis, 2006

⁶ Πυρηνοποίηση είναι η διαδικασία κατά την οποία μόρια αερίων αντιδραστηρίων ή ενός τήγματος «συσσωματώνονται» για να σχηματίσουν νησίδες/πυρήνες που ανάλογα με τις συνθήκες μεγαλώνουν ή επαναδιαλύονται στην ατμόσφαιρα από όπου προήλθαν.

Περιλαμβάνει τις κατηγορίες Aitkin mode και nucleation mode.

- **Λεπτά σωματίδια (fine particles):**

Περιλαμβάνει τις κατηγορίες πυρηνοποίησης (nucleation), Aitkin και την περιοχή συσσώρευσης (accumulation mode).

- **Γιγάντια σωματίδια (coarse particles/mode):**

Σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από την ελάχιστη τιμή στην κατανομή των ολικών σωματιδίων (συνήθως $d > 1-3\mu m$) .⁷

2.3 Σχήμα

Το σχήμα των υγρών αεροζόλ είναι συνήθως σφαιρικό. Αντίθετα, τα στερεά αεροζόλ έχουν συνήθως περίπλοκα σχήματα. Έτσι, σωματίδια που σχηματίζονται ύστερα από κρούσεις έχουν ακανόνιστα σχήματα, ενώ, κάποια κρυσταλλικά σωματίδια εμφανίζουν γεωμετρικά σχήματα .⁸

Κατά την ανάπτυξη της θεωρίας των αεροζόλ είναι αναγκαίο να θεωρηθεί ότι τα σωματίδια έχουν σφαιρικό σχήμα. Για την εφαρμογή αυτών των θεωριών συνήθως χρησιμοποιούνται παράγοντες διόρθωσης, όπως η ισοδύναμη διάμετρος, για το χαρακτηρισμό των μη σφαιρικών σωματιδίων. Ως ισοδύναμη διάμετρος ορίζεται η διάμετρος ενός σφαιρικού σωματιδίου που έχει τις ίδιες ιδιότητες και χαρακτηριστικά με ένα μη σφαιρικό σωματίδιο ίδιου όγκου.

⁷ Λαζαρίδης Μιχάλης, Ατμοσφαιρική Ρύπανση με στοιχεία Μετεωρολογίας, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2005.

⁸ Ruzer L. S., Harley N. H., Aerosols Handbook, Measurements, Dosimetry and Health Effects, CRC Press, 2005.

2.4 Πυκνότητα του σωματιδίου

Ως πυκνότητα σωματιδίου ορίζεται ο λόγος της μάζας ανά μονάδα όγκου του σωματιδίου. Συνήθως εκφράζεται σε kg/m^3 . Ο όρος δεν θα πρέπει να συγχέεται με την πυκνότητα του αεροζόλ (όπως θα οριστεί παρακάτω) που αναφέρεται ως συγκέντρωση αεροζόλ. Τα υγρά σωματίδια, αυτά που έχουν προέλθει από το έδαφος ή από θρύμματα θεωρούνται ότι έχουν την ίδια πυκνότητα όπως η μητρική τους προέλευση. Σωματίδια τα οποία προέρχονται από καπνούς ή καυσαέρια έχουν φαινόμενες πυκνότητες αρκετά μικρότερες από αυτές που υπολογίζονται με βάση τη χημική τους σύσταση. Αυτό οφείλεται στα μεγάλα κενά που υπάρχουν στη δομή τους. Κατά τη γενική σύμβαση τα σωματίδια θεωρούνται ότι έχουν τυπική πυκνότητα $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ (ίδια πυκνότητα με το νερό).⁹

2.5 Συγκέντρωση των Αεροζόλ

Η συγκέντρωση του αεροζόλ ορίζεται ως η συγκέντρωση μάζας (mass concentration) η οποία αναφέρεται στη μάζα των σωματιδίων ανά μονάδα όγκου του μίγματος. Ως μονάδες, συνήθως, χρησιμοποιούνται οι g/m^3 , mgr/m^3 και mg/m^3 . Μια άλλη συχνή μονάδα μέτρησης της συγκέντρωσης των αεροζόλ είναι η συγκέντρωση με βάση τον αριθμό (number concentration) η οποία αναφέρεται στον αριθμό των σωματιδίων ανά μονάδα όγκου του μίγματος. Εκφράζεται με αριθμό/ m^3 ή αριθμό/ cm^3 και συνήθως χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των βιοαεροζόλ ή των λεπτόκοκκων σωματιδίων.¹⁰

⁹ Hinds W. C., *Aerosol Technology, Properties, Behavior and Measurements of Airborn*

¹⁰ Hinds W. C., *Aerosol Technology, Properties, Behavior and Measurements of Airborn*

2.6 Χημική Σύσταση των Αεροζόλ

Η χημική σύσταση των σωματιδίων εξαρτάται από την πηγή προέλευσης τους καθώς και από τις αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στον περιβάλλοντα χώρο. Οι αντιδράσεις μπορεί να είναι μεταξύ των διαφορετικών συστατικών που απαρτίζουν τα σωματίδια ή μεταξύ του σωματιδίου και των συστατικών του αερίου στο οποίο αιωρείται. Το πλεόνασμα των σωματιδίων που βρίσκονται στο περιβάλλον αποτελούν σύμπλεγμα πολλών χημικών ενώσεων. Κατά τη διάρκεια σχηματισμού του αεροζόλ, πραγματοποιείται συμπύκνωση των συστατικών υψηλού μοριακού βάρους, τα οποία απαρτίζουν των πυρήνα του αεροζόλ, ενώ, στη συνέχεια συμπυκνώνονται τα χαμηλού μοριακού βάρους συστατικά, καλύπτοντας τον πυρήνα που έχει ήδη δημιουργηθεί και σχηματίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο ένα στρώμα πάνω από αυτόν .¹¹

Γενικά η χημική σύσταση των λεπτόκοκκων σωματιδίων διαφέρει αρκετά σε σύγκριση με αυτά των χονδρόκοκκων. Τα λεπτόκοκκα σωματίδια είναι όξινα και περιέχουν θειούχες και αμμωνιακές ενώσεις, υδρογονάνθρακες, στοιχειακό άνθρακα, τοξικά μέταλλα και νερό.

Αντίθετα τα χονδρόκοκκα σωματίδια είναι βασικά και περιέχουν κρυσταλλικές ουσίες με τα οξείδια τους, όπως πυρίτιο, σίδηρος, ασβέστιο, αργίλιο και σωματίδια προερχόμενα από τη θάλασσα και γεωργικές ύλες .¹²

Νιτρικές ενώσεις μπορούν να βρεθούν και στις δύο κατηγορίες .¹³

Ο οργανικός άνθρακας στα αεροζόλ αποτελείται από προϊόντα καύσης και βιολογική ύλη (ιοί, βακτήρια, κύτταρα φυτών και ζώων), ενώ, στα μεγάλα σωματίδια περιέχεται ως σκόνη βιολογικής προέλευσης όπως βακτήρια, γύρη, σπόρια και

¹¹ Ruzer L. S., Harley N. H., *Aerosols Handbook, Measurements, Dosimetry and Health Effects*, CRC Press, 2005

¹² Hinds W. C., *Aerosol Technology, Properties, Behavior and Measurements of Airborn Particles*, Second Edition, John Wiley & Sons, 1999

¹³ Seinfeld J. H., Pandis S. N. (2006), *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 2nd Edition, J. Wiley, New York.

τμήματα φυτών και εντόμων. Στοιχειακός άνθρακας συναντάται στα σωματίδια ως τέφρα από την καύση πετρελαίου και γαιάνθρακα.

Τα σωματίδια περιέχουν πλήθος χημικών στοιχείων. Κατά την κίνηση των οχημάτων είναι δυνατόν να περιέχονται στοιχεία όπως Βρώμιο (Br), Μόλυβδος (Pb), Βάριο (Ba), Μαγγάνιο (Mn), Χλώριο (Cl), Ψευδάργυρος (Zn), Βανάδιο (V), Νικέλιο (Ni), Σελήνιο (Se), Αρσενικό (As), Σίδηρος (Fe). Επίσης, εκπέμπονται Ρόδιο (Rh), Μόλυβδος (Pb), Ιρίδιο (Ir), Ρουθήνιο (Ru) και από την χρήση των καταλυτών στοιχεία όπως Βανάδιο (V), Νικέλιο (Ni), Σελήνιο (Se), Αρσενικό (As), Χρώμιο (Cr), Κοβάλτιο (Co), Χαλκός (Cu), Αργίλιο (Al), Θείο (S), Φώσφορος (P), Γάλιο (Ga), Μόλυβδος (Pb) και Μαγγάνιο (Mn). Σε περιοχές με αυξημένη ρύπανση, τα μικρά σωματίδια μπορούν να περιέχουν μέχρι και 40 % άνθρακα ενώ τα μεγάλα είναι κυρίως ανόργανα (πυριτικά άλατα εδαφικής προέλευσης, ενώσεις του Al και του Ca κ.α.).¹⁴

Από την εξόρυξη ορυκτών προέρχονται στοιχεία όπως Μαγνήσιο (Mg), Αργίλιο (Al), Κάλιο (K), Σελήνιο (Se), Σίδηρος (Fe) και Μαγγάνιο (Mn).

Τέλος, σωματίδια παράγονται και από την επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας ή τα κύματα των ωκεανών προσκρούουν στις παράκτιες περιοχές και εκτινάσσουν σε μεγάλες αποστάσεις σταγονίδια ύδατος όπως θαλάσσια αεροζόλ, Νάτριο (Na), Χλώριο (Cl), Θείο (S) και Κάλιο (K).¹⁵ Τα θαλάσσια aerosol είναι υδατικά διαλύματα NaCl και $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Οι αριθμητικές συγκεντρώσεις που παρουσιάζουν είναι της τάξης του 100 έως 300/ cm^{-3} . Τα μεγέθη που εμφανίζουν τα θαλάσσια σωματίδια βρίσκονται σε τρεις περιοχές: α) με διαμέτρους μικρότερες από 0.1 μμ (πυρήνες συμπύκνωσης), β) με διαμέτρους μεταξύ 0.1 και 0.6 μμ, γ) με διαμέτρους μεγαλύτερες από 0.6 μμ.¹⁶ Τα μεγαλύτερα από αυτά, αποτελούν το 95 % της μάζας

¹⁴ Κουϊμτζής, 1998

¹⁵ Λαζαρίδης Μ., Ατμοσφαιρική Ρύπανση με Στοιχεία Μετεωρολογίας, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2005.

¹⁶ Fitzgerald, 1991

των σωματιδίων, αλλά μόνο το 5-10 % του συνολικού αριθμού τους. Μία τυπική συγκέντρωση από aerosol θαλάσσης είναι περίπου $5 \text{ } \mu\text{g cm}^{-3}$.¹⁷

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ποσότητες μερικών στοιχείων τόσο στο έδαφος όσο και στη θάλασσα.¹⁸

ΣΤΟΙΧΕΙΑ	ΕΔΑΦΟΣ mg/kg	ΘΑΛΑΣΣΑ mg/L
Βάριο (Ba)	$4.25 * 10^2$	$1.3 * 10^{-2}$
Καίσιο (Cs)	3	$3 * 10^{-4}$
Σίδηρος (Fe)	$5.63 * 10^4$	$2 * 10^{-3}$
Στρόντιο (Sr)	$3.7 * 10^2$	7.9
Ασβέστιο (Ca)	$4.15 * 10^4$	$4.12 * 10^2$
Μολυβδαίνιο (Mo)	1.2	$1 * 10^{-2}$
Ψευδάργυρος (Zn)	$7.0 * 10^1$	$4.9 * 10^{-3}$
Ζιρκόνιο (Zr)	$1.65 * 10^2$	$3 * 10^{-5}$
Τιτάνιο (Ti)	$8.5 * 10^{-1}$	$1.9 * 10^{-5}$

¹⁷ Blanchard and Cipriano, 1987; O'Dowd and Smith 1993)

¹⁸ Carmichael, R.S.,Ed.,CRC Practical Handbook of Physical Properties of Rocks and Minerals, CRC Press, Boca Raton,FL,1989

Στον επόμενο πίνακα φαίνονται κάποια γενικά στοιχεία για την προέλευση και τον διαχωρισμό των σωματιδίων:

	Λεπτόκοκκα σωματίδια	Χονδρόκοκκα σωματίδια
Τρόποι δημιουργίας	Χημικές αντιδράσεις Πυρηνοποίηση Συμπύκνωση Συσσωμάτωση Διαδικασίες σχηματισμού νεφών και ομίχλης	Μηχανική διατάραξη Αιώρηση σκόνης
Σύνθεση	Θειικά άλατα Νιτρικά άλατα Αμμωνιακά Ιόντα υδρογόνου Στοιχειακός άνθρακας Οργανικά στοιχεία Νερό Μέταλλα	Σκόνη επαναιώρησης Ιπτάμενη τέφρα από γαιάνθρακες και πετρέλαιο Οξείδια από κρυσταλλικά στοιχεία CaCO ₃ , NaCl Γύρη, σπόροι Θραύσματα ελαστικών
Διαλυτότητα	Μεγάλη διαλυτότητα και υγροσκοπικά	Μεγάλη αδιαλυτότητα και μη υγροσκοπικά
Πηγές	Καύση (γαιάνθρακα, πετρελαίου, βενζίνης, diesel, ξύλου) Μετατροπή από αέρια σε σωματιδιακή φάση των οξειδίων του αζώτου, του τριοξειδίου του θείου και των οργανικών πτητικών ενώσεων	Επαναιώρηση βιομηχανικής σκόνης και εδάφους Αιώρηση εδάφους (καλλιέργεια, εξόρυξη, δρόμοι χωρίς

		επίστρωση) Βιολογικές πηγές Κατασκευές/ Κατεδαφίσεις Θαλάσσιοι ψεκασμοί
Χρόνος ζωής	Μέρες έως εβδομάδες	Λεπτά έως ημέρες
Απόσταση μετακίνησης	Εκατοντάδες έως χιλιάδες χιλιόμετρα	< δεκάδες χιλιόμετρα

Πίνακας 1: Στοιχεία για λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα σωματίδια¹⁹

2.7 Κατηγοριοποίηση των ατμοσφαιρικών αιωρημάτων

Με βάση την προέλευση τους και τους μηχανισμούς σχηματισμού, τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να ταξινομηθούν είτε σαν **πρωτογενή** ή σα **δευτερογενή**.

Πρωτογενή σωματίδια :

Παράγονται από φυσικές και χημικές διεργασίες μέσα στην πηγή (μέσω ανθρωπογενών διεργασιών, διάβρωσης του εδάφους και στη συνέχεια αιώρησης λόγω ανέμου, σταγονίδια της θάλασσας) και εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα, όπου συνήθως δε μεταβάλλονται σημαντικά.

Δευτερογενή σωματίδια :

¹⁹ Seinfeld J. H. and Pandis S. N. (1998) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 1st edition, J. Wiley, New York.

Σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα (συμπύκνωση, πυρηνοποίηση, χημική μετατροπή) σαν αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων των αερίων.²⁰

Μία άλλη μέθοδος κατηγοριοποίησης των αιωρούμενων σωματιδίων είναι η εξής:²¹

•Σκόνη (dust)

Σχηματίζεται από τη διάβρωση ή τον κατακερματισμό στερεών υλικών. Ουσιαστικά παράγεται από απλές φυσικές διεργασίες σύμφωνα με την οποία τα στερεά υλικά που έχουν πολύ μικρή διάμετρο όπως τα αργιλικά ορυκτά και η λεπτή οργανικής ύλη ανυψώνονται στη ατμόσφαιρα από ρεύματα αέρα. Στη συνέχεια αυτά τα ρεύματα αέρα οδηγούν αυτά τα σωματίδια στην ατμόσφαιρα όπου συγκρούονται με άλλα στερεά σωματίδια κι έτσι συνεισφέρουν στο σχηματισμό των aerosol.²² Το μέγεθος των σωματιδίων είναι συνήθως μεγαλύτερο από 1μμ (coarse). Η σκόνη του εδάφους συνεισφέρει σημαντικά στην αύξηση της ποσότητας των αερολυμάτων και, ιδίως σε υπο-τροπικές και τροπικές περιοχές. Οι εκτιμήσεις σε παγκόσμιο επίπεδο κυμαίνονται από 1.000 έως 5.000 Mt / έτος²³ με πολύ υψηλή χωρική και χρονική μεταβλητότητα. Πηγές σκόνης είναι κυρίως οι έρημοι, οι ξηρές λίμνες, και οι ημι-άνυδρες παρυφές της ερήμου. Επίσης, είναι και οι ξηρότερες περιοχές όπου η βλάστηση έχει μειωθεί καθώς και επιφάνειες του εδάφους που έχουν αλλοτριωθεί από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Σημαντικές πηγές σκόνης εντοπίζονται στις έρημες περιοχές του Βορείου ημισφαιρίου, ενώ οι εκπομπές σκόνης στο Νότιο ημισφαίριο, είναι σχετικά μικρές. Ελάττωση της ποσότητας σκόνης εμφανίζεται σε περιοχή όπου η ταχύτητα του ανέμου επιφανείας υπερβαίνει ένα όριο ταχύτητας, η

²⁰ Οικονομόπουλος, Α, "Χημεία Και Έλεγχος Ρύπανσης Ατμόσφαιρας (Πανεπιστημιακές Σημειώσεις)," Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης Χανιά

²¹ Seinfeld J. H. and Pandis S. N. (1998) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 1st edition, J. Wiley, New York.

²² Environmental Chemistry, Gary W. vanLoon- Stephen j. Duffy, Oxford University Press 2001

²³ Duce 1995

οποία είναι συνάρτηση των στοιχείων τραχύτητα της επιφάνειας, μέγεθος κόκκων, και υγρασία του εδάφους. Επίσης, η αποξήρανση των επιφανειών του εδάφους και ο περιορισμός της διαθεσιμότητας των σωματιδίων μπορεί να μειώσει την απελευθέρωση σκόνης από την περιοχή προέλευσης²⁴. Έχει υπολογιστεί ότι περίπου το 50% του τρέχοντος ατμοσφαιρικού φορτίου σκόνης προέρχεται από επιφάνειες του εδάφους που έχουν επηρεαστεί από ανθρωπογενείς παράγοντες²⁵ αλλά η εκτίμηση αυτή πρέπει να θεωρείται εξαιρετικά αβέβαιη. Η μεταφορά της σκόνης της Σαχάρας προς τα Μπαρμπάντος αυξάνεται κατά τη διάρκεια της επίδρασης του Ελ Νίνιο²⁶, και η εξαγωγή της σκόνης προς τη Μεσόγειο και το Βόρειο Ατλαντικό συσχετίζεται με την Ταλάντωση του Βορείου Ατλαντικού²⁷. Ανάλυση των αρχείων για τις θύελλες σκόνης δείχνει τις περιοχές με τις αυξήσεις και μειώσεις στη συχνότητα των καταιγίδων σκόνης κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών²⁸.

•Ομίχλη (Fog)

Η ομίχλη δεν είναι πλέον υδρατμοί αλλά λεπτότατα σταγονίδια νερού τα οποία είναι σε διασπορά στον αέρα και που σχηματίσθηκαν πάνω στα αναρίθμητα σωματίδια που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Συνήθως βρίσκονται κοντά στο έδαφος. Στο ερώτημα αφού το νερό είναι βαρύτερο του αέρα γιατί αυτά δεν πέφτουν όπως η βροχή αλλά αιωρούνται, η απάντηση είναι πως πράγματι αυτά πέφτουν, αλλά τα υδροσταγονίδια της ομίχλης είναι τόσο μικροσκοπικά και ελαφρά που η παραμικρή πνοή του ανέμου δεν τ' αφήνει στο μεγαλύτερο μέρος τους να πέσουν αλλά μένουν αιωρούμενα κοντά στην επιφάνεια της Γης, όσα δε πέφτουν, η πτώση τους είναι πολύ αργά τόσο που δεν γίνεται άμεσα αισθητή αυτή ως βροχή. Γίνεται όμως αντιληπτή από το αποτέλεσμα όπως τα ρούχα που υγραίνονται, η εκείνα που έχουν απλωθεί και δεν στεγνώνουν κ.λπ.

²⁴ Gillette, 1978

²⁵ TEGEN και Fung, 1995

²⁶ Prospero and Nees, 1986

²⁷ Moulin et al., 1997

²⁸ Goudie and Middleton, 1992

Γενικά η ομίχλη σχηματίζεται στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Όταν υπάρχουν όσο το δυνατόν περισσότεροι πυρήνες συμπήκνωσης των υδρατμών δηλαδή μεγαλύτερος αριθμός σωματιδίων και
- Όταν ο αέρας είναι κορεσμένος από υδρατμούς (Σχετική υγρασία : 100%)²⁹.

•Κάπνα (fume)

Στερεά σωματίδια τα οποία προκύπτουν από συμπύκνωση ατμών, κυρίως από πιπητικές ουσίες, ή ως αποτέλεσμα οξειδωτικών αντιδράσεων. Συνήθως η ουσία που την αποτελεί είναι βλαβερή. Η διάμετρος είναι μικρότερη από 1μμ (fine).

•Αχλύς (haze)

Μικρά σταγονίδια με διαμέτρους μικρότερες από 1μμ ή υγροσκοπικά σωματίδια, είτε, σε σωματίδια κονιορτού ή καπνού που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα και περιορίζουν σημαντικά την ορατότητα. Έτσι διακρίνεται η «υγρή αχλή» και η «ξηρά αχλή».

Γενικά η αχλή περιορίζει την ορατότητα όχι όμως στο μέγεθος της ομίχλης και ποτέ λιγότερο από τα 1000μ.

Η υγρή αχλή συνοδεύεται από μεγάλη υγρασία όχι όμως εκείνης της ομίχλης.

Η ξηρά αχλή παρατηρούμενη από μακριά φαίνεται σαν πέπλο περισσότερο σκοτεινού χρώματος που σκεπάζει τη περιοχή στην οποία εκδηλώθηκε. Έχει δε ποικίλες αποχρώσεις από υποκυάνου μέχρι πορτοκαλόχρου ή και γκρίζου όπως συμβαίνει στην υγρή αχλή.

²⁹ Η σχετική υγρασία προσδιορίζει πόσο κοντά στο σημείο κορεσμού (δηλαδή στο να μην μπορεί να δεχτεί άλλους) σε υδρατμούς βρίσκεται ο ατμοσφαιρικός αέρας. Με άλλα λόγια είναι ο λόγος των υδρατμών στον αέρα προς την μέγιστη απαιτούμενη ποσότητα υδρατμών για να κορεστεί. 0% υγρασία σημαίνει πλήρη έλλειψη υδρατμών και 100% κορεσμένη ατμόσφαιρα σε υδρατμούς.

Το φαινόμενο της ξηράς αχλής είναι έντονο κυρίως στις μεγαλουπόλεις και κοντά σε βιομηχανίες όπου και ονομάζεται «αιθαλομίχλη» ή το γνωστότερο «νέφος», που όχι σπάνια φθάνει και στα όρια του συναγερμού για λήψη έκτακτων μέτρων περιορισμού των κινήσεων. Ξηρά αχλή διαπιστώνεται και στις θαλάσσιες περιοχές που βρίσκονται κοντά σε μεγάλες έρημους.

•Νέφος (Smog)

Ο συνδυασμός οιμίχλης και καπνού. Συχνά χρησιμοποιείται σαν όρος για οποιοδήποτε είδος ρυπασμένου αέρα.

Σχηματίζεται όταν στην ατμόσφαιρα υπάρχει υψηλή συγκέντρωση ρύπων, όπως το διοξείδιο του θείου (SO_2) και αιωρούμενα σωματίδια, σε συνδυασμό με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία και υψηλή υγρασία. Το φαινόμενο είναι εντονότερο κατά τους χειμερινούς μήνες και κυρίως τις πρωινές ώρες, κατά τις οποίες επικρατούν οι παραπάνω καιρικές συνθήκες. Ονομάζεται και ατμοσφαιρική ρύπανση «τύπου Λονδίνου», καθώς πρώτη φορά παρουσιάστηκε στην πρωτεύουσα της Αγγλίας, με σοβαρότερο επεισόδιο το 1952, οπότε πέθαναν εκατοντάδες άνθρωποι, λόγω των ακραίων συνθηκών ατμόσφαιρας που δημιουργήθηκαν. Η παραπάνω είναι η πρώτη μορφή νέφους και ονομάζεται νέφος καπνομίχλης.

Η δεύτερη μορφή είναι το **φωτοχημικό νέφος**, που παρουσιάζεται όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, μεγάλη ηλιοφάνεια, μικρή σχετικά υγρασία και υψηλή συγκέντρωση συγκεκριμένων ενώσεων, όπως τα οξείδια του αζώτου, το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οι υδρογονάνθρακες και τα προϊόντα των αντιδράσεών τους. Ονομάζεται και ρύπανση «τύπου Λος Αντζελες», καθώς εκεί εμφανίστηκε πρώτη φορά το 1943.

Ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τους, οι ρύποι διακρίνονται σε **πρωτογενείς** και **δευτερογενείς**.

Οι πρωτογενείς ρύποι εκπέμπονται απευθείας από τις διάφορες πηγές στην ατμόσφαιρα και οι σημαντικότεροι είναι τα αιωρούμενα σωματίδια [σκόνη, καπνός, σωματίδια βαρεών μετάλλων, όπως μολύβδου (Pb) και νικελίου (Ni)], το διοξείδιο του θείου (SO_2), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οι υδρογονάνθρακες, το χλώριο (Cl_2) και το φθόριο (F_2]).

Οι δευτερογενείς ρύποι σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τους πρωτογενείς με χημικές αντιδράσεις που γίνονται είτε μεταξύ τους είτε με τα φυσικά συστατικά της ατμόσφαιρας με συμμετοχή του ηλιακού φωτός, της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Σημαντικότεροι είναι το μονοξείδιο του αζώτου (NO), το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) και το όζον (O_3).

Επίσης τα αιωρούμενα σωματίδια της τροπόσφαιρας, ανάλογα με την προέλευσή τους, διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- αυτά με **θαλάσσια** προέλευση (marine),
- αυτά με **ηπειρωτική** προέλευση (continental) και
- τέλος αυτά με **πολική** προέλευση (polar).

Σε κάθε περίπτωση, η σύσταση, οι οπτικές και μικροφυσικές τους ιδιότητες είναι διαφορετικές. Στην περίπτωση των σωματιδίων με ηπειρωτική προέλευση, διακρίνουμε άλλες τρεις κατηγορίες ανάλογα με την προέλευσή τους: την αστική (*urban aerosols*) προέλευση, την προέλευση από απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές (*rural aerosols*) και την προέλευση από τις διάφορες ερήμους (*desert dust aerosols*). Διάφορες παρατηρήσεις έχουν αποδείξει ότι τα σωματίδια με προέλευση την έρημο Σαχάρα (σωματίδια με διάμετρο $\sim 10 \text{ } \mu\text{m}$) είναι ικανά να ταξιδέψουν σε πολύ μεγάλες αποστάσεις, έως και 5000 km.

2.8 Διεργασίες των Αεροζόλ στην Ατμόσφαιρα

Συσσωμάτωση

Η συσσωμάτωση αποτελεί μια διαδικασία κατά την οποία τα σωματίδια συγκρούονται μεταξύ τους και προσκολλώνται το ένα με το άλλο κυρίως λόγω της σχετικής τους κίνησης μέσα στο χώρο με αποτέλεσμα το σχηματισμό μεγαλύτερων σε μέγεθος σωματιδίων.

Αποτέλεσμα αυτής είναι η συνεχής μείωση του αριθμού των σωματιδίων (συγκέντρωση) με ταυτόχρονη αύξηση του μεγέθους τους. Τα σωματίδια μπορεί να ακολουθούν κίνηση Brown, κίνηση λόγω υδροδυναμικών, ηλεκτρικών, βαρυτικών ή άλλων δυνάμεων. Στην περίπτωση όπου η κίνηση χαρακτηρίζεται από την κίνηση Brown, τότε, η διεργασία ονομάζεται **θερμική συσσωμάτωση** (thermal coagulation).

Στη δεύτερη περίπτωση ονομάζεται **κινηματική συσσωμάτωση** (kinematic coagulation). Αντικείμενο της θεωρίας της συσσωμάτωσης είναι να περιγράψει πως η συγκέντρωση και το μέγεθος των σωματιδίων αλλάζει με το πέρασμα του χρόνου. Η περιγραφή του φαινόμενου είναι αρκετά δύσκολη ιδιαίτερα στην περίπτωση όπου υπάρχει πληθώρα σωματιδίων με διαφορετικά μεγέθη (polydisperse particles). Αντίθετα η ανάλυση του φαινόμενου για σωματίδια με ένα μέγεθος (monodisperse particles) είναι πιο απλή.

Συμπύκνωση –Εξάτμιση

Όταν τα σταγονίδια στην ατμόσφαιρα έχουν δημιουργηθεί τότε θα συνεχίζουν να αυξάνονται σε μέγεθος με συμπύκνωση υδρατμών. Ο ρυθμός αύξησης του μεγέθους των σταγονιδίων εξαρτάται από τη σχετική υγρασία, το μέγεθος του σωματιδίου και το σχετικό μέγεθος των σωματιδίων ως προς το μέσο ελεύθερο μήκος (ορίζεται ως

μέσο ελεύθερο μήκος λ του αερίου η μέση απόσταση που μετακινείται ένα μόριο μεταξύ δύο διαδοχικών συγκρούσεων)³⁰.

Πυρηνοποίηση

Η πυρηνοποίηση είναι μια από τις βασικότερες διεργασίες που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα και παίζει πρωταρχικό ρόλο σε φαινόμενα όπως η συμπύκνωση, η δημιουργία νέων σωματιδίων και νεφών στην ατμόσφαιρα, η κρυστάλλωση και ο βρασμός. Η πυρηνοποίηση ορίζεται ως η μεταβολή φάσεως από μια φάση σε μια άλλη (π.χ. από την αέρια φάση στην υγρή). Η μεταβολή από την αέρια φάση στην υγρή φάση δεν γίνεται άμεσα αλλά μέσω της δημιουργίας μικρών συσσωματώσεων μορίων σε μορφή πυρήνων (clusters). Η ιδεατή αυτή κατάσταση της δημιουργίας μικρών σωματιδίων κατευθείαν από την αέρια φάση στην υγρή φάση δεν συμβαίνει εύκολα στην ατμόσφαιρα λόγω του ότι προϋπάρχουν συγκεντρώσεις σωματιδίων με αποτέλεσμα να υπάρχει πυρηνοποίηση πάνω στην επιφάνεια αυτών των σωματιδίων. Η πυρηνοποίηση που γίνεται χωρίς την ύπαρξη σωματιδίων που προϋπάρχουν ονομάζεται *ομογενής πυρηνοποίηση* (*homogeneous nucleation*), ενώ όταν προϋπάρχουν σωματίδια ονομάζεται *ετερογενής πυρηνοποίηση* (*heterogeneous nucleation*). Όταν στην πυρηνοποίηση λαμβάνει μέρος μόνο μια χημική ένωση, η διεργασία ονομάζεται *ομομοριακή* (*homomolecular*), ενώ όταν συμμετέχουν περισσότερες της μίας χημικές ένώσεις ονομάζεται *ετερομοριακή* (*heteromolecular*)³¹.

³⁰ Λαζαρίδης, Μ., 2005. *Ατμοσφαιρική Ρύπανση με στοιχεία Μετερεωλογίας*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.

³¹ Λαζαρίδης, Μ., 2005. *Ατμοσφαιρική Ρύπανση με στοιχεία Μετερεωλογίας*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.

2.9 Απομάκρυνση των Αεροζόλ από την Ατμόσφαιρα

Τα αεροζόλ απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα με δύο μηχανισμούς:

- ξηρή εναπόθεση :
εναπόθεση στην επιφάνεια του εδάφους
- υγρή εναπόθεση :
ενσωμάτωση σε σταγονίδια νεφών κατά την δημιουργία κατακρημνίσεων .

Η υγρή και ξηρή εναπόθεση οδηγούν σε μικρούς χρόνους παραμονής των αερολυμάτων στην τροπόσφαιρα και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η κατανομή του μεγέθους και της συγκέντρωσης των αεροζόλ³².

Ξηρή εναπόθεση

Η ξηρή εναπόθεση είναι η μεταφορά αέριων και σωματιδιακών στοιχείων από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια του εδάφους χωρίς να υπάρχει κατακρήμνιση. Η ξηρή εναπόθεση των σωματιδίων περιέχει συστατικά όπως θειικά, νιτρικά και αμμωνιακά , ραδιενεργά στοιχεία, κατιόντα όπως Na^+ , K^+ , Ca^{2+} και Mg^{2+} και τοξικά βαρέα μέταλλα όπως Pb , Cd και Zn ³³.

Αυτό το είδος της εναπόθεσης εξαρτάται από την τύρβη της ατμόσφαιρας, τις χημικές ιδιότητες των εναποτιθέμενων σωματιδίων και από την φύση της επιφάνειας

³² Seinfeld J. H. and Pandis S. N. (1998) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 1st edition, J. Wiley, New York.

³³ Petroff, A. et al., 2008. Aerosol dry deposition on vegetative canopies. Part I: Review of present knowledge. *Atmospheric Environment*

εναπόθεσης³⁴. Η ατμοσφαιρική σταθερότητα ασκεί μεγάλο έλεγχο στην εναπόθεση των σωματιδίων μέσω της αύξησης της τυρβώδους ανάμιξης³⁵. Η ένταση της τυρβώδους ροής στην ατμόσφαιρα, ειδικά κοντά στο έδαφος, καθορίζει τον ρυθμό που αποτίθενται τα σωματίδια στην επιφάνεια του εδάφους³⁶. Ένα σωματίδιο το οποίο μεταφέρεται από την ροή πάνω σε ένα εμπόδιο δεν μπορεί, όταν η αδράνεια του είναι μεγάλη, να ακολουθήσει την ροή στην κοντινή περιοχή του εμποδίου. Έτσι συγκρούεται και παραμένει στην επιφάνεια του εμποδίου αν αγνοήσουμε την αναπήδηση. Η αναπήδηση φαίνεται να επηρεάζει την εναπόθεση των χονδρόκοκκων σωματιδίων, με μέγεθος συνήθως πάνω από 5 μμ. Από την σκοπιά της μηχανικής, η αναπήδηση σχετίζεται με την κινητική ενέργεια του σωματιδίου που εξαρτάται από την ταχύτητα του σωματιδίου, κατά την σύγκρουση του στην επιφάνεια απόθεσης και την φύση της σύγκρουσης³⁷. Επίσης το μέγεθος, η πυκνότητα και το σχήμα των σωματιδίων καθώς και η επιφάνεια καθεαυτή είναι σημαντικά για το αν θα συγκρατηθούν τα σωματίδια από το έδαφος³⁸.

Οι φυσικές επιφάνειες, όπως επιφάνειες με βλάστηση συνήθως ευνοούν την ξηρή εναπόθεση³⁹. Επίσης η γνώση της ροής της ξηρής εναπόθεσης των σωματιδίων σε επιφάνειες εξωτερικών χώρων σε μια πόλη είναι σημαντική για τον υπολογισμό της έκθεσης των ανθρώπων στα αεροζόλ. Οι τοίχοι των κτιρίων και άλλες επιφάνειες επηρεάζονται από αυτό το είδος της εναπόθεσης, με αποτέλεσμα να είναι μαυρισμένα και σκονισμένα⁴⁰.

³⁴ Seinfeld J. H. and Pandis S. N. (1998) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 1st edition, J. Wiley, New York.

³⁵ Petroff, A. et al., 2008. Aerosol dry deposition on vegetative canopies. Part I: Review of present knowledge. *Atmospheric Environment*

³⁶ Seinfeld J. H. and Pandis S. N. (1998) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 1st edition, J. Wiley, New York.

³⁷ Petroff, A. et al., 2008. Aerosol dry deposition on vegetative canopies. Part I: Review of present knowledge. *Atmospheric Environment*

³⁸ Seinfeld J. H. and Pandis S. N. (1998) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 1st edition, J. Wiley, New York.

³⁹ Seinfeld J. H. and Pandis S. N. (1998) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 1st edition, J. Wiley, New York.

⁴⁰ Jonsson et al., 2007

1.7.2 Υγρή εναπόθεση

Η υγρή εναπόθεση είναι η φυσική διαδικασία κατά την οποία ύλη αφαιρείται με τον υετό⁴¹ από την ατμόσφαιρα και μεταφέρεται στην επιφάνεια της γης. Για αυτή την διαδικασία είναι απαραίτητα τρία βήματα. Πρώτα τα σωματίδια πρέπει να βρεθούν σε κατάσταση που να υπάρχει συμπυκνωμένο νερό, στην συνέχεια πρέπει να απομακρυνθούν με τον υετό και τέλος πρέπει να μεταφερθούν στην επιφάνεια της γης. Τα σωματίδια μπορεί να υποστούν χημικές μετατροπές σε κάθε ένα από αυτά τα στάδια. Πάντως όλες σχεδόν οι παραπάνω διαδικασίες είναι αναστρέψιμες. Για παράδειγμα, η βροχή μπορεί να απομακρύνει σωματίδια κάτω από τα νέφη αλλά οι σταγόνες της βροχής που εξατμίζονται δημιουργούν νέα αεροζόλ⁴².

Η υγρή εναπόθεση συμπεριλαμβάνει όλες τις διαδικασίες με τις οποίες σωματίδια μεταφέρονται στην επιφάνεια της γης με τον υετό, δηλαδή:

- απομάκρυνση ατμοσφαιρικών σωματιδίων όταν αυτά λειτουργούν σαν πυρήνες συμπύκνωσης ατμοσφαιρικού νερού για τον σχηματισμό σταγονιδίων νεφών ή ομίχλης που συνεπώς ενσωματώνονται στα σταγονίδια και
- απομάκρυνση ατμοσφαιρικών σωματιδίων όταν τα σωματίδια συγκρούονται με τα σταγονίδια, και μέσα αλλά και κάτω από τα νέφη⁴³.

Στην πρώτη περίπτωση όταν ένα τμήμα αέρα συναντήσει ένα νέφος, η κατανομή της σύστασης και του μεγέθους των αεροζόλ μεταβάλλεται από μια σειρά από διαδικασίες. Ένα τμήμα της κατανομής των σωματιδίων μπορεί να ενεργοποιηθεί και

⁴¹ βροχή, χιόνι, σταγόνες ομίχλης

⁴² Seinfeld J. H. and Pandis S. N. (1998) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 1st edition, J. Wiley, New York.

⁴³ Chate D. M. and T. S. Pranesha, Field studies of scavenging of aerosols by rain events, *Journal of Aerosol Science*, 2004

να γίνει σταγονίδια στο νέφος. Αυτή η διαδικασία, που συνήθως περιγράφεται ως απομάκρυνση πυρήνων των αεροζόλ, καθορίζει τη σύνθεση των σταγονιδίων των νεφών. Στην συνέχεια μια σειρά από διαδικασίες μπορεί να μεταβάλλει την κατανομή, συμπεριλαμβανομένων των χημικών αντιδράσεων στην υδατική φάση, την σύγκρουση μεταξύ των σωματιδίων που δεν ενεργοποιήθηκαν και των σταγόνων και τέλος την συσσωμάτωση των σταγόνων. Εάν το νέφος βρέχει, υπάρχουν επιπλέον αλληλεπιδράσεις μεταξύ των σταγόνων της βροχής και των σωματιδίων των αεροζόλ με αποτέλεσμα την απομάκρυνση των σωματιδίων από την ατμόσφαιρα⁴⁴.

Στην δεύτερη περίπτωση οι σταγόνες της βροχής που πέφτουν συγκρούονται με τα σωματίδια και τα παρασύρουν. Οι μηχανισμοί της υγρής απομάκρυνσης των αεροζόλ είναι πολύ σύνθετοι επειδή οι διαδικασίες τους επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες όπως το μέγεθος των κατανομών των αεροζόλ, την κατανομή των σταγόνων, το περιεχόμενο νερό, την ένταση της βροχής, την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και τις χημικές και φυσικές ιδιότητες των αεροζόλ και των σταγόνων⁴⁵. Επειδή η υγρή και η ξηρή εναπόθεση οδηγούν σε μικρούς χρόνους παραμονής στην τροπόσφαιρα, και επειδή η γεωγραφική κατανομή των σωματιδίων είναι πολύ ανομοιόμορφη, τα τροποσφαιρικά αεροζόλ διαφέρουν ευρέως σε συγκέντρωση και σύνθεση σε διαφορετικά σημεία πάνω στον πλανήτη⁴⁶.

⁴⁴ Seinfeld J. H. and Pandis S. N. (1998) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 1st edition, J. Wiley, New York.

⁴⁵ Zhao, H., Zheng, C., 2006. Monte Carlo solution of wet removal of aerosols by precipitation. *Atmospheric Environment* 40, 1510–1525

⁴⁶ Seinfeld J. H. and Pandis S. N. (1998) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 1st edition, J. Wiley, New York.

2.10 Ρόλος των ατμοσφαιρικών αιωρημάτων

Τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας συμβάλουν στα χαρακτηριστικά και στις ιδιότητες του αέρα που βρίσκεται πάνω από κάποιο τόπο. Τα ατμοσφαιρικά σωματίδια ή αεροζόλ έχουν την ιδιότητα να δημιουργούνται, να αντιδρούν και εν τέλει να απομακρύνονται από αυτήν μέσω της γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας.⁴⁷

Ο ρόλος των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα είναι πολύ σημαντικός αφού τα αεροζόλ κατέχουν πρωταρχική θέση στις διάφορες φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο ανοιχτό περιβάλλον, όπως, στον υδρολογικό κύκλο και στο κλίμα του πλανήτη.⁴⁸

Επίσης είναι γνωστό, ότι, τα σωματίδια που βρίσκονται στη ατμόσφαιρα επηρεάζουν άμεσα την ανθρώπινη υγεία και την ορατότητα. Επίσης, μπορούν να απορροφούν και να σκεδάζουν την ηλιακή ακτινοβολία, να λειτουργούν ως πυρήνες για τη δημιουργία νεφών και να μετέχουν σε χημικές αντιδράσεις⁴⁹. Για όλους τους παραπάνω λόγους, είναι επιτακτική η ανάγκη εύρεσης των μηχανισμών δημιουργίας, αύξησης, εναπόθεσης και γενικά του κύκλου ζωής των σωματιδίων στο περιβάλλον, έτσι ώστε να γίνει πλήρως κατανοητός ο τρόπος αλληλεπίδρασης τους με τον περιβάλλοντα χώρο.

2.11 Ρόλος των ατμοσφαιρικών αιωρημάτων στο κλίμα

Είναι γνωστό ότι τα αεροζόλ μπορούν να επηρεάσουν το κλίμα. Το κλίμα είναι η μέση καιρική κατάσταση ή καλύτερα ο μέσος καιρός μιας περιοχής, που προκύπτει από τις μακροχρόνιες παρατηρήσεις των διάφορων μετεωρολογικών στοιχείων. Το

⁴⁷ Krupa S. V., Air Pollution Science for the 21st Century, Elsevier Science Ltd, 2002

⁴⁸ Lohmann U., Feichter J.: Global indirect aerosol effects: a review, *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 715-737, 2005

⁴⁹ Λαζαρίδης Μ., Ατμοσφαιρική Ρύπανση με Στοιχεία Μετεωρολογίας, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2005

κλίμα επομένως είναι κάτι διαφορετικό από τον καιρό, που χαρακτηρίζεται σαν μια φυσική κατάσταση της ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια μιας μικρής χρονικής περιόδου. Το κλίμα παίζει σπουδαιότατο ρόλο, τόσο στο φυτικό όσο και στο ζωικό βασίλειο. Από το κλίμα ορίζονται οι ζώνες της βλάστησης καθώς και η κατανομή των ζώων και των ανθρώπων πάνω στη γη.⁵⁰

Αυτό μπορεί να γίνει είτε με σκέδαση ή απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας είτε εμμέσως μέσω του ρόλου τους ως πυρήνες συμπύκνωσης νεφών (Cloud Condensation Nuclei) αλλά και λόγω του ρόλου τους στη μείωση του όζοντος.

Επίσης, πολύ σημαντική είναι η απευθείας επίδραση στο κλίμα του πλανήτη από τα σωματίδια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Αναλόγως της χημικής τους σύνθεσης, μπορούν να απορροφούν ή να ανακλούν την ακτινοβολία που προέρχεται από τον ήλιο. Με αυτόν τον τρόπο συμβάλουν στη μεταβολή του κλίματος του πλανήτη είτε με θέρμανση είτε με ψύξη αυτού. Τα αεροζόλ της στρατόσφαιρας αυξάνουν τη συγκέντρωση τους κυρίως λόγω των ηφαιστειακών εκρήξεων. Ο χρόνος ημιζωής⁵¹ αυτών των σωματιδίων είναι περίπου ένας χρόνος και έχουν την ιδιότητα να ανακλούν την εισερχόμενη ακτινοβολία. Μαζί με το γεγονός ότι έχουν μικρή επίδραση στην ακτινοβολία που προέρχεται από τη γη, συμβάλουν στην ψύξη της τροπόσφαιρας και άρα της γήινης επιφάνειας. Τα σωματίδια που βρίσκονται στη τροπόσφαιρα έχουν και αυτά την ιδιότητα να ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται το ποσό της ακτινοβολίας που επανεκπέμπεται και αντιστοίχως μειώνεται η ακτινοβολία που εισέρχεται στη γη. Το πόσο θα επηρεαστεί το κλίμα από τα αεροζόλ, σε ένα συγκεκριμένο χρόνο και τόπο, εξαρτάται από το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που σκεδάζεται πίσω στο διάστημα και άρα από το μέγεθος, την ποσότητα και τις ιδιότητες αυτών. Έτσι, η συγκέντρωση των σωματιδίων είναι υψίστης σημασίας, αφού με αύξηση αυτής, αυξάνεται και το ποσό της

⁵⁰ Μαχαιράς Π.-Μπαλαφούτης Χρ., Γενική κλιματολογία με στοιχεία μετεωρολογίας, Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη 1997

⁵¹ Ως χρόνος ημιζωής των σωματιδίων ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται ώστε να μειωθεί η ποσότητα των σωματιδίων στο μισό.

ανακλώμενης ακτινοβολίας. Και στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις το τελικό αποτέλεσμα είναι η ψύξη του πλανήτη⁵².

Η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη (global warming) οφείλεται στο γνωστό φαινόμενο του θερμοκηπίου⁵³. Η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη (global warming) οφείλεται στο γνωστό φαινόμενο του θερμοκηπίου. Σε αντίθεση με τα υπόλοιπα σωματίδια, τα οποία έχουν την ιδιότητα να ανακλούν την ακτινοβολία προς τα πίσω και άρα να μειώνουν την ποσότητα αυτής που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα, τα αέρια του θερμοκηπίου λειτουργούν με τον αντίθετο τρόπο, δηλαδή, εγκλωβίζουν την εισερχόμενη ακτινοβολία οδηγώντας στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη. Επιπλέον, λόγω της ιδιότητας τους να επιδρούν τόσο την μέρα όσο και τη νύχτα, σε αντίθεση με τα υπόλοιπα τα οποία συμβάλουν μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας και του πολύ μεγάλου χρόνου ζωής του στην γήινη ατμόσφαιρα (κάποιες δεκαετίες), το φαινόμενο του θερμοκηπίου δρα με μεγαλύτερη επιρροή στο τελικό αποτέλεσμα, που όπως φαίνεται είναι η συνεχής και σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη.

Οι έμμεσοι παράγοντες είναι πιο περίπλοκοι και πιο δύσκολοι να μελετηθούν καθώς αναφέρονται στη λειτουργία των σωματιδίων ως CCN. Σε αυτήν την περίπτωση σημαντικό ρόλο παίζουν τα φαινόμενα που συνδέουν την συγκέντρωση αυτών με τη δημιουργία CCN καθώς και η ποσότητα των σταγονιδίων που υπάρχουν μέσα στα νέφη, το μέγεθος αυτών και τελικά την ανάκλαση που προκαλούν. Επίσης, σπουδαίο ρόλο στο συνολικό φαινόμενο έχουν και τα σωματίδια που βρίσκονται μέσα, πάνω και κάτω από τα νέφη .

Τέλος, τα σωματίδια της στρατόσφαιρας παίζουν σημαντικό ρόλο στη μείωση του ατμοσφαιρικού όζοντος. Υπό την επίδραση των ψυχρών θερμοκρασιών που επικρατούν στους πόλους κατά τη διάρκεια του χειμώνα πραγματοποιείται συμπύκνωση νιτρικού οξέος και ατμών νερού προς το σχηματισμό πολικών

⁵² Hinds W. C., *Aerosol Technology, Properties, Behavior and Measurements of Airborn Particles*, Second Edition, John Wiley & Sons, 1999.

⁵³ <http://www.physics4u.gr/faq/greenhouse.html>

στρατοσφαιρικών νεφών. Οι επιφάνειες αυτών των νεφών λειτουργούν ως περιοχές για καταλυτική μετατροπή των συστατικών της ατμόσφαιρας που περιέχουν χλώριο σε μοριακό χλώριο (Cl_2) και υποχλωριώδες οξύ ($HOCl$).

Κατά τη διάρκεια της άνοιξης η ηλιακή ακτινοβολία φωτοδιασπά το μοριακό χλώριο σε ατομικό (Cl) το οποίο αντιδρά με το υπάρχων άζωτο για το σχηματισμό οξυγόνου (O_2) και μονοξείδιο του χλωρίου (ClO). Το τελευταίο φωτολύεται προς ατομικό χλώριο, με τον κύκλο να λαμβάνει χωρά διαρκώς με συνεχή διάσπαση του άζοντος. Οι ηφαιστειακές εκρήξεις εντείνουν το φαινόμενο με αύξηση των στρατοσφαιρικών αεροζόλ⁵⁴.

Όπως γίνεται αντιληπτό, από όλα τα παραπάνω, η μελέτη του κλίματος του πλανήτη είναι δύσκολη. Αυτό οφείλεται στους πολλούς παράγοντες που επηρεάζουν την ισορροπία της ατμόσφαιρας. Ωστόσο, πραγματοποιούνται πολλές μελέτες ώστε να διασφηνιστεί ο τρόπος με τον οποίο επηρεάζεται το κλίμα από την ύπαρξη των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.

⁵⁴ Hinds W. C., *Aerosol Technology, Properties, Behavior and Measurements of Airborn Particles*, Second Edition, John Wiley & Sons, 1999.

Κεφάλαιο 3

Αιωρούμενα Σωματίδια Στα Χανιά

3.1 Γεωγραφική Θέση

Η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο νησί στην Ελλάδα και το δεύτερο μεγαλύτερο (μετά την Κύπρο) της ανατολικής Μεσογείου. Βρίσκεται στο νότιο άκρο του Αιγαίου πελάγους και καλύπτει μια περιοχή 8.336 km^2 . Ο πληθυσμός της είναι 621.340 άνθρωποι⁵⁵. Έχει μήκος 260 χλμ και ποικίλλει στο πλάτος με ένα μέγιστο 60 χλμ (από το ακρωτήριο Δίον έως το ακρωτήριο Λίθινο), σε ένα ελάχιστο 12 χλμ στον Ισθμό Ιεράπετρας στην ανατολική Κρήτη. Η ακτογραμμή της παρουσιάζει βαθύ γεωγραφικό διαμελισμό, ο οποίος παρουσιάζει στην Κρήτη πάνω από 1.000 χλμ ακτών.

Το νησί είναι εξαιρετικά ορεινό και καθορίζεται από μια υψηλή σειρά βουνών που το διασχίζει την από τη δύση ως την ανατολή, διαμορφωμένη από τρεις διαφορετικές ομάδες βουνών. Αυτές είναι:

- τα Λευκά Όρη (2.452 μ).
- η οροσειρά Ίδη (Ψηλορείτης (35.18° N 24.82° E) 2.456 μ)
- το όρος Δίκτη (2.148 μ).

Σ' αυτά τα βουνά οφείλεται η ύπαρξη στο νησί εύφορων οροπεδίων ο Ομαλός, η Νίδα και το οροπέδιο Λασιθίου, σπηλαίων όπως το Δικταίο και το Ιδαίο άντρο και φαράγγια όπως το διάσημο φαράγγι της Σαμαριάς, το φαράγγι Ίμβρου, το Κουρταλιώτικο φαράγγι, το Φαράγγι των Νεκρών στην Κάτω Ζάκρο Λασιθίου κ.α.

⁵⁵ Ελληνική Στατιστική Αρχή, 22 Ιουλίου 2011

Ο Νομός Χανίων είναι το δυτικότερο τμήμα της μεγαλονήσου με έκταση 2376 τ. χλμ. και πληθυσμό 156.220 κατοίκων⁵⁶. Συνορεύει ανατολικά με το Νομό Ρεθύμνης ενώ βρέχεται στις τρεις άλλες πλευρές του, σε έκταση 350 χιλιόμετρων ακτής, από την ζεστή Μεσόγειο θάλασσα, το Κρητικό Πέλαγος στο βορρά και το Λυβικό στο νότο.

Η οροσειρά των Λευκών Ορέων ή Μαδάρων, με πολλές δεκάδες κορυφές και ψηλότερη όλων τις Πάχνες (2454 μ.), αποτελεί τη ραχοκοκαλιά του Νομού.

3.2 Δημογραφικά Στοιχεία

Η περιφερειακή ενότητα Χανίων έχει μόνιμο πληθυσμό 156.220 κατοίκων σύμφωνα με τα δεδομένα των δημογραφικών υπηρεσιών κατά την απογραφή του 2011, ενώ ο Δήμος Χανίων έχει 108.310 κατοίκους. Έχει έκταση περίπου 11 τετραγωνικών χιλιομέτρων και είναι η ένατη σε μέγεθος πόλη της Ελλάδας. Η αστική περιοχή Χανίων περιλαμβάνει τους δήμους Αποκορώνου (12.860), Γαύδου (150), Καντάνου-Σελίνου (5.420) ,Κισσάμου (10.800) , Πλατανιά (16.760) και Σφακίων (1.920).⁵⁷

3.3 Κλίμα-Φυσικά Στοιχεία

Τα βουνά της Κρήτης και η γύρω θαλάσσια περιοχή του Αιγαίου επηρεάζουν το κλίμα της Σούδας. Το θαλάσσιο τμήμα του Αιγαίου βιοθά ώστε να μετριαστεί η ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας στο σταθμό της Σούδας γύρω από μια μέση τιμή περίπου στους 18°C (64 βαθμούς Farhenheit). Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη κυρίως στα βόρεια τμήματα του νησιού, αφού στις περιοχές αυτές πνέουν οι Ετησίες (Μελτέμια).

⁵⁶ Ελληνική Στατιστική Αρχή, 22 Ιουλίου 2011

⁵⁷ <http://el.wikipedia.org>

Η πόλη έχει το τυπικό μεσογειακό κλίμα, το οποίο είναι ζεστό και ξηρό τα καλοκαίρια και ήπιο τους χειμώνες. Μεταξύ Απριλίου και Οκτωβρίου ο ουρανός είναι καθαρός. Η ατμόσφαιρα είναι σχεδόν πάντα ζεστή και τα θερμά επεισόδια (με θερμοκρασίες πάνω από 38 °C) δεν είναι πολύ συνηθισμένα, αφού υπάρχει συνεχώς η θαλασσινή αύρα (τα "Μελτέμια"). Οι χειμώνες στο νησί είναι ήπιοι και βροχεροί με τη θερμοκρασία να παραμένει γενικά μερικούς βαθμούς γύρω από την μέση θερμοκρασία θάλασσας.

Συνήθως χιονίζει μόνο στα ορεινά του νομού με πολύ σπάνιες εξαιρέσεις, όπως αυτή στις 13 Φεβρουαρίου 2004 όπου 250–760 mm χιονιού έπεσαν μέσα στην πόλη (Εικόνα 2). Όμως αρκετές φορές εμφανίζεται χιόνι στα βόρεια τμήματα των υψηλότερων βουνών.



Εικόνα 2: Χιονοθύελλα στο λιμάνι των Χανίων.

Μερικά μικρά θερμά επεισόδια συμβαίνουν και κατά τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο, όταν σκόνη από τη Σαχάρα μεταφέρεται από ένα ισχυρό "καταβατικό" άνεμο (τύπου Σιρόκο), ο οποίος αποκαλείται Λίβας (επειδή έρχεται από τη Λιβύη).

Η μεγαλύτερη θερμοκρασία που καταγράφηκε ποτέ ήταν 42.5°C , ενώ η χαμηλότερη ήταν, στις 13 Φεβρουαρίου 2004, -1°C το μεσημέρι.

Έντονα φαινόμενα στα Χανιά:

Οι δύο μεταβατικές περίοδοι είναι αρκετά διαφορετικές ως προς την διάρκειά τους. Η εποχή της άνοιξης διαρκεί από το Μάρτιο μέχρι το Μάιο και χαρακτηρίζεται από περιόδους με χειμερινού τύπου καιρού. Η περίοδος του φθινοπώρου αντίθετα διαρκεί χαρακτηριστικά μόνο έναν μήνα. Ο Οκτώβριος είναι το κανονικό χρονικό πλαίσιο για την μετάβαση από το φθινόπωρο στο χειμώνα, αλλά αυτή μπορεί να διαρκέσει κάποιες φορές μέχρι και το Νοέμβριο. Η μετάβαση αυτή είναι μια απότομη αλλαγή σε καιρό χειμερινού τύπου.

Την περίοδο από τον Ιούνιο μέχρι τον Αύγουστο σπάνια εμφανίζονται καταιγίδες στην Κρήτη. Οι καταιγίδες εμφανίζονται κατά την διάρκεια του υπόλοιπου χρόνου, με μεγαλύτερη συχνότητα κατά την διάρκεια των μηνών από Οκτώβρη έως Φεβρουάριο. Το ορεογραφικό ανάγλυφο της Κρήτης παρέχει την απαραίτητη ανύψωση στις ασταθείς αέριες μάζες με αποτέλεσμα τις καταιγίδες. Ψυχρά μέτωπα και αυλώνες (troughs) συνδεδεμένες με συστήματα βαρομετρικών χαμηλών (Lows), τα οποία κινούνται πάνω από την Ελλάδα, δημιουργούν δραστηριότητα σκεδαζόμενων καταιγίδων κατά μήκος της Κρήτης. Η πλειοψηφία των καταιγίδων που εμφανίζονται πάνω από την Κρήτη, κατά την διάρκεια των φθινοπωρινών και χειμερινών μηνών, οφείλονται στην ανάπτυξη των ψυχρών πυρήνων των χαμηλών βαρομετρικών, τα οποία κινούνται αργά ανατολικά έξω από την κεντρική Μεσόγειο. Ο Σιρόκος μπορεί να εμφανιστεί κατά την διάρκεια οποιασδήποτε εποχής, αν και είναι πιο συχνός από τον Μάρτη μέχρι τον Ιούνιο. Κατά την διάρκεια αυτής της περιόδου, νότιοι άνεμοι από το εσωτερικό της Βόρειας Αφρικής συχνά ενώνονται με τους Βορειο-αφρικανικούς κυκλώνες. Αργά το φθινόπωρο και νωρίς το χειμώνα, όταν υψηλές πιέσεις καλύπτουν την Βόρεια Αφρική, οι κυκλώνες αυτής σε συνδυασμό με τις συνιστώσες του Σιρόκου εμφανίζονται λιγότερο συχνά σε σχέση με αυτούς που

εμφανίζονται κατά την διάρκεια της Άνοιξης. Το καλοκαίρι, η πιθανότητα εμφάνισης του Σιρόκου μειώνεται, όσο ο μέσος άνεμος τείνει να παρουσιάζεται με κατεύθυνση από την σχετικά ψυχρή θάλασσα προς τα νησιά.

Καιρικά φαινόμενα που συνδέονται με το Σιρόκο:

Ο Σιρόκος είναι ένας νοτιοανατολικός έως νοτιοδυτικός άνεμος που πνέει στη Μεσόγειο και προέρχεται από την Βόρεια Αφρική. Τα φαινόμενα που συνδέονται με τον Σιρόκο εξαρτώνται αρχικά από την ένταση του ανέμου και από το μήκος της τροχιάς που βρίσκεται πάνω από υδάτινη επιφάνεια. Η ένταση του ανέμου και οι ηπειρωτικές επιφάνειες καθορίζουν την μέση περιεκτικότητα της σκόνης στην ατμόσφαιρα. Πυκνά νέφη σκόνης μπορεί να μειώσουν την ορατότητα σε μερικές εκατοντάδες μέτρα κατά την διάρκεια πνοής Σιρόκου με θυελλώδεις εντάσεις, ιδιαίτερα κατά μήκος των ακτών της Βόρειας Αφρικής. Κατά μήκος των ακτών της Λιβύης, το φαινόμενο της σκόνης μπορεί να είναι πολύ. Στη Μάλτα, η σκόνη αυξάνει πάνω από τις έρημους κατά την διάρκεια της ημέρας και μεταφέρεται βορειότερα από τους ισχυρούς ανέμους, μειώνοντας την ορατότητα σε μερικές εκατοντάδες μέτρα. Ακόμη και με ασθενείς ανέμους περιορισμένη ορατότητα από σκόνη είναι πολύ συχνό φαινόμενο κατά την διάρκεια επικράτησης του Σιρόκου. Αν και ο Σιρόκος ξεκινά ως ένας θερμός και ξηρός άνεμος κατά μήκος των ακτών της Βόρειας Αφρικής, η αλληλεπίδραση μεταξύ αερίων μαζών και θάλασσας μπορεί να αλλάξει ταχύτατα τις ιδιότητες του επιφανειακού στρώματος αέρα. Αν η αέρια μάζα υψηλής περιεκτικότητας σε σκόνη και χαμηλής υγρασίας έρθει σε επαφή κάθετα με ψυχρό μέτωπο, το οποίο κινείται ανατολικά πέρα από την βόρεια Μεσόγειο, μπορεί να εμφανιστεί ένα φαινόμενο που ονομάζεται «Λασποβροχή» όπως φαίνεται στις 10 Φεβρουαρίου 2010 στην Κρήτη (Εικόνα 3). Πριν την Λασποβροχή ο ουρανός εμφανίζεται με κόκκινες ή πορτοκαλί αποχρώσεις. Μια «Μεμβρανώδης» κοκκινόχρωμη λάσπη μπορεί να καλύψει την περιοχή αυτών των συνθηκών μειώνοντας την ορατότητα σε όλη την περιοχή.



Εικόνα 3: Επίθεση αφρικανικής σκόνης, λασποβροχές, υψηλές θερμοκρασίες.

Γενικά οι αέριες μάζες που επηρεάζουν την Κρήτη μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις εξής κατηγορίες:

➤ Πολικές Ηπειρωτικές

Το χειμώνα πολικές ηπειρωτικές αέριες μάζες συχνά εκτείνονται από τις περιοχές όπου πηγάζουν (π.χ. τη Ρωσία ή τη Φιλανδία) προς τα νότια μέχρι την κεντρική Μεσόγειο σχηματίζοντας νέφη με υετό. Πολλές φορές αυτές οι αέριες μάζες προκαλούν την ανάπτυξη ενός οργανωμένου κυκλωνικού συστήματος πάνω από την κεντρική Μεσόγειο. Ένα άλλο χαρακτηριστικό τους είναι η σημαντική πτώση της θερμοκρασίας. Αν οι προαναφερόμενες ψυχρές αέριες μάζες ακολουθούν πίσω από ένα βαθύ βαρομετρικό χαμηλό μπορεί να εμφανιστεί χιόνι στα ορεινά της Κρήτης, αλλά είναι σπάνιο να χιονίσει σε χαμηλότερα υψόμετρα. Το καλοκαίρι, όταν αυτού του είδους αέρια μάζα εκτείνεται αρκετά νότια, μπορεί να εμφανιστούν νεφώσεις και ασθενείς βροχοπτώσεις στα βόρεια προσήνεμα του νησιού.

➤ Θαλάσσιες Τροπικές

Εξαιτίας της τροχιάς τους πάνω από τα σχετικά ψυχρά νερά του Ατλαντικού, οι θαλάσσιες τροπικές αέριες μάζες τροποποιούνται σε σχετικά ψυχρές αέριες μάζες καθώς κινούνται προς την ανατολική Μεσόγειο. Το χειμώνα αυτές οι αέριες μάζες προκαλούν βροχή ή ψεκάδες ενώ μπορεί να εμφανιστούν νέφη τα οποία σπάνια προκαλούν υετό.

➤ Τροπικές Ηπειρωτικές

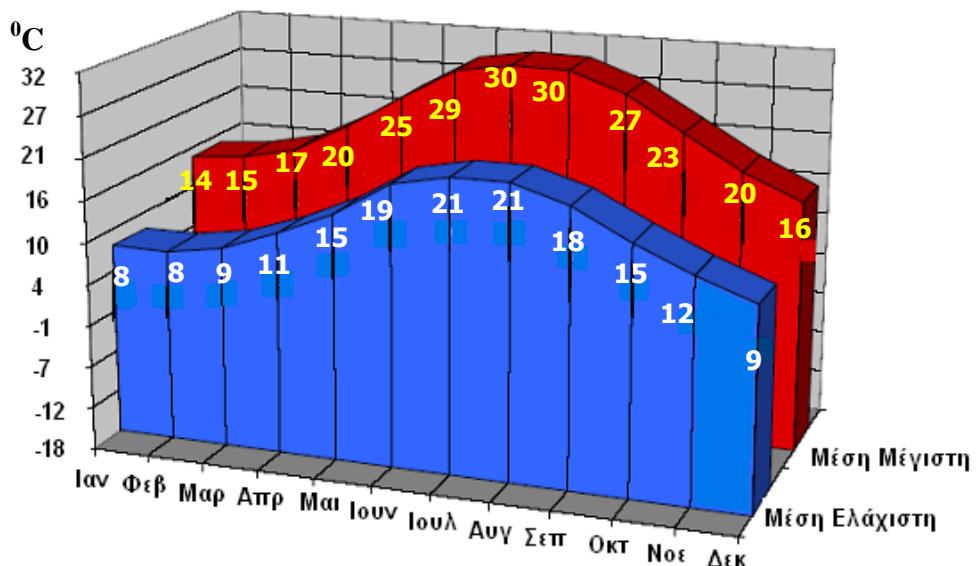
Οι τροπικές Ηπειρωτικές αέριες μάζες από την Βόρεια Αφρική τροποποιούνται καθώς κινούνται πάνω από την κεντρική Μεσόγειο. Η σκόνη που μπορεί να μεταφέρουν από τις έρημους της Βόρειας Αφρικής περιορίζει την ορατότητα και μπορεί να εμφανιστεί σε διάφορα ύψη εντός της τροπόσφαιρας. Αυτές οι αέριες μάζες αποτελούν την κύρια πηγή θερμότητας για την ανάπτυξη των μεσογειακών κυκλωνικών καταιγίδων, οι οποίες πιο συχνά εμφανίζονται κατά την διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης. Ο τροπικός ηπειρωτικός αέρας από την Βόρεια Αφρική είναι η πιο συνηθισμένη θερμή αέρια μάζα που επηρεάζει την περιοχή της Κρήτης και είναι υπεύθυνος για πολλά από τα «θερμά κύματα» που προκαλούν υψηλές θερμοκρασίες. Το καλοκαίρι είναι πιθανό αυτές οι αέριες μάζες να επεκταθούν πάνω από την Ασία και μέσα στα Βαλκάνια.

2. ΜΕΣΕΣ ΕΤΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ

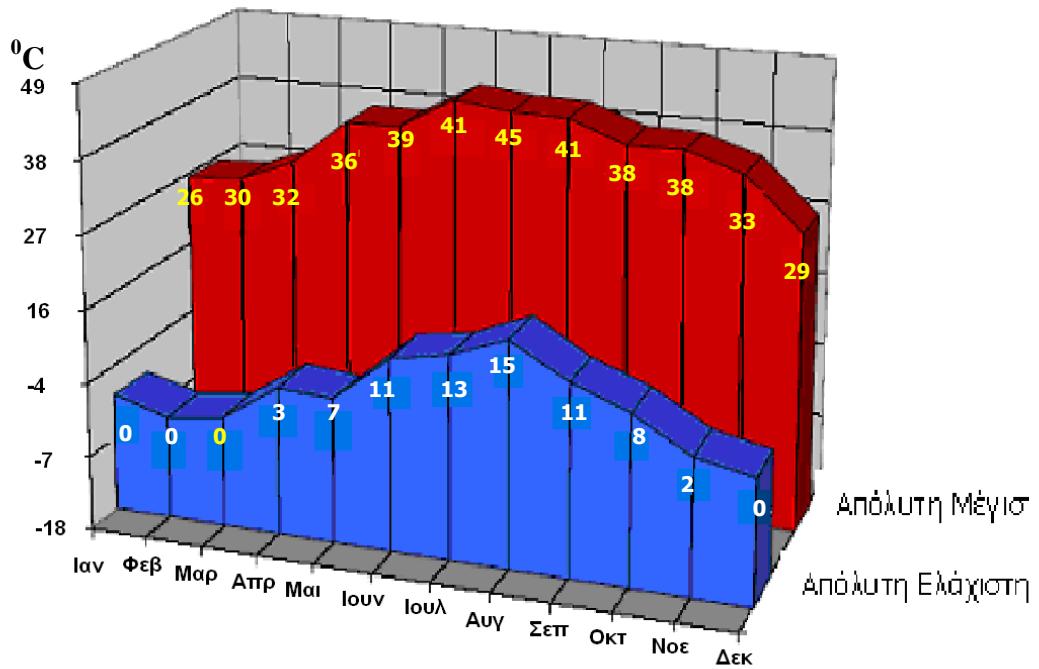
A. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ.

Οι παρακάτω παρουσιάζουν τις μέσες τιμές της θερμοκρασίας 20 ετών (1975 - 1995) στα Χανιά:

Μέση Ετήσια	:	18 °C
Μέση Μέγιστη Ετήσια	:	23 °C
Μέση Ελάχιστη Ετήσια:		14 °C
Απόλυτη Μέγιστη	:	45,5 °C (Ιούλιος 1973)
Απόλυτη Ελάχιστη	:	0 °C (Φεβρουάριος 1983 και 1992)



Εικόνα 4: Μέση μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία στα Χανιά για κάθε μήνα του έτους (σε βαθμούς Κελσίου).



Εικόνα 5: Απόλυτη μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία στα Χανιά για κάθε μήνα του έτους (σε βαθμούς Κελσίου).

B. ΥΕΤΟΣ

Οι μέσες τιμές του υετού για 20 έτη (1975 - 1995) είναι:

Μέσος Ετήσιος Υετός	:	723.9 mm
Μέσος Μέγιστος Ετήσιος Υετός	:	990.6 mm
Μέσος Ελάχιστος Ετήσιος Υετός	:	271.8 mm
Μέσος Μέγιστος Υετός 24ώρου	:	175.3 mm
Μέση Ετήσια Χιονόπτωση	:	ίχνη
Μέση Μέγιστη Ετήσια Χιονόπτωση	:	25.4 mm
Μέση Μέγιστη Χιονόπτωση 24ώρου:		25.4 mm

Κεφάλαιο 4

Μεθοδολογία

4.1 Ακτίνες X

Ακτίνες X ή **ακτίνες Röntgen** αποκαλείται ένα τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος με περιοχή μήκους κύματος μεταξύ 10 nm με 10 pm , που αντιστοιχεί σε περιοχή συχνότητας από 30 PHz - 30 HHz και σε περιοχή ενέργειας 120 eV - 120 keV. Επειδή επρόκειτο για μία άγνωστη έως τότε ακτινοβολία της δόθηκε το όνομα < X >. Αυτό το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος βρίσκεται μεταξύ των τμημάτων της υπεριώδους ακτινοβολίας και των ακτίνων γ. Η δεύτερη ονομασία της ακτινοβολίας προέρχεται από το όνομα ενός από τους πρώτους ερευνητές της, του Γερμανού φυσικού, Βίλχελμ Ρέντγκεν (*Wilhelm Röntgen*) που τις ανακάλυψε το 1895.

Οι ακτίνες X πρωταρχικά χρησιμοποιήθηκαν από την Ιατρική ως διαγνωστικό εργαλείο με τη μορφή της ακτινογραφίας και από τη Φυσική και τη Χημεία με τη μορφή της κρυσταλλογραφίας. Η υιοθέτηση τεχνικών που χρησιμοποιούν ακτίνες – X στη χημική ανάλυση έγινε μεταγενέστερα και πάντα σε συνάρτηση με τις εξελίξεις στους τομείς της παραγωγής και της ανίχνευσης των ακτινών αυτών. Όμως, οι ακτίνες X ανήκουν στις ιονίζουσες ακτινοβολίες, αφού η ενέργειά τους είναι ικανή να προκαλέσει τον ιονισμό ατόμων και μορίων από αριθμό εσωτερικών τους ηλεκτρονίων. Επομένως παρουσιάζει κινδύνους βλαβών σε ζωντανούς οργανισμούς και όχι μόνο .

Οι εφαρμογές μπορούν να διακριθούν σε δύο κύριες κατευθύνσεις.

- Στην κρυσταλλογραφία ακτινών-Χ όπου μελετάται κυρίως η δομή κρυσταλλικών υλικών
- Στην φασματοσκοπία φθορισμού ακτινών -X για ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των στοιχείων που περιέχονται στο δείγμα και η οποία είναι γνωστή ως μέθοδος XRF.

Η τεχνική του φθορισμού των ακτινών X (X-Ray Fluorescence) είναι μια καθιερωμένη αναλυτική τεχνική που χρησιμοποιείται σήμερα σε ένα ευρύ φάσμα διεπιστημονικών εφαρμογών. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της τεχνικής XRF είναι ο ταυτόχρονος και γρήγορος προσδιορισμός στοιχείων από όλον σχεδόν τον Περιοδικό Πίνακα ($Z = 14-92$) αλλά και η μεγάλη ευαισθησία στην ανάλυση με ανιχνευτικά όρια που κυμαίνονται συνήθως στην περιοχή των $\mu\text{g/g}$ (ppm). Η μέθοδος αυτή δεν απαιτεί πολύπλοκη προετοιμασία των προς μέτρηση δειγμάτων, ενώ η ανάλυση των φασμάτων είναι κατά κανόνα απλή. Επίσης ,το δείγμα προς ανάλυση δεν υφίσταται καμία αλλοίωση μετά την ακτινοβόληση. Η βασική αδυναμία της είναι ότι δεν προσφέρεται για ανάλυση στοιχείων ελαφρύτερων από το φθόριο. Ως χαρακτηριστική εφαρμογή της μεθόδου μπορεί να αναφερθεί ο προσδιορισμός ιχνοστοιχείων σε περιβαλλοντικά δείγματα (έδαφος, αερολύματα –aerosols που έχουν εναποτεθεί σε φίλτρα) .

4.2 Διάταξη XRF

Μια τυπική διάταξη Φασματοσκοπίας Φθορισμού ακτινών X περιλαμβάνει μια πηγή πρωτογενούς ακτινοβολίας (ραδιοϊσότοπο ή λυχνία ακτίνων X) , ανιχνευτή, τον ενισχυτή, ένα μετατροπέα του αναλογικού σήματος και έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Η τεχνική του φθορισμού ακτίνων χ είναι μια μέθοδος ανάλυσης δειγμάτων η οποία βασίζεται στο φθορισμό των ακτίνων χ και εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι οι ενέργειες των φωτονίων που εκπέμπει ένα διεγερμένο άτομο κατά την αποδιέγερσή του είναι χαρακτηριστικές για το είδος του ατόμου και μπορούν να οδηγήσουν στον

προσδιορισμό του. Συνεπώς η ανάλυση του φάσματος των εκπεμπόμενων λόγω φθορισμού φωτονίων και ο εντοπισμός των κορυφών που μπορούν να αποδοθούν ως χαρακτηριστικές ενός στοιχείου, οδηγεί σε ποιοτικό προσδιορισμό του στοιχείου και με κατάλληλη μέθοδο βαθμονόμησης οδηγεί επίσης και σε ποσοτικό προσδιορισμό των περιεχομένων στο δείγμα στοιχείων⁵⁸.

Μία συνοπτική περιγραφή λειτουργίας της μεθόδου XRF είναι η παρακάτω:⁵⁹

Η συσκευή εκπέμπει πρωτογενή ακτινοβολία από μια πηγή (X-ray tube) πάνω στο στόχο-δείγμα. Η ακτινοβολία αυτή είναι κατάλληλης ενέργειας και έχει σαν αποτέλεσμα να διεγείρονται τα άτομα των στοιχείων του δείγματος.

Κατά την αποδιέγερση των ατόμων, εκπέμπεται μία δευτερογενής ακτινοβολία, η οποία είναι συγκεκριμένου μήκους κύματος και έντασης για το κάθε στοιχείο.

Οι ακτινοβολίες αυτές οδηγούνται μέσα στο φασματογράφο μάζας όπου ανιχνεύονται από ειδικά κυκλώματα για να αντιστοιχηθούν βάσει του μήκους κύματος και της έντασης που έχει το καθένα (Εικόνα 6). Το μήκος κύματος δίνει πληροφορίες για το είδος των στοιχείων, ενώ η ένταση για το ποσοστό τους μέσα στο δείγμα.

4.3 Πηγή Πρωτογενούς Ακτινοβολίας Φασματογράφου XRF

Η αρχή λειτουργίας των διατάξεων παραγωγής ακτίνων - X είναι απλή. Σε ένα σωλήνα κενού είναι τοποθετημένες μία άνοδος και μία κάθοδος. Το ηλεκτρικό ρεύμα θερμαίνει την κάθοδο με αποτέλεσμα να εκπέμπονται ηλεκτρόνια. Η υψηλή τάση που έχει δημιουργηθεί μεταξύ ανόδου και καθόδου κάνει τα ηλεκτρόνια να οδηγούνται στην άνοδο. Λόγω του κενού τα ηλεκτρόνια κινούνται και προσκρούουν στην άνοδο

⁵⁸ Ron Jenkins,R.W.Gould,Dale Gedcke, Quantitative X-ray Spectrometry, Marcel Dekker, Inc 1981

⁵⁹ http://www.vrecossis.gr/datafiles/files/COMPANIES/OXFORD/VR_XRF_NEW_2.pdf

με πολύ μεγάλες ταχύτητες και χωρίς απώλειες ενέργειας. Από την πρόσκρουση έχουμε την παραγωγή ακτίνων - X, οι οποίες κατευθύνονται προς το δείγμα που θέλουμε να αναλύσουμε.

4.4 Ανιχνευτές Δευτερογενούς Ακτινοβολίας Φασματογράφου XRF

Μια πολύ σημαντική συνιστώσα γενικά για τη φασματοσκοπία είναι ο ανιχνευτής. Υπάρχουν πολλά συστήματα ανιχνευτών που χρησιμοποιούνται σήμερα ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζονται. Οι πιο σύγχρονοι είναι οι ανιχνευτές SDD (Silicon Drift Detectors) και πλεονεκτούν σε σύγκριση με άλλους όπως ο ανιχνευτής SiLi (Lithium drifted Si detector) διότι:

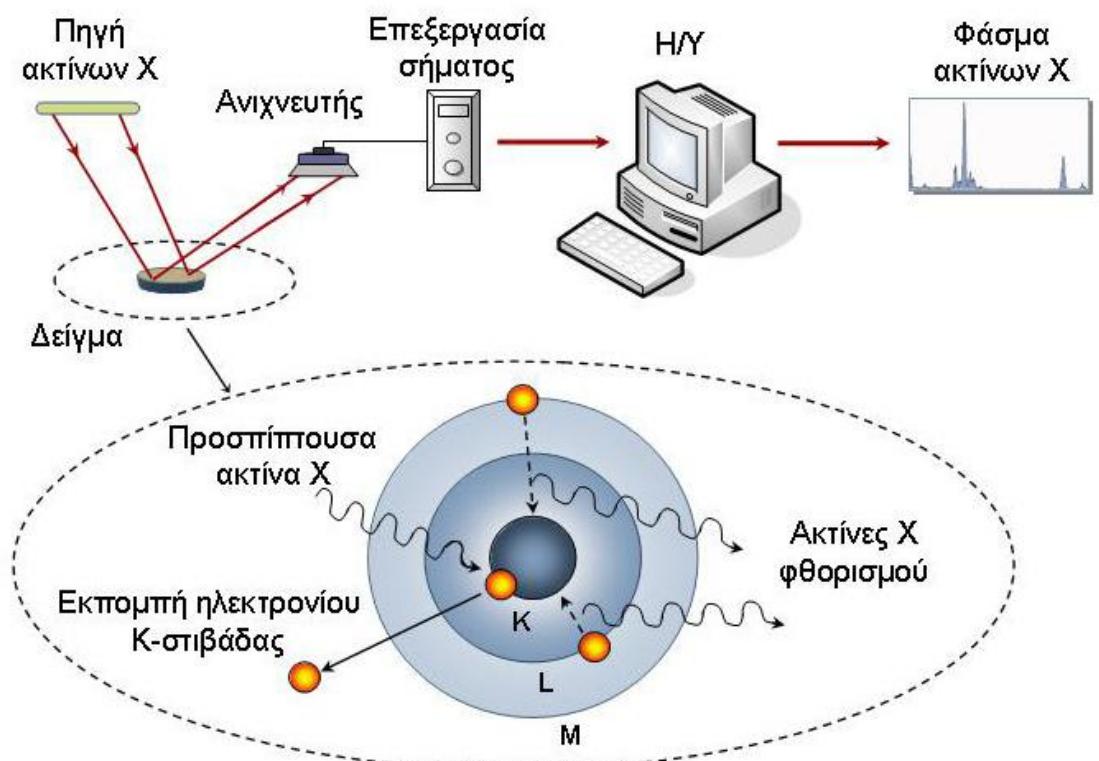
- Είναι πέντε φορές γρηγορότεροι στη λήψη μετρήσεων
- Έχουν ευρύτερα όρια αναγνώρισης στοιχείων
- Έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια
- Αναγνωρίζουν ελαφρά κραματοποιητικά στοιχεία όπως Αλουμίνιο (Al) Πυρίτιο (Si) και Μαγνήσιο (Mg) .

4.5 Τομείς Εφαρμογής Μεθόδου XRF

Γενικά η φασματοσκοπία XRF χρησιμοποιείται για την ποιοτική και ποσοτική στοιχειακή ανάλυση δειγμάτων στους παρακάτω χώρους εφαρμογής:

- Στη βιομηχανία μετάλλων για τη διασφάλιση ποιότητας διαφόρων πρώτων υλών, διαδικασιών παραγωγής και τελικών προϊόντων

- Στη βιομηχανία πλαστικών για την ανίχνευση επικίνδυνων ουσιών σε παιχνίδια και γενικότερα πλαστικά (συμμόρφωση με την οδηγία RoHS).
- Σε περιβαλλοντολογικούς ελέγχους για τον προσδιορισμό των επιπέδων των βαρέων μετάλλων σε εδάφη, ιζήματα και ύδατα
- Σε τομείς γεωλογίας και ορυκτολογίας για την ανάλυση εδαφών, πετρωμάτων και ορυκτών
- Στη βιομηχανία τροφίμων για την ανίχνευση τοξικών μετάλλων
- Σε επιστήμες της Τέχνης με σκοπό τη μελέτη και συντήρηση των έργων (πίνακες, γλυπτά κλπ.)



Εικόνα 6: Διάταξη XRF⁶⁰

⁶⁰ http://www.uoi.gr/services/lab-net/net-web/XRF_gr.pdf

4.6 Πλεονεκτήματα Μεθόδου XRF

- Είναι μη καταστροφική
- Μπορεί να αναλύσει μεγάλο εύρος στοιχείων
- Γρήγορη λήψη μετρήσεων
- Γρήγορη και εύκολη επεξεργασία αποτελεσμάτων
- Δυνατότητα εφαρμογής σε φορητές και σταθερές συσκευές
- Απαιτείται ελάχιστη προετοιμασία δειγμάτων

4.7 Μειονεκτήματα Μεθόδου XRF

Η βασική αδυναμία της μεθόδου αυτής είναι ότι δεν προσφέρεται για ανάλυση στοιχείων ελαφρύτερων από το μαγνήσιο. Κυριότερο μειονέκτημα της είναι ότι δεν ανιχνεύει τον άνθρακα.

4.8 Συλλογή Δειγμάτων

Για το εν λόγω πείραμα χρησιμοποιήσαμε απλά πλαστικά δοχεία εργαστηρίου εκτεθειμένα σε ανοιχτό χώρο με απιονισμένο νερό περίπου 415ml. Συγκεκριμένα, τα δείγματα ελήφθησαν σε ψηλά πλαστικά δοχεία PVC τα οποία τοποθετήθηκαν από τον Δεκέμβριο του 2012 στις ακόλουθες περιοχές: στην περιοχή της Σούδας, στο Κουμ-Καπί και τέλος στη Χαλέπι. Τα δοχεία τοποθετήθηκαν σε ανοιχτούς χώρους την πρώτη του μηνός και παρέμειναν εκεί για ένα μήνα. Για να αποφευχθεί η καταστροφή των δειγμάτων κυρίως από την επίδραση του ανέμου στα δοχεία υπήρχε πάντοτε απιονισμένο νερό περίπου 415ml. Παρόλα αυτά υπήρξαν παράπλευρες

απώλειες κατά περιπτώσεις με αποτέλεσμα να έχουμε δείγματα από την περιοχή της Σούδας εννέα (9) μηνών, από την περιοχή της Χαλέπας 2 μηνών και τέλος από το Κουμ-Καπί 2 μηνών. Στο τέλος κάθε μήνα νερό 235gr μεταφερόταν σε πορσελάνινα δοχεία των 86,737gr στο εργαστήριο Αναλυτικής και Περιβαλλοντικής Χημείας όπου στη συνέχεια λάμβανε μέρος η εξάτμιση των δειγμάτων. Για την εξάτμιση χρησιμοποιήθηκε ειδικός φούρνος μικροκυμάτων καθώς και η ειδική λάμπα υπέρυθρου φωτός. Η διάρκεια της εξάτμισης διαρκούσε περίπου 40 λεπτά. Στη συνέχεια γινόταν η συλλογή της σκόνης από τις πλευρές και τον πάτο του δοχείου με τη βοήθεια μιας σπάτουλας. Τέλος, με τη χρήση της διάταξης XRF καταλήξαμε στην ανάλυση των δειγματοφορέων όπως θα δούμε στο κεφάλαιο που ακολουθεί.

Θέσεις Δειγματοληψιών - Χαρακτηριστικά

Σχετικά με την επιλογή κάθε θέση δειγματοληψίας λήφθησαν υπόψη βασικοί κανόνες σύμφωνα με τους οποίους οι μετρήσεις θα πρέπει να αντιπροσωπεύουν όσο το δυνατόν έγκυρα αποτελέσματα και κοντά στην πραγματικότητα. Ο λόγος λοιπόν που επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένες τοποθεσίες και οι μήνες των δειγματοληψιών, που αναφέρονται πιο κάτω, είναι ότι αυτές εξυπηρετούν την γενικότερη απόδοση της ατμοσφαιρικής κατάστασης σε διάφορα σημεία της πόλης των Χανίων καθώς και το γεγονός ότι παρουσιάζουν μετεωρολογικό ενδιαφέρον κυρίως λόγω επιρροής τους από τον άνεμο και την υγρασία προκειμένου να έχουμε μια εικόνα της κατάστασης.

Ακολούθως περιγράφονται αναλυτικά οι τοποθεσίες δειγματοληψίας της παρούσας εργασίας και επιπρόσθετα παρουσιάζονται στοιχεία, που αφορούν στους δειγματοληπτικούς σταθμούς.

Οι σταθμός της Σούδας είναι αυτός που διατηρήθηκε και τους εννέα μήνες σταθερός. Ωστόσο, στη δορυφορική φωτογραφία της εικόνας που ακολουθεί παρακάτω φαίνονται όλοι οι σταθμοί.

Σταθμοί Δειγματοληψίας	Δεκέμβριος 2011	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αυγούστος
Σούδα	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Κούμ - Καπή	-	-	*	*	*	-	-	-	-
Χαλέπα	-	-	*	*	-	-	-	-	-

Σημείωση: Η ποσότητα του δείγματος που προέκυψε κατά τη διάρκεια των μηνών Μαρτίου και Απριλίου στην περιοχή της Χαλέπας ήταν πολύ μικρή κι έτσι δεν κατέστη εφικτό να καλυφθεί πλήρως ο δειγματοφορέας.

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΣΤΑΘΜΩΝ



ΣΟΥΔΑ

Η Δημοτική ενότητα Σούδας, αποτελείται από την Σούδα, τα Τσικαλαριά και τα Άπτερα. Ο κόλπος της Σούδας, στα βόρεια παράλια του σημερινού νομού Χανίων, σχηματίζεται από τον κυρίως κορμό της Κρήτης και το ακρωτήριο Μελέχα, ή Ακρωτήρι. Η γεωφυσική του θέση, ο προσανατολισμός του, σε συνδυασμό με το μέγεθος και το επαρκές βάθος του, τον καθιστούν ένα ασφαλές λιμάνι κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου. Η γεωγραφική του θέση στο κέντρο της ανατολικής Μεσογείου πάνω στους πανάρχαιους θαλάσσιους δρόμους, του δίδουν μια ξεχωριστή στρατηγική σημασία, με αποτέλεσμα να προκαλεί το έντονο ενδιαφέρον από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Ο κόλπος της Σούδας, είναι ένα από τα στρατηγικά σημαντικότερα αγκυροβόλια του ΝΑΤΟ, στην Μεσόγειο. Το δειγματοληπτικό σημείο χωροθετήθηκε στο επίπεδο του εδάφους. Οι μετρήσεις λαμβάνονταν σε αυτό το σημείο προκειμένου να φανεί η σημαντικότητα του επιπέδου δειγματοληψίας και οι διαφορές στις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων σε διάφορες καιρικές συνθήκες.

ΚΟΥΜ-ΚΑΠΙ

Το Κουμ Καπί είναι μια από τις περιοχές των Χανίων με την πλουσιότερη ιστορία. Είναι επίσης ένα από τα πιο γραφικά σημεία της πόλης, καθώς βρίσκεται ανάμεσα στην Παλιά Πόλη των Χανίων και τη συνοικία Χαλέπτα. Το Κουμ Καπί είναι η συνοικία που βρίσκεται ακριβώς έξω από την ανατολική πλευρά του παλαιού τείχους των Χανίων. Η συνοικία του Κουμ Καπί πήρε την ονομασία της από την τουρκική λέξη “Kum Kapisi”, που σημαίνει Πύλη της Άμμου. Η Πύλη της Άμμου ή “Sabionera”, όπως ονομάστηκε αρχικά από τους Ενετούς, ήταν όντως μια μεγάλη πύλη στα παλαιά τείχη των Χανίων που οδηγούσε στη θαυμάσια παραλία. Το δειγματοληπτικό σημείο χωροθετήθηκε στον τρίτο όροφο πολυκατοικίας. Και η περιοχή επιλέχθηκε γιατί είναι χτισμένη σε ένα παραθαλάσσιο σημείο της πόλης και παρόλο που τα τελευταία χρόνια είναι αρκετά πυκνοκατοικημένη δέχεται την επίδραση των βοριάδων ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες καθώς και της υγρασίας.

ΧΑΛΕΠΑ

Στα μέσα του 19ου αιώνα άρχισε να αναπτύσσεται το χωριό της Χαλέπας στα ανατολικά της πόλης, έξω από τα όρια των οχυρώσεων. Η οδός Χαλέπας, ο κύριος δρόμος έξω από τα τείχη, σημερινή οδός Ελ. Βενιζέλου, ξεκινούσε προς τ' ανατολικά των Χανίων κι ήταν δρόμος περιποιημένος και δενδροφυτεμένος με γαλάζιες ακακίες από τα αγροκήπια της Γεωργικής Εταιρείας Γεωργιουπόλεως. Κατέληγε στο πλούσιο αυτό αριστοκρατικό προάστιο και θέρετρο των εύπορων Χανιωτών, τη Χαλέπα, που ήταν σαν ένα μικρό παράρτημα της Ευρώπης. Το δειγματοληπτικό σημείο χωροθετήθηκε σε σημείο 3,5 μέτρα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Η συγκεκριμένη περιοχή επιλέχθηκε για τους ίδιους ακριβώς λόγους με το Κουμ-Καπί :έχει άμεση επίδραση των βοριάδων ιδιαίτερα κατά τους χειμερινούς μήνες καθώς και της υγρασίας λόγω του γεγονότος ότι είναι προσκείμενη στη θάλασσα.

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

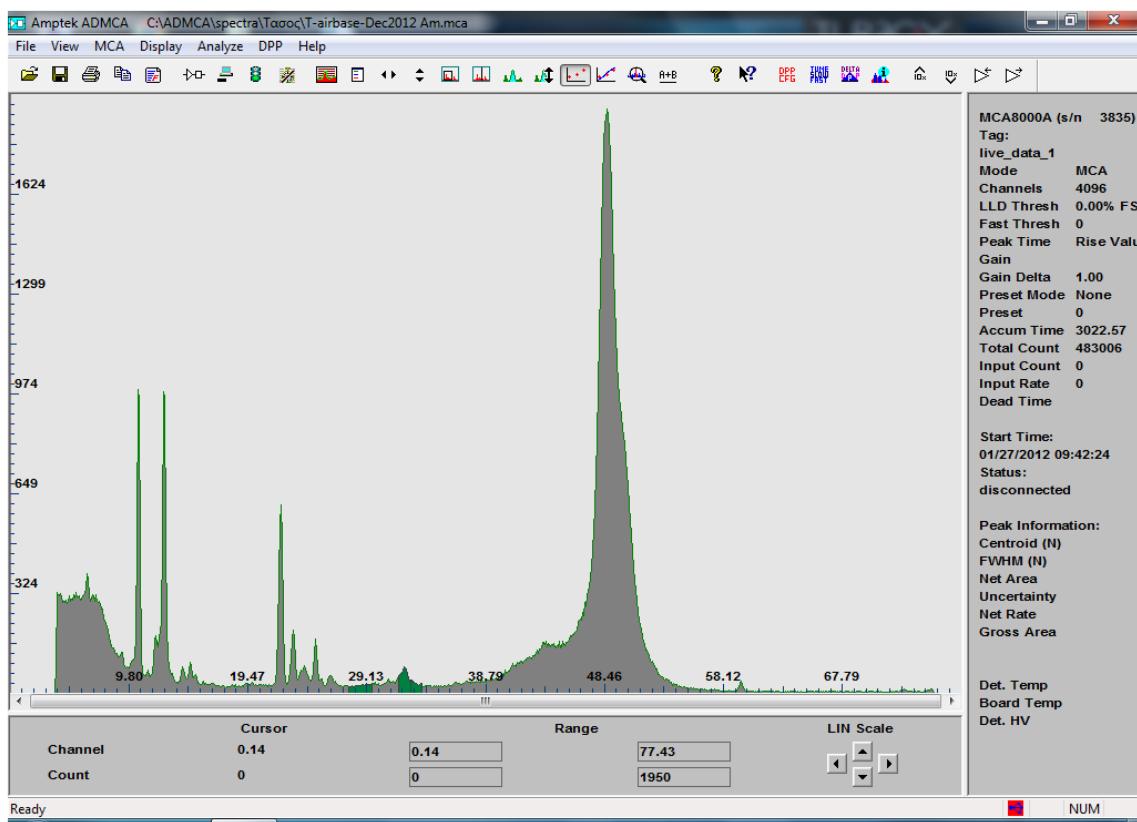
5.1 Αποτελέσματα

Μετά τη συλλογή της σκόνης από τα συλλεχθέντα δείγματα χρησιμοποιήσαμε τη διάταξη XRF. Σε όλες τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε πηγή αμερικίου 241. Τα αποτελέσματα έχουν ταξινομηθεί ανά μήνα και στους πίνακες που ακολουθούν φαίνονται τα στοιχεία που έχουν ανιχνευθεί.

Λόγω της πολύ μικρής μάζας σε κάποιες περιπτώσεις δεν μπορούσε να καλυφθεί πλήρως ο δειγματοφορέας. Ως εκ τούτου κινηθήκαμε στην κατεύθυνση της ποιοτικής ανάλυσης και της ποσοτικής σύγκρισης ανάμεσα στα δείγματα (περιοχή της Χαλέπας από τον Μάρτιο έως και τον Απρίλιο του 2012).

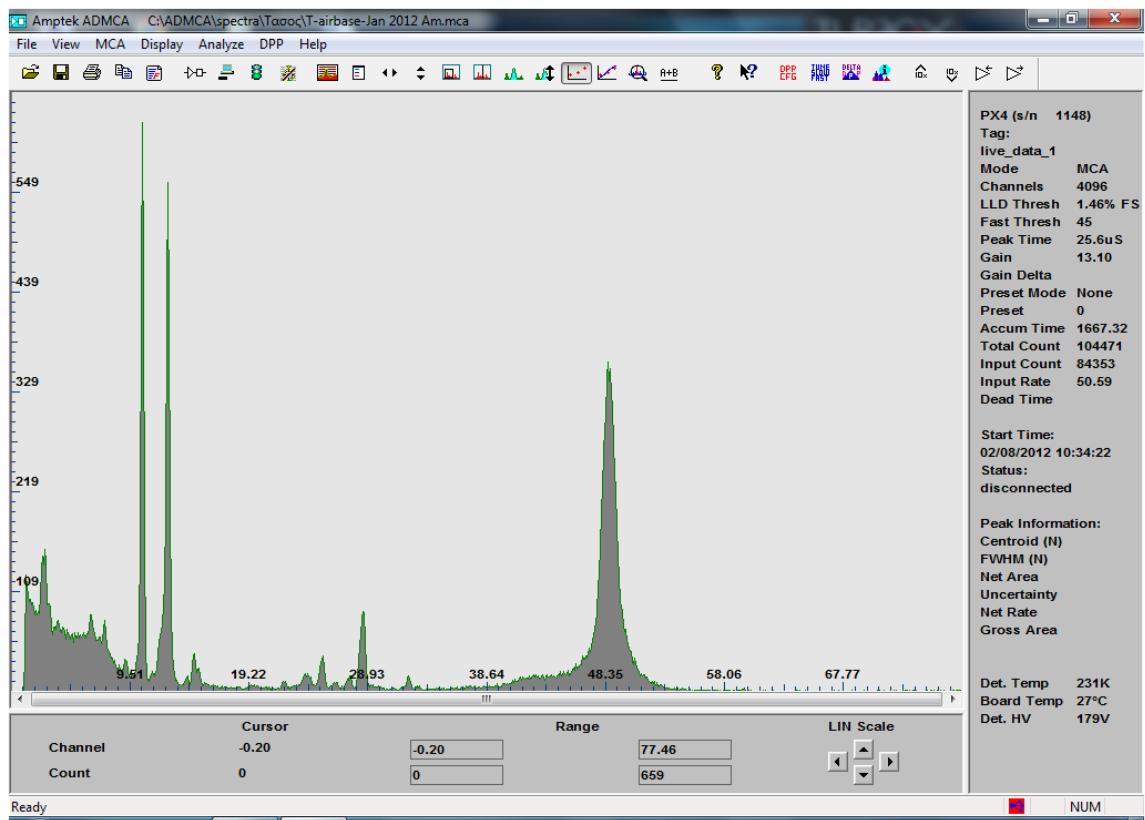
Σε κάποιες άλλες περιπτώσεις με ιδιαίτερα μικρή μάζα κατέστη εφικτή η μέτρηση όμως η ποσοτική έκφραση δίνεται σε counts/sec (απλώς ενδεικτικά, δείγμα πχ Μαρτίου κ.α.)

➤ Δεκέμβριος 2011



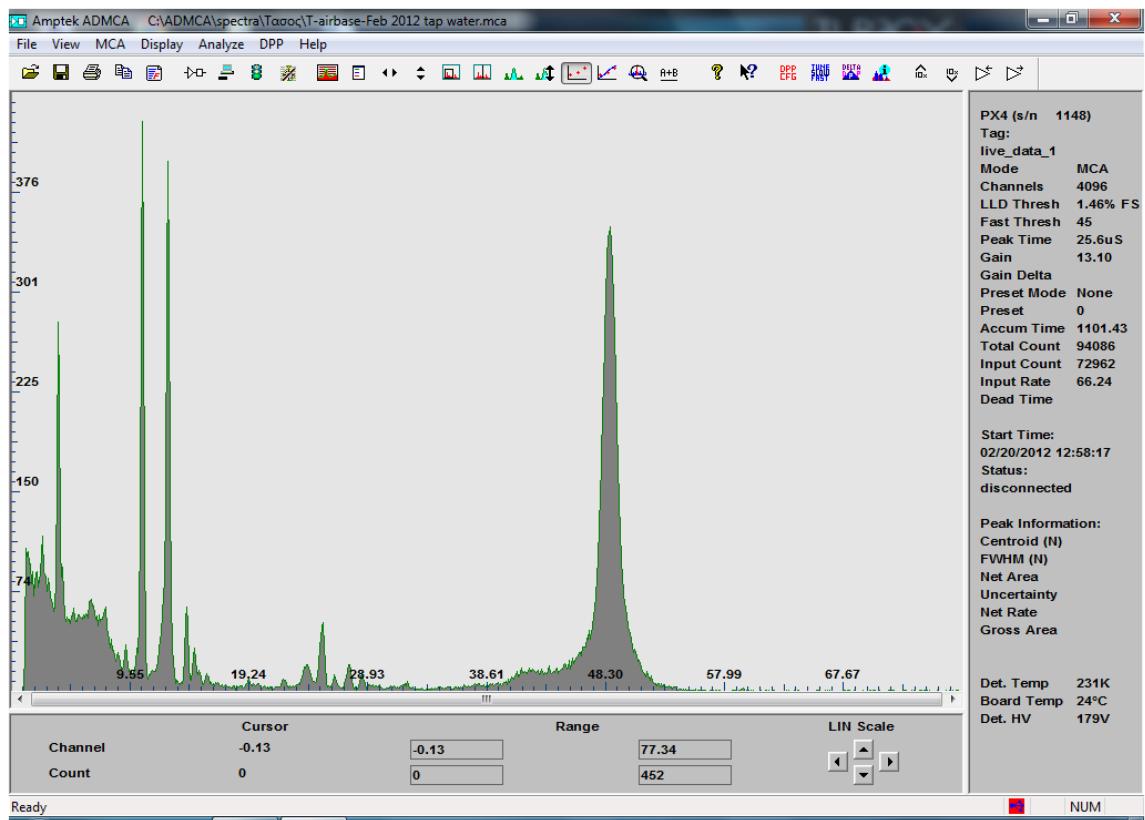
Ανιχνεύσιμα Στοιχεία	Μονάδες Μέτρησης (counts/gr *sec)
Βάριο (Ba)	34,19
Καίσιο (Caesium)	No Detected
Σίδηρος (Fe)	44,78
Στρόντιο (Sr)	15,88
Ασβέστιο (Ca)	No Detected
Μολυβδαίνιο (Mo)	No Detected
Ψευδάργυρος (Zn)	No Detected
Ζιρκόνιο (Zr)	No Detected
Τιτάνιο (Ti)	No Detected

➤ Ιανουάριος 2012



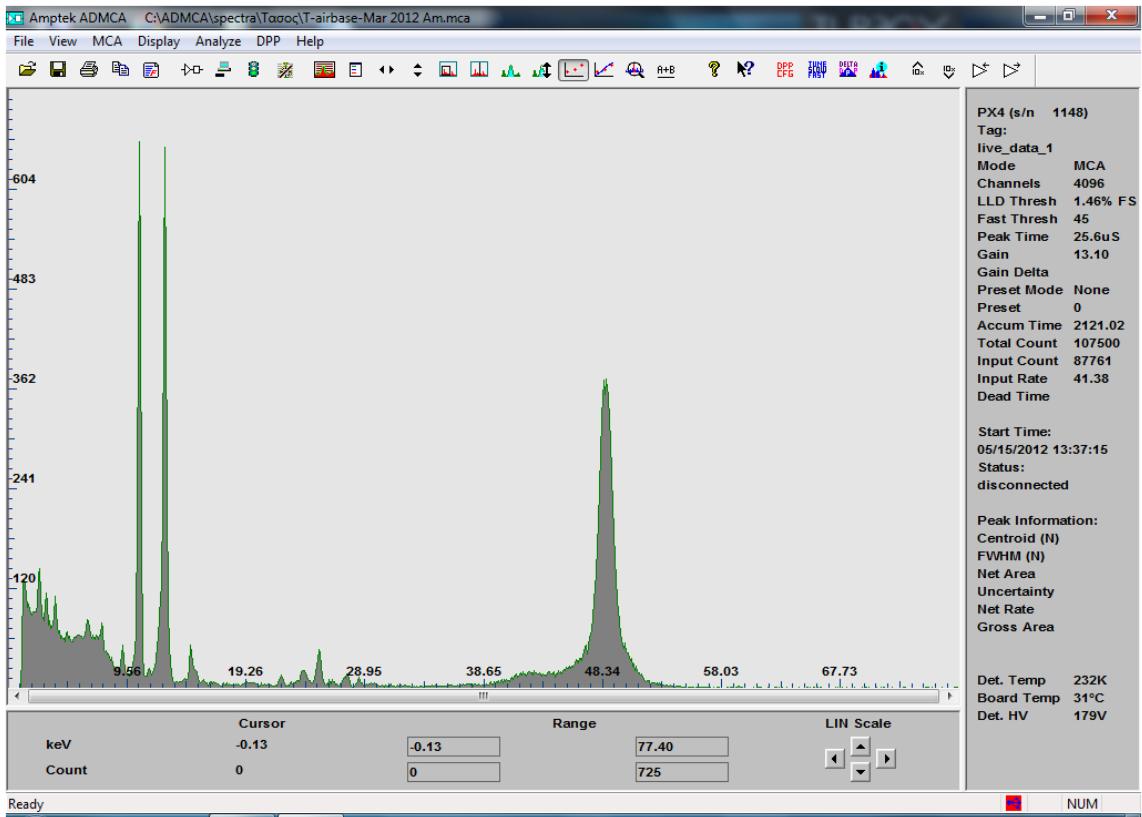
Ανιχνεύσιμα Στοιχεία	Μονάδες Μέτρησης (counts/gr *sec)
Βάριο (Ba)	2,80
Καίσιο (Caesium)	0,51
Σίδηρος (Fe)	4,41
Στρόντιο (Sr)	No Detected
Ασβέστιο (Ca)	No Detected
Μολυβδαίνιο (Mo)	No Detected
Ψευδάργυρος (Zn)	No Detected
Ζιρκόνιο (Zr)	No Detected
Τιτάνιο (Ti)	No Detected

➤ Φεβρουάριος 2012



Ανιχνεύσιμα Στοιχεία	Μονάδες Μέτρησης (counts/gr *sec)
Βάριο (Ba)	0,8082
Καίσιο (Caesium)	0,4378
Σίδηρος (Fe)	1,9616
Στρόντιο (Sr)	No Detected
Ασβέστιο (Ca)	4,5884
Μολυβδαίνιο (Mo)	1,8690
Ψευδάργυρος (Zn)	No Detected
Ζιρκόνιο (Zr)	1,0692
Τιτάνιο (Ti)	No Detected

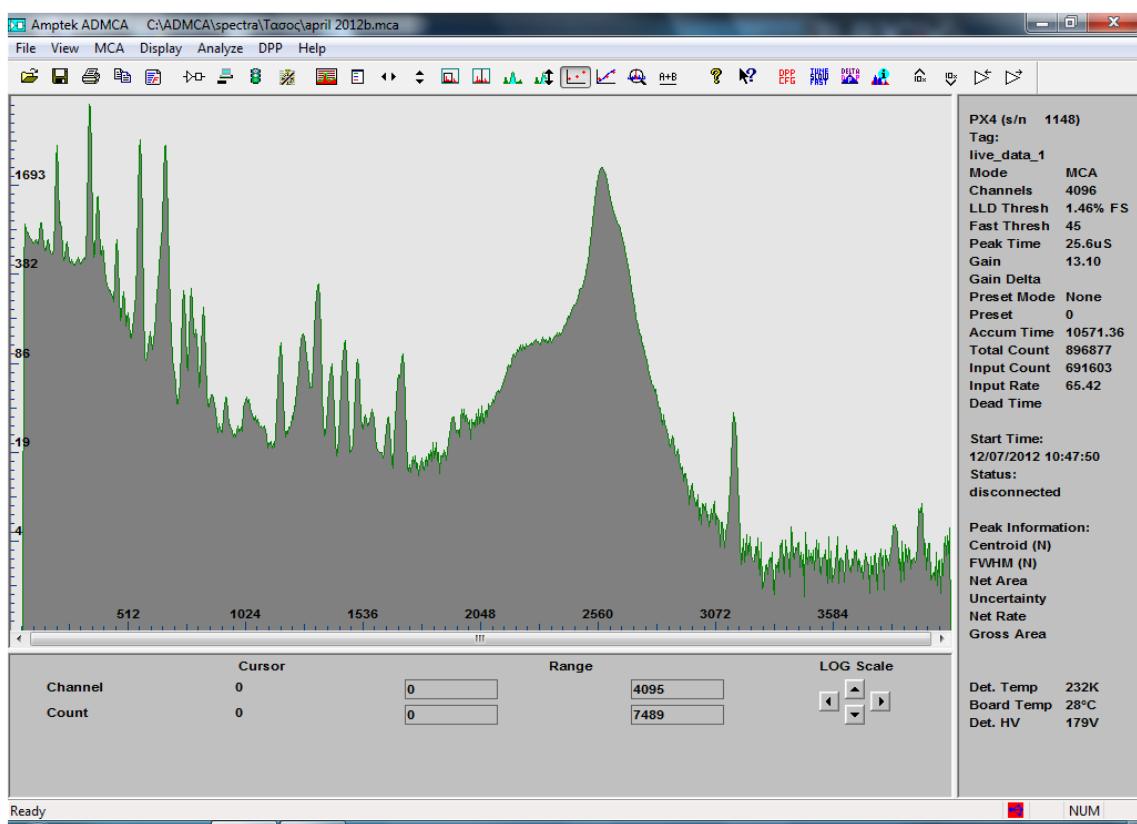
➤ Μάρτιος 2012



Ανιχνεύσιμα Στοιχεία	Μονάδες Μέτρησης (counts/sec) *
Βάριο (Ba)	0,094
Καίσιο (Caesium)	0,048
Σίδηρος (Fe)	No Detected
Στρόντιο (Sr)	No Detected
Ασβέστιο (Ca)	0,13
Μολυβδαίνιο (Mo)	No Detected
Ψευδάργυρος (Zn)	No Detected
Ζιρκόνιο (Zr)	No Detected
Τιτάνιο (Ti)	No Detected

* Ενδεικτική μέτρηση

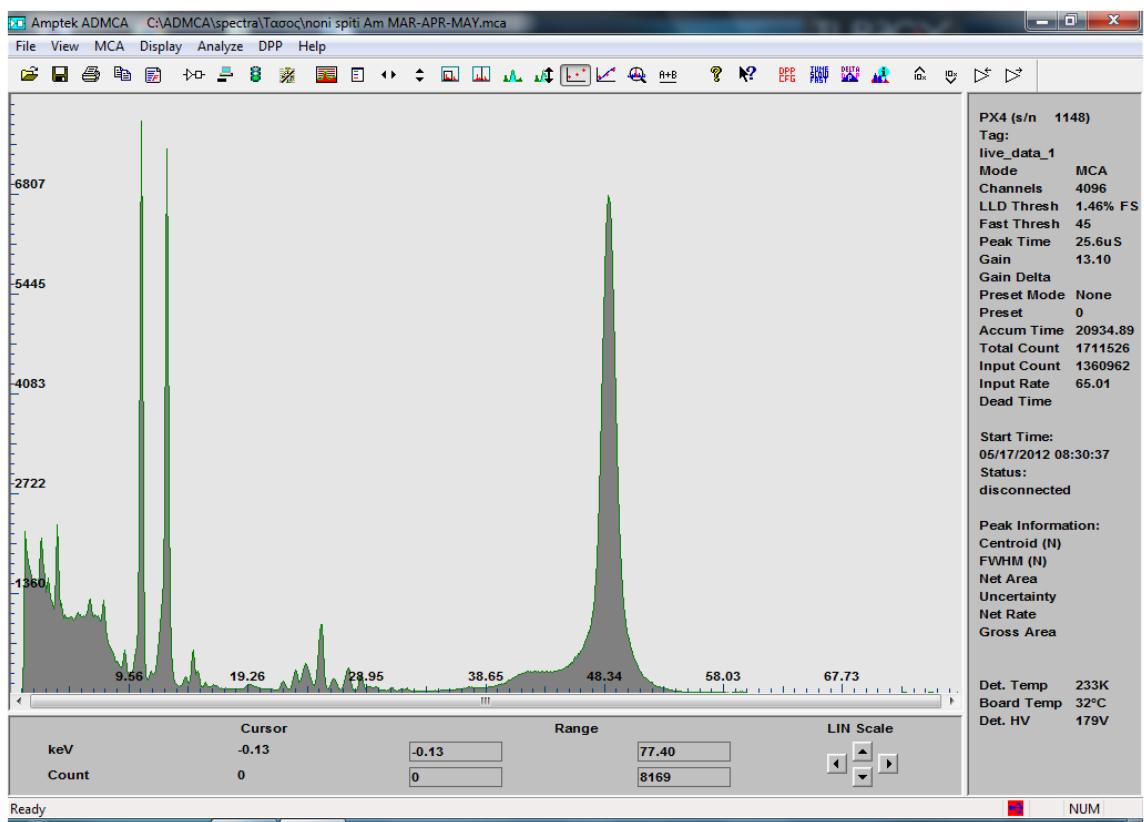
➤ Απρίλιος 2012



Ανιχνεύσιμα Στοιχεία	Μονάδες Μέτρησης (counts/sec)*
Βάριο (Ba)	3,1907
Καίσιο (Caesium)	0,5023
Σίδηρος (Fe)	95,663
Στρόντιο (Sr)	4,4793
Ασβέστιο (Ca)	45,4251
Μολυβδαίνιο (Mo)	0,5381
Ψευδάργυρος (Zn)	No Detected
Ζιρκόνιο (Zr)	3,0271
Τιτάνιο (Ti)	3,0105

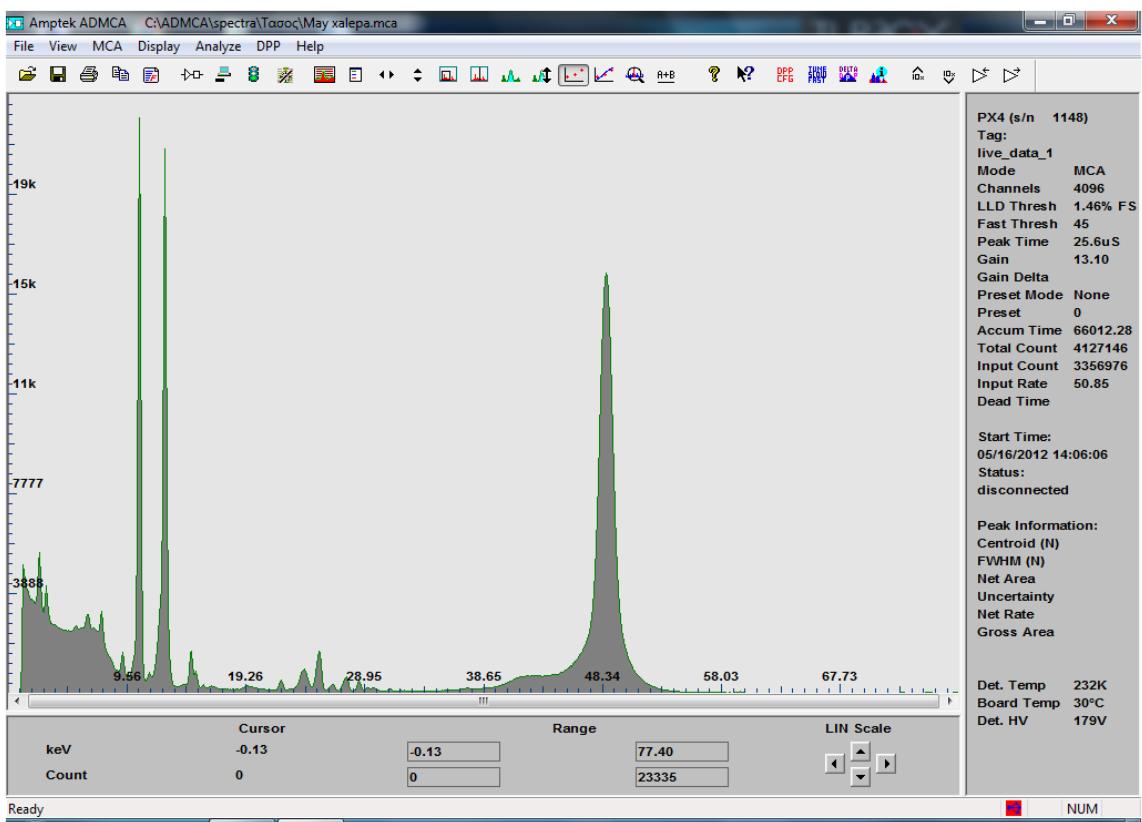
* Ενδεικτική μέτρηση

➤ Μάρτιος-Μάιος 2012
Το δείγμα συλλέχθηκε στην περιοχή Κουμ-Καπί



Ανιχνεύσιμα Στοιχεία	Μονάδες Μέτρησης (counts/gr *sec)
Βάριο (Ba)	0,0036
Καίσιο (Caesium)	0,0038
Σίδηρος (Fe)	No Detected
Στρόντιο (Sr)	0,0061
Ασβέστιο (Ca)	0,0468
Μολυβδαίνιο (Mo)	0,0013
Ψευδάργυρος (Zn)	0,0172
Ζιρκόνιο (Zr)	0,0022
Τιτάνιο (Ti)	No Detected

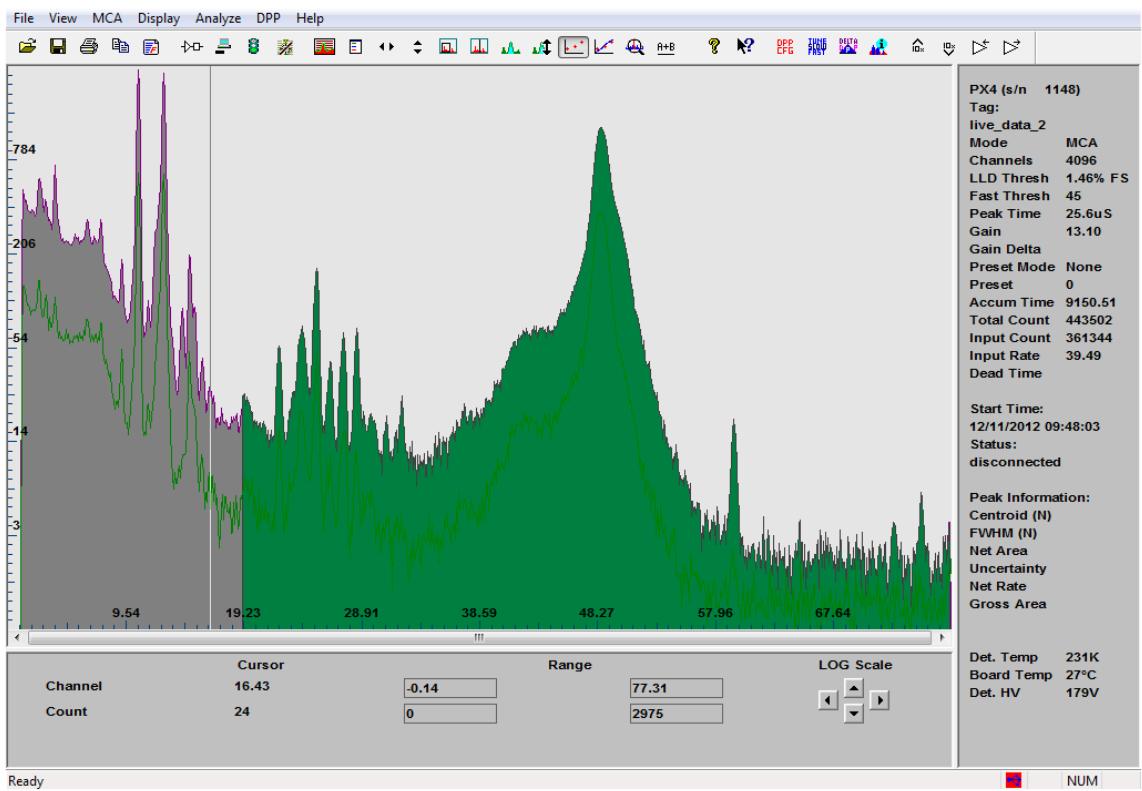
➤ Μάιος 2012



Ανιχνεύσιμα Στοιχεία	Μονάδες Μέτρησης (counts/sec)*
Βάριο (Ba)	0,0113
Καίσιο (Caesium)	0,0022
Σίδηρος (Fe)	1,1986
Στρόντιο (Sr)	1,3363
Ασβέστιο (Ca)	No Detected
Μολυβδαίνιο (Mo)	No Detected
Ψευδάργυρος (Zn)	0,1091
Ζιρκόνιο (Zr)	No Detected
Τιτάνιο (Ti)	No Detected

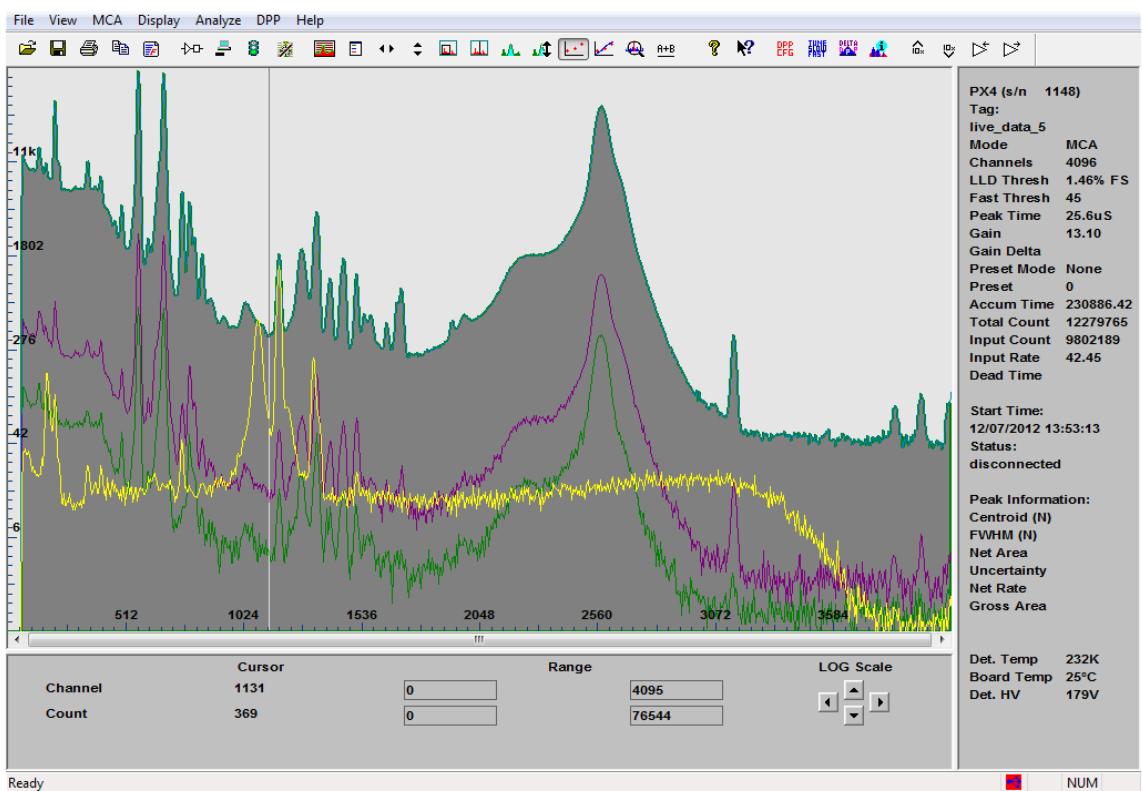
* Ενδεικτική μέτρηση

➤ Ιούνιος 2012



Ανιχνεύσιμα Στοιχεία	Μονάδες Μέτρησης (counts/gr *sec)
Βάριο (Ba)	3,2236
Καίσιο (Caesium)	2,3822
Σίδηρος (Fe)	0,1481
Στρόντιο (Sr)	12,0424
Ασβέστιο (Ca)	0,6747
Μολυβδαίνιο (Mo)	No Detected
Ψευδάργυρος (Zn)	No Detected
Ζιρκόνιο (Zr)	5,0486
Τιτάνιο (Ti)	No Detected

➤ Ιούλιος-Άυγουστος 2012



Ανιχνεύσιμα Στοιχεία	Μονάδες Μέτρησης (counts/gr [*] sec)
Βάριο (Ba)	9211,4723
Καίσιο (Caesium)	1697,3744
Σίδηρος (Fe)	30353,0746
Στρόντιο (Sr)	37411,9695
Ασβέστιο (Ca)	188655,8734
Μολυβδαίνιο (Mo)	1188,0232
Ψευδάργυρος (Zn)	3855,5824
Ζιρκόνιο (Zr)	7660,9235
Τιτάνιο (Ti)	No Detected

5.2 Συμπεράσματα

Ο πίνακας που ακολουθεί περιέχει συγκεντρωτικά τα στοιχεία που ανιχνεύτηκαν στην περιοχή της Σούδας από τον Δεκέμβριο 2011 έως και τον Αύγουστο 2012.

Ανιχνεύσιμα Στοιχεία	Δεκέμβριος 2011	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος
Βάριο (Ba)	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Καίσιο (Cs)		*	*	*	*	*	*	*	*
Σίδηρος (Fe)	*	*	*		*	*	*	*	*
Στρόντιο (Sr)	*				*	*	*	*	*
Ασβέστιο (Ca)			*	*	*		*	*	*
Μολυβδαίνιο (Mo)			*		*			*	*
Ψευδάργυρος (Zn)						*		*	*
Ζιρκόνιο (Zr)			*		*	*	*	*	*
Τιτάνιο (Ti)						*			

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτουν αρκετά χρήσιμα συμπεράσματα.

Το βάριο ανιχνεύθηκε σε όλο το χρονικό διάστημα διεξαγωγής του πειράματος δηλαδή και στους εννέα μήνες. Το καίσιο δεν ανιχνεύτηκε μόνο το μήνα Δεκέμβριο ενώ ο σίδηρος μόνο το Μάρτιο. Όσον αφορά τα υπόλοιπα στοιχεία το στρόντιο, το ασβέστιο και το ζιρκόνιο έδωσαν αποτελέσματα για έξι μήνες ενώ το μολυβδαίνιο και ο ψευδάργυρος ανιχνεύτηκαν σε πολύ λιγότερο χρονικό διάστημα.

Σύμφωνα με την ανάλυση των αποτελεσμάτων φαίνεται ότι υπάρχει σημαντική διακύμανση από μήνα σε μήνα και από περιοχή σε περιοχή. Παρατηρούμε ότι την άνοιξη και το καλοκαίρι ανιχνεύονται σχεδόν όλα τα στοιχεία με ελάχιστες εξαιρέσεις. Αυτό οφείλεται κυρίως στην επίδραση των νοτιάδων καθώς και στις πολύ θερμές μάζες αέρα από την περιοχή της Λιβύης. Τους χειμερινούς μήνες η ατμόσφαιρα είναι πιο καθαρή και η μεταφορά των σωματιδίων στην ευρύτερη περιοχή των Χανιών γίνεται κυρίως από την υγρασία της θάλασσας (sea spray).

Το ασβέστιο δεν ήταν εύκολο να ανιχνευτεί γιατί η ενέργεια της πηγής ήταν μακριά από την ενέργεια ιονισμού του στοιχείου. Για το στρόντιο και το βάριο συμπληρώνει τη σχετική πληροφόρηση δεδομένου ότι ανήκουν στην ίδια ομάδα (αλκαλικές γαίες). Επίσης, αποδεικνύεται ότι το νερό της βροχής διαλύει στοιχεία που μπορούν να ανιχνευτούν γιατί ανιχνεύθηκαν σωματίδια από σίδηρο και από ψευδάργυρο.

Τα αποτελέσματα από τα συλλεχθείσα δείγματα αφορούν ουσιαστικά το μέσο όρο του εκάστοτε μήνα. Θα πρέπει δε να γίνει κατανοητό ότι με τυχαίους παράγοντες πχ επίδραση ισχυρών νοτιάδων και μεταφορά σκόνης από την περιοχή της Αφρικής (ακόμα και για μια μέρα εντός του υπό εξέταση μήνα) μπορεί να αλλάξει το δείγμα εξολοκλήρου και να προκύψουν διαφορετικά αποτελέσματα. Το φαινόμενο που αναφέρθηκε οφείλεται στην εμφάνιση του Σιρόκου (κεφάλαιο 3) που είναι ένας

νοτιοανατολικός έως νοτιοδυτικός άνεμος που πνέει στη Μεσόγειο και προέρχεται από την Βόρεια Αφρική.

Οι υπό εξέταση περιοχές της Σούδας, της Χαλέπας και του Κουμ Καπί παρουσιάζουν κι αυτές σημαντικές διαφοροποιήσεις. Αυτές εντοπίζονται συνοπτικά στο γεγονός ότι τόσο η περιοχή της Χαλέπας όσο και η περιοχή του Κουμ-Καπί είναι εντός της πόλης των Χανίων δηλαδή έχουν πολλά κτίσματα ενώ αντίστοιχα η περιοχή της Σούδας (περιοχή του δείγματος κοντά στο αεροδρόμιο) είναι αρκετά πιο αραιοκατοικημένη και επηρεάζεται πιο άμεσα από την επίδραση της θάλασσας.

Από τον πίνακα στη σελίδα 23 και σε συνδυασμό με τις αναλύσεις που προέκυψαν από τη διεξαγωγή του πειράματος προκύπτουν επιπλέον τα εξής: όλα τα στοιχεία μεταφέρονται σε πολύ μεγαλύτερες ποσότητες στο έδαφος απ' ότι στη θάλασσα. Το βάριο, το καίσιο και ο σίδηρος που ανιχνεύτηκαν σχεδόν καθόλη τη διάρκεια διεξαγωγής του πειράματος δικαιολογούνται από τη μεγάλη συγκέντρωση τους στο έδαφος. Μέσω του κύκλου του νερού γίνεται συνεχής ανακύκλωση του νερού της Γης στην ατμόσφαιρα. Πιο συγκεκριμένα, λόγω της θέρμανσης και των ανέμων στην επιφάνεια της γης τα νερά της εξατμίζονται και μαζεύονται ως υδρατμοί δημιουργώντας τα σύννεφα. Οι υδρατμοί συμπυκνώνονται, υγροποιούνται και στη συνέχεια πέφτουν ως βροχή ή άλλες μορφές υετού, εμπλουτίζοντας έτσι τις αποθήκες νερού της γης, είτε είναι αυτές επιφανειακές, όπως οι θάλασσες και οι λίμνες, είτε είναι υπόγειες.

Βιβλιογραφία

THE WEATHER BOOK, USA TODAY

<http://www.aviamet.gr/cms.jsp?moduleId=002&extLang=>

Ruzer L. S., Harley N. H., Aerosols Handbook, Measurements, Dosimetry and Health Effects, CRC Press, 2005.

Hinds W. C., Aerol Technology, Properties, Behavior and Measurements of Airborn

Ruzer L. S., Harley N. H., Aerosols Handbook, Measurements, Dosimetry and Health Effects, CRC Press, 2005

Hinds W. C., Aerol Technology, Properties, Behavior and Measurements of Airborn Particles, Second Edition, John Wiley & Sons, 1999

Seinfeld J. H., Pandis S. N. (2006), Atmospheric Chemistry and Physics: *From Air Pollution to Climate Change*, 2nd Edition, J. Wiley, New York

Fitzgerald, 1991

Blanchard and Cipriano, 1987; O'Dowd and Smith 1993)

Seinfeld J. H. and Pandis S. N. (1998) *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*, 1st edition, J. Wiley, New York.

Environmental Chemistry, Gary W. vanLoon- Stephen j. Duffy, Oxford University Press 2001

Duce 1995

The role of fluctuations of vertical and horizontal wind and particle concentration in the deposition of dust suspended by wind , Dale A. Gillette,William M. Porch,1978

TEGEN kai Fung, 1995: Contribution to the atmospheric mineral aerosol load from land surface modification. *J. Geophys. Res.*

Prospero and Nees, 1986

Moulin et al., 1997

Goudie and Middleton, 1992

Petroff, A. et al., 2008. Aerosol dry deposition on vegetative canopies. Part I: Review of present knowledge. *Atmospheric Environment*

Jonsson et al., 2007

Chate D. M. and T. S. Pranesha, Field studies of scavenging of aerosols by rain events, *Journal of Aerosol Science*, 2004

Zhao, H., Zheng, C., 2006. Monte Carlo solution of wet removal of aerosols by precipitation. *Atmospheric Environment* 40, 1510–1525

Krupa S. V., Air Pollution Science for the 21st Century, Elsevier Science Ltd, 2002

Lohmann U., Feichter J.: Global indirect aerosol effects: a review, *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 715-737, 2005

Hinds W. C., *Aerosol Technology, Properties, Behavior and Measurements of Airborn Particles*, Second Edition, John Wiley & Sons, 1999.

Ron Jenkins, R.W.Gould, Dale Gedcke, Quantitative X-ray Spectrometry, Marcel Dekker, Inc 1981

Aerosol Sampling, Science and Practice, James H.Vincent,1989

Aerosol Technology, PROPERTIES,BEHAVIOR,AND MEASUREMENT OF AIRBORNE PARTICLES, William C.Hinds ,Second Edition 1999

Aerosol Microphysics 2, Chemical Physics of Microparticles, W.H Marlow 1982

Quantitative X-Ray Spectrometry ,Ron Jenkins, R.W.Gould, Dale Gedcke,1981

The Chemistry of the Atmosphere, its impact on Global Change, John W.Birks, Jack G.Calvert, and Robert E.Sievers ,1993

Composition, Chemistry, and Climate of the Atmosphere, Hanwant B.Singh, 1995

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Λαζαρίδης Μιχάλης, Ατμοσφαιρική Ρύπανση με στοιχεία Μετεωρολογίας, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2005

Κουϊμτζής, 1998

Οικονομόπουλος, Α, “Χημεία Και Έλεγχος Ρύπανσης Ατμόσφαιρας (Πανεπιστημιακές Σημειώσεις),” Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης Χανιά

Μαχαιράς Π.-Μπαλαφούτης Χρ., Γενική κλιματολογία με στοιχεία μετεωρολογίας, Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη 1997

Ελληνική Στατιστική Αρχή, 22 Ιουλίου 2011

ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

http://www.vrecossis.gr/datafiles/files/COMPANIES/OXFORD/VR_XRF_NEW_2.pdf

http://www.uoi.gr/services/lab-net/net-web/XRF_gr.pdf

<http://www.physics4u.gr/faq/greenhouse.html>