

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

• Περιεχόμενα.....	Σελ.1
• Προλογικό Σημείωμα.....	Σελ.4
• Abstract.....	Σελ. 5
• Κεφάλαιο 1^ο	
1.1 Εισαγωγή.....	Σελ. 6
1.2 Ο κύκλος του νερού.....	Σελ. 7
1.2.1 Μέρη του υδρολογικού κύκλου.....	Σελ. 8
α) Αποθήκευση νερού στη θάλασσα.....	Σελ. 8
β) Εξάτμιση.....	Σελ. 9
β.1) Παράγοντες που επηρεάζουν το ποσοστό της εξάτμισης...Σελ. 9	
γ) Εξατμοδιαπνοή.....	Σελ. 10
γ.1) Ατμοσφαιρικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διαπνοή. Σελ. 10	
δ) Εξάχνωση.....	Σελ. 11
ε) Αποθήκευση νερού στην ατμόσφαιρα.....	Σελ. 11
στ) Συμπύκνωση.....	Σελ. 11
ζ) Κατακρημνίσματα.....	Σελ. 12
η) Αποθήκευση νερού σε πάγους και χιόνι.....	Σελ. 13
η.1) Μερικά στοιχεία για τους παγετώνες και τα παγόβουνα. Σελ. 13	
θ) Απορροή από λιώσιμο χιονιού.....	Σελ. 13
ι) Επιφανειακή απορροή.....	Σελ. 13
κ) Ροή σε υδατορεύματα.....	Σελ. 14
κ.1) Λεκάνες απορροής και ποτάμια.....	Σελ. 14
κ.2) Η ροή των υδατορευμάτων αλλάζει συνεχώς.....	Σελ. 15
λ) Αποθήκευση γλυκού νερού.....	Σελ. 15
μ) Διήθηση.....	Σελ. 15
μ.1) Υπόγειο νερό.....	Σελ. 16
μ.2) Αποθήκευση υπόγειου νερού.....	Σελ. 16
μ.3) Εκφόρτιση υπόγειου νερού.....	Σελ. 17
ν) Πηγές.....	Σελ. 18
1.3 Υετός.....	Σελ. 18
1.4 Βροχή.....	Σελ. 19
• Κεφάλαιο 2^ο	
2.1 Εισαγωγή.....	Σελ. 20
2.1.1 Ορισμός όξινης βροχής.....	Σελ. 20
2.2 Παράγοντες ρύπανσης.....	Σελ. 21
2.2.1 Σχηματισμός-Εμφάνιση.....	Σελ. 21
2.3 Επιπτώσεις όξινης βροχής.....	Σελ. 22
2.3.1 Επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό.....	Σελ. 23
2.3.2 Επιπτώσεις στο περιβάλλον.....	Σελ. 26

α) Στα υδρόβια οικοσυστήματα.....	Σελ. 26
β) Στα δάση και στις καλλιέργειες.....	Σελ. 27
γ) Στα υλικά.....	Σελ. 28
2.4 Προτεινόμενη αντιμετώπιση.....	Σελ. 30

• Κεφάλαιο 3°

3.1 Γενικά.....	Σελ. 34
3.1.1 pH.....	Σελ. 34
3.1.2 Φυσική κατάσταση.....	Σελ. 35
1) Υγρή φάση: α) Βροχή.....	Σελ. 35
β) Δρόσος.....	Σελ. 35
γ) Ομίχλη.....	Σελ. 36
2) Στερεή φάση: α) Χιόνι.....	Σελ. 37
α.1) Θετικά και αρνητικά της δημιουργίας του χιονιού.....	Σελ. 38
β) Χαλάζι.....	Σελ. 39
γ) Πάχνη.....	Σελ. 42
δ) Παγετός.....	Σελ. 42
3.1.3 Ύψος αφετηρίας.....	Σελ. 44
3.1.4 Τρόπος σχηματισμού.....	Σελ. 44

• Κεφάλαιο 4°

4.1 Ο άνθρακας.....	Σελ. 45
4.1.1 Αέριοι ρύποι.....	Σελ. 46
α) Μονοξείδιο του άνθρακα.....	Σελ. 46
α1) Επιδράσεις του μονοξειδίου του άνθρακα.....	Σελ. 47
β) Διοξείδιο του άνθρακα.....	Σελ. 48
β1) Επιδράσεις του διοξειδίου του άνθρακα.....	Σελ. 49
γ) Διοξείδιο του θείου.....	Σελ. 50
γ1) Επιδράσεις των οξειδίων του θείου.....	Σελ. 52
δ) Οξείδια του αζώτου.....	Σελ. 52
δ1) Επίδραση των οξειδίων του αζώτου.....	Σελ. 55
ε) Όζον.....	Σελ. 56
ε1) Επίδραση του όζοντος.....	Σελ. 57
στ) Μόλυβδος.....	Σελ. 57
στ1) Επιδράσεις του μόλυβδου.....	Σελ. 57
ζ) Άλλοι ρυπαντές.....	
ζ1) Φθοριούχα.....	Σελ. 58
ζ2) Αμίαντος.....	Σελ. 58
ζ3) Κάδμιο.....	Σελ. 59
ζ4) Υδράργυρος.....	Σελ. 59
4.1.2 Τέφρα.....	Σελ. 60
α) Βαρέα μέταλλα.....	Σελ. 61
β) Αιωρούμενα σωματίδια(Particulate mater).....	Σελ. 61

4.1.3 Υδρογονάνθρακες.....	Σελ. 62
α) Επίδραση υδρογονανθράκων.....	Σελ. 62
4.1.4 Οργανικές ενώσεις.....	Σελ. 63
• Κεφάλαιο 5^ο	
5.1 Πειραματικό Μέρος.....	Σελ. 64
5.1.1 Εισαγωγή.....	Σελ. 64
5.1.2 Υλικά και μέθοδοι ανάλυσης.....	Σελ. 64
5.1.3 Αποτελέσματα-Συζήτηση.....	Σελ. 69
Βιβλιογραφία.....	Σελ. 82

ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Ποιος από εμάς δεν είχε αναρωτηθεί ως παιδί ή ακόμη και ως έφηβος, τι είναι η βροχή, τι το χαλάζι, τι το χιόνι, τι η ομίχλη ή κάποια άλλη μορφή του νερού; Ακόμη και το ίδιο το νερό, από ποια στάδια περνά ώστε να δημιουργήσει το πασίγνωστο σε όλους πια κύκλο του νερού; Αφού ενηλικιωθήκαμε και μετά, τα παραπάνω ερωτήματα δεν είχαν τόσο ενδιαφέρον, όσο αυτά τα οποία αφορούσαν τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Ποιοι είναι οι λεγόμενοι αέριοι ρύποι, οι οποίοι μολύνουν μανιωδώς το περιβάλλον; Τι του προκαλούν ώστε να καταστρέφεται αλλά και φυσικά τι μπορούν να προκαλέσουν στον καθένα από εμάς, που ζούμε μέσα σε αυτό;

Ερωτήματα, τα οποία έχουν απασχολήσει πολύ και πολλούς κατά καιρούς αλλά και θα συνεχίζουν να ζητούν απαντήσεις με το πέρασμα των χρόνων, όταν η κατάσταση θα χειροτερεύει.

Η ακόλουθη εργασία, αποτελεί μια μικρή προσπάθεια απάντησης των παραπάνω ερωτημάτων. Συνολικά, την απαρτίζουν τέσσερα κεφάλαια, όπου το καθένα ξεχωριστά χωρίζεται σε μικρότερες ενότητες και υποενότητες

Το πρώτο κεφάλαιο, λοιπόν, έχει να κάνει με τον **υδρολογικό κύκλο**. Αφού πρώτα δούμε στην εισαγωγή του την έννοια του κύκλου, τη λειτουργία του και τη περιγραφή του, περνάμε στα μέρη που τον απαρτίζουν, τις διάφορες φάσεις δηλαδή που περνά από την αρχή έως και την ολοκλήρωσή του.

Το δεύτερο κεφάλαιο, εν συνεχεία, σχετίζεται με το γνωστό φαινόμενο της **όξινης βροχής**. Και αυτό έχει μια μικρή εισαγωγή για να μας κατατοπίσει πάνω στο θέμα και να μας δώσει τον ορισμό της. Έπειτα, αφού ενημερωθούμε πάνω στο σχηματισμό και την εμφάνιση της, αναλύονται διεξοδικά οι επιπτώσεις της στον άνθρωπο, στο περιβάλλον αλλά και στα υλικά. Δε θα μπορούσε, όμως, να ολοκληρωθεί το κεφάλαιο χωρίς να δίνονται ορισμένοι τρόποι αντιμετώπισης.

Προχωρώντας στο τρίτο κεφάλαιο συναντούμε τα **ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα**. Αρχικά, ενημερωνόμαστε ποια φαινόμενα περικλείονται στην έννοια αυτή καθώς και το pH και το ρόλο που παίζει αυτό. Σχολιάζονται, λοιπόν, έπειτα, το καθένα ξεχωριστά αφού έχουν χωριστεί πρώτα σε δυο κατηγορίες, στην υγρή και στερεή τους φάση.

Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται και περιγράφονται διεξοδικά οι **αέριοι ρύποι**. Ξεκινά με τη περιγραφή του άνθρακα, τη σημασία και το ρόλο του για να φτάσει να σχολιάζει τους καθαυτό αέριους ρύπους. Για το κάθε ρύπο, φυσικά, δίνεται και η επίδραση που έχει αυτός στο περιβάλλον και στον άνθρωπο. Όπως είναι φυσικό, είναι χωρισμένοι σε κατηγορίες για τη καλύτερη κατανόησή τους.

Αδιαμφισβήτητα, το θέμα της παρούσας μελέτης είναι ανεξάντλητο και επιδέχεται πολλές απόψεις και κρίσεις. Με αυτή, δίνεται ένα δείγμα των απόψεων αυτών και μια αφορμή για περαιτέρω έρευνα.

Όσον αφορά στο πειραματικό μέρος όπου αποτελεί το πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο, γίνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού βροχής που συλλέχθηκε από τρεις περιοχές της πόλης των Χανίων τη περίοδο από Οκτώβριο έως και Δεκέμβριο του 2007. Πιο συγκεκριμένα αναφέρονται τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, οι μέθοδοι ανάλυσης για κάθε παράμετρο ξεχωριστά καθώς επίσης και τα αποτελέσματα των μετρούμενων παραμέτρων που είναι το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC),

η σκληρότητα, τα χλωριόντα (Cl^-), οι συγκεντρώσεις των ιόντων Na^+ , Ca^{2+} , K^+ και οι συγκεντρώσεις του νιτρικού αζώτου ($\text{NO}_3^- - \text{N}$), οι συγκεντρώσεις του αμμωνιακού αζώτου ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) και οι συγκεντρώσεις των θειικών ιόντων (SO_4^{2-}). Επίσης, παρουσιάζονται οι λόγοι των ιόντων ($[\text{Na}^+]/[\text{Cl}^-]$, $[\text{K}^+]/[\text{Na}^+]$, $[\text{Ca}^{2+}]/[\text{Na}^+]$, $[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{Na}^+]$) βρόχινου νερού και θαλασσινού νερού και γίνεται εξέταση ώστε να δούμε αν η χημική σύσταση της βροχής επηρεάζεται από την θάλασσα. Τέλος, στην σύνοψη αναφέρονται τα συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις που έχουν να κάνουν με τα αποτελέσματα του πειραματικού μέρους.

Abstract

The present study refers specifically to rainwater pollution while linking the various pollutant factors that aggravate it. The study consists of two basic axis, both theoretical and experimental.

The experimental part provides the results of a ranged analysis conducted on precipitation samples that have been collected from three different locations within the city of Chania, Greece.

During the analysis a variety of factors were measured such as pH values, electric conductivity, water hardness, Chlorides Cl^- , ionic concentration (Na^+ , Ca^{2+} , K^+), as well as S concentrations ($\text{NO}_3^- - \text{N}$), ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) and (SO_4^{2-}). Finally, it has to be referred that during the experiment the interaction and affection between seawater spray and precipitation was also studied.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ο Κύκλος του Νερού

1.1 Εισαγωγή

Η ζωή στη Γη εξαρτάται από τον κύκλο του νερού. Η Γη θα ήταν πολύ αφιλόξενο μέρος για τη ζωή χωρίς τον υδρολογικό κύκλο. Ο **κύκλος του νερού** – γνωστός και ως **υδρολογικός κύκλος** (εικ.1) – είναι η συνεχής ανακύκλωση του νερού της Γης μέσα στην υδρόσφαιρα και στην ατμόσφαιρα. Περιγράφει την παρουσία και την κυκλοφορία του νερού στην επιφάνεια της Γης, καθώς κάτω και πάνω από αυτή.

Ο κύκλος του νερού λειτουργεί εδώ και δισεκατομμύρια χρόνια. Δεν έχει αρχή αλλά είναι βολικό να ξεκινήσει κανείς από τη θάλασσα. Το συνεχές της κυκλικής διαδικασίας του επιτυγχάνεται εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας.¹

Ο ήλιος, ο οποίος κινεί τον κύκλο του νερού, θερμαίνει το νερό στη θάλασσα (στους ωκεανούς) το οποίο εν μέρει εξατμίζεται και ανυψώνεται με τη μορφή ατμού στον αέρα. Νερό εξατμίζεται ακόμα και από τις λίμνες, τα ποτάμια και το έδαφος.²

Η διαπνοή των φυτών είναι μια ακόμη λειτουργία που αποδίδει υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση και διαπνοή από την ξηρά συχνά δεν διακρίνονται και έτσι μιλούμε για εξατμοδιαπνοή. Μια μικρή ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα προέρχεται από την εξάχνωση, μέσω της οποίας μόρια από πάγους και χιόνια μετατρέπονται απευθείας σε υδρατμούς χωρίς να περάσουν από την υγρή μορφή.²



Εικόνα 1. Υδρολογικός κύκλος.

1.2 ο κύκλος του νερού

Το νερό του πλανήτη αλλάζει συνεχώς φυσική κατάσταση, από τη στερεά μορφή των πάγων στην υγρή μορφή των ποταμών, λιμνών και της θάλασσας αλλά και την αέρια κατάσταση των υδρατμών.

Ανοδικά ρεύματα αέρα ανεβάζουν τους υδρατμούς στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όπου οι μικρότερες πιέσεις που επικρατούν έχουν αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας. Επειδή όμως σε χαμηλή θερμοκρασία ο αέρας δεν μπορεί πια να συγκρατεί όλη τη μάζα των υδρατμών, ένα μέρος τους συμπυκνώνεται και σχηματίζει τα σύννεφα. Τα ρεύματα του αέρα κινούν τα σύννεφα γύρω απ' την υδρόγειο. Παράλληλα τα σταγονίδια νερού που σχηματίζουν τα σύννεφα συγκρούονται και μεγαλώνουν, και τελικά πέφτουν απ' τον ουρανό ως κατακρημνίσματα, η συχνότερη μορφή των οποίων είναι η βροχή. Μια μορφή κατακρημνίσματος είναι το χιόνι, το οποίο όταν συσσωρεύεται σχηματίζοντας την απορροή από το λιώσιμο του χιονιού. Η μεγαλύτερη ποσότητα κατακρημνισμάτων πέφτει απευθείας στους ωκεανούς.

Από την ποσότητα που πέφτει στη στεριά, ένα σημαντικό μέρος καταλήγει και πάλι στους ωκεανούς ρέοντας υπό την επίδραση της βαρύτητας, ως επιφανειακή απορροή. Η μεγαλύτερη ποσότητα της επιφανειακής απορροής μεταφέρεται στους ωκεανούς από τα ποτάμια, με τη μορφή υδατορευμάτων. Η επιφανειακή απορροή μπορεί ακόμη να καταλήξει στις λίμνες, που αποτελούν, μαζί με τους ποταμούς, τις κυριότερες αποθήκες γλυκού νερού.

Ωστόσο, το νερό των κατακρημνισμάτων δεν ρέει αποκλειστικά μέσα στους ποταμούς. Κάποιες ποσότητες διαπερνούν το έδαφος με τη λειτουργία της διήθησης και σχηματίζουν το υπόγειο νερό. Μέρος του νερού αυτού μπορεί να ξαναβρεί το δρόμο του προς τα επιφανειακά υδάτινα σώματα (και τους ωκεανούς) ως εκφόρτιση υπόγειου νερού. Όταν βρίσκει διόδους προς την επιφάνεια της γης εμφανίζεται με τη μορφή πηγών. Ένα άλλο μέρος του υπόγειου νερού πηγαίνει βαθύτερα και εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς, οι οποίοι μπορούν να αποθηκεύσουν τεράστιες ποσότητες νερού για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ακόμα και το νερό αυτό όμως συνεχίζει να κινείται και με τη πάροδο του χρόνου μέρος του επιστρέφει στους ωκεανούς όπου ο κύκλος του νερού "τελειώνει" και "ξεκινάει".²

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 νερού, εμπλουτίζοντας έτσι τις αποθήκες νερού της γης, είτε είναι αυτές επιφανειακές, όπως οι θάλασσες και οι λίμνες, είτε είναι υπόγειες.¹

1.2.1 Μέρη του υδρολογικού κύκλου

Η Γεωλογική Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (USGS) έχει διακρίνει 16 μέρη του υδρολογικού κύκλου:

- Αποθήκευση νερού στην θάλασσα
- Εξάτμιση
- Εξατμοδιαπνοή
- Εξάχνωση
- Νερό στην Ατμόσφαιρα
- Συμπύκνωση
- Κατακρημνίσματα
- Αποθήκευση νερού σε πάγους και χιόνια
- Απορροή από λιώσιμο του χιονιού
- Επιφανειακή απορροή
- Ροή σε υδατορεύματα
- Αποθήκευση γλυκού νερού
- Διήθηση
- Αποθήκευση υπόγειου νερού
- Εκφόρτιση υπόγειου νερού
- Πηγές

α) Αποθήκευση νερού στην θάλασσα

Πολύ περισσότερο νερό από αυτό που βρίσκεται σε κίνηση στον υδρολογικό κύκλο είναι αποθηκευμένο στη θάλασσα, κυρίως στους ωκεανούς. Από τα 1.386.000.000 Km³ του νερού στη Γη, περίπου 1.338.000.000 Km³ (το 96,5%) είναι αποθηκευμένα στους ωκεανούς. Οι ωκεανοί παρέχουν περίπου το 88% του εξατμιζόμενου νερού, το οποίο μπαίνει στον υδρολογικό κύκλο.

Το νερό στους Ωκεανούς είναι αλατούχο. Το υφάλμυρο νερό περιέχει σημαντικά ποσά (συγκεντρώσεις) διαλυμένων αλάτων. Σε αυτή την περίπτωση, η συγκέντρωση είναι το ποσό (σε βάρος) του άλατος στο νερό και εκφράζεται σε μέρη ανά εκατομμύριο (ppm). Το νερό είναι αλατούχο άμα έχει μία συγκέντρωση περισσότερη από 1000 ppm διαλυμένων αλάτων, ενώ το νερό των ωκεανών περιέχει περίπου 35000 ppm άλατος.

Η ποσότητα του νερού στους ωκεανούς αλλάζει κατά τη διάρκεια μεγάλων χρονικών περιόδων. Κατά τη διάρκεια πιο ψυχρών κλιματικών περιόδων, σχηματίζονται περισσότερα παγόβουνα και παγετώνες με αποτέλεσμα να υπάρχει λιγότερο νερό στους ωκεανούς. Το αντίθετο συμβαίνει στις θερμές κλιματικές περιόδους. Κατά τη διάρκεια της τελευταίας εποχής των παγετώνων, η στάθμη των ωκεανών ήταν περίπου 122 μέτρα χαμηλότερη της σημερινής. Πριν από περίπου τρία εκατομμύρια χρόνια, όταν η Γη ήταν πιο θερμή, η στάθμη των ωκεανών μπορεί να ήταν μέχρι και 50 μέτρα πιο ψηλά από ό, τι σήμερα. Το νερό στους ωκεανούς κινείται λόγω των κυμάτων, τα οποία οδηγούνται από τους ανέμους. Υπάρχουν ρεύματα και ποταμοί που κινούν

μεγάλες ποσότητες ύδατος σε όλο τον κόσμο. Αυτές οι μετακινήσεις έχουν μεγάλη επιρροή στον κύκλο του νερού.²

β) Εξάτμιση

Εξάτμιση είναι η διεργασία μέσω της οποίας το νερό γίνεται από υγρό, αέριο ή αλλιώς υδρατμός και αποτελεί το βασικό τρόπο με τον οποίο το νερό από υγρό ξαναμπαίνει στην ατμόσφαιρα και μαζί στον υδρολογικό κύκλο. Οι ωκεανοί, οι θάλασσες, οι λίμνες και τα ποτάμια παρέχουν περίπου το 90% της υγρασίας της ατμόσφαιρας, ενώ τα φυτά, μέσω της διαπνοής παρέχουν το υπόλοιπο 10%.

Η εξάτμιση από τη θάλασσα είναι ο κύριος τρόπος με τον οποίο το νερό περνά στην ατμόσφαιρα. Η μεγάλη επιφάνεια των ωκεανών (πάνω από το 70% της επιφάνειας της Γης καλύπτεται από ωκεανούς) επιτρέπει μεγάλης κλίμακας εξάτμιση. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η ποσότητα νερού που εξατμίζεται είναι ίση με τη ποσότητα του νερού που επιστρέφει στην επιφάνεια της Γης με τη μορφή κατακρημνισμάτων.

Βέβαια, η κατανομή των ποσοτήτων που εξατμίζονται και ξαναπέφτουν στη θάλασσα μεταβάλλεται γεωγραφικά. Έτσι, στη θάλασσα η εξάτμιση υπερτερεί της βροχής ενώ στη στεριά συμβαίνει το αντίθετο. Το περισσότερο νερό που εξατμίζεται από τη θάλασσα, ξαναπέφτει σε αυτή και μόνο περίπου το 10% του νερού αυτού μεταφέρεται πάνω από τη στεριά και πέφτει με τη μορφή κατακρημνισμάτων. Από τη στιγμή που εξατμίζεται, ένα μόριο νερού μένει στην ατμόσφαιρα για 10 περίπου ημέρες κατά μέσο όρο. Η διαδικασία της εξάτμισης είναι τόσο μεγάλη που χωρίς την κατακρίμνηση και την απαλλαγή των υπόγειων νερών από τα υδροφόρα στρώματα, οι ωκεανοί θα γίνονταν σχεδόν κενοί.

Η θερμότητα (ενέργεια), που παρέχει ο ήλιος είναι απαραίτητη για την εξάτμιση. Η ενέργεια χρησιμοποιείται για να σπάσουν οι δεσμοί που κρατούν ενωμένα τα μόρια του νερού και γι' αυτό το νερό εξατμίζεται εύκολα στο σημείο βρασμού του (100°C), και εξατμίζεται πιο δύσκολα κοντά στο σημείο πήξης.

Όταν η σχετική υγρασία του αέρα είναι 100% (σε κατάσταση κορεσμού) δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί εξάτμιση. Η συμπύκνωση, το αντίθετο της εξάτμισης, εμφανίζεται όταν δροσιζετε ο εμποτισμένος αέρας κάτω από το σημείο δροσιάς (η θερμοκρασία στην οποία ο αέρας πρέπει να δροσιστεί σε μια σταθερή πίεση για να είναι πλήρως εμποτισμένος με νερό), όπως έξω από ένα ποτήρι με παγωμένο νερό. Η εξάτμιση αφαιρεί θερμότητα από το περιβάλλον, γεγονός που εξηγεί γιατί όταν εξατμίζεται νερό (ιδρώτας) από την επιδερμίδα μας δροσιζόμαστε.³

β.1) Παράγοντες που επηρεάζουν το ποσοστό της εξάτμισης

1) Η συγκέντρωση της ουσίας που εξατμίζεται στον αέρα: Εάν ο αέρας έχει υψηλή συγκέντρωση της ουσίας που εξατμίζει, η ουσία θα εξατμιστεί πιο αργά.

2) Η συγκέντρωση άλλων ουσιών στον αέρα: Εάν ο αέρας είναι ήδη εμποτισμένος με άλλες ουσίες, μπορεί να έχει χαμηλότερη ικανότητα για την εξάτμιση ουσιών.

3) *Το ποσοστό ροής του αέρα:* Αυτό είναι εν μέρει σχετικό με τα σημεία συγκέντρωσης των ανωτέρω. Εάν ο φρέσκος αέρας κινείται πέρα από την ουσία όλη την ώρα, τότε η συγκέντρωση της ουσίας στον αέρα είναι λιγότερο πιθανό να ανεβεί με το χρόνο και έχει σαν συνέπεια τη γρηγορότερη εξάτμιση.

4) *Η συγκέντρωση άλλων ουσιών στο υγρό (ακαθαρσίες):* Εάν το υγρό περιέχει άλλες ουσίες, θα έχει χαμηλότερη ικανότητα εξάτμισης.

5) *Η θερμοκρασία της ουσίας:* Εάν η ουσία είναι θερμή (καυτή), η εξάτμιση θα γίνει γρηγορότερα.

6) *Η επιφανειακή περιοχή:* Η ουσία που έχει μεγαλύτερη επιφανειακή περιοχή για εξάτμιση, θα εξατμιστεί γρηγορότερα δεδομένου ότι υπάρχουν περισσότερα μόρια επιφάνειας που είναι σε θέση να δραπέτεύσουν στην ατμόσφαιρα.⁴

γ) Εξατμοδιαπνοή

Εξατμοδιαπνοή καλείται η μεταφορά νερού στην ατμόσφαιρα ως αποτέλεσμα της εξάτμισης από το έδαφος και της διαπνοής από τα φύλλα των φυτών. Αν και σε πολλούς ορισμούς της εξατμοδιαπνοής υπάγεται και η εξάτμιση από λίμνες ή ίσως και από τη θάλασσα, εδώ η εξατμοδιαπνοή ορίζεται ως το νερό που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα ως εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους και ως διαπνοή από τα φύλλα των φυτών. Το νερό αυτό μπορεί να είναι υπόγειο που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους μέσω τριχοειδών εδαφικών σωληνίσκων και στα φύλλα των φυτών μέσω του τριχοειδούς αγγειακού συστήματος των φυτών.

Διαπνοή είναι η διεργασία μέσω της οποίας η υγρασία μεταφέρεται από τις ρίζες των φυτών μέχρι τους μικρούς πόρους που βρίσκονται στο κάτω μέρος των φύλλων όπου και μετατρέπεται σε υδρατμό και απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Η διαπνοή είναι ουσιαστικά η εξάτμιση του νερού από τα φύλλα των φυτών. Εκτιμάται ότι περίπου 10% της υγρασίας στην ατμόσφαιρα προέρχεται από τη διαπνοή των φυτών.

Η διαπνοή είναι συνήθως μια αθέατη διαδικασία – δεν είναι εύκολο να παρατηρήσουμε τα φύλλα να "ιδρώνουν" καθώς το νερό εξατμίζεται από την επιφάνεια τους. Κατά τη διάρκεια μιας εποχής ανάπτυξης ένα φύλλο μπορεί να διακινήσει μέσω διαπνοής νερό πολλαπλάσιο του βάρους του, ενώ μια μεγάλη βελανιδιά, παραδείγματος χάρη, μπορεί να διαπνεύσει 150.000 λίτρα νερό το χρόνο.²

γ.1) Ατμοσφαιρικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διαπνοή

Η ποσότητα νερού που τα φυτά διαπνέουν, μεταβάλλεται γεωγραφικά και χρονικά. Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που καθορίζουν τους ρυθμούς διαπνοής:

- **Θερμοκρασία:** Οι ρυθμοί διαπνοής ανεβαίνουν όσο ανεβαίνει η θερμοκρασία ειδικά στις εποχές ανάπτυξης των φυτών, όταν ο αέρας είναι ζεστός.

- Σχετική υγρασία: Όσο αυξάνει η σχετική υγρασία του αέρα που περιβάλλει το φυτό, ο ρυθμός διαπνοής πέφτει. Είναι πιο εύκολο να εξατμιστεί νερό σε ξηρό παρά σε υγρό αέρα.
- Ταχύτητα ανέμου: Η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου κοντά στο φυτό αυξάνει τη διαπνοή.
- Τύπος φυτού: Διαφορετικά φυτά έχουν διαφορετικούς ρυθμούς διαπνοής. Φυτά που μεγαλώνουν σε ξηρά κλίματα, όπως οι κάκτοι, διαπνέουν λιγότερο από τα άλλα φυτά.
- Ποσοστό κάλυψης του εδάφους από το φύλλωμα των φυτών.⁵

δ) Εξάχνωση

Η εξάχνωση είναι η μετατροπή του νερού από τη στερεά μορφή του χιονιού ή του πάγου σε υδρατμό χωρίς να μεσολαβήσει η υγρή μορφή, χωρίς δηλαδή να λιώσει προηγουμένως.

Η παρατήρηση της εξάχνωσης είναι δύσκολη. Ένα εύκολο πείραμα για να δούμε τα αποτελέσματά της είναι να κρατήσουμε ένα βρεγμένο ύφασμα στο ύπαιθρο σε μια μέρα που η θερμοκρασία είναι κάτω από 0°C. Ο πάγος που θα σχηματιστεί στο ύφασμα τελικώς θα εξαφανιστεί. Πιο εύκολα μπορεί να παρατηρηθεί το φαινόμενο της εξάχνωσης με παγωμένο διοξείδιο του άνθρακα, ή αλλιώς ξηρό πάγο, αντί νερού.

Η εξάχνωση πραγματοποιείται πιο εύκολα όταν υπάρχουν συγκεκριμένες καιρικές συνθήκες, όπως ξηρή ατμόσφαιρα και άνεμος. Περισσότερο συμβαίνει σε μεγάλα υψόμετρα, όπου η ατμοσφαιρική πίεση είναι σχετικά μικρή. Για να συμβεί εξάχνωση χρειάζεται να απορροφηθεί ενέργεια, όπως συμβαίνει και με την εξάτμιση, και έτσι το φαινόμενο ευνοείται από την ηλιακή ακτινοβολία. Έτσι, θεωρείται ότι η νότια πλευρά του Έβερεστ, στην οποία κυριαρχούν η χαμηλή θερμοκρασία, οι ισχυροί άνεμοι και η χαμηλή πίεση είναι ιδανικό μέρος για την εκδήλωση του φαινομένου σε μια ηλιόλουστη μέρα.²

ε) Αποθήκευση νερού στην ατμόσφαιρα

Μπορεί η ατμόσφαιρα να μην είναι η μεγαλύτερη αποθήκη για το νερό, αλλά είναι η "υπερταχεία λεωφόρος" μέσω της οποίας το νερό μετακινείται σε παγκόσμια κλίμακα. Υπάρχει πάντα νερό στην ατμόσφαιρα.

Τα σύννεφα είναι η πιο ορατή μορφή ατμοσφαιρικού νερού αλλά ακόμα και ο καθαρός αέρας περιέχει νερό – με τη μορφή υδρατμών που δεν είναι ορατοί. Αν όλο το νερό της ατμόσφαιρας ήταν σε υγρή μορφή τότε ο όγκος του στο σύνολο της ατμόσφαιρας, ανά πάσα στιγμή, θα ήταν περίπου 12.900 Km³. Αν όλο το νερό της ατμόσφαιρας έπεφτε την ίδια στιγμή θα κάλυπτε το έδαφος με νερό σε ύψος 2,5 εκατοστών.²

στ) Συμπύκνωση

Η συμπύκνωση είναι η διεργασία της μετατροπής του νερού από την αέρια στην υγρή μορφή. Η συμπύκνωση είναι σημαντική για τον κύκλο του νερού, διότι επιτρέπει τον σχηματισμό των σύννεφων. Τα σύννεφα, παράγουν κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι, χαλάζι) τα οποία είναι και ο βασικός τρόπος με

τον οποίο το νερό ξαναγυρίζει στην επιφάνεια της Γης. Η συμπύκνωση είναι το αντίθετο της εξάτμισης.

Η συμπύκνωση, είναι επίσης υπεύθυνη για την ομίχλη, για το θάμπωμα των τζαμιών κατά τη διάρκεια μιας κρύας μέρας, για το νερό που στάζει από το εξωτερικό ενός ποτηριού με κρύο νερό κ.ά.

Ακόμα και στον πιο καθαρό γαλανό ουρανό το νερό είναι πάντα εκεί με τη μορφή υδρατμών. Η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε νερό σε αέρια μορφή έχει ένα ανώτατο όριο, το όριο κορεσμού, το οποίο αυξάνεται με τη θερμοκρασία. Έτσι, αν προστεθούν υδρατμοί πάνω από το όριο κορεσμού, αλλά κυρίως αν ψυχθεί μια αέρια μάζα και μειωθεί το όριο κορεσμού (αυτό γίνεται συνήθως με την ανύψωση και εκτόνωση της μάζας σε μεγαλύτερα υψόμετρα όπου επικρατούν μικρότερες πιέσεις), τότε οι πλεονάζοντες υδρατμοί υγροποιούνται σχηματίζοντας σε μικροσκοπικό επίπεδο σταγονίδια ή παγοκρυστάλλους και σε μακροσκοπικό επίπεδο σύννεφα. Το σχηματισμό των σταγονιδίων ευνοεί η παρουσία στην ατμόσφαιρα στερεών μικροσκοπικών σωματιδίων σκόνης, αλάτων και καπνού, με τα οποία συνδέονται τα μόρια του νερού. Καθώς τα σταγονίδια ενώνονται μεταξύ τους και μεγαλώνουν σε μάζα, μπορεί να βαρύνουν τόσο που τελικά να πέσουν.²

ζ) Κατακρημνήσματα

Τα κατακρημνίσματα είναι η πτώση του νερού από τα σύννεφα, με τη μορφή βροχής, χιονόνερου, χιονιού ή χαλαζιού. Αποτελεί τον κύριο τρόπο με τον οποίο το νερό της ατμόσφαιρας επιστρέφει στην επιφάνεια της Γης. Η συχνότερη μορφή κατακρημνισμάτων είναι η βροχή.

Τα σύννεφα περιέχουν υδρατμούς και σταγονίδια τα οποία είναι πολύ μικρά για να πέσουν ως κατακρημνίσματα αλλά ταυτόχρονα είναι αρκετά μεγάλα ώστε να σχηματίζουν ορατά σύννεφα. Το νερό συνεχώς εξατμίζεται και συμπυκνώνεται στον αέρα. Το περισσότερο νερό που συμπυκνώνεται στα σύννεφα δεν πέφτει διότι υποστηρίζεται από ανοδικά ρεύματα αέρα. Για να προκληθούν κατακρημνίσματα, τα μικροσκοπικά σταγονίδια πρέπει να συνενωθούν για να σχηματίσουν σταγόνες αρκετά μεγάλες και βαριές ώστε να πέσουν υπό την επίδραση βαρύτητας. Για να σχηματιστεί μια σταγόνα βροχής πρέπει να συνενωθούν εκατομμύρια σταγονίδια ενός σύννεφου.

Δεν πέφτουν οι ίδιες ποσότητες κατακρημνισμάτων παντού στο κόσμο, ούτε καν μέσα σε μια χώρα ή ακόμα και σε μια πόλη. Στην Αθήνα, για παράδειγμα, οι καλοκαιρινές καταιγίδες μπορεί να προκαλέσουν περισσότερο από 50 χιλιοστά βροχής σε κάποιες περιοχές και να αφήσουν τελείως ξηρές κάποιες άλλες, μερικά χιλιόμετρα πιο πέρα. Μερικές περιοχές στην Ήπειρο (Βορειοδυτική Ελλάδα) δέχονται περισσότερη βροχή κατά τη διάρκεια ενός μήνα από ότι η Αθήνα σε έναν ολόκληρο χρόνο.

Το παγκόσμιο ρεκόρ της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης ανήκει στο όρος Waialeale της Χαβάης, όπου πέφτουν 11.400 mm (11,4 m) βροχής κατά μέσο όρο το χρόνο. Αντίθετα, στο Agica της Χιλής, μέχρι πρόσφατα, είχε να βρέξει για 14 χρόνια.²

η) Αποθήκευση νερού σε πάγους και χιόνι

Το νερό που βρίσκεται αποθηκευμένο για μεγάλες χρονικές περιόδους στον πάγο, το χιόνι και τους παγετώνες, αποτελεί και αυτό μέρος του υδρολογικού κύκλου. Το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του πάγου στη Γη, περίπου το 90%, βρίσκεται στην Ανταρκτική, ενώ οι πάγοι της Γροιλανδίας περιέχουν το υπόλοιπο 10% της παγκόσμιας μάζας πάγου. Στη Γροιλανδία το μέσο πάχος πάγου είναι 1.500 m, αλλά μπορεί να φτάσει και τα 4.300 m.

Το κλίμα της Γης μεταβάλλεται συνέχεια αν και συνήθως η μεταβολή δεν είναι αρκετά γρήγορη ώστε να γίνεται αντιληπτή. Κατά τη διάρκεια της ιστορίας της Γης έχουν περάσει πολλές θερμές περιόδους, όπως η περίοδος των δεινοσαύρων πριν από 100 εκατομμύρια χρόνια, αλλά και πολλές ψυχρές περιόδους, όπως η τελευταία εποχή των παγετώνων πριν από περίπου 20.000 χρόνια. Κατά τη διάρκεια της τελευταίας εποχής των παγετώνων, μεγάλο τμήμα του βόρειου ημισφαιρίου, ήταν σκεπασμένο με παγετώνες.

η.1) Μερικά στοιχεία για τους παγετώνες και τα παγόβουνα

- Οι παγετώνες καλύπτουν σήμερα το 10-11% της στεριάς της Γης.
- Αν όλοι οι παγετώνες έλιωναν σήμερα, η στάθμη της θάλασσας θα ανέβαινε κατά 70m. (Πηγή: Εθνικό Κέντρο Δεδομένων Χιονιού και Πάγου των ΗΠΑ).
- Κατά τη διάρκεια της τελευταίας εποχής των παγετώνων η στάθμη της θάλασσας ήταν κατά 122m χαμηλότερη της σημερινής και οι παγετώνες κάλυπταν το ένα τρίτο περίπου της στεριάς.
- Κατά τη διάρκεια της τελευταίας θερμής εποχής, 125.000 χρόνια πριν, οι θάλασσες ήταν 5,5m ψηλότερες από σήμερα. Πριν από τρία εκατομμύρια χρόνια, οι θάλασσες μπορεί να ήταν και μέχρι 50m ψηλότερες από σήμερα.²

θ) Απορροή από λιώσιμο χιονιού

Παγκοσμίως, η απορροή από το λιώσιμο του χιονιού προς τα υδατορεύματα αποτελεί σημαντική συνιστώσα της κίνησης του νερού. Σε κρύα κλίματα μεγάλο μέρος της ανοιξιάτικης απορροής και της παροχής των ποταμών προέρχεται από το λιώσιμο χιονιού και πάγου. Το γρήγορο λιώσιμο του χιονιού προκαλεί πολλές φορές, εκτός από πλημμύρες, κατολισθήσεις και πτώσεις κατακεραματισμένων βράχων.

Η απορροή από το λιώσιμο του χιονιού μεταβάλλεται από εποχή σε εποχή αλλά και από χρόνο σε χρόνο. Η έλλειψη αποθηκευμένου νερού με τη μορφή χιονιού το χειμώνα μπορεί να λιγοστέψει το διαθέσιμο νερό για όλο τον υπόλοιπο χρόνο. Αυτό μπορεί να επηρεάσει τη ποσότητα διαθέσιμου νερού στους κατάντη ταμιευτήρες, πράγμα που με τη σειρά του μπορεί να επηρεάσει το διαθέσιμο νερό για άρδευση και ύδρευση.²

ι) Επιφανειακή απορροή

Μέρος των κατακρημνισμάτων που πέφτουν πάνω στο έδαφος, κυλούν επιφανειακά προς τα ποτάμια, σχηματίζοντας την επιφανειακή απορροή. Στην πραγματικότητα τα πράγματα είναι πιο περίπλοκα, καθώς τα ποτάμια κερδίζουν και χάνουν νερό μέσω του εδάφους.

Συνήθως, τμήμα της βροχής που πέφτει, ποτίζει το έδαφος, αλλά όταν το έδαφος είναι κορεσμένο ή αδιαπέρατο, όπως π.χ. ένας δρόμος ή ένα πάρκινγκ, το νερό αρχίζει να ρέει προς τα χαμηλά με τη μορφή απορροής. Το νερό στην πορεία του προς τα ποτάμια, κυλά μέσω αυλακιών στο έδαφος. Η απορροή κυλά πάνω από χώμα και συμπαρασύρει φερτά μέσα στο ποτάμι. Το νερό που μπαίνει στο ρυάκι ξεκινά το ταξίδι του πίσω προς τη θάλασσα.

Όπως συμβαίνει με όλα τα μέρη του υδρολογικού κύκλου, η σχέση μεταξύ των κατακρημνισμάτων και της επιφανειακής απορροής μεταβάλλεται στο χρόνο και το χώρο. Παρόμοιες καταιγίδες σε μια ζούγκλα και σε μια έρημο προκαλούν διαφορετικές μορφές επιφανειακής απορροής. Η απορροή εξαρτάται τόσο από μετεωρολογικούς παράγοντες, όσο και από τη γεωλογία και το ανάγλυφο της περιοχής. Μόνο το ένα τρίτο περίπου του όγκου των κατακρημνισμάτων που πέφτει πάνω στο έδαφος, απορρέει σε υδατορεύματα και γυρίζει στη θάλασσα. Τα υπόλοιπα δύο τρίτα, εξατμίζονται, ή διηθούνται προς τα υπόγεια νερά. Τμήμα της επιφανειακής απορροής χρησιμοποιείται επίσης από τον άνθρωπο για δικές του χρήσεις.²

κ) Ροή σε υδατορεύματα

Ο όρος ροή σε υδατορεύματα αναφέρεται στο νερό που κυλά μέσα σε ποτάμια, ρέματα ή ρυάκια. Τα ποτάμια δεν είναι σημαντικά μόνο για τους ανθρώπους, αλλά και για τη ζωή παντού. Δεν είναι μόνο θαυμάσιοι τόποι αναψυχής, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης ως πηγή πόσιμου νερού και νερού για άρδευση, για τη παραγωγή ηλεκτρισμού, τη μετακίνηση εμπορευμάτων αλλά και ως πηγή τροφής. Χρησιμοποιούνται μερικές φορές αναγκαστικά και για την απόρριψη λυμάτων, τα οποία θα πρέπει να είναι επεξεργασμένα για την αποφυγή ρύπανσης και καταστροφής των πολλών ειδών οργανισμών, φυτών και ζώων, που ζουν στα ποτάμια. Τα ποτάμια βοηθούν στην τροφοδοσία των υπόγειων υδροφορέων μέσω της διήθησης νερού από τη κοίτη τους προς τα κατώτερα υπεδάφη στρώματα. Και φυσικά επιστρέφουν στη θάλασσα το μεγαλύτερο τμήμα του νερό που εισέρχεται σε αυτά.

κ.1) Λεκάνες απορροής και ποτάμια

Για την κατανόηση της λειτουργίας του υδρολογικού κύκλου είναι σημαντική η έννοια των λεκανών απορροής των ποταμιών. Η λεκάνη απορροής είναι εδαφική έκταση που φιλοξενεί το ποτάμι και όλους τους παραποτάμους του, ακόμη και τα μικρά ρυάκια που καταλήγουν σε αυτό. Ακριβέστερα, λεκάνη απορροής σε μια δεδομένη θέση ενός υδατορεύματος είναι η γεωγραφική περιοχή που τα νερά της συνεισφέρουν στην απορροή που περνά από τη θέση αυτή του υδατορεύματος.

Οι λεκάνες απορροής μπορεί να είναι από τόσο μικρές όσο μια πατημασιά στη λάσπη, μέχρι τόσο μεγάλες όσο όλη η έκταση που στραγγίζει στον ποταμό Αμαζόνιο στο σημείο που εκβάλλει στον Ατλαντικό Ωκεανό. Η τελευταία, που είναι και η μεγαλύτερη από τις λεκάνες όλων των ποταμών της υφής, φτάνει τα 7.180.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Κάθε μεγάλη λεκάνη απορροής μπορεί να χωριστεί σε μικρότερες επιμέρους υπό-λεκάνες (π.χ. μια για κάθε παραπόταμο).

Οι λεκάνες απορροής είναι πολύ σημαντικές διότι η ποσότητα και η ποιότητα του νερού στα ποτάμια εξαρτώνται από ό,τι συμβαίνει μέσα στις λεκάνες, είτε το έχει προκαλέσει ο άνθρωπος είτε όχι.

κ.2) Η ροή των υδατορευμάτων αλλάζει συνεχώς

Η ροή στα υδατορεύματα αλλάζει συνεχώς, από μέρα σε μέρα, ή ακόμα από λεπτό σε λεπτό. Φυσικά, ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει την παροχή του νερού είναι η απορροή των κατακρημνισμάτων από τη λεκάνη. Η βροχή αυξάνει τη στάθμη του νερού των ποταμών, ακόμα και αν έχει βρέξει πολύ ψηλά στη λεκάνη απορροής, μακριά από τη θέση που παρατηρούμε τη ροή.

Το μέγεθος ενός ποταμού εξαρτάται από το μέγεθος της λεκάνης απορροής του. Μεγάλο ποτάμι είναι αυτό που έχει μεγάλη λεκάνη απορροής. Ομοίως, ποτάμια διαφορετικών μεγεθών, αντιδρούν διαφορετικά σε καταιγίδες και βροχές. Η στάθμη των μεγάλων ποταμών αλλάζει πιο αργά από τη στάθμη των μικρών. Σε μια μικρή λεκάνη, η στάθμη του ποταμού θα ανυψωθεί και θα πέσει μέσα σε μερικά λεπτά ή ώρες. Στα μεγάλα ποτάμια κάτι τέτοιο μπορεί να πάρει μέρες και οι πλημμύρες μπορεί να διαρκέσουν πολύ.²

λ) Αποθήκευση γλυκού νερού

Ένα μέρος του υδρολογικού κύκλου, που είναι προφανώς ζωτικής σημασίας για τη ζωή πάνω στη Γη, είναι το γλυκό νερό που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους. Το επιφανειακό νερό περιλαμβάνει υδατορεύματα, λίμνες, ταμειυτήρες (τεχνητές λίμνες) και υγρότοπους γλυκού νερού.

Η ποσότητα του νερού στα ποτάμια και τις λίμνες αλλάζει συνεχώς λόγω της μεταβολής των εισροών (όπως των κατακρημνισμάτων και των παροχών των πηγών) και των εκροών (όπως της εξάτμισης και της διήθησης προς τους υπόγειους υδροφορείς). Η ποσότητα και η θέση του επιφανειακού νερού, αλλάζει στο χρόνο και το χώρο, ως αποτέλεσμα είτε φυσικών είτε ανθρωπογενών διεργασιών.

Το γλυκό νερό είναι σχετικά σπάνιο στην επιφάνεια της Γης. Μόνο το 3% του νερού του πλανήτη είναι γλυκό ενώ όλες οι λίμνες και τα έλη μαζί περιέχουν μόνο το 0,29% του γλυκού αυτού νερού. Το 20% του συνολικού γλυκού νερού των λιμνών και ελών βρίσκεται σε μία λίμνη, τη λίμνη Βαϊκάλη στην Ασία. Άλλο ένα 20% βρίσκεται αποθηκευμένο στις Μεγάλες Λίμνες (Huron, Michigan, και Superior) στις ΗΠΑ. Τα ποτάμια περιέχουν μόνο το 0.006% του συνολικού γλυκού νερού του πλανήτη.²

μ) Διήθηση

Παντού στον κόσμο, τμήμα του νερού που πέφτει ως βροχή ή χιόνι, διηθείται μέσα στο έδαφος. Η ποσότητα του νερού, η οποία διηθείται εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων. Η διήθηση των κατακρημνισμάτων που πέφτουν πάνω στους πάγους της Γροιλανδίας μπορεί να είναι πολύ μικρή, ενώ αντίθετα, σ' αυτή τη φωτογραφία του υδατορεύματος που χάνεται μέσα σε μια σπηλιά, στη Georgia των ΗΠΑ, όλο το νερό γίνεται κατευθείαν υπόγειο νερό!

Τμήμα του νερού που διηθείται μένει κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και μπορεί να καταλήξει τελικά σε ένα υδατόρευμα. Ένα άλλο τμήμα του νερού,

μπορεί να διηθηθεί πιο βαθιά και να τροφοδοτήσει υπόγειους υδροφορείς. Αν οι υδροφορείς είναι κοντά στην επιφάνεια και αρκετά πορώδεις, ώστε να επιτρέπουν τη γρήγορη κίνηση του νερού, μπορεί να φτιαχτούν πηγάδια και να αντληθεί νερό για διάφορες ανάγκες. Το νερό μπορεί να ταξιδέψει μεγάλες αποστάσεις ή να μείνει αποθηκευμένο υπόγεια για μεγάλα χρονικά διαστήματα πριν επανέλθει στην επιφάνεια μπαίνοντας σε ποτάμια ή τη θάλασσα.

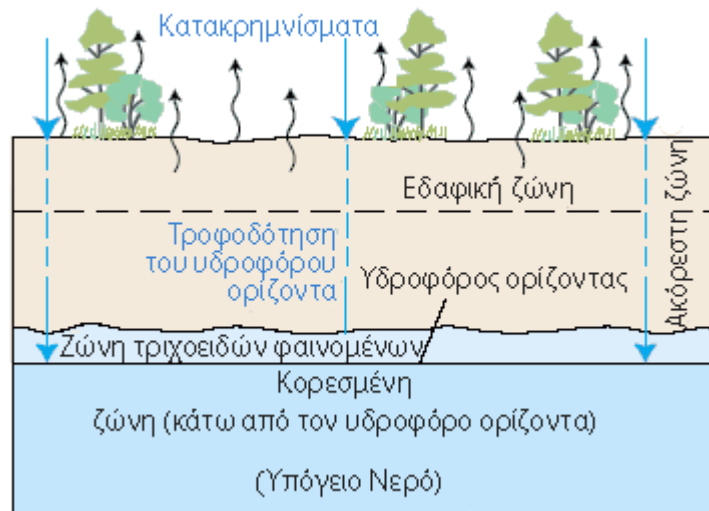
μ.1) Υπόγειο νερό

Καθώς το νερό διηθείται προς το υπέδαφος, σχηματίζει συνήθως μια ακόρεστη και μια κορεσμένη ζώνη. Στην ακόρεστη ζώνη υπάρχει νερό αλλά και αέρας στα κενά (πόρους) του εδαφικού σχηματισμού, δηλαδή τα κενά αυτά δεν είναι τελείως γεμάτα με νερό. Το άνω μέρος της ακόρεστης ζώνης είναι η εδαφική ζώνη. Η εδαφική ζώνη έχει κενά που δημιουργούνται από τις ρίζες των φυτών, τα οποία επιτρέπουν στο νερό να διηθηθεί. Το νερό στην ανώτερη αυτή ζώνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα φυτά. Κάτω από την ακόρεστη ζώνη βρίσκεται η κορεσμένη, στην οποία το νερό γεμίζει όλους τους πόρους του εδάφους.

μ.2) Αποθήκευση υπόγειου νερού

Εκτός από τις καθημερινά ορατές ποσότητες νερού, υπάρχουν και τεράστιες μη ορατές ποσότητες νερού που βρίσκονται και κινούνται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Οι άνθρωποι χρησιμοποιούν το νερό αυτό εδώ και χιλιάδες χρόνια και συνεχίζουν και σήμερα να το χρησιμοποιούν κυρίως για ύδρευση και άρδευση. Η ζωή στη Γη βασίζεται στο υπόγειο νερό όπως και στο επιφανειακό.

Μεγάλες ποσότητες νερού βρίσκονται αποθηκευμένες κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Το νερό αυτό συνεχίζει να κινείται, αν και συνήθως με πολύ μικρή ταχύτητα, και συνεχίζει να αποτελεί μέρος του υδρολογικού κύκλου. Το περισσότερο υπόγειο νερό προέρχεται από διήθηση κατακρημνισμάτων. Τα ανώτερα στρώματα αποτελούν την ακόρεστη ζώνη όπου η ποσότητα του νερού αλλάζει με το χρόνο αλλά δεν γεμίζει πλήρως τους πόρους του εδάφους. Κάτω από τη ζώνη αυτή υπάρχει η κορεσμένη ζώνη όπου όλοι οι πόροι και οι ρωγμές των πετρωμάτων είναι γεμάτα νερό. Ο όρος υπόγειο νερό χρησιμοποιείται για να περιγράψει αυτή τη ζώνη. Ο χώρος αποθήκευσης του υπόγειου νερού αποδίδεται με τον όρο "υδροφορέας". Οι υδροφορείς ή τα υδροφόρα στρώματα, είναι τεράστιες αποθήκες νερού της Γης και η ζωή εκατομμυρίων ανθρώπων σε όλο τον κόσμο εξαρτάται καθημερινά από αυτούς.



Εικόνα 2. Αποθήκευση υπόγειου νερού.

Η παραπάνω φωτογραφία (εικ. 2) δείχνει ένα απλό πείραμα που μπορεί να κάνει κανείς σε μια παραλία εύκολα (αν και ίσως του πάρει μια ώρα κάτω απ' τον καυτό ήλιο), σκάβοντας μια τρύπα στην άμμο. Είναι ένας παραστατικός τρόπος να παρουσιάσει κανείς το πως μετά από ένα συγκεκριμένο βάθος, το έδαφος, αν είναι αρκετά πορώδες ώστε να κρατά νερό, είναι κορεσμένο με νερό. Η επιφάνεια της λιμνούλας με το νερό μέσα στη τρύπα είναι ο υδροφόρος ορίζοντας, που στη περίπτωση αυτή είναι η προέκταση της επιφάνειας της θάλασσας. Μια και εδώ η στάθμη της θάλασσας αλλάζει λόγω της παλίρροιας, η στάθμη του νερού στη τρύπα ανεβοκατεβαίνει μαζί της. Αν υποθέσουμε ότι με ένα δοχείο προσπαθούσαμε να αδειάσουμε νερό από την τρύπα, αυτή θα ξαναγέμιζε σχεδόν αμέσως γιατί η άμμος είναι πολύ υδροπερατή, δηλαδή το νερό ρέει εύκολα μέσα στα κενά της.

Έτσι λοιπόν, η τρύπα μοιάζει με πηγάδι που δίνει πρόσβαση στο υπόγειο γλυκό νερό. Τα πηγάδια παλιότερα ήταν μικρού βάθους και για να βγάλουν νερό από αυτά χρησιμοποιούσαν κουβάδες. Σήμερα, η τεχνολογία επιτρέπει το άνοιγμα πηγαδιών, ακριβέστερα γεωτρήσεων, σε πολύ μεγαλύτερα βάθη, π.χ. εκατοντάδων μέτρων, που φτάνουν στα βαθύτερα υδροφόρα στρώματα. Η βασική ιδέα είναι όμως η ίδια με τη τρύπα στην άμμο – δηλαδή πρόσβαση σε νερό στην κορεσμένη ζώνη όπου οι πόροι των πετρωμάτων είναι γεμάτοι με νερό.

μ.3 Εκφόρτιση υπόγειου νερού

Όπως προαναφέρθηκε, τμήμα των κατακρημνισμάτων διηθείται και μετατρέπεται σε υπόγειο νερό. Από το νερό που εισχωρεί στο έδαφος, ένα μέρος κινείται κοντά στην επιφάνεια και ξαναβγαίνει γρήγορα με τη μορφή απορροής προς τα υδατορεύματα, υπό την επίδραση της βαρύτητας. Όμως ένα άλλο μεγάλο μέρος συνεχίζει τη πορεία του προς βαθύτερα στρώματα. Η κατεύθυνση και η ταχύτητα του υπόγειου νερού καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά των υδροφορέων και των στρωμάτων περιορισμού (υπεδάφια στρώματα, τα οποία διαπερνά το νερό πολύ δύσκολα ή σχεδόν καθόλου).

Η υπόγεια κίνηση του νερού εξαρτάται από τη διαπερατότητα (πόσο εύκολο ή δύσκολο είναι στο νερό να κινηθεί) και από το πορώδες (την ποσότητα των κενών μέσα στο υλικό) των στρώσεων. Αν το υπεδάφιο στρώμα επιτρέπει στο

νερό να κινείται σχετικά γρήγορα, αυτό μπορεί να διανύσει μεγάλες αποστάσεις στη διάρκεια μερικών ημερών. Μπορεί όμως επίσης να βυθιστεί προς βαθύτερους υδροφορείς και να κάνει χιλιάδες χρόνια μέχρι να ξαναβγεί στην επιφάνεια.²

ν) Πηγές

Όταν ένας υδροφορέας γεμίζει τόσο ώστε το νερό να υπερχειλίζει προς την επιφάνεια του εδάφους, δημιουργούνται πηγές. Το μέγεθος τους κυμαίνεται από μικρές πηγές που ενεργοποιούνται μόνο μετά από δυνατές βροχές, μέχρι τεράστιες πηγές που λειτουργούν σε μόνιμη βάση και βγάζουν χιλιάδες κυβικά μέτρα νερού ανά ημέρα.

Πηγές μπορούν να δημιουργηθούν σε κάθε τύπου πέτρωμα, αλλά είναι συνηθέστερες σε ασβεστόλιθο και δολομίτη οι οποίοι διαλύονται από το νερό, ιδιαίτερα όταν έχουν ρωγμές. Αυτά τα πετρώματα έχουν μεγάλη διαπερατότητα και απορροφούν μεγάλες ποσότητες κατακρημνισμάτων, οπότε αυξάνεται η πιθανότητα εμφάνισης πηγών, μέσω των οποίων εξέρχεται στην επιφάνεια το νερό που είχε εισχωρήσει στα πετρώματα.²

1.3 Υετός

Ο υετός παράγεται από το αρχαίο ελληνικό ρήμα **ΰω**, και σημαίνει βροχή, όμβρος. Παράγωγα: υετός, *υέτιος* –α –ο καθώς επίσης και *υεώτατος*. Σημειώνεται όμως ότι τόσο το ρήμα **ΰω** όσο και το παράγωγό του *ΰετός* συναντώνται στα ομηρικά έπη και δηλώνουν αποκλειστικά τη "βροχή", συγκεκριμένα τη "νεροποντή" ή την "καταιγίδα".

Υετός γενικά ονομάζεται κάθε πτώση ή εναπόθεση στο έδαφος προϊόντων του ύδατος (σε υγρή ή στερεά μορφή, επιμερισμένη) τα οποία προέρχονται από συμπύκνωση των υδρατμών της ατμόσφαιρας. Κυριότερες μορφές του «υετού» είναι: η βροχή, το χιονόνερο ή χιονόβροχο ή χιονόλυτο, οι ψεκάδες, το χαλάζι, το χιόνι, οι χιονόκοκκοι, οι παγοβελόνες, οι παγόκοκκοι και ο υαλόπαγος που δημιουργείται όμως στο έδαφος. Οι παραπάνω μορφές ονομάζονται και υδατώδη μετεωρολογικά κατακρημνίσματα, ή ατμοσφαιρικά υδατώδη κατακρημνίσματα, ή απλά κατακρημνίσματα, όταν αναφέρονται στη μετεωρολογία, καθώς ακόμη και υδρομετέωρα.

Η ποσότητα του ύδατος που πέφτει στο έδαφος υπό οποιαδήποτε μορφή του υετού μετριέται με ειδικό όργανο που λέγεται βροχόμετρο το οποίο και εκφράζει το ύψος που θα αποκτούσε το ύδωρ εάν αυτό δεν εξατμιζόταν ή δεν το απορροφούσε το έδαφος ή δεν διέρρεε στη θάλασσα.

Εκ των παραπάνω γίνεται σαφές ότι η ομίχλη, η πάχνη και η δρόσος δεν ανήκουν στις μορφές του υετού.⁶

1.4 Βροχή

Η **Βροχή** ανήκει στα "υδατώδη μετεωρολογικά κατακρημνίσματα" ή υδρόμετρα όπως ονομάζονται τα διάφορα φαινόμενα του νετού. Σχηματίζεται όταν τα μόρια των υδρατμών που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα και δημιουργούν τα νέφη ή σύννεφα συμπυκνώνονται πάνω σε ένα κέντρο συμπύκνωσης, συνήθως έναν κόκκο σκόνης, και αρχίζουν έτσι να σχηματίζουν σταγόνες.

Όταν η μάζα της σταγόνας ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο, έλκεται λόγω βαρύτητας και πέφτει στη γη. Μερικές φορές, η βροχή δεν φθάνει στο έδαφος όταν ο αέρας ανάμεσα στα σύννεφα και στο έδαφος είναι πολύ ξηρός.

Η διάμετρος των σταγονιδίων της βροχής που φθάνουν μέχρι την επιφάνεια της Γης κυμαίνεται από 0,05-0,06 εκ. Όταν βεβαίως έλθουν σε επαφή με ψυχρή επιφάνεια μπορεί και να παγώσουν.

Η ποικιλία της ζωής και η καλή καρποφορία της Γης εξαρτώνται από την ποσότητα του νερού που θα πέσει στη Γη. Το νερό της βροχής δεν είναι απόλυτα καθαρό, ιδίως στις βιομηχανικές περιοχές. Επειδή το νερό έχει πολλές διαλυτικές ιδιότητες και διαλύει ακόμη και τα αέρια που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα έχει ως συνέπεια να παρουσιάζει γεύση όξινη, εξ ου και "όξινη βροχή". Επίσης, κατά την κατακρίμνηση παρασύρονται και άλλες ουσίες που δεν διαλύονται στο νερό ή δεν προλαβαίνουν να διαλυθούν. Έτσι η βροχή κατά την πτώση της παρασύρει κονιορτό, καπνίες καθώς και άλλα συστατικά που μολύνουν την ατμόσφαιρα. Αυτό γίνεται αντιληπτό από τα λασπώδη κατάλοιπα με τα οποία λερώνονται αντικείμενα, αυτοκίνητα κ.λπ. όταν βρίσκονται σε ακάλυπτους χώρους.

Μερικές φορές η βροχή είναι κοκκινωπή. Τέτοια βροχή παρατηρείται και στη χώρα μας όπως και σε άλλες Μεσογειακές Χώρες, γνωστές και ως "αιματοειδείς βροχές". Αυτές οφείλονται σε ανέμους νοτίων διευθύνσεων, οι οποίες μεταφέρουν από την Β. Αφρική πολύ λεπτή κοκκινωπή άμμο, όπου την παρασύρει η βροχή κατά την πτώση της.⁷

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΟΞΙΝΗ ΒΡΟΧΗ

2.1 Εισαγωγή

Εδώ και μερικές δεκαετίες η βιομηχανική δραστηριότητα εξαπλώνεται ραγδαία σε όλο και περισσότερα σημεία στον πλανήτη. Καθημερινά απελευθερώνονται χιλιάδες τόνοι αποβλήτων σε αέρα, στεριά και θάλασσα, μολύνοντας το περιβάλλον και κατά συνέπεια την ίδια μας την ζωή. Αυτή είναι η εποχή, που εξαιτίας μας, αποφάσισε η φύση να μας κηρύξει έναν πόλεμο, χρησιμοποιώντας εναντίον μας τα ίδια μας τα όπλα προκαλώντας όλο και περισσότερα προβλήματα ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Μια μορφή ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αποτελεί το φαινόμενο της «όξινης βροχής». Με τον όρο αυτό εννοούμε την απόθεση μέσω κατακρμνησμάτων (της βροχής, του χιονιού ή της υγρασίας), οξέων στην επιφάνεια του πλανήτη προκαλώντας έτσι φοβερές καταστροφές στο περιβάλλον.

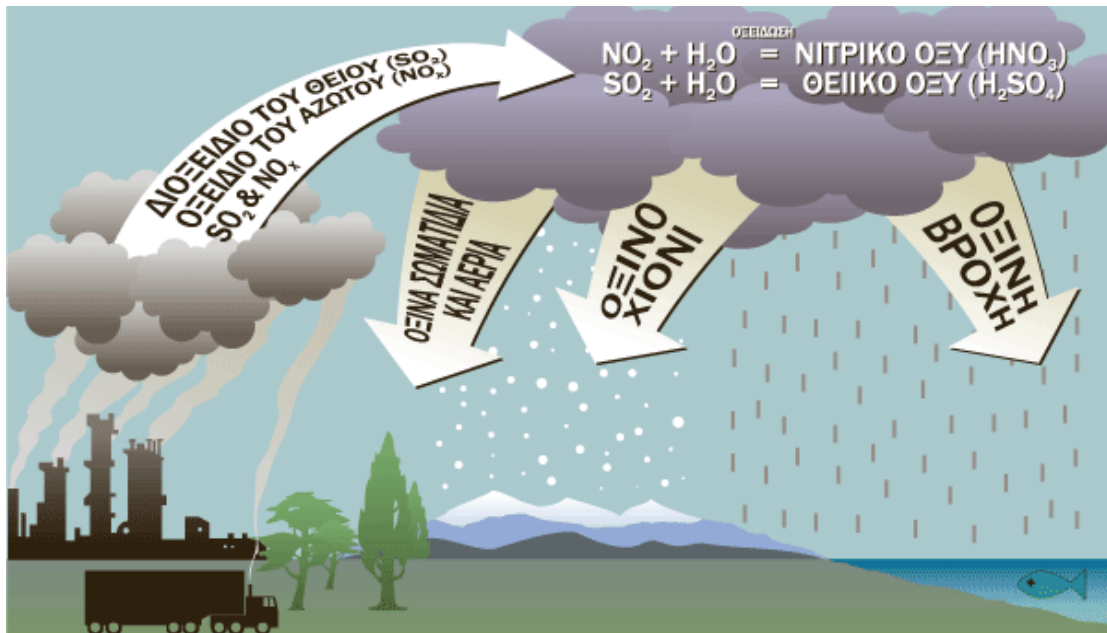
Επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην υγεία λόγω αυτού του φαινομένου έχουν παρουσιαστεί στις περισσότερες βιομηχανικές χώρες, ενώ επεκτείνεται στις μέρες μας σε όλες τις αναπτυσσόμενες περιοχές. Οι επιπτώσεις που φέρει το φαινόμενο αυτό, εντοπίζονται στα δασικά, εδαφικά και υδάτινα συστήματα, καθώς καταγράφονται επιδράσεις και στην υγεία του ανθρώπινου σώματος. Επιπλέον, επιταχύνει το χρόνο φθοράς των οικοδομικών υλικών και χρωμάτων, και ιστορικής σημασίας πολιτιστικών μνημείων (γυψοποίηση). Τέλος, η δημιουργία πλεονάσματος θρεπτικού αζώτου, υπό μορφή αμμωνίας και οξειδίων του αζώτου, μπορεί να προκαλέσει ευτροφισμό και να διαταράξει την ισορροπία των υδάτινων συστημάτων και να οδηγήσει σε μείωση βιοποικιλότητας.⁸

2.1.1 Ορισμός της όξινης βροχής

Το φαινόμενο της όξινης βροχής οφείλεται στη ρύπανση της ατμόσφαιρας και κατά το οποίο ποσότητες κυρίως θεικού και νιτρικού οξέος φτάνουν στο έδαφος σε υγρή μορφή, μεταφερόμενες με τη βροχή, το χιόνι, την ομίχλη, το χαλάζι κ.ά, με καταστρεπτικές επιπτώσεις στη χλωρίδα και την πανίδα, καθώς και σε κτίρια. (εικ.3) Δεν πρέπει, ωστόσο, να τη συγχέουμε με τη μη μολυσμένη βροχή που πέφτει, η οποία είναι φυσικώς ελαφρώς όξινη.⁹

Η όξινη βροχή είναι ένα μεγάλο οικολογικό πρόβλημα πάνω στη Γη. Λόγω της οξύνισης των λιμνών και των ποταμών πεθαίνουν οι υδρόβιοι οργανισμοί οι οποίοι δεν μπορούν να ζήσουν σε αυτό το όξινο περιβάλλον, καταστρέφει την χλωρίδα και μολύνει το πόσιμο νερό.¹⁰

Ο όρος "*όξινη βροχή*" χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για να περιγράψει τη ρυπαίνουσα βροχή στο Μάντσεστερ της Βρετανίας στη διάρκεια της βιομηχανικής επανάστασης τον 19ο αιώνα και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται, παρά το ότι θεωρείται περισσότερο δόκιμος ο όρος "*όξινη κατακρήμνιση*".⁹



Εικόνα 3. Σχηματισμός όξινης βροχής.

2.2 Παράγοντες ρύπανσης

Το διοξείδιο του θείου (SO₂) και τα οξείδια του αζώτου, που προέρχονται από την αλόγιστη καύση διαφόρων αποθεμάτων, όπως είναι το πετρέλαιο και το κάρβουνο, αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες ρύπανσης του περιβάλλοντος. Πηγές απελευθέρωσης θεωρούνται οι καμινάδες βιομηχανιών και σπιτιών καθώς και οι εξατμίσεις των αυτοκινήτων, των αεροπλάνων και σε γενικές γραμμές όλων των μέσων μεταφοράς.

Για την παραγωγή του διοξειδίου του θείου υπεύθυνος είναι ο άνθρωπος, καθώς χρησιμοποιεί καύσιμα τα οποία με την καύση τους απελευθερώνουν το θείο (S) που περιέχουν. Ένα, παραδείγματος χάρη τέτοιο καύσιμο, είναι η βενζίνη που χρησιμοποιούμε στα αυτοκίνητά μας. Το διοξείδιο του θείου μετατρέπεται στην ατμόσφαιρα σε θειικό οξύ (H₂SO₄) το οποίο καταλήγει στο έδαφος χρησιμοποιώντας ως μέσο την βροχή, προκαλώντας έτσι φοβερές καταστροφές.

Βασικά θύματα του SO₂ είναι τα φυτά, τα οποία "καίγονται" και καταστρέφονται. Επιπλέον, προκαλεί σημαντική καταστροφή στα μνημεία. Αντιλαμβανόμαστε, λοιπόν, πόσο σημαντικό είναι αυτού του είδους ρύπανσης για μια χώρα σαν την Ελλάδα, όπου υπάρχουν χιλιάδες αρχαίων μνημείων.¹¹

2.2.1 Σχηματισμός- Εμφάνιση

Οι κυριότερες αιτίες του φαινομένου της όξινης βροχής είναι κυρίως οι ενώσεις του θείου (SO₂) και του αζώτου (NO_x), καθώς και των προϊόντων οξειδώσεώς τους. Ταυτόχρονα βέβαια, υπάρχουν και άλλοι αέριοι ρύποι που συμμετέχουν σε μικρότερο βαθμό σε αυτό το επικίνδυνο φαινόμενο. Πιο συγκεκριμένα, οι ουσίες στις οποίες οφείλεται η απόθεση οξέων είναι το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου.

Το διοξείδιο του θείου (SO₂), που εκλύεται από βιομηχανίες που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα. Το SO₂ είναι χημικά πολύ ενεργό γιατί στην ατμόσφαιρα σχηματίζει SO₃ που είναι διαλυόμενο στη βροχή και τους

ποταμούς και μετατρέπεται σε H_2SO_4 ή σε όξινα θειικά άλατα, όταν η εξουδετέρωση του οξέος δεν είναι πλήρης. Τα προϊόντα αυτά μπορούν να υπάρχουν στην ατμόσφαιρα ως σωματίδια ή σταγονίδια και να καταλήξουν στη ξηρά ή στις λίμνες σαν όξινη βροχή, η οποία μειώνει το pH των νερών των λιμνών και των ποταμών .

Επιπλέον, στη σύσταση της όξινης βροχής πέρα από τα θειικά οξέα, συμμετέχουν και τα νιτρικά οξέα, που δημιουργούνται από αποβαλλόμενα στην ατμόσφαιρα οξειδία του αζώτου ,τα οποία αποπλυνόμενα με τις βροχοπτώσεις και δημιουργούν και αυτά όξινη βροχή.

Βλάβες προκαλεί στη χλωρίδα, στην πανίδα, στην υγεία στο έδαφος και στη σύσταση των επιφανειακών και υπογείων υδάτων . Πέρα από τις σοβαρές υγειονομικές, οικολογικές και οικονομικές επιπτώσεις της, η όξινη βροχή επιδράει στα δομικά υλικά και στα μάρμαρα, προκαλώντας έτσι σοβαρότατη φθορά στο μνημειακό και πολιτιστικό περιβάλλον . Έτσι λοιπόν, το $CaCO_3$ ως συστατικό των μαρμάρων προσβάλλεται από το SO_2 και το βρόχινο νερό και μετατρέπεται σε γύψο.

Ο σχηματιζόμενος γύψος στην επιφάνεια του μαρμάρου απομακρύνεται με τη βροχή , ενώ μία νέα επιφάνεια υγιούς μαρμάρου δέχεται με τη σειρά της νέα επίδραση από τα καυσαέρια που περιέχουν SO_2 καθώς και τα οξειδία του αζώτου (NO_x), που περιέχονται κυρίως στα καυσαέρια των αυτοκινήτων. Οι ενώσεις αυτές, αντιδρούν με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας και το οξυγόνο σχηματίζοντας θεικό (H_2SO_4) και νιτρικό οξύ (HNO_3) αντίστοιχα. Στη συνέχεια, διαλύονται στο νερό της βροχής ή στα σταγονίδια της ομίχλης, προσβάλλοντας το έδαφος, το νερό, τα φυτά, τα ζώα και τα κτίσματα. Με τη βοήθεια των ανέμων, το SO_2 και τα NO_x μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις και να δημιουργήσουν όξινη βροχή χιλιόμετρα μακριά από τον τόπο εκπομπής τους.

Το νερό της βροχής φυσιολογικά έχει pH 5,6 έως 6,5. Με τον όρο pH εννοούμε το μέγεθος που δηλώνει αν ένα διάλυμα είναι ουδέτερο (pH=7), όξινο (pH μικρότερο του 7) ή αλκαλικό (pH μεγαλύτερο του 7). Σε περίπτωση όξινης βροχής το pH κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 4 και 4,6, ενώ κατά καιρούς μετρούνται και πιο ακραίες τιμές του pH (έως και 2,4).

Σύμφωνα με έρευνες , κατά τα τέλη της δεκαετίας του 1980, αποδείχτηκε ότι η ομίχλη, λόγω των πολλών μικρών σταγονιδίων από τα οποία αποτελείται, προσφέρει τελικά μεγαλύτερη επιφάνεια προσρόφησης στα SO_2 και NO_x και γι' αυτό περιέχει συνήθως πολλαπλάσιες ποσότητες θειικού και νιτρικού οξέος από ότι άλλες μορφές όξινης κατακρήμνισης.⁹

2.3 Επιπτώσεις όξινης βροχής

Η όξινη βροχή είναι ένα φαινόμενο, το οποίο προκαλεί πολλά προβλήματα στον άνθρωπο αλλά και στο περιβάλλον. Κάποια από αυτά είναι η όξυνση στα ύδατα όπως σε λίμνες και ποτάμια, η καταστροφή δέντρων σε μεγάλα ύψη (π.χ. κόκκινα έλατα, πάνω τα 650 μέτρα) και πολλών ευαίσθητων εδαφών στα δάση και η επιτάχυνση της φθοράς των οικοδομικών υλικών και χρωμάτων. Ακόμη μπορεί να αποβεί μοιραία για τον άνθρωπο, ο οποίος τρέφεται ή πίνει νερό από μολυσμένα ποτάμια και λίμνες.

Το πρόβλημα της όξινης βροχής άρχισε να γίνεται ιδιαίτερα έντονο από τη δεκαετία του 1970 και μετά. Η επίδρασή της όξινης βροχής είναι ιδιαίτερα καταστρεπτική στα φυτά και ειδικότερα στα δέντρα, που λόγω της μεγάλης

διάρκειας ζωής τους, εκτίθενται μακροχρόνια σε αυτήν. Τα φύλλα ή οι βελόνες των δέντρων κιτρινίζουν και πέφτουν, ο μεταβολισμός τους διαταράσσεται και το ριζικό σύστημα υφίσταται βλάβες, με αποτέλεσμα να προσλαμβάνονται μικρότερες ποσότητες θρεπτικών αλάτων και νερού. Επιπλέον, το ίδιο το έδαφος υποβαθμίζεται, γιατί τα οξέα που φτάνουν σ' αυτό σε μεγάλη ποσότητα καταστρέφουν τους ωφέλιμους μικροοργανισμούς, διαλύουν μεγάλες ποσότητες θρεπτικών αλάτων που κατόπιν απομακρύνονται με το νερό της βροχής και απελευθερώνουν τοξικά για τα φυτά βαρέα μέταλλα (κυρίως ιόντα αργιλίου και μαγγανίου).

Συνέπεια όλων αυτών είναι η εξασθένηση των δέντρων, τα οποία γίνονται πλέον ευάλωτα σε βακτήρια, ασθένειες κ.ά και τελικά πεθαίνουν. Σύμφωνα με έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, το 1991 το 22% των δασών στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είχε προσβληθεί από την όξινη βροχή, ενώ αν υπολογιστούν και οι ανατολικοευρωπαϊκές χώρες, το ποσοστό αυξάνεται σε 30%. Οι χώρες, στις οποίες διαπιστώθηκαν οι σοβαρότερες επιπτώσεις είναι η Πολωνία, η Βρετανία και η Τσεχία. Παράλληλα, έντονο είναι το πρόβλημα και σε δάση των βορειοανατολικών Η.Π.Α. και του ανατολικού Καναδά.

Οι επιδράσεις της όξινης βροχής είναι καταστρεπτικές και στα επιφανειακά νερά, κυρίως σε λίμνες και στα μικρά ποτάμια, καθώς η αυξημένη συγκέντρωση οξέων καταστρέφει το πλαγκτόν, την υδάτινη χλωρίδα και τα αβγά αμφιβίων και ψαριών. Κατά καιρούς η όξινη βροχή έχει θεωρηθεί υπεύθυνη και για μαζικούς θανάτους ψαριών, όπως συνέβη σε σκανδιναβικές λίμνες στις αρχές της δεκαετίας του 1970 και σε μικρά ποτάμια της Γερμανίας στα τέλη της δεκαετίας του 1980. Επίσης, ιδιαίτερα αυξημένη ποσότητα όξινης βροχής δέχονται λίμνες και ποταμάκια κατά την άνοιξη με την τήξη των πάγων.

Η όξινη βροχή έχει επιπτώσεις ακόμη και στα κτίρια. Μπορεί να καταστρέψει τα μνημεία και στα αγάλματα κατασκευασμένα από ορυκτό υλικό, που είναι συνήθως ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), όπως ασβεστόλιθος, μάρμαρο κ.ά. Το θειικό οξύ που περιέχεται στην όξινη βροχή ενώνεται με το ασβέστιο και δίνει γύψο (CaSO_4), σύμφωνα με την παρακάτω αντίδραση:



Έτσι λοιπόν, το ανθρακικό ασβέστιο μετατρέπεται σε γύψο, ο οποίος στη συνέχεια ενώνεται με τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας ή το νερό της βροχής, φουσκώνει και σκάει, με αποτέλεσμα τη διάβρωση ή την αποσάθρωση του υλικού.

Το θειικό οξύ επιδρά επίσης και στις εξωτερικές υαλογραφίες των κτιρίων, διότι αποχρωματίζει και θαμπώνει το γυαλί. Καταστροφές μνημείων εξαιτίας της όξινης βροχής έχουν σημειωθεί σε αρκετές χώρες σε όλο τον κόσμο.

Τέλος, για την αντιμετώπιση της όξινης βροχής, καθίσταται αναγκαίος ο περιορισμός του διοξειδίου του θείου και των οξειδίων του αζώτου. Τα σημαντικότερα μέτρα προς την κατεύθυνση αυτή περιλαμβάνουν την αποθείωση των καυσαερίων των εργοστασίων και την εφαρμογή καταλύτη καυσαερίων στα αυτοκίνητα.⁹

2.3.1 Επιπτώσεις στον ανθρώπινο οργανισμό

Όταν ο άνθρωπος εκτεθεί σε οξείδια SO_2 και NO_x , τότε δημιουργούνται σοβαρά δερματικά, οφθαλμολογικά και αναπνευστικά προβλήματα.

Η όξινη βροχή, έχει την ίδια αίσθηση και την ίδια γεύση με την κανονική βροχή. Οι βλάβες που μπορεί να προκαλέσει όμως στον άνθρωπο δεν είναι τόσο άμεσες. Το να περπατάει κάποιος στην όξινη βροχή ή ακόμη και να κολυμπάει σε κάποια όξινη λίμνη, δεν είναι παραπάνω επικίνδυνο από το να περπατάει ή να κολυμπάει μέσα σε καθαρό νερό. Ωστόσο, οι ρύποι που προκαλούν την όξινη βροχή (διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου), μπορούν ακόμη να βλάψουν την υγεία του ανθρώπου.

Τα αέρια αυτά, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αντιδρούν στην ατμόσφαιρα σχηματίζοντας διάφορα μόρια από ενώσεις αζώτου και θείου και μπορούν να ταξιδέψουν σε μεγάλες αποστάσεις με την βοήθεια ανέμων, μέσα σε κατοικημένες περιοχές όπου καθένας μπορεί να τα εισπνεύσει. Οι καθαρές ενώσεις μπορούν ακόμη να διεισδύσουν και μέσα σε κλειστούς χώρους. Πολλές επιστημονικές έρευνες έχουν αναγνωρίσει μια σχέση μεταξύ υψηλού επιπέδου καθαρών ενώσεων και αυξημένης παρουσίασης ασθενειών και πρόωρων θανάτων από καρδιακές και πνευμονικές δυσλειτουργίες, όπως το άσθμα και η βρογχίτιδα. Έρευνες υποστηρίζουν ότι η όξινη βροχή έχει άμεση σχέση με τα αναπνευστικά προβλήματα στις ευαίσθητες ηλικίες, όπως τα παιδιά και τα άτομα της τρίτης ηλικίας.

Η επίδραση διαφόρων ρύπων στον ανθρώπινο οργανισμό φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:⁸

Πίνακας 1. Αέριοι ρύποι και η επίδρασή τους στον άνθρωπο.

ΡΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΕΚΘΕΣΗΣ	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	Επιπτώσεις στην υγεία μετά από λιγότερες από 24 ώρες έκθεσης.	Αποτελέσματα στον αναπνευστικό συριγμό και λαχάνιασμα. Οι ασθματικοί, είναι η πιο ευαίσθητη κοινωνική ομάδα.
Διοξείδιο του θείου (SO ₂)	Σε συνδυασμό με τις επιπτώσεις SPM για την υγεία μετά από περισσότερες από 24 ώρες έκθεσης	Ακόμα και μικρά επίπεδα έκθεσης προκαλούν θάνατο και μπορούν να οδηγήσουν σε χρόνια αποφρακτική πνευμονική νόσο.
	Μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα	Το αναπνευστικό σύστημα καταστρέφεται, με αύξηση των σχετικών ασθενειών.
Διοξείδιο του αζώτου (NO ₂)	Επιπτώσεις στην υγεία μετά από λιγότερες από 24 ώρες έκθεσης	Η έμμεση έκθεση στο CO οδηγεί σε μια μείωση της φέρουσας ικανότητας του αίματος και μεταβάλλει την απελευθέρωση του οξυγόνου από την αιμοσφαιρίνη.
	Μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα	Τα πνευμόνια, η σπλήνα, το συκώτι και το αίμα

Μονοξείδιο
του άνθρακα
(CO)

Επιπτώσεις στην
υγεία μετά από
λιγότερες από 24
ώρες έκθεσης

Μετά από μεγάλο
χρονικό διάστημα

Επιπτώσεις στην
υγεία μετά από
λιγότερες από 24
ώρες έκθεσης

Μετά από μεγάλο
χρονικό διάστημα

Μόλυβδος
(Pb)

προσβάλλονται από τη
μακρόχρονη έκθεση στο NO₂.
Τα παιδιά είναι η πιο ευαίσθητη
ομάδα.

Η έμμεση έκθεση στο CO
οδηγεί σε μια μείωση της
φέρουσας ικανότητας του
αίματος και μεταβάλλει την
απελευθέρωση του οξυγόνου
από την αιμοσφαιρίνη.

Η πρόσληψη CO με το
κάπνισμα ή λόγω εργασίας σε
μολυσμένο περιβάλλον (π.χ.
τροχονόμοι, εργαζόμενοι
συνεργείων αυτοκινήτων)
οδηγεί σε καρδιαγγειακές
παθήσεις ή θάνατο.

Οι επιπτώσεις στην υγεία
εξαρτώνται από το μέγεθος και
τη συγκέντρωση του SPM.

Αυξημένα ποσοστά βρογχίτιδας,
ειδικά στα παιδιά.

- διαπιστώνεται μείωση της
βιταμίνης D3 στα παιδιά·
- προσβάλλεται το κεντρικό
νευρικό σύστημα·
- χειροτερεύει η ακοή·
- κακές λειτουργίες του
εγκεφάλου.

Τα VOC δεν είναι ένας άμεσος
κίνδυνος για την υγεία, όμως
επειδή ακολουθούνται από το
σχηματισμό του όζοντος
αποτελούν ένα σοβαρό
πρόβλημα για την ανθρώπινη
υγεία

2.3.2 Επιπτώσεις στο περιβάλλον

α) Στα υδρόβια οικοσυστήματα

Τα νερά στα ποτάμια και στις λίμνες, εμφανίζουν υψηλή οξύτητα λόγω της όξινης βροχής. Όσο το pH του νερού μειώνεται, τόσο μειώνεται η πιθανότητα για κατάλληλες συνθήκες επιβίωσης των υδρόβιων οργανισμών, που συνεπάγεται και την κατακόρυφη μείωση αριθμού τους. Εάν ο πληθυσμός ενός είδους μειωθεί σαν αποτέλεσμα της όξινης βροχής ή της οξύτητας του νερού, τότε το οικοσύστημα ολόκληρης της θάλασσας επηρεάζεται λόγω της σχέσης κυνηγού - θηράματος της τροφικής αλυσίδας. Στην αρχή μπορεί τα αποτελέσματα να είναι ανεπαίσθητα, αλλά όσο το pH του θαλάσσιου νερού μειώνεται έχουμε τα παρακάτω αρνητικές συνέπειες:

Στην τιμή pH 5.00, μεγάλες αλλαγές γίνονται στην δομή του πληθυσμού του πλαγκτόν με επικράτηση των λιγότερο χρήσιμων μορφών. Σε pH μικρότερο του 6, δεν μπορούν να επιβιώσουν οι οστρακοφόροι οργανισμοί και τα μικρά ψάρια. Σε pH μικρότερο του 5, δεν επιβιώνουν μεγάλα ψάρια όπως είναι ο σολομός και η πέστροφα. Σε pH μικρότερο του 4 δεν μπορεί πλέον να επιβιώσει κανένας υδρόβιος οργανισμός.

Οι οικολογικές επιδράσεις της όξινης βροχής μπορούν να φανούν καθαρά σε οικοσυστήματα που είναι εξαρτημένα από το νερό, όπως ποτάμια, λίμνες και βάλτους. Αρκετές από τις λίμνες και τα ποτάμια έχουν pH μεταξύ 6 και 8, αν και μερικές λίμνες είναι όξινες από τη φύση τους, ακόμη και χωρίς το φαινόμενο της όξινης βροχής. Η όξινη βροχή αρχικά επηρεάζει τις ευαίσθητες περιοχές του νερού, που βρίσκονται σε μέρη των οποίων το έδαφος έχει περιορισμένη ικανότητα να εξουδετερώνει τις όξινες ενώσεις (ονομάζεται «χωρητικότητα αφομοίωσης»). Οι λίμνες και τα ποτάμια γίνονται όξινα στην περίπτωση που το νερό και το έδαφος που το περιβάλλουν δεν μπορεί να αφομοιώσει αρκετά την όξινη βροχή ώστε να την εξουδετερώσει.

Καθώς το νερό της όξινης βροχής ρέει μέσα στο έδαφος, στις λίμνες και τα ποτάμια μια περιοχής, απελευθερώνεται άργιλος. Σε περιοχές όπου η χωρητικότητα αφομοίωσης είναι χαμηλή, η όξινη βροχή απελευθερώνει άργιλο από το έδαφος μέσα στις λίμνες και τα ποτάμια. Ο άργιλος είναι αρκετά τοξικός για πολλά είδη υδρόβιων οργανισμών.

Έτσι, καθώς το pH σε μια λίμνη μειώνεται, οι ποσότητες του αργίλου αυξάνονται. Το χαμηλό pH μαζί μετά αυξημένα επίπεδα αργίλου είναι πολύ τοξικά για τα ψάρια. Παράλληλα, μπορεί να μην σκοτώσει απευθείας κάποια είδη ψαριών, όμως οδηγούν σε μικρότερο μέγεθος σώματος και μειωμένο βάρος, κάνοντας τα έτσι λιγότερο ικανά στο να ανταγωνιστούν για την τροφή και την παρουσία τους σε ένα μέρος. Κάποια από τα είδη των φυτών και ζώων έχουν την ικανότητα να επιβιώνουν σε όξινες συνθήκες νερού. Όμως, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα και είναι σχεδόν βέβαιο πως θα εξαφανιστούν καθώς το pH όλο και μειώνεται. Σε pH 5, τα περισσότερα αυγά των ψαριών δεν μπορούν να εκκολαφτούν. Σε ακόμη χαμηλότερα επίπεδα pH, κάποια ενήλικα ψάρια δεν αντέχουν και πεθαίνουν. Μερικές όξινες λίμνες δεν έχουν καθόλου ψάρια.

Η επίδραση του αζώτου στην επιφάνεια του νερού είναι επίσης κρίσιμη. Επιπλέον, η αρνητική επίδραση της απόθεσης του ατμοσφαιρικού αζώτου σε εκβολές ποταμών και παράκτιες περιοχές είναι επίσης σημαντική. Οι επιστήμονες υπολόγισαν ότι το 10-45% του παραγόμενου αζώτου από διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες, μεταφέρεται και αποτίθεται μέσω της ατμόσφαιρας στις εκβολές και τα παράκτια οικοσυστήματα. Το άζωτο είναι

ένας σημαντικός παράγοντας που προκαλεί ευτροφισμό (εξάντληση οξυγόνου) στις φυσικές δεξαμενές νερού.

Τα συμπτώματα του ευτροφισμού περιλαμβάνουν την άνθιση των θαλάσσιων φυκιών (τοξικά και μη-τοξικά), μείωση στην υγεία των ψαριών και οστρακόδερμων, μείωση του θαλάσσιας χλωρίδας και των κοραλλιογενών υφάλων, και αλλαγές στις τροφικές αλλαγές. Όταν η βροχή πέφτει, αποθέτει ενώσεις αζώτου (NO_x και NH_3) στο έδαφος, βλάπτοντας τις χερσαίες πηγές οικοσυστημάτων. Όσο η ποσότητα αζώτου στο έδαφος αυξάνεται, τόσο τα είδη των φυτών κι ο τρόπος που μεγαλώνουν τα δέντρα αλλάζει.⁸

β) Επίδραση στα δάση και στις καλλιέργειες

Οι ερευνητές πλέον, γνωρίζουν ότι η όξινη βροχή προκαλεί μείωση της ταχύτητας της ανάπτυξης, τραυματισμό και θάνατο των δασών. Αυτό συμβαίνει διότι η όξινη βροχή προκαλεί βλάβη στα στομάτια των φύλλων και φυλλόπτωση, με αποτέλεσμα η ζωτικότητα των δένδρων να ελαττώνεται αισθητά. Ελαττώνεται επίσης η ανάπτυξη τους και τελικά έχουμε νέκρωση των δένδρων.

Ακόμη η ρύπανση του εδάφους προκαλεί έκπλυση των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους και σε συνδυασμό με ξηρές χρονιές, φυλλόπτωση των δένδρων. Μάλιστα βρέθηκε ότι σε χρονιές με μεγάλη ρύπανση και σε συνθήκες έλλειψης νερού, τα δένδρα, κυρίως το κατώτερο τμήμα του δένδρου, παύουν να δημιουργούν ετήσιους δακτυλίους.

Από την όξινη βροχή επηρεάζονται τόσο η βλάστηση όσο και οι καρποί της. Καταστρέφεται το προστατευτικό περίβλημα των φύλλων καθώς και το σύστημα αναπαραγωγής του. Παράλληλα, συμβάλει στην απομάκρυνση των θρεπτικών στοιχείων που χρειάζονται τα φυτά. Οι ενώσεις του θείου και του αζώτου που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα από τις εκπομπές διοξειδίου του θείου και νιτρικών οξέων προκαλούν μείωση της ορατότητας.

Υπάρχουν διάφορες θεωρίες σχετικά με το πώς προκαλείται η καταστροφή των φυτών. Η θεωρία των βλαστών υποστηρίζει ότι αρχικά τα φύλλα των φυτών υφίστανται βλάβες από το όζον και ότι οι βλάβες αυτές επιταχύνουν την απόπλυση θρεπτικών συστατικών. Η απόπλυση θρεπτικών συστατικών από τα φύλλα ενισχύεται από την οξύτητα της βροχής. Τα οξείδια του αζώτου παίζουν διπλό καταστροφικό ρόλο συμβάλλοντας στο σχηματισμό του όζοντος και συμμετέχοντας στην ελάττωση του pH της βροχής.

Σύμφωνα με μια άλλη θεωρία, τη θεωρία των ριζών, το λεπτό ριζικό σύστημα καταστρέφεται από το χαμηλό pH του νερού, το οποίο διαποτίζει το χώμα. Έτσι, η πρόσληψη θρεπτικών συστατικών δε γίνεται σε βαθμό ικανοποιητικό. Κυρίως υπεύθυνα γι αυτό είναι τα θειικά, ενώ σημαντική θεωρείται κι η συμβολή των νιτρικών.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας, είναι ο ρόλος του αργιλίου. Έχει επισημανθεί ότι η απομάκρυνση ασβεστίου και μαγνησίου από το έδαφος, με ελάττωση του pH γύρω στο 4.0, μπορεί να προκαλέσει σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις διαλυμένου Al και Mn. Τα ιόντα προκαλούν βλάβη στο λεπτό ριζικό σύστημα, με αποτέλεσμα τη νέκρωση του δέντρου. Παρόλα αυτά υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες υγιή δέντρα αναπτύσσονται σε συγκεντρώσεις $\text{Al} > 2\text{ppm}$, ενώ αντίθετα βλάβες μπορούν να εμφανιστούν ακόμα και σε ασβεστούχα εδάφη.

Μια ευρύτερη θεώρηση του φαινομένου της φθοράς των δασών αποτελεί η θεωρία της πολλαπλής έντασης. Σύμφωνα με αυτή, η συνολική επίδραση των αέριων ρύπων κατά τις προηγούμενες δεκαετίες και ο συνδυασμός με διάφορα άλλα φαινόμενα, οδηγεί σε σημαντική ελάττωση της παραγωγής των υδατανθράκων στα δασικά δέντρα. Τα φυτά χάνουν το σφρίγος τους, οι ρίζες κι οι βλαστοί δεν αναπτύσσονται κανονικά και παρατηρείται μια αυξημένη προδιάθεση για προσβολή από έντομα και μύκητες, καθώς και για καταστροφή από παγετό ή ξηρασία.

Εδώ και αρκετά χρόνια, επιστήμονες, δασολόγοι και άλλοι διαφορετικών κλάδων, έχουν παρατηρήσει πως η ανάπτυξη κάποιων δασών γίνεται με μειωμένο ρυθμό, χωρίς να γνωρίζουν ποια είναι η αιτία. Τα δέντρα σ' αυτά τα δάση δεν μεγαλώνουν τόσο γρήγορα όσο στην υγιή τους κατάσταση. Τα φύλλα και τα αγκάθια παίρνουν χρώμα καφέ και στη συνέχεια πέφτουν, ενώ κανονικά θα έπρεπε να είναι πράσινα και υγιή. Σε μερικές περιπτώσεις, συγκεκριμένα δέντρα μέσα σε ολόκληρες περιοχές του δάσους, απλά πεθαίνουν χωρίς καμία άλλη προφανή αιτία.

Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι δεν είναι μόνο η όξινη βροχή που τα προκαλεί αυτά. Η μόλυνση του αέρα, τα έντομα, οι ασθένειες, η ξηρασία ή ο πολύ κρύος καιρός μπορούν επίσης να βλάψουν τα δέντρα και τα φυτά. Στην πραγματικότητα, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι επιπτώσεις της όξινης βροχής στα δέντρα συμβαίνουν λόγω της συνδυασμένης δράσης της όξινης βροχής μαζί με τους υπόλοιπους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Μετά από μια μακρόχρονη συλλογή στοιχείων για την χημεία και βιολογία των δασών, οι ερευνητές καταλαβαίνουν πως η όξινη βροχή επιδρά στο έδαφος του δάσους, στα δέντρα και στα άλλα φυτά.¹²

γ) Επιπτώσεις στα υλικά

Η όξινη βροχή και ξηρή απόθεση των όξινων σωματιδίων φέρουν σοβαρές επιπτώσεις και σε μάρμαρα, ασβεστόλιθους και άλλα πετρώματα, καθώς προκαλούν φθορές στα μέταλλα (όπως τον μπρούντζο) και ελάττωση της αξίας των χρωμάτων και πετρωμάτων (όπως το μάρμαρο και τον ασβεστόλιθο). Αυτό με την σειρά του επιφέρει μείωση της αξίας των κτισμάτων, των γεφυρών, των πολιτισμικών αντικειμένων (όπως αγάλματα, μνημεία και τάφοι) και των αυτοκινήτων.

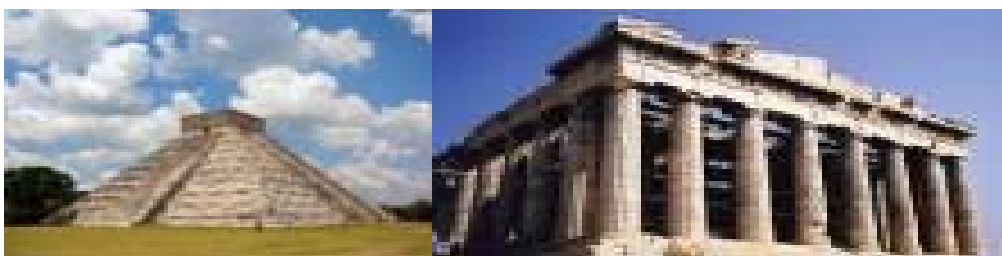
Η ξηρή απόθεση των όξινων ενώσεων μπορεί επίσης να λερώσει τα κτήρια, οδηγώντας σε αυξημένο κόστος συντήρησης. Για να μειωθεί η ζημιά στο χρώμα των αυτοκινήτων, κάποιοι κατασκευαστές χρησιμοποιούν χρώματα τα οποία είναι ανθεκτικά στο όξινο περιβάλλον, αυξάνοντας λίγο το μέσο κόστος κατασκευής.

Ο Παρθενώνας επιβίωσε περισσότερο από 2000 χρόνια.(εικ.4,β) Υπέστη σεισμούς και βομβαρδισμούς. Από πάνω του πέρασαν κατακτητές και ο άνεμος και η βροχή τον χτύπησαν επανειλημμένα. Δεν υπέστη όμως διάβρωση ούτε μεγάλες κακώσεις. Μέσα στις τελευταίες δεκαετίες έγιναν πολύ περισσότερα από ό,τι σε δύο χιλιετίες. Η όξινη βροχή του αλλοίωσε τα μάρμαρα. Οι Καρυάτιδες ήδη είναι στο μουσείο για να προστατευτούν. Σε μερικά χρόνια, εκτιμάται, ο Παρθενώνας θα έχει γίνει άμορφος και τα μάρμαρά του θα γίνονται σκόνη.

Η «*Notre dame*» στο Παρίσι, ο «*Άγιος Πέτρος*» στο Βατικανό και το περίφημο «*Taj Mahal*» της Ινδίας έχουν υποστεί βλάβες. Στη Νέα Υόρκη

υπάρχει ένας αρχαίος αιγυπτιακός οβελίσκος, «Βελόνα της Κλεοπάτρας»,(εικ.4,α) όπως λέγεται. Η μια του πλευρά εκτίθεται στους δυτικούς ανέμους της πόλης που μεταφέρουν ρυπαντές και όξινη βροχή. Όλες οι γραφές και γλυπτές παραστάσεις του οβελίσκου στην πλευρά αυτή έχουν τελείως εξαφανιστεί. Ο οβελίσκος βρίσκεται στη Νέα Υόρκη εδώ και 90 χρόνια. Η καταστροφή που έπαθε σ' αυτά τα 90 χρόνια είναι ασύγκριτα μεγαλύτερη από αυτήν που έπαθε σε 3500 χρόνια στην Αίγυπτο.

Αρκετά μέταλλα, όπως ο σίδηρος και ο χάλυβας, διαβρώνονται από τα οξέα. Μεταλλικά μέρη από τα αυτοκίνητα ή από τις γραμμές των τραινών καταστρέφονται. Επίσης τα ανθρακικά άλατα διασπώνται από τα οξέα ώστε τα πετρώματα και τα δομικά συστατικά να καταστρέφονται.



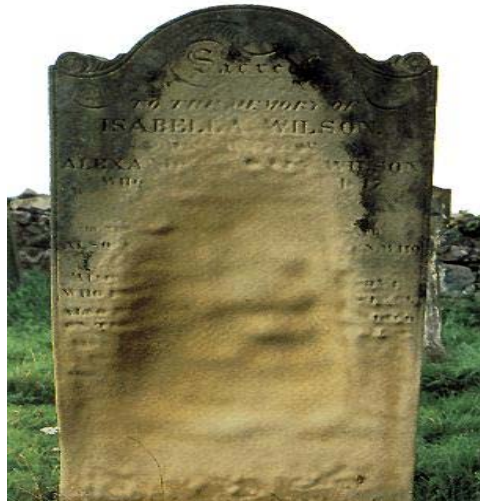
Εικόνα 4:

α)

β)

«Η εναπόθεση οξέων επιταχύνει την διάβρωση των μνημείων».

Τα μαρμάρινα μνημεία και τα αγάλματα αποτελούνται από ανθρακικά άλατα (CaCO_3), τα οποία διασπώνται από τα οξέα(εικ.5). Αρχαιολογικοί θησαυροί ανεκτίμητης ιστορικής και πολιτισμικής αξίας, όπως η *Ακρόπολη*, ή οι *πυραμίδες των Μάγια* καταστρέφονται από την όξινη βροχή. Το θειικό οξύ αντιδρά με το ανθρακικό άλας και παράγεται ένα άλλο άλας αρκετά εύθραυστο, ο γύψος. Το φαινόμενο ονομάζεται γυψοποίηση του μαρμάρου και η αντίδραση είναι η εξής: $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaSO}_4$ ¹³



Εικόνα 5. Γυψοποίηση του μαρμάρου.

2.4 Προτεινόμενη Αντιμετώπιση

Η όξινη βροχή είναι ένα μετεωρολογικό φαινόμενο με σημαντικές οικολογικές επιπτώσεις. Είναι ένα σχετικά καινούριο φαινόμενο το οποίο συνδέεται με την ρύπανση της ατμόσφαιρας. Είναι η επιστροφή των ρύπων από την ατμόσφαιρα στη γη με μορφή κατακριμνήσματος.

Το φαινόμενο έχει πάρει διεθνείς διαστάσεις επειδή η ατμοσφαιρική ρύπανση και η όξινη βροχή δε γνωρίζουν σύνορα και οι μετεωρολογικές συνθήκες διευκολύνουν τη μετακίνηση των ρύπων από τη μια περιοχή στην άλλη .

Για την επίλυση του προβλήματος θα πρέπει να περιοριστούν οι εκπομπές των αερίων που την δημιουργούν καθώς και γενικότερα να μειωθεί η ατμοσφαιρική ρύπανση για περίπου 100 χρόνια τουλάχιστον. Το πρόβλημα αυτό θα απασχολεί τους επιστήμονες και όχι μόνο και για τις επόμενες δεκαετίες.

Για καλύτερη κατανόηση των αιτιών για τις αλλαγές που γίνονται στο περιβάλλον, επιστήμονες από όλα τα κράτη που εμφανίζουν παρόμοια προβλήματα, όπως και ακαδημαϊκοί ερευνητές, μελετούν τις διαδικασίες οξύνισης. Δηλαδή, πραγματοποιούν δειγματοληψίες του αέρα και του νερού και μετράνε διάφορα χαρακτηριστικά τους, όπως το pH και η χημική τους σύσταση. Στη συνέχεια εξετάζουν τα αποτελέσματα που έχουν σε υλικά, τα οποία χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο, όπως το μάρμαρο και ο μπρούντζος. Τελικά, οι επιστήμονες εργάζονται για την κατανόηση των επιπτώσεων του διοξειδίου του θείου (SO₂) και των οξειδίων του αζώτου (NO_x) – τους ρύπους που προκαλούν απόθεση οξέων και μορίων – στη ανθρώπινη υγεία.

Για την επίλυση του προβλήματος της όξινης βροχής, οι άνθρωποι πρέπει να κατανοήσουν με ποιον τρόπο αυτή καταστρέφει το περιβάλλον. Θα πρέπει επίσης να καταλάβουν τι αλλαγές πρέπει να κάνουν στις εστίες μόλυνσης που προκαλούν το πρόβλημα. Η απάντηση σε αυτά τα ερωτήματα θα βοηθήσει να πρθούν καλύτερες αποφάσεις σχετικά με το πώς να ελέγχουν την μόλυνση του αέρα με αποτέλεσμα να μειώσουν, ή ακόμη και να εξαλείψουν την όξινη βροχή. Υπάρχουν αρκετοί εναλλακτικοί τρόποι αντιμετώπισης των επιπτώσεων της όξινης βροχής . Έτσι, πρέπει να ακολουθηθε μια σειρά από βήματα, που τελικά θα τους οδηγήσουν στο επιθυμητό αποτέλεσμα.

Ο περισσότερος ηλεκτρισμός που δίνει ενέργεια στις μέρες μας προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων (όπως ο άνθρακας) το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο. Όπως έχουμε αναφέρει οι όξινες αποθέσεις προκαλούνται από δυο ρύπους που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα ή εκπέμπονται όταν καίγονται τα καύσιμα: το διοξείδιο του θείου (SO₂) και τα οξείδια του αζώτου (NO_x).

Το θείο βρίσκεται μέσα στον άνθρακα σαν ακαθαρσία και αντιδρά με τον αέρα όταν ο άνθρακας καίγεται, σχηματίζοντας διοξείδιο του θείου. Αντίθετα, οξείδια του αζώτου σχηματίζονται κατά την καύση οποιουδήποτε ορυκτού καυσίμου.

Υπάρχουν πολλές επιλογές για την μείωση της εκπομπής του διοξειδίου του θείου, όπως χρησιμοποιώντας άνθρακα που περιέχει λιγότερο θείο, ξεπλένοντας τον άνθρακα και κάνοντας χρήση φίλτρων τα οποία απομακρύνουν χημικά το διοξείδιο του θείου από τα αέρια που βγαίνουν από τις καπνοδόχους των εργοστασίων. Επίσης, τα βιομηχανικά συγκροτήματα θα μπορούσαν να αλλάξουν καύσιμο, χρησιμοποιώντας για παράδειγμα, φυσικό αέριο, που δημιουργεί πολύ λιγότερο διοξείδιο του θείου, αντί για άνθρακα.

Κάποιες επιπλέον προτάσεις θα μπορούσαν να φέρουν καλύτερη απόδοση στην μείωση κάποιων άλλων ρύπων, όπως ο υδράργυρος και το διοξείδιο του άνθρακα. Η κατανόηση αυτών των προτάσεων είναι σημαντική για μεθόδους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μειωθεί η μόλυνση, οι οποίες θα είναι τόσο οικονομικές όσο και αποτελεσματικές. Μια άλλη λύση είναι η βιομηχανίες να χρησιμοποιήσουν μηχανήματα, τα οποία εργάζονται με την καύση ορυκτών καυσίμων. Κάθε μια από αυτές τις λύσεις έχει το δικό της κόστος και τα δικά της οφέλη. Ωστόσο, δεν υπάρχει μια και μοναδική παγκόσμια λύση.

Παρόμοιοι με τα φίλτρα των εργοστασίων, είναι οι καταλυτικοί μετατροπείς των αυτοκινήτων, οι οποίοι μειώνουν τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου. Η χρήση αυτών των συσκευών είναι απαραίτητη σε κάποιες χώρες για περισσότερα από είκοσι χρόνια. Είναι σημαντικό να δουλεύουν σωστά οι καταλύτες. Επίσης μερικές εταιρίες προσπαθούν να κάνουν μετατροπές στην βενζίνη ώστε να ελαττώσουν το άκαυστο προϊόν.

Υπάρχουν κάποιες άλλες μορφές ενέργειας από τις οποίες μπορούμε να παράγουμε ηλεκτρισμό, εκτός από τα ορυκτά καύσιμα. Αυτές είναι: η πυρηνική, η υδροηλεκτρική, η αιολική, η γεωθερμική και η ηλιακή ενέργεια. Από αυτές, η πυρηνική και η υδροηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιούνται περισσότερο σε σχέση με τις υπόλοιπες, οι τεχνολογίες των οποίων δεν έχουν αναπτυχθεί σημαντικά.

Υπάρχουν επίσης εναλλακτικές μορφές ενέργειας για τα αυτοκίνητα, όπως τα αυτοκίνητα που κινούνται με αέριο, με μπαταρίες, με κυψέλες καυσίμων και με συνδυασμό εναλλακτικής μορφής ενέργειας και βενζίνης.

Όλες οι μορφές ενέργειας έχουν κάποιο κόστος για το περιβάλλον, όπως και οφέλη. Κάποιες μορφές της είναι πιο ακριβές στην παραγωγή από άλλες, το οποίο σημαίνει πως δεν θα έχουν όλοι την οικονομική άνεση να τις αποκτήσουν. Η πυρηνική, η υδροηλεκτρική ενέργεια και ο άνθρακας είναι τα φθηνότερα στην σημερινή εποχή. Ωστόσο, αλλαγές στην τεχνολογία και στους περιβαλλοντικούς κανονισμούς μπορεί να το αλλάξει αυτό στο μέλλον. Όλοι αυτοί οι παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη όταν παίρνονται αποφάσεις για το ποια ενέργεια πρέπει να χρησιμοποιηθεί στο παρόν και ποια πρέπει να αποτελέσει επένδυση για το μέλλον.

Η απόθεση οξέων προκαλεί πολλά προβλήματα σε ένα οικοσύστημα, αλλάζοντας την σύσταση του εδάφους, όπως και την σύσταση των ποταμών περιορίζοντας τον χώρο όπου κάποια ήδη φυτών και ζώων επιβιώνουν. Επειδή είναι πολλές οι αλλαγές που γίνονται, χρειάζονται πολλά χρόνια για ένα οικοσύστημα για να επανέλθει στην φυσιολογική του κατάσταση. Για παράδειγμα, ενώ η ορατότητα μπορεί να βελτιωθεί μέσα σε μερικές μέρες, και οι μικρές ή επεισοδιακές χημικές αλλαγές σε ποτάμια παρουσιάζουν βελτίωση σε μερικούς μήνες, η χρόνια οξύνιση των λιμνών, των ποταμών, των δασών και του εδάφους μπορεί να πάρει από χρόνια, μέχρι και δεκαετίες (ακόμη και αιώνες στην περίπτωση του εδάφους) για να θεραπευτεί.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν κάποιες λύσεις που μπορούν να βρουν οι άνθρωποι για να επαναφέρουν τις λίμνες και τα ποτάμια πιο γρήγορα. Μπορεί να προστεθεί ασβεστόλιθος σε όξινες λίμνες για να μειωθεί η οξύνιση. Αυτή η διαδικασία έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς στην Νορβηγία και την Σουηδία. Μια διαδικασία ιδιαίτερα δαπανηρή, η οποία πρέπει να γίνεται επαναλαμβανόμενα για να αποτρέψει το νερό να ξαναγυρίσει στην όξινη κατάσταση. Θεωρείται σαν βραχυπρόθεσμη επιδιόρθωση σε συγκεκριμένες περιοχές και όχι σαν μια προσπάθεια μείωσης ή εξάλειψης της μόλυνσης. Επιπλέον, δεν λύνει ευρύτερα προβλήματα, όπως την αλλαγή της σύστασης του εδάφους, την μείωση της ορατότητας, την καταστροφή των υλικών και τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Ωστόσο, συχνά επιτρέπει στα ψάρια να παραμείνουν σε μια λίμνη, έτσι ώστε ο ενδογενής πληθυσμός να επιζήσει σ' αυτό το μέρος έως ότου να μειωθεί η εκπομπή ρύπων και η απόθεση οξέων στην περιοχή.

Φαίνεται ότι δεν είναι πολλά αυτά που μπορούμε να κάνουμε έτσι ώστε να σταματήσουμε την απόθεση οξέων. Όμως, όπως πολλά άλλα περιβαλλοντικά προβλήματα, επιλύονται από ενέργειες εκατομμυρίων ξεχωριστών ανθρώπων. Για αυτό καθένας από μας πρέπει να αντιληφθεί την σοβαρότητα του προβλήματος και να γίνει μέρος της λύσης. Ένα πρώτο βήμα είναι η κατανόηση του προβλήματος και της λύσης του.

Καλό θα ήταν, ο καθένας να συνεισφέρει απευθείας με το να εξοικονομεί την ενέργεια, μιας και στην παραγωγή της ανήκει το μεγαλύτερο ποσοστό του προβλήματος της απόθεσης οξέων. Για παράδειγμα, αυτά που μπορεί ο καθένας να κάνει είναι:

- Να κλείνει τα φώτα, τον υπολογιστή ή άλλες συσκευές όταν δεν είναι απαραίτητο να λειτουργούν
- Να χρησιμοποιεί ηλεκτρικές συσκευές μόνο όταν τις χρειάζεται
- Να έχει τον θερμοστάτη στους 20 °C το καλοκαίρι και στους 23 °C το χειμώνα.
- Να μονώσει το σπίτι του όσο καλύτερα μπορεί
- Να χρησιμοποιεί τα μέσα μαζικής μεταφοράς όσο πιο συχνά μπορεί ή ακόμη καλύτερα να περπατάει ή να χρησιμοποιεί ποδήλατο
- Να αγοράσει αυτοκίνητο με χαμηλές εκπομπές οξειδίων του αζώτου και να το διατηρεί σε καλή κατάσταση
- Να είναι καλά ενημερωμένος

Η αντιμετώπιση των αρνητικών επιπτώσεων της όξινης βροχής επιτυγχάνεται α) με προσθήκη βάσης, όπως το υδροξείδιο του ασβεστίου, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, ώστε να εξουδετερώνονται τα οξέα που βρίσκονται στα ποτάμια, τις λίμνες και τα εδάφη β) με την απομάκρυνση του θείου (S), από τα καύσιμα που περιέχουν θείο. Τέτοια καύσιμα είναι οι γαιάνθρακες και το ακατέργαστο πετρέλαιο γ) με την

τοποθέτηση ειδικών φίλτρων στις καμινάδες των εργοστασίων, για να δεσμεύονται οι ρύποι (πχ SO₂) πριν απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα και δ) με την τοποθέτηση καταλυτών στις εξατμίσεις των αυτοκινήτων για την μετατροπή των ρύπων (πχ NO₂) σε ουσίες πιο φιλικές προς το περιβάλλον. ε) με την εξοικονόμηση ενέργειας. Για παράδειγμα, μπορούμε να μην αφήνουμε σε λειτουργία ηλεκτρικές συσκευές που δεν χρειαζόμαστε, να σβήνουμε τα φώτα κ.ά. στ) με τη χρήση Εναλλακτικών Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), όπως η Ηλιακή ενέργεια, η υδροηλεκτρική ενέργεια, η υδάτινη ενέργεια, η βιομάζα, κ.ά. Τέλος, ακόμη μια λύση είναι ο περιορισμός των άσκοπων μετακινήσεων και η χρήση μεταφορικών μέσων φιλικών προς το περιβάλλον (πόδια, ποδήλατο, υβριδικά αυτοκίνητα, κ.ά.⁸

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα

3.1 Γενικά

Με τον όρο *ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα*, εννοούμε το νερό που προέρχεται από την ατμόσφαιρα με προορισμό το έδαφος, με οποιαδήποτε μορφή. Η μορφή με την οποία πέφτει μπορεί να είναι είτε υγρή (βροχή, δροσιά, βροχομίχλη) είτε στερεή (χαλάζι, χιόνι, πάχνη) και αέρια (υδρατμοί). Η περαιτέρω ταξινόμηση των κατακρημνισμάτων γίνεται ανάλογα με το pH, τη φυσική κατάσταση, το ύψος από το οποίο πέφτουν αλλά και τον τρόπο σχηματισμού, καθώς αναλύεται στη συνέχεια.¹⁴

3.1.1 pH

Το pH δηλώνει κατά πόσο όξινο ή πόσο αλκαλικό είναι το βρόχινο διάλυμα. Η κλίμακα, κατά την οποία μετριέται είναι από 0 έως 14. Το pH αναφέρεται στην συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου (H^+), τα οποία βρίσκονται σε ένα διάλυμα και ορίζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των ιόντων υδρογόνου [H^+] στο διάλυμα ($pH = -\log[H^+]$). Όσο περισσότερα ιόντα υδρογόνου υπάρχουν στο διάλυμα, τόσο πιο όξινο είναι αυτό και η τιμή του pH είναι <7 . Το διάλυμα όπου περιέχει ίση ποσότητα ιόντων υδρογόνου και υδροξυλίου είναι "ουδέτερο" και έχει τιμή pH ίση με 7. Υψηλότερη περιεκτικότητα σε ιόντα υδροξυλίου χαρακτηρίζει αντίστοιχα το διάλυμα ως αλκαλικό με τιμή $pH > 7$. Η κλίμακα του pH είναι λογαριθμική, πράγμα που σημαίνει ότι για μεταβολή της τιμής του pH κατά μία μονάδα, έχουμε δέκα φορές περισσότερη συγκέντρωση από τα αντίστοιχα ιόντα. Δηλαδή ένα διάλυμα με τιμή $pH=6$ είναι κατά δέκα φορές πιο όξινο από ότι ένα άλλο με τιμή $pH=7$. Αντίστοιχα, ένα διάλυμα με τιμή $pH=5$ είναι κατά εκατό φορές πιο όξινο από ένα άλλο με τιμή $pH=7$, κ.ο.κ.

Επομένως

Το βρόχινο νερό διακρίνεται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Τιμές με PH κάτω του 7 χαρακτηρίζεται **όξινο**.
- Τιμές με PH άνω του 7 χαρακτηρίζεται **αλκαλικό**.
- Τιμές με PH 7 χαρακτηρίζεται **ουδέτερο**.¹⁵

3.1.2 Φυσική κατάσταση

1)Υγρή φάση:

Σε υγρή φάση έχουμε τρία είδη υετών, τη βροχή, τη δρόσο και την ομίχλη.

➤ α)Βροχή:

Αν και πολλοί άνθρωποι θεωρούν ως βροχή οποιαδήποτε μορφή νερού που πέφτει από τα σύννεφα, για τους μετεωρολόγους, βροχή θεωρείται όταν οι σταγόνες νερού έχουν διάμετρο μεγαλύτερη η ίση από 0.05mm. Εάν είναι μικρότερες ονομάζονται *ψιχάλισμα*. Εάν, πάλι, το μέγεθος είναι τόσο μικρό που προκαλείται γρήγορη εξάτμιση και μένουν οι σταγόνες μετέωρες στον αέρα, σαν κύματα σταγονιδίων, τότε λέγονται *εξαερωμένοι υδρατμοί*.

Τέλος, όταν πέφτουν ξαφνικά σταγόνες με μεγάλη ένταση και για μικρό χρονικό διάστημα (εξαιτίας καθοδικού ρεύματος αέρα) τότε λέγεται *καταιονιστική (ντούζ) βροχή*, και αν η βροχή συνδυάζεται με αέριους διαλύτες όπως οξείδια του θείου ή του αζώτου, καλείται *όξινη βροχή*.¹⁶

➤ β)Η δρόσος

Σημείο Δρόσου.

Η ποσότητα υδρατμών του αέρα στην θερμοκρασία των 10°C καλείται θερμοκρασία σημείου δρόσου η απλά *σημείο δρόσου*. Αντιπροσωπεύει την θερμοκρασία στην οποία ο αέρας πρέπει να ψυχθεί (χωρίς μεταβολή πίεσης) για να συμβεί κορεσμός. Το σημείο δρόσου είναι ένας καλός δείκτης περιεκτικότητας υδρατμών στην ατμόσφαιρα. Υψηλές τιμές σημείου δρόσου, αντικατοπτρίζουν υψηλές συγκεντρώσεις υδρατμών και αντίστροφα.

Η διαφορά ανάμεσα στη θερμοκρασία του αέρα και το σημείου δρόσου, προσδιορίζεται εάν η σχετική υγρασία είναι υψηλή ή χαμηλή. Όταν παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση τότε η σχετική υγρασία είναι χαμηλή, ενώ όταν οι τιμές τους πλησιάζουν, τότε η σχετική υγρασία είναι υψηλή. Τέλος, όταν αυτά ταυτίζονται, ο αέρας είναι κορεσμένος και η σχετική υγρασία είναι μέγιστη, επομένως φτάνει στο 100%.

Τις καθαρές και ήρεμες νύχτες που ο αέρας έρχεται σε επαφή με ψυχρές επιφάνειες της γης, ψύχεται μέχρι το σημείο δρόσου, και καθώς οι επιφάνειες (όπως φύλλα, γρασίδι, κλαδιά) ψύχονται κάτω από αυτή την θερμοκρασία, οι υδρατμοί συμπυκνώνονται σχηματίζοντας σταγονίδια νερού που είναι γνωστό ως *δρόσος*(εικ.6). Εάν η θερμοκρασία ελαττωθεί και άλλο, τότε η δροσιά παγώνει, σχηματίζοντας μικρές σταγόνες πάγου στην δρόσο.

Αυτές οι συνθήκες συνδυάζονται με ήρεμο καιρικό και ψηλά βαρομετρικά συστήματα. Αντίθετα η απουσία δρόσου προαναγγέλλει βροχές και καταιγίδες. Όταν όμως η θερμοκρασία πέσει κάτω από το σημείο δρόσου, τότε οι υδρατμοί μετατρέπονται κατευθείαν σε πάγο(πάχνη).¹⁷



Εικόνα 6. Δρόσος

➤ **γ)Ομίχλη**

Ομίχλη ονομάζεται ένα φυσικό φαινόμενο, το οποίο παρατηρείται στην ατμόσφαιρα, πολύ κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας ή του εδάφους, και αποτελείται από πολύ μικρά υδροσταγονίδια προερχόμενα από την συμπύκνωση των υδρατμών της ατμόσφαιρας(εικ.7).

Η ομίχλη δεν είναι υδρατμοί αλλά λεπτότατα σταγονίδια νερού που βρίσκονται στον αέρα και που σχηματίστηκαν πάνω στα αναρίθμητα σωματίδια, τα οποία αιωρούνται στην ατμόσφαιρα.

Στο ερώτημα αφού το νερό είναι βαρύτερο του αέρα γιατί τα σταγονίδια δεν πέφτουν όπως η βροχή αλλά αιωρούνται, η απάντηση είναι πως πέφτουν, αλλά τα υδροσταγονίδια της ομίχλης είναι τόσο μικροσκοπικά και ελαφρά που η παραμικρή πνοή του ανέμου δεν τα αφήνει στο μεγαλύτερο μέρος τους να πέσουν στο έδαφος αλλά μένουν αιωρούμενα κοντά στην επιφάνεια της Γης. Όσα δε πέφτουν, η πτώση τους είναι πολύ αργή, τόσο που δεν γίνεται άμεσα αισθητή αυτή ως βροχή. Γίνεται όμως αντιληπτή από το αποτέλεσμα όπως τα ρούχα που υγραίνονται.



Εικόνα 7. Ομίχλη.

Κατά την παρατήρηση μιας βουνοκορφής πιθανώς αυτή να χάνεται μέσα σε νέφη, αν όμως ο παρατηρητής βρεθεί στη εν λόγω βουνοκορφή θα

διαπιστώσει ότι βρίσκεται μέσα σε ομίχλη. Συνεπώς τα σύννεφα και η ομίχλη είναι ένα φαινόμενο που μόνο το ύψος από την επιφάνεια της Γης είναι αυτό που τα προσδιορίζει.

Επειδή όπως είπαμε η ομίχλη σχηματίζεται πολύ κοντά στην επιφάνεια της γης προκαλεί μείωση της ορατότητας δημιουργώντας έτσι προβλήματα στις συγκοινωνίες ξηράς, θάλασσας και αέρα και ιδιαίτερα κατά τις απογειώσεις και προσγειώσεις των αεροσκαφών. Για τον λόγο αυτό και η ορατότητα εξετάζεται παράλληλα με την ομίχλη.¹⁷

2)Στερεή φάση

Στην κατηγορία αυτή ανήκει το χιόνι, το χαλάζι, η πάχνη και ο παγετός.

➤ α)Το χιόνι



Εικόνα 8. Χιόνι.

Χιόνι ονομάζεται ένα είδος υετού που αποτελείται κατά 100% από παγοκρυστάλλους σε μορφή χιονονιφάδων (εικ.8). Είναι μια στερεή μορφή υετού, η οποία σχηματίζεται από υδρατμούς που ψύχονται γύρω από κάποιο σωματίδιο σκόνης κάτω από το σημείο παγοποίησης και συμπυκνώνονται περνώντας κατ' ευθεία στην στερεή φάση, χωρίς να περάσουν απ' την υγρή φάση σχηματίζοντας κρυστάλλους. Η μορφή των κρυστάλλων εξαρτάται απ' την θερμοκρασία που επικρατεί μέσα στο σύννεφο και την σχετική του υγρασία. Οι διάφορες γεωμετρικές μορφές των κρυστάλλων είναι βελόνες, κίονες, πρίσματα, , πλάκες, κύπελλα, αστέρες και διάφοροι άλλοι πολυκρύσταλλοι (εικ.9).

Το αν αυτοί οι κρύσταλλοι που βρίσκονται μέσα στο σύννεφο φτάσουν στο έδαφος ως χιονόπτωση με την μορφή των γνωστών μας νιφάδων (συσσωματώματα κρυστάλλων), εξαρτάται από την ταχύτητα πτώσεώς τους. Η πιθανότητα εκδήλωσης χιονοπτώσεως είναι ανάλογη της ταχύτητας αυτής. Η μέτρηση του χιονιού γίνεται αφού προηγουμένως λιώσει και μετασχηματιστεί σε νερό, οπότε μετρείται το ύψος του ισοδύναμου νερού που προκύπτει, όπως γίνεται και με τις βροχοπτώσεις.

Το χιόνι δημιουργείται μεταξύ, κάτω ή πάνω από τα στρώματα των νεφών, ανάλογα του πλάτους και της θερμοκρασίας των νεφών, της συμπύκνωσης των υδρατμών σε θερμοκρασία κατώτερη του σημείο πήξεως αλλά με πολύ βραδύ ρυθμό. Έτσι το χιόνι αποτελείται από κρυστάλλους πάγου, οι οποίοι είναι

ενωμένοι μεταξύ τους χαλαρά και σχηματίζουν τις λευκές και ελαφρές χιονονιφάδες .

Μεγάλες ποσότητες σχηματίζονται στα ψηλά νέφη σε όλα τα πλάτη της γης . Αν και είναι κοινό στους πόλους, εν τούτοις σχηματίζεται περισσότερο στις βόρειες εύκρατες ζώνες διότι ο αέρας περιέχει περισσότερη υγρασία. Στα πολικά όρη, οροπέδια αλλά και σε ψηλότερα όρη πέφτει σε μεγάλη ποσότητα, έκταση και βάθος ώστε η πίεση των τελευταίων στρώσεων το μετατρέπει σε πάγο, σχηματίζοντας έτσι τους παγετώνες που στις πολικές περιοχές καλύπτουν χιλιάδες τετραγωνικά μίλια.

Για διάφορους τοπογραφικούς και μετεωρολογικούς λόγους οι χιονοπτώσεις ποικίλλουν σημαντικά στις κορυφές των βουνών ακόμα και αν είναι στον ίδιο παράλληλο. Τα όρια του «διαρκούς χιονιού», στις κορυφές, είναι από 300μ. υψόμετρο σε γεωγραφικό πλάτος 70°, 1.500μ. σε 60°, 2.100μ σε 50°, 3.000μ σε 40°, 3.900μ. σε 30°, 4.500 σε 20° και 5.100μ. στον Ισημερινό.



Εικόνα 9. Πολυκρύσταλλοι

Τα κρυσταλλικά συσσωματώματα των νιφάδων του χιονιού είναι κατά το πλείστον διαφανή με στιλπνές έδρες που αντανακλούν το φως και παρουσιάζουν λευκή μάζα. Το μέγεθος των κρυστάλλων τους κυμαίνεται από 0.25 έως 13 χιλιοστά (mm) και πέφτουν είτε μεμονωμένα, είτε ενωμένα σε νιφάδες που σχηματίζονται συνήθως σε ήρεμη χιονόπτωση με θερμοκρασία εδάφους 0° C ή χαμηλότερη. Τα λίαν ψυχρά νέφη σχεδόν πάντα είναι ξερά σε αντίθεση με τα θερμότερα νέφη (τα χαμηλότερα),τα οποία περιέχουν περισσότερη υγρασία και έχουν την τάση να παρασκευάζουν τους μεγαλύτερους, ταχέως αυξανόμενους και διακλαδιζόμενους κρυστάλλους.

Γενικά τα σχήματα των κρυστάλλων του χιονιού ανήκουν στο εξαγωνικό σύστημα με επικράτηση των αστεροειδών μορφών με έξι ακτίνες. Η ομορφιά και ο πλούτος τους απέσπασε τη προσοχή και το θαυμασμό των μελετητών του χιονιού από τους αρχαίους χρόνους μέχρι και σήμερα και αποδεδειγμένα θεωρείται ότι υπερτερούν σε τελειότητα και ποικιλία των κρυστάλλων οποιουδήποτε ορυκτού είδους.

α) Θετικά και αρνητικά της δημιουργίας του χιονιού

Από το χιόνι προκύπτουν πολλές ωφέλειες όμως και καταστροφές. Αρχικά, διατηρεί τη θερμότητα του εδάφους και προστατεύει τη βλάστηση αλλά και από τη τήξη του παρέχει άφθονο νερό, το οποίο τροφοδοτεί ποτάμια

και χείμαρρους. Στις πολικές περιοχές και στις κορυφές προσφέρεται θαυμάσια για επικοινωνία και μεταφορά ειδών με έλκηθρα. Συνθλιβόμενο και μετατρεπόμενο σε πάγο συντελεί στα μέγιστα στη διάβρωση του εδάφους μετατρέποντας τους βράχους σε χώμα και διανοίγοντας ρυάκια και όχθες ποταμών. Αλλά και η γρήγορη τήξη του δημιουργεί επικίνδυνες πλημμύρες, η άφθονη πτώση του φράζει δρόμους και διακόπτει συγκοινωνίες, λόγω του βάρους του δημιουργεί θραύση δένδρων και οδικών δικτύων, ενώ ακόμη σε πλαγιές εξαιτίας του βάρους του δημιουργεί χιονοστιβάδες που κατερχόμενες προξενούν καταστροφές

Στις περισσότερες όμως των περιπτώσεων, όπως στη γεωργία το χιόνι είναι αρκετά ωφέλιμο, καθώς καταστρέφει τα παράσιτα με αποτέλεσμα τα ποώδη φυτά να μην βλάπτονται. Τέλος, δεν θα πρέπει να λησμονείται και η μεγάλη προσφορά του στον αθλητισμό, στα χιονοδρομικά κέντρα και εξαιτίας αυτών στην αύξηση του τουρισμού.¹⁸

➤ β) Το χαλάζι



Εικόνα 10. Χαλάζι.

Το χαλάζι είναι ένα στερεό κατακρήμνισμα (εικ.10), το οποίο σχηματίζεται με την παρακάτω διεργασία:

Ξεκινάει, λοιπόν, με την διαδικασία της συμπύκνωσης των υδρατμών σε κάποιο πυρήνα. Όταν, δηλαδή, η υγρασία της ατμόσφαιρας συμπυκνώνεται πάνω σε σκόνη ή άλλα κέντρα συμπύκνωσης, όπως μπορεί να είναι μικρά έντομα ή κρύσταλλοι πάγου, ενώ η θερμοκρασία είναι κάτω από τους 0° Κελσίου.

Οι μικροί πυρήνες των κόκκων που σχηματίζονται κατ' αυτό τον τρόπο μεγαλώνουν γρήγορα, καθώς η τάση των κορεσμένων ατμών πάνω από τον πάγο είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη πάνω από νερό. Η λανθάνουσα θερμότητα που απελευθερώνεται από τη στερεοποίηση του νερού λιώνει το εξωτερικό περίβλημα, κάτι που επιτρέπει τη συνένωση κόκκων μεταξύ τους. Όταν ο χαλαζόκοκκος γίνει αρκετά βαρύς, ώστε να μην παρασύρεται πλέον από τον άνεμο, οι κόκκοι στη συνέχεια μεγαλώνουν, και τελικά πέφτουν προς το έδαφος. Αν αρχίσει να πέφτει παρασυρόμενη από ψυχρό καθοδικό ρεύμα τώρα, αρχίζει να λιώνει καθώς θα διέρχεται από θερμότερα στρώματα αέρα προς την βάση του νέφους, στο οποίο δημιουργήθηκε. Αν ξανασυλληφθεί από

ανοδικό ρεύμα, αρχίζει και πάλι ν' ανεβαίνει σε ψυχρότερο αέρα και ξανά παγώνει. Αυτό το "ανέβα – κατέβα " μπορεί να συμβεί πολλές φορές και κάθε φορά η σταγόνα αποκτάει ένα περίβλημα πάγου. Έτσι, εν τέλει, φτάνει στο έδαφος με πολλά περιβλήματα σαν ένα κρεμμύδι.

Οι καταστροφές από χαλάζι είναι αρκετές και εξαρτώνται φυσικά από το πλήθος των περιβλημάτων του, δηλαδή από το μέγεθός του. Αυτό μπορεί να ξεκινά από διάμετρο μικρότερη του εκατοστού και να ξεπεράσει τα 10 εκατοστά. Πρόσφατα και στην χώρα μας, Νοέμβριος 2002, έπεσε χαλάζι μεγέθους λεμονιού με σοβαρές ζημιές σε κατοικίες και αυτοκίνητα (εικ.11,12). Αν αναλογιστεί κανείς το ύψος από το οποίο έρχεται το χαλάζι π.χ. από τα 8.000 μέτρα, εύκολα αντιλαμβάνεται την ταχύτητα που αποκτά φτάνοντας στο έδαφος και την φοβερή ορμή με την οποία προσκρούει σ' αυτό. Οι ζημιές φυσικά θα είναι αναπόφευκτες στις περιουσίες των ανθρώπων και κυρίως στις καλλιέργειες. Σπάνια , σκοτώνει και ανθρώπους, όπως συνέβη τον Μάιο του 1986 στην Κίνα, 100 άνθρωποι σκοτώθηκαν, 9.000 τραυματίστηκαν και 35.000 σπίτια καταστράφηκαν από ισχυρότατη χαλαζόπτωση.

Όπως προκύπτει απ' τον τρόπο δημιουργίας του το χαλάζι , προϋποθέτει ύπαρξη ισχυρών ανοδικών και καθοδικών ρευμάτων, τα οποία συνήθως παρατηρούνται σε καταιγίδες. Αρκετές φορές αυτό το κατακρήμνισμα σημαίνει και προμήνυμα ανεμοστροβίλων. Το χαλάζι προκαλεί εκτεταμένες καταστροφές σε καλλιέργειες (εικ.13).¹⁹



Εικόνα 11. Κατεστραμμένες καλλιέργειες από το χαλάζι.



Εικόνα 12. Χαλάζι σε μέγεθος μπάλας του τένις.



Εικόνα 13. Καταστροφές που προξένησε το χαλάζι στα μέσα μεταφοράς.

➤ **Πάγνη και παγετός**



Εικόνα 14. Παγωμένη πάγνη.

γ) Πάχνη

Η πάχνη σχηματίζεται όταν κορεσμένος αέρας ψυχθεί σε θερμοκρασία ίση με το σημείο δρόσου και το σημείο δρόσου είναι κάτω από το μηδέν. Σε αυτή την περίπτωση οι υδρατμοί μετατρέπονται σε πάγο. Οι λεπτοί αυτοί παγοκρύσταλλοι, καλύπτουν την επιφάνεια του εδάφους και διάφορες άλλες εκτεθειμένες στον αέρα επιφάνειες (εικ.14).

Η πάχνη σχηματίζεται κυρίως τις ψυχρές νύχτες, όταν η θερμοκρασία κατεβαίνει κάτω από τους 0°C, οπότε οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας μεταπίπτουν από την υγρή στη στερεά κατάσταση. Η πάχνη δημιουργείται κατά την άνοιξη ή το φθινόπωρο, όταν υπάρχει χαμηλή θερμοκρασία ελλείψει ανέμου και έναστρος ουρανός.

Επειδή βλάπτει τα φυτά, οι καλλιεργητές για να τα προφυλάξουν τα σκεπάζουν με κατάλληλα καλύμματα ή ανάβουν δίπλα τους χαμηλές φωτιές.

Ο παγετός σχηματίζεται κατά τις αίθριες νύκτες του χειμώνα συνήθως τους μήνες μεταξύ Νοέμβριο και Δεκέμβριο, με την προϋπόθεση όμως να υπάρχουν άπνοια και σύννεφα. Έτσι υπό αυτές τις συνθήκες η επιφάνεια του εδάφους ακτινοβολεί θερμοκρασία στην ατμόσφαιρα με συνέπεια βαθμηδόν να παγώνει. Ομοίως και το χαμηλότερο στρώμα αέρος που έρχεται άμεσα σε επαφή με αυτή.

Τα μόρια των υδρατμών λοιπόν που βρίσκονται σε αυτό το πολύ χαμηλό υψομετρικά στρώμα της ατμόσφαιρας, της τροπόσφαιρας, αγγίζοντας τις ψυχρές επιφάνειες των σωμάτων αρχίζουν να συμπυκνώνονται και να κολλούν σε αυτές έλκοντας και άλλα μόρια υδρατμών.

δ) Παγετός

Όσο ωφέλιμη είναι για την γεωργία η δρόσος και το χιόνι, τόσο καταστρεπτικός αποδεικνύεται ο παγετός, ακριβώς επειδή σχηματίζεται σε θερμοκρασία κάτω από το 0° C. Στη θερμοκρασία αυτή, οι χυμοί των φυτών όπως και οι καρποί τους παγώνουν και στερεοποιούνται με συνέπεια την ολοκληρωτική καταστροφή τους (εικ.15).

Έτσι προκειμένου να «καταπολεμηθεί» ο παγετός σε όλες σχεδόν τις χώρες σήμερα έχουν οργανωθεί ειδικές Υπηρεσίες Πρόγνωσης και Προειδοποίησης Παγετού. Οι χώρες που έχουν οργανώσει τέτοιες υπηρεσίες διαθέτουν ικανούς μετεωρολόγους με μεγάλη πείρα, οι οποίοι επανδρώνουν κατά ομάδες αντίστοιχα κλιμάκια στα πιο ευάλωτα τουλάχιστον από παγετό διαμερίσματα (περιοχές) της επικρατείας τους, με κύρια αποστολή την έγκαιρη προειδοποίηση των αγροτών για επαπειλούμενο κίνδυνο.



Εικόνα 15. Παγετός.

Για την «καταπολέμηση» του παγετού ακολουθούνται συνήθως τρεις τρόποι: ή ανάβουν φωτιές με απλές θερμάστρες πετρελαίου ή με εγκατάσταση φυσικού αερίου, ή εξακοντίζουν νερό με δίκτυο σωληνώσεων ή τέλος, θέτουν σε λειτουργία κατάλληλα εγκατεστημένους ανεμιστήρες. Και οι τρεις αυτοί τρόποι επιτυγχάνουν την θέρμανση των κατωτέρων στρωμάτων του αέρα ώστε τουλάχιστον να διατηρείται η θερμοκρασία του, 1 βαθμού Κελσίου. Τα τελευταία χρόνια άρχισε και στην Ελλάδα η προσπάθεια πρόγνωσης και καταπολέμησης του παγετού.²¹

3.1.3 Ύψος αφετηρίας

Η πτώση της βροχής από τα σύννεφα ονομάζεται βροχόπτωση. Η ένταση της βροχόπτωσης, μετριέται με βάση τα χιλιοστά βροχής που πέφτουν ανά ώρα και μετριέται με ένα ειδικό όργανο, το βροχόμετρο. Οι μετεωρολόγοι ανάλογα με την ένταση της βροχόπτωσης και ανάλογα με το παρατηρούμενο ύψος την κατατάσσουν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- **Ασθενής**: < 2 mm/h. Συνήθως φθάνει τα 0,5 mm/h.

Η βροχή αυτή προέρχεται από στρωματόμορφα σύννεφα πάχους μικρότερου των 2 χλμ.

- **Μέτρια**: 2-6 mm/h.

- **Ισχυρή**: >6 mm/h., όταν το ύψος της βροχής σε μισή ώρα είναι μεγαλύτερο των 4 mm. Η βροχή αυτή είναι απότομη με μεγάλες σταγόνες και πολλές φορές συνοδεύεται και από χαλάζι.²⁰

3.1.4 Τρόπος σχηματισμού

Βροχές κατακόρυφης μεταφοράς: Ο τύπος αυτός της βροχής προέρχεται από σύννεφα ανοδικών ρευμάτων δηλαδή από σωρείτες και σωρειτομελανιές. Οι χώρες οι οποίες βρίσκονται μακριά από τον Ισημερινό έχουν βροχές αυτού του τύπου, ιδιαίτερα το Καλοκαίρι.

Βροχές του Ανάγλυφου ή Ορογραφικές βροχές: Οι βροχές τέτοιου τύπου παρατηρούνται κυρίως στις βουνοπλαγιές που έχουν προσανατολισμό προς τις ακτές. Ο αέρας που πνέει επάνω από τις θάλασσες και του Ωκεανούς είναι γεμάτος με υδρατμούς. Όταν φθάσει στη ξηρά έχει να υπερπηδήσει πάνω από τα βουνά που θα συναντήσει. Καθώς λοιπόν ανυψώνεται πάνω στις βουνοπλαγιές ψύχεται, οι υδρατμοί συμπυκνώνονται και τους εγκαταλείπει ως βροχή. Στη συνέχεια, όταν ο αέρας κατέρχεται από την άλλη πλευρά είναι πλέον σχεδόν χωρίς υδρατμούς. Για αυτό και οι βουνοπλαγιές που έχουν προσανατολισμό αντίθετα των ακτών έχουν γενικά κλίμα ξηρό.

Μετωπικές βροχές ή Βροχές μετώπου: Σε αρκετές περιοχές της Υδρογείου ο σπουδαιότερος τύπος βροχοπτώσεων είναι οι "μετωπικές βροχές". Καλύπτουν πολλές εκατοντάδες χιλιομέτρων μόνο σε μία ημέρα. Δημιουργούνται καθώς οι άνεμοι μεταφέρουν θερμότητα από τις τροπικές περιοχές προς τους Πόλους και στα μέσα γεωγραφικά πλάτη. Ενώ άλλοι άνεμοι αντιθέτων διευθύνσεων από τις αρκτικές περιοχές πνέουν προς τον Ισημερινό.

Στην περιοχή που συναντώνται σχηματίζουν μέτωπο. Επίσης σχηματίζεται ύφεση καθώς ο θερμός αέρας ανέρχεται πάνω από τον ψυχρό. Αυτή η ύφεση δημιουργεί συχνά σταθερή βροχή σε περιοχές μεγάλης έκτασης.

Οξίνη βροχή: χαρακτηρίζεται η βροχόπτωση που περιέχει ρύπους, όπως τα διαλύματα θειούχων ενώσεων που επιδρούν δυσμενώς στα φυτά και στα ζώα. Οι ρυπογόνες αυτές ουσίες, οι οποίες μολύνουν την ατμόσφαιρα είναι προϊόντα καύσης ορυκτών υλών όπως το πετρέλαιο και οι γαιάνθρακες.²⁰

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Αέριοι ρύποι



Εικόνα 16. Μόλυνση της ατμόσφαιρας.

4.1 Ο άνθρακας

Ο άνθρακας είναι ένα από τα 27 απαραίτητα χημικά στοιχεία για τη ζωή. Μαζί με το υδρογόνο, το οξυγόνο και το άζωτο αποτελούν, σε ποσοστό, το 96% (κατά βάρος) των ζωντανών οργανισμών.

Το χημικό στοιχείο *Άνθρακας* είναι αμέταλλο με ατομικό αριθμό 6 και ατομικό βάρος 12,011. Έχει θερμοκρασία τήξης 3500 βαθμούς Κελσίου και θερμοκρασία βρασμού 4827 βαθμούς Κελσίου. Το χημικό του σύμβολο είναι το C. Ο άνθρακας εμφανίζεται με διάφορες αλλοτροπικές μορφές. Μια από αυτές είναι οι *γαιάνθρακες*, ορυκτοί άνθρακες οργανικής προέλευσης σε διάφορες μορφές.

Οι γαιάνθρακες αποτελούν την κύρια καύσιμη ύλη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε παγκόσμια κλίμακα και δεύτερη σε ποσότητα ενεργειακή πηγή μετά το πετρέλαιο. Ανάλογα με την σύστασή τους διακρίνονται στις εξής κατηγορίες: τύρφη, λιγνίτης, υποπισσούχοι γαιάνθρακες, πισσούχοι γαιάνθρακες και ανθρακίτης. Η καύση του άνθρακα αποτελεί την μεγαλύτερη πηγή εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα, και άλλων αερίων ρύπων, που θεωρείται η βασικότερη αιτία πρόκλησης του φαινόμενου του θερμοκηπίου και κατά συνέπεια των ανεξέλεγκτων κλιματολογικών αλλαγών σε παγκόσμιο επίπεδο, που έχουν ήδη γίνει αισθητές, με καταστροφικές συνέπειες τόσο για το περιβάλλον όσο και για την ίδια τη ζωή.

Οι ρύποι από την καύση του γαιάνθρακα προέρχονται από τις ανόργανες ή οργανικές προσμίξεις που υπάρχουν στα κοιτάσματα, την ατελή καύση του άνθρακα και την οξειδωση συστατικών του αέρα λόγω των υψηλών θερμοκρασιών μέσα στους καυστήρες. Τα κυριότερα παραπροϊόντα και απόβλητα από την καύση του άνθρακα είναι:

1) οι αέριοι ρύποι, όπως τα οξείδια του άνθρακα (μονοξείδιο CO και διοξείδιο του άνθρακα CO₂), τα οξείδια του θείου (SO_x), και τα οξείδια του αζώτου (NO_x),

2) η τέφρα, η οποία παραμένει στον καυστήρα και συνήθως αξιοποιείται στην παραγωγή τσιμέντου ή απορρίπτεται στο περιβάλλον, αλλά και η τέφρα που διαφεύγει στην ατμόσφαιρα (αιωρούμενα σωματίδια ή ιπτάμενη τέφρα), η οποία είναι εμπλουτισμένη με **βαρέα και ραδιενεργά μέταλλα**,

3) οι οργανικές ενώσεις, όπως οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες, οι διοξίνες, τα πολυχλωριωμένα διφαινύλια κ.α., ουσίες ιδιαίτερα τοξικές που παράγονται αναπόφευκτα κατά την καύση οποιασδήποτε οργανικής ύλης, όπως και στην περίπτωση καύσης σκουπιδιών στις χωματερές.

Τεκμηριωμένες επιστημονικές μελέτες παγκοσμίως έχουν δείξει ότι τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από καύση άνθρακα είναι υπεύθυνα για χιλιάδες πρόωρους θανάτους ετησίως. Το περιοδικό Economist έχει χαρακτηρίσει το κάρβουνο ως τον Νο 1 εχθρό του περιβάλλοντος (Environmental enemy No 1).²²

4.1.1 Αέριοι ρύποι

Ως αέριοι ρύποι νοούνται αέρια, αιωρούμενα υγρά (σταγονίδια, droplets) και αιωρούμενα σωματίδια (suspended solids/particles, particulate matter-PM). Εκπέμπονται από τις οδικές μεταφορές, την παραγωγή ενέργειας και θερμότητας, τη βιομηχανία και τη γεωργία σε μεγάλη κλίμακα που προκαλούν ευρεία έκθεση του πληθυσμού, τη θέρμανση μεμονωμένων κατοικιών και τις θαλάσσιες μεταφορές σε τοπική κλίμακα. Ωστόσο έχουμε και φυσική έκλυση αερίων (ηφαίστεια, πυρκαγιές, βιολογικές διεργασίες). Μόλις παράγονται οι αέριοι ρύποι διασπείρονται στην ατμόσφαιρα και ο έλεγχος τους είναι πια ανέφικτος, οπότε απαιτείται έλεγχος στην ίδια τη πηγή.

Οι αέριοι ρύποι από την καύση άνθρακα εκτός του ότι είναι τοξικοί για τον άνθρωπο (ατμοσφαιρική ρύπανση – εικ.16), προκαλούν επίσης και άλλα καταστροφικά περιβαλλοντικά φαινόμενα, όπως η όξινη βροχή και το φαινόμενο του θερμοκηπίου.²⁵

Οι κυριότεροι αέριοι ρύποι είναι:

α) Μονοξείδιο του άνθρακα CO

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι ένα αέριο άχρωμο, άοσμο, άγευστο και διαλύεται ελάχιστα στο νερό. Είναι αναφλέξιμο και καίγεται παράγοντας μπλε φλόγα. Η πιο σημαντική πηγή του είναι η ατελής καύση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων γενικότερα. Αποτελεί το κύριο συστατικό των εξατμίσεων των οχημάτων που κινούνται στους δρόμους, τα οποία και αποτελούν την κύρια πηγή παραγωγής του (56%). Για αυτό το λόγο άλλωστε τα υψηλότερα επίπεδα του παρατηρούνται τις ώρες αιχμής του κυκλοφοριακού φόρτου. Άλλες πηγές παραγωγής CO είναι οι βιομηχανίες (μεταλλουργία, χημικές), οι πυρκαγιές των δασών, ο καπνός του τσιγάρου κλπ (εικ. 17). Σε εσωτερικούς χώρους οι υπεύθυνες πηγές παραγωγής του είναι κάποια από τα θερμαντικά σώματα.

Οι φωτοχημικές αντιδράσεις (αντιδράσεις που γίνονται από την επίδραση του φωτός) των υδρογονανθράκων στις ρυπασμένες ατμόσφαιρες, παράγουν μικρές

ποσότητες μονοξειδίου του άνθρακα. Επίσης, υπό ορισμένες μη κανονικές συνθήκες μπορούν τα φυτά να παράγουν μονοξείδιο του άνθρακα. Ορισμένοι θαλάσσιοι οργανισμοί, όπως π.χ. οι μέδουσες, δημιουργούν φυσαλίδες οι οποίες περιέχουν έως και 80% μονοξείδιο του άνθρακα. Αυτές όμως οι φυσικές πηγές είναι ασήμαντες.

Η τοξική του δράση οφείλεται στη μεγάλη χημική συγγένεια που έχει με την αιμογλοβίνη (Hb), τη χημική ουσία στα ερυθρά αιμοσφαίρια που μεταφέρει οξυγόνο από τους πνεύμονες στα κύτταρα του σώματος και CO₂ από τα κύτταρα στους πνεύμονες.

Τα επίπεδα του CO στην ατμόσφαιρα θεωρείται ότι επηρεάζονται από τη θερμοκρασία, αφού οι υψηλότερες τιμές του παρατηρούνται συνήθως τους μήνες του χειμώνα. Αυτό εξηγείται από τη δημιουργία στρώματος θερμού αέρα, κάτω από το οποίο παγιδεύονται οι ρύποι σε κοντινή απόσταση από το έδαφος.

Οι επιπτώσεις του για την δημόσια υγεία είναι άμεσες. Σε υψηλά επίπεδα είναι δηλητηριώδες αφού επηρεάζει άμεσα το κεντρικό νευρικό σύστημα. Ιδιαίτερα, επηρεάζει ανθρώπους με καρδιακά προβλήματα.²³

α.1) Επίδραση του μονοξειδίου του άνθρακα

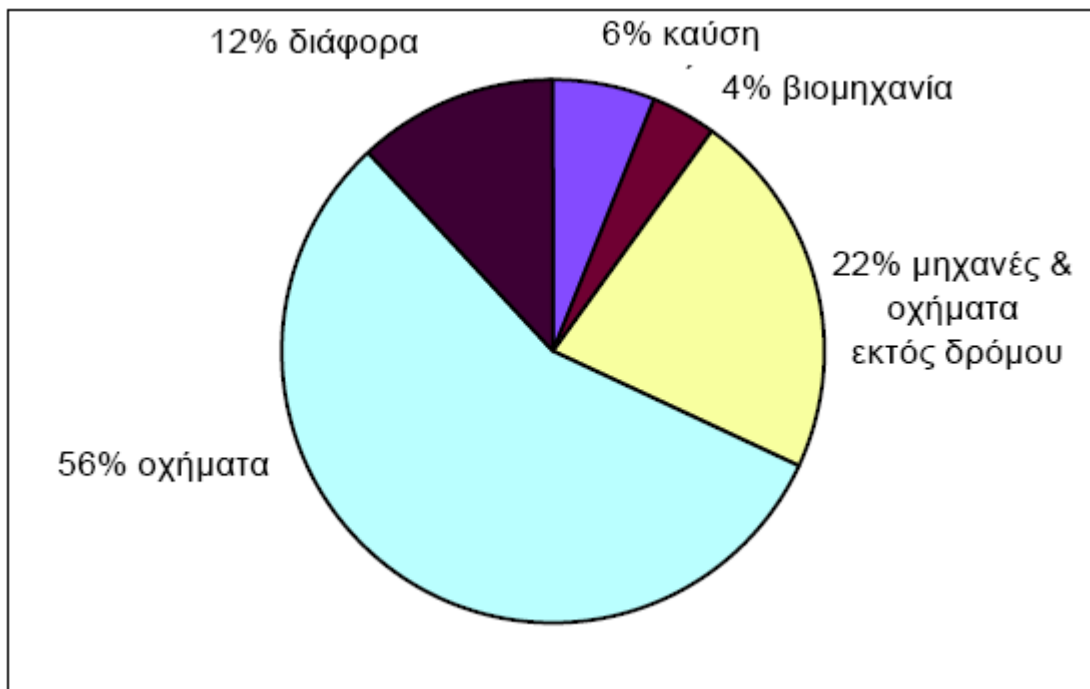
Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι εξαιρετικά επικίνδυνο. Η αύξηση του CO στο αίμα επηρεάζει διάφορα ανθρώπινα όργανα και πρώτα-πρώτα αυτό στο οποίο η έλλειψη οξυγόνου έχει άμεσες συνέπειες, τον εγκέφαλο. Τα αποτελέσματα είναι η μείωση της φυσικής και πνευματικής ικανότητας του ανθρώπου.

Περιεκτικότητα μόνο 10ppm μονοξειδίου του άνθρακα στο αέρα είναι αρκετή για να προκαλέσει αδιαθεσία. Σε 30 λεπτά σε 1300 ppm είναι θανατηφόρο. Πολλοί θάνατοι οφείλονται σε μονοξείδιο του άνθρακα που εισπνέεται από την εξάτμιση των αυτοκινήτων σε ένα κλειστό χώρο, με μια μηχανή αυτοκινήτου σε λειτουργία. Σε κάθε τέσσερα λίτρα βενζίνης που καταναλώνει μια μηχανή, ελευθερώνεται 1,5 mgr μονοξείδιο του άνθρακα. Αυτό σημαίνει ότι 150 mgr μονοξειδίου του άνθρακα ελευθερώνονται από κάθε 100 αυτοκίνητα στους δρόμους σε μια μέση διαδρομή 25Km.

Συνεχής έκθεση σε μεγάλες συγκεντρώσεις CO έχει ως αποτέλεσμα ξαφνική απώλεια τη συνειδήσεως χωρίς αναπνευστικές διαταραχές, που συνεχιζόμενη προκαλεί το θάνατο. Κάτι που συνέβαινε συχνά στο παρελθόν όταν οι άνθρωποι χρησιμοποιούσαν μαγκάλια για θέρμανση, γιατί λόγω έλλειψης αρκετής ποσότητας αέρα (O₂) δε γινόταν τέλεια καύση με αποτέλεσμα παραγωγή CO, που επέφερε το θάνατο.

Παρά το γεγονός ότι οι συγκεντρώσεις του μονοξειδίου του άνθρακα δεν είναι συνήθως τόσο υψηλές ώστε να είναι θανατηφόρες, οι επιδράσεις της βαθμιαίας δηλητηριάσεως συσσωρεύονται στο σώμα, με συνέπεια να παρουσιάζονται συμπτώματα υπνηλίας, ναυτίας και ιλίγγων. Η έκθεσή μας σε μονοξείδιο του άνθρακα συγκεντρώσεως 120 ppm επί μία ώρα μπορεί να επιδράσει σημαντικά στην ικανότητα οδηγήσεως.

Η Ευρωπαϊκή Κοινότητα δεν έχει εκδώσει ακόμη Οδηγία με την οποία να καθορίζονται οι οριακές και κατευθυντήριες τιμές για τις συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, τα περισσότερα όμως ευρωπαϊκά κράτη έχουν θεσπίσει σαν οριακή τιμή της ποιότητας της ατμόσφαιρας το προτεινόμενο όριο από την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας, που είναι 10 mg.²³



Εικόνα 17. Πηγές CO₂.²⁵

β) Διοξείδιο του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι φυσικό συστατικό της ατμόσφαιρας, το οποίο δεν αντιδρά σημαντικά με τις άλλες αερομεταφερόμενες ουσίες. Το κατατάσσουμε και αυτό στους ρυπαντές του αέρα, γιατί η καύση των ορυκτών καυσίμων σε μεγάλη ποσότητα έχει αυξήσει την παγκόσμια συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα πολύ περισσότερο από τα φυσικά όρια.

Σύμφωνα με τον κύκλο του άνθρακα, ένα πολύ ζωτικό τμήμα αυτού του κύκλου περιλαμβάνει την ανταλλαγή του διοξειδίου του άνθρακα μεταξύ του αέρα και των ζώντων οργανισμών. Αυτή η ανταλλαγή γίνεται πολύ γρήγορα και συνεπώς έχει πολύ μικρή επίδραση στην παγκόσμια ατμοσφαιρική συγκέντρωση του αερίου. Ένα άλλο τμήμα του κύκλου του άνθρακα περιλαμβάνει τους ωκεανούς, οι οποίοι αποτελούν μια γιγαντιαία δεξαμενή διοξειδίου του άνθρακα. Αυτή η ανταλλαγή γίνεται σε δύο φάσεις. Η πρώτη περιλαμβάνει την ανταλλαγή του διοξειδίου του άνθρακα με την ατμόσφαιρα και την ανώτερη στρώση του ύδατος πάχους 50-100m. Μία δεύτερη ανταλλαγή γίνεται μεταξύ της επιφανειακής στρώσης του ύδατος και του ύδατος στα βαθύτερα στρώματα.

Σε παγκόσμια κλίμακα αυτός ο μηχανισμός εξισορρόπησης είναι πολύ βραδύς. Συνεπώς, όταν μια μεγάλη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα ελευθερώνεται αιφνίδια σ' ένα σημείο της ατμόσφαιρας, τότε διαταράσσεται η ισορροπία του κύκλου του άνθρακα. Για παράδειγμα, κάθε χρόνο στα αεροδρόμια της Νέας Υόρκης πετούν περίπου 500.000 αεροπλάνα και εκλύουν έως και 36.000.000 τόνους διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα της πόλης. Αυτό το διοξείδιο του άνθρακα χρειάζεται περίπου 5 χρόνια για να απορροφηθεί βαθμιαία από την επιφάνεια των ωκεανών και άλλα 1.500 χρόνια για να γίνει η εξισορρόπηση της περιεκτικότητας του διοξειδίου του άνθρακα

μεταξύ των ανώτερων και των κατώτερων στοιβάδων του θαλάσσιου ύδατος στους ωκεανούς.

Με τη καύση των ορυκτών καυσίμων ο άνθρωπος προκαλεί την απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων διοξειδίου του άνθρακα με πολύ ταχύτερο ρυθμό απ' ό,τι τα καύσιμα αυτά σχηματίζονται από τα ιζήματα της οργανικής ύλης. Εάν οι ωκεανοί μπορούσαν να απορροφήσουν το διοξείδιο του άνθρακα με την ίδια ταχύτητα που κάθε νέα εκπομπή δημιουργείται, θα έπρεπε να απορροφάται το 83% από την θάλασσα και μόνο το 17% από την ατμόσφαιρα. Ατυχώς όμως, μόνο το 50% των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα απορροφάται από τους ωκεανούς. Το υπόλοιπο συσσωρεύεται στην ατμόσφαιρα. Με τον ταχύ ρυθμό παραγωγής του διοξειδίου του άνθρακα που προέρχεται από την καύση των ορυκτών καυσίμων, η φύση αδυνατεί να παρακολουθήσει.

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το μόνο προϊόν καύσεως του οποίου η αύξησή του έχει αποδειχθεί ότι είναι παγκόσμια. Η συγκέντρωσή του αυξήθηκε από 290 ppm που ήταν το 1860 σε 340 ppm περίπου σήμερα, πράγμα που σημαίνει μία αύξηση περίπου 10%. Ακριβείς μετρήσεις που έγιναν μεταξύ του 1958 και του 1968 προσδιόρισαν ότι η αύξηση διοξειδίου του άνθρακα στον αέρα έφθασε τα 6 ppm. Βάσει των στοιχείων αυτών εκτιμάται ότι το 2020 η περιεκτικότητα αυτή θα είναι της τάξης του 500-540 ppm.²³

β.1) Επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα

Το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα δημιουργεί ένα φυσικό φαινόμενο που ονομάζεται «*Φαινόμενο του Θερμοκηπίου*». Τα μόρια του απορροφούν ενέργεια από τις υπέρυθρες ακτίνες του ηλιακού φάσματος. Αυτό το υπέρυθρο τμήμα του φάσματος περιλαμβάνει την θερμική ενέργεια, η οποία κανονικά πρέπει να ακτινοβολείται από την επιφάνεια της Γης και να επιστρέφει στο διάστημα. Το διοξείδιο του άνθρακα απορροφά την θερμική ακτινοβολία και την δεσμεύει, όπως ένα θερμομονωτικό στρώμα.

Με το σημερινό ρυθμό εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα η δεσμευόμενη θερμότητα μπορεί να αυξήσει την θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης κατά 22°C σε 500 χρόνια, αλλά και το μισό της αύξησεως αυτής θα μπορούσε να προκαλέσει βίαιες αντιδράσεις και μετακινήσεις αεροζόλ, όπως επίσης και καταστρεπτικές καταιγίδες τις οποίες δεν μπορούμε να φανταστούμε. Πολλοί επιστήμονες φοβούνται ότι η μέση θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί τις επόμενες δεκαετίες σε τέτοιο σημείο ώστε να λιώσουν οι πάγοι των πόλων. Στην περίπτωση αυτή η στάθμη των ωκεανών θα ανέβει κατά 30cm περίπου και θα πλημμυρίσει (πνίξει) όλες τις παραλίες του κόσμου.

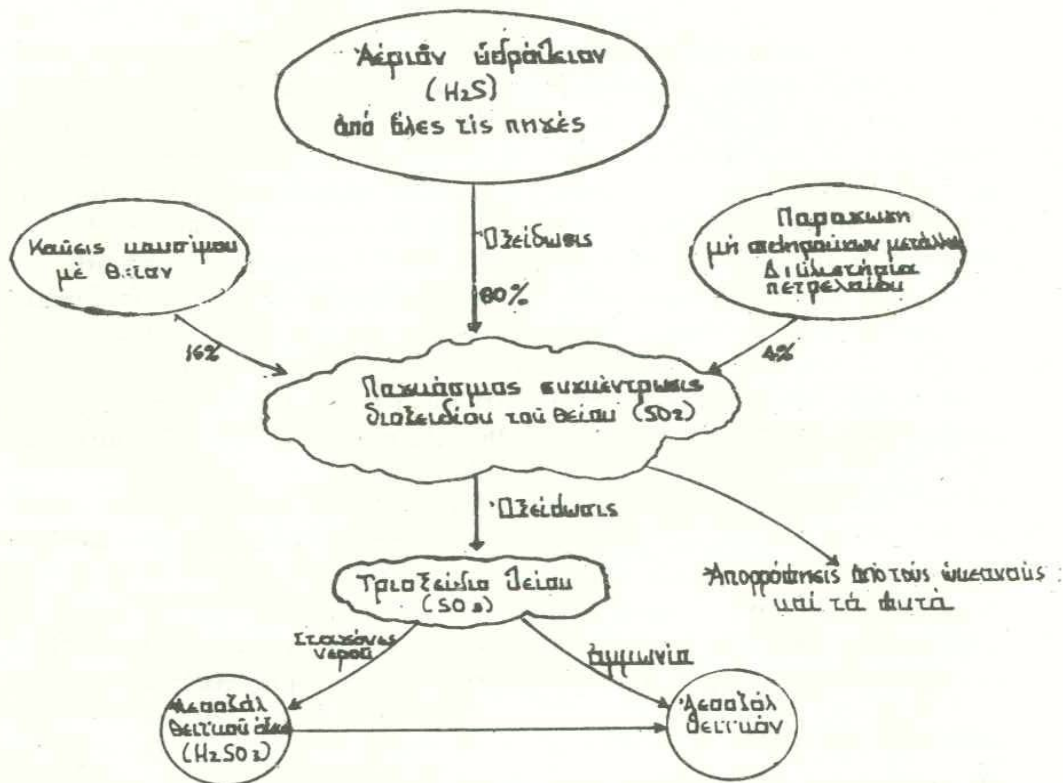
Τέλος, τα αερομεταφερόμενα σωματίδια και οι εκπομπές των αεροζόλ μπορούν να αντισταθμίσουν τις συνέπειες αυτές με την λειτουργία τους σαν φίλτρα, τα οποία θα ελαττώνουν το ποσό του ηλιακού φωτός που θα φθάνει στην επιφάνεια της Γης. Θεωρητικώς, μία κατά 25% αύξηση της ατμοσφαιρικής θολερότητας, μπορεί να μηδενίσει κατά 100% μία αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα. Από την άλλη όμως πλευρά οι υψηλότερες θερμοκρασίες θα αυξήσουν την επιφανειακή εξάτμιση του νερού, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται περισσότερα σύννεφα. Τα σύννεφα αυτά θα ανακλούν το εισερχόμενο ηλιακό φως πριν αυτό φθάσει στην επιφάνεια της Γης.²³

γ) Διοξείδιο του Θείου

Το **θείο** είναι από τα πλέον ανεπιθύμητα συστατικά των γαιανθράκων, καθώς καίγεται προς διοξείδιο του θείου που είναι επικίνδυνος αέριος ρύπος καθώς προκαλεί διάβρωση. Τα οξείδια του θείου προκαλούν σοβαρές ζημιές στα δάση και οξίνιση των λιμνών, φαινόμενο συνηθισμένο σε πολλές περιοχές της Ευρώπης και της Βορείου Αμερικής. Η όξινη βροχή σχηματίζεται με την αντίδραση αυτών των αερίων με την υγρασία της ατμόσφαιρας, το θειικό οξύ (H_2SO_4), που σχηματίζεται, στην συνέχεια εναποτίθενται με την βροχή. Στις ΗΠΑ, 38% των εκπομπών διοξειδίου του θείου προκαλούνται από τα εργοστάσια ηλεκτρικής ενέργειας.

Όταν μιλάμε για ρύπανση του αέρα, αναφερόμαστε συνήθως στο διοξείδιο του θείου. Στις ανεπτυγμένες χώρες οι μετρήσεις του διοξειδίου του θείου γίνονται καθημερινά για τον προσδιορισμό του δείκτη ρυπάνσεως. Αυτό το καθαρό, χωρίς χρώμα αέριο και τα παράγωγά του αποτελούν το 18% του συνόλου των ρυπαντών του αέρα. Το γεγονός αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία, γιατί του διοξειδίου του θείου με την οξεία δυσάρεστη οσμή του, είναι ένα από τα πιο επικίνδυνα αέρια, ιδιαίτερα στον άνθρωπο.

Το διοξείδιο του θείου είναι μία μόνο από τις μορφές στις οποίες το αερομεταφερόμενο θείο κυκλοφορεί παγκοσμίως. Ο κύκλος του θείου περιλαμβάνει το αέριο υδρόθειο, το αεροζόλ θειικό οξύ, όπως επίσης και πολλά θειικά άλατα σε μορφή αεροζόλ (ένα αεροζόλ είναι ένα αιώρημα μικρών σταγονιδίων ή στερεών σωματιδίων σε ένα αέριο. Ο καπνός του τσιγάρου π.χ. είναι ένα αεροζόλ τέφρας στον αέρα. Η ομίχλη είναι ένα αεροζόλ σταγονιδίων νερού στον αέρα). Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζεται η προέλευση των διάφορων ενώσεων του θείου και ο τρόπος με τον οποίο συσχετίζονται.²⁴



Εικών 4-6. Η παραγωγή και κατανομή του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του θείου.

Ένας δεδομένος όγκος αερίου διοξειδίου του θείου, ο οποίος εισήλθε στον αέρα, μπορεί να απομακρυνθεί ως οξύ ή ως άλας με την βροχή ή με το βάρος του σε 5 ημέρες έως δύο εβδομάδες. Δυστυχώς όμως το πρόβλημα δεν τελειώνει εκεί. Η επίδραση του διοξειδίου του θείου συνεχίζεται με άλλη μορφή.

Το παραπάνω σχήμα δείχνει ότι το 80% του διοξειδίου του θείου παράγεται από αέριο υδρόθειο, του οποίου η προέλευση είναι φυσική. Έτσι η συμβολή του ανθρώπου με το υπόλοιπο 20% δεν φαίνεται μεγάλη, αλλά ο άνθρωπος έχει μεταβάλλει τον κύκλο του αερομεταφερόμενου θείου σε τέτοιο βαθμό, ώστε σε πολλές πόλεις να έχουν δημιουργηθεί σοβαρά προβλήματα.

Σχετικά πρόσφατες εκτιμήσεις των παγκόσμιων εκπομπών του διοξειδίου του θείου δείχνουν ότι το 16% του συνόλου του αερομεταφερόμενου θείου προέρχεται από την καύση των καυσίμων, όπως ο ορυκτός άνθρακας (κάρβουνο) και το πετρέλαιο, τα οποία το εμπεριέχουν.

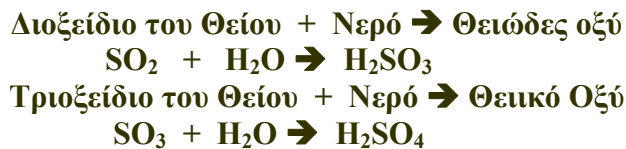
Αλλά παγκόσμια στοιχεία μπορούν να μας οδηγήσουν σε ανακριβή συμπεράσματα, γιατί προϋποθέτουν μια ομοιόμορφη κατανομή γύρω από όλη την Γη. Στην πραγματικότητα όμως οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του θείου έχουν μεγάλες διαφορές σε ποικίλες περιοχές. Οι μεγαλύτεροι καταναλωτές ορυκτού άνθρακα και πετρελαίου είναι προφανώς συγκεντρωμένοι σε εκβιομηχανισμένες πόλεις, όπου οι ποσότητες των καυσίμων που καίγονται είναι ανάλογες προς τον πληθυσμό.

Ο βαθμός όμως της ρύπανσης από το διοξείδιο του θείου δεν εξαρτάται μόνο από την ποσότητα, αλλά και από τον τύπο του καυσίμου που χρησιμοποιείται. Όταν καίγεται ορυκτός άνθρακας με υψηλή περιεκτικότητα θείου, ποσοστό έως και 10% του βάρους του είναι δυνατόν να εισέλθει στην ατμόσφαιρα σαν διοξείδιο του θείου. Έρευνες που έγιναν την δεκαετία του '70 συμπεράναν ότι η πόλη της Νέας Υόρκης είχε την μεγαλύτερη συκέντρωση διοξειδίου του θείου από οποιαδήποτε άλλη Αμερικάνικη πόλη. Αυτή η φοβερή κατάσταση ρυπάνσεως διαπιστώθηκε ότι είχε αιτία την χρήση μιας πολύ φθηνής ποιότητας πετρελαίου, με πολύ υψηλή ποσότητα θείου. Έτσι

επιβλήθηκε η χρήση μιας καθαρότερης ποιότητας πετρελαίου, με λιγότερο ποσοστό θείου.²⁴

γ.1) Επίδραση των οξειδίων του θείου

Τα οξείδια του θείου συνδυάζονται κατά την καύση με την υγρασία για να σχηματίζουν θειώδες οξύ και το εξαιρετικά διαβρωτικό θειικό οξύ, σύμφωνα με τις παρακάτω αντιδράσεις:



Κάθε μέρα ο αέρας, τον οποίο αναπνέουμε περνά από την ρινική κοιλότητα και την τραχεία αρτηρία κι' έρχεται σε άμεση επαφή με μία επιφάνεια 25 φορές μεγαλύτερη από την επιφάνεια του δέρματός μας. Η επιφάνεια αυτή, αποτελεί τις λεπτές μεμβράνες των πνευμόνων μας. Κάθε τετραγωνικό εκατοστό του αναπνευστικού μας συστήματος προσφέρει την υγρασία που χρειάζονται τα οξείδια του θείου για να αντιδράσουν και να σχηματίσουν το θειώδες και το θειικό οξύ. Σε περίπτωση που δεν θεωρήσουμε το διοξείδιο του θείου σαν άμεσο κίνδυνο για την υγεία μας, η διαβρωτική του ικανότητα θα πρέπει να μας πείσει να το απομακρύνουμε από τον αέρα.

Τα οξέα, τα οποία σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα παρασύρονται από την βροχή και καταστρέφουν τους καρπούς και τα φυτά. Επειδή οι λειχήνες αποθηκεύουν τα οξέα στα ριζικά τους συστήματα, οι βοτανολόγοι τις χρησιμοποιούν σαν δείκτες ρυθάνσεως από διοξείδιο του θείου στον αέρα. Πάρα πολλά φυτά, όπως το σιτάρι, η βρώμη, το βαμβάκι, το πεύκο και τα περισσότερα κτηνοτροφικά φυτά, πεθαίνουν ακόμα και με μικρές συγκεντρώσεις θειικού οξέος στον αέρα. Γενικότερα, σε περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη μονάδα παραγωγής ενέργειας το αερομεταφερόμενο θείο δηλητηριάζει το έδαφος της περιοχής.

Οι ενώσεις του αερομεταφερόμενου θείου απειλούν ακόμα και την υδρόβια ζωή. Το θειώδες και το θειικό οξύ προσβάλλουν τις μεταλλικές επιφάνειες, όπως π.χ. τις γραμμές των σιδηροδρόμων. Προσβάλλουν ακόμα τις πέτρες, το μάρμαρο, τον δολομίτη και τα ασβεστολιθικά πετρώματα. Τα οξείδια του θείου προκαλούν αποχρωματισμό γήρανση των πλαστικών και όλων γενικά των υλικών. Στις αστικές περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη περιεκτικότητα του θείου και των προϊόντων του, τα κτίρια, οι γέφυρες, τα αυτοκίνητα και οι δρόμοι καταστρέφονται με γοργό ρυθμό.

Τα μουσεία, οι πινακοθήκες, τα εθνικά μνημεία και όλα τα έργα τέχνης υποφέρουν από την διάβρωση. Έτσι με την ασταμάτητη αναζήτηση μας για καλύτερο μέλλον καταστρέφουμε και τις ανεκτίμητες αξίες του παρελθόντος.²⁴

δ) Οξείδια του Αζώτου NO_x

Με το γενικό όρο οξείδια του αζώτου, ορίζονται γενικά οι ενώσεις αζώτου με οξυγόνο σε διάφορες αναλογίες. Τα οξείδια του αζώτου σχηματίζονται, όταν το άζωτο που περιέχεται στον αέρα ή και στο κάρβουνο αντιδράσει με το

οξυγόνο λόγω της υψηλής θέρμανσης. Τα NO_x είναι υπεύθυνα για τη δημιουργία του λεγόμενου «*ατμοσφαιρικού νέφους*» στα μεγάλα αστικά κέντρα, αλλά και του σχηματισμού της *όξινης βροχής (νιτρικό οξύ)* και συνεισφέρουν στο σχηματισμό όζοντος στα χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας, κάτι το οποίο είναι ανεπιθύμητο και επιβλαβές για την υγεία.

Οι κυριότερες και συνηθέστερες ενώσεις είναι το μονοξείδιο NO και το διοξείδιο του αζώτου NO₂. Το αέριο άζωτο (N₂) αποτελεί το 78% του όγκου της ατμόσφαιρας. Μόνο λίγοι οργανισμοί, η κοσμική ραδιενέργεια και οι αστραπές μπορούν να προκαλέσουν την δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου με άλλα στοιχεία για τον σχηματισμό των αζωτούχων ενώσεων, οι οποίες είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη των φυτών και των ζώων.

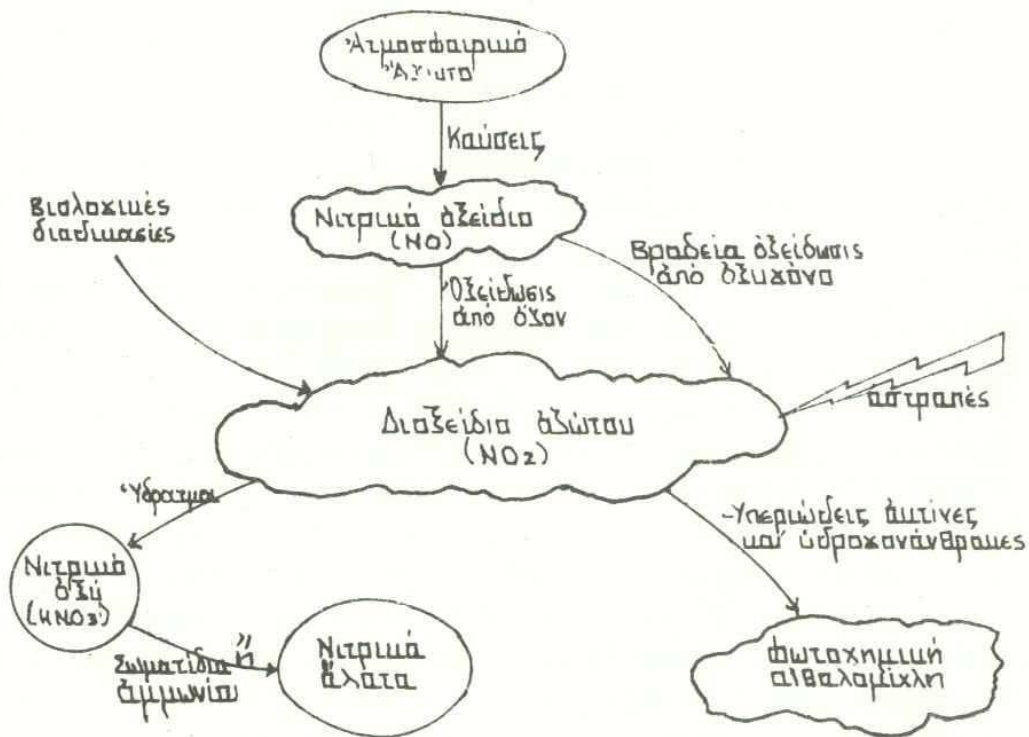
Για την μείωση των NO_x χρησιμοποιούνται ειδικοί καυστήρες, που μπορούν να μειώσουν τα NO_x μέχρι και 70%, και χρησιμοποιούνται ευρύτατα. Η καταλυτική μείωση των NO_x μπορεί επίσης να επιτύχει μειώσεις της τάξης του 80-90%.

Ο άνθρωπος έχει διαταράξει πολλούς από τους φυσικούς κύκλους. Μία από τις μεγαλύτερες παρεμβολές του στη φύση είναι η βιομηχανική δέσμευση του αζώτου για την παραγωγή των λιπασμάτων. Ο άνθρωπος μετατρέπει κάθε χρόνο το άζωτο σε λιπάσματα, σε τόσες ποσότητες όσες δεν κατόρθωσαν να μετατρέψουν όλα τα τεράστια γήινα οικοσυστήματα πριν από την εποχή αναπτύξεως της σημερινής γεωργίας. Αυτό είναι μια μεγάλη πρόοδος σε σύγκριση με τη σχετικά αργή δέσμευση του αζώτου από τη φύση, αλλά έως τώρα το άζωτο, το οποίο απομακρύνεται από τον αέρα με φυσικές μεθόδους δεσμεύσεως, γυρίζει πίσω στην ατμόσφαιρα σχεδόν με το ίδιο ρυθμό, από τους οργανισμούς οι οποίοι το ελευθερώνουν από τις ενώσεις του.

Μέχρι σήμερα η συμβολή του ανθρώπου στην ισορροπία του αζώτου της ατμόσφαιρας δεν εμφανίζει πολύ σημαντική παγκόσμια κλίμακα. Τα οξείδια του αζώτου αποτελούν περισσότερο από το 10% των εκπεμπόμενων ρυπαντών ετησίως.

Τα άτομα του αζώτου αντιδρούν με τα άτομα του οξυγόνου για να παράγουν 8 δυνατούς συνδυασμούς ή μόρια, τα οποία ονομάζονται οξείδια του αζώτου. Μόνο 3 από αυτά όμως, το υποξείδιο του αζώτου (N₂O), το οξείδιο του αζώτου (NO) και το διοξείδιο του αζώτου (NO₂), βρίσκονται σε αξιόλογες συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα. Τα δύο τελευταία δημιουργούν προβλήματα ρυπάνσεως του αέρα.

Το υποξείδιο του αζώτου (N₂O), το πιο άφθονο από τα τρία, είναι ένα αέριο χωρίς χρώμα, σχετικά αδρανές σε σχέση με τις άλλες ατμοσφαιρικές ουσίες, όπως το όζον, το οξυγόνο και οι υδρογονάνθρακες. Η παγκόσμια συγκέντρωση του υποξειδίου του αζώτου είναι 0,25ppm περίπου και παράγεται εξ' ολοκλήρου από φυσικές πηγές.



Εικόνα 4-9. Η παραγωγή και κατανομή του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του αζώτου (NO_2).

Το οξείδιο του αζώτου (NO) πρέπει να θεωρείται σαν συστατικό του αέρα σε ίχνη και αυτό οφείλεται στην συνεχή αυξανόμενη καύση. Η καύση σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις μετατρέπει το ατμοσφαιρικό άζωτο σε οξειδία του αζώτου. Όπως φαίνεται και από την παρακάτω εικόνα το οξείδιο του αζώτου οξειδώνεται είτε με αργό ρυθμό από το οξυγόνο είτε με πολύ γρηγορότερο ρυθμό από το όζον, για να παράγει διοξείδιο του αζώτου.

Το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) είναι ένα τοξικό, βαθιά κόκκινο αέριο με την χαρακτηριστική ενοχλητική οσμή του νιτρικού οξέος (HNO_3) και η επίδραση του γίνεται καθημερινά περισσότερο ενδιαφέρουσα στην ρύπανση της ατμόσφαιρας.

Το 1970, 23 περίπου εκατομμύρια τόνοι οξειδίων του αζώτου ελευθερώθηκαν μόνο στις ΗΠΑ. Το άζωτο σχηματίζει διάφορα οξειδία του αζώτου σε όλες τις μηχανές εσωτερικής καύσης και όλους τους κλίβανους που καίγονται ορυκτά καύσιμα. Τα αυτοκίνητα και οι σταθερές εστίες όπου καίγεται ο ορυκτός άνθρακας, το πετρέλαιο και τα φυσικά αέρια είναι οι κυριότερες πηγές του. Οι συγκεντρώσεις των οξειδίων του αζώτου έχουν άμεση σχέση με την πυκνότητα του πληθυσμού και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι περισσότερο από το 60% του συνόλου των εκπομπών των οξειδίων τους γίνονται στις αστικές περιοχές.

Η κύρια ένωση του αζώτου η οποία περιέχεται στα καυσαέρια των αυτοκινήτων είναι το οξείδιο του αζώτου (NO). Σχηματίζεται στους κυλίνδρους των μηχανών με τον συνδυασμό του αζώτου και του οξυγόνου κατά την καύση. Όσο ψηλότερη είναι η θερμοκρασία της καύσης τόσο μεγαλύτερη είναι και η ποσότητα του σχηματιζόμενου οξειδίου του αζώτου. Γι' αυτό το λόγο μερικές από τις τελειοποιήσεις των μηχανών, οι οποίες αποσκοπούν στην μείωση των υδρογονανθράκων και του μονοξειδίου του άνθρακα, τα οποία εκπέμπονται από την εξάτμιση των αυτοκινήτων, τείνουν στην αύξηση του παραγόμενου οξειδίου του αζώτου. Έτσι ο έλεγχος των οξειδίων του αζώτου είναι ένας περίπλοκος παράγοντας στον αγώνα μεταξύ του ελέγχου των καυσαερίων και της λειτουργίας της μηχανής.

Τα οξείδια του αζώτου ευθύνονται για τη μόλυνση της ατμόσφαιρας και αντιδρούν μέσα σε αυτή επηρεάζοντας τη χημεία της και τη σύστασή της με τη δημιουργία νέων δευτερευόντων ρύπων. Συνεισφέρουν έτσι στην δημιουργία του όζοντος, διαφόρων τοξικών ενώσεων στην ατμόσφαιρα, στη δημιουργία όξινης βροχής με όλες τις συνέπειες στον υδροφόρο ορίζοντα αλλά και στην αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας που μειώνουν την ορατότητα της. Τέλος, χαρακτηρίζονται ως μία από τις βασικές συνιστώσες της αλλοίωσης τους κλίματος και του φαινομένου του θερμοκηπίου στον πλανήτη.

Κύριο χαρακτηριστικό των οξειδίων του αζώτου και των παραγώγων τους ρύπων, είναι ότι μεταφέρονται ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις ακολουθώντας την πορεία των ανέμων που επικρατούν στην περιοχή. Γεγονός που κάνει τις δυσμενείς επιπτώσεις τους να εμφανίζονται σε ευρύτερες περιοχές από την εστία παραγωγής τους.

Συμπερασματικά, όπως φαίνεται από τα παραπάνω οι επιπτώσεις τους στη σύνθεση της ατμόσφαιρας και κατά συνέπεια στη δημόσια υγεία είναι πολλαπλές.²⁴

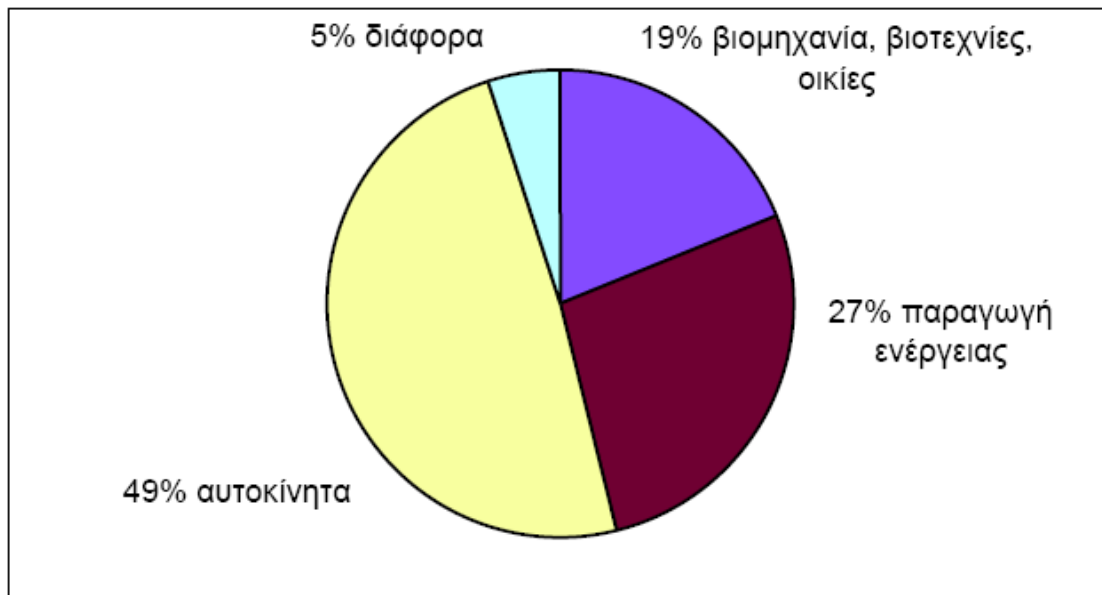
δ.1) Επίδραση του Οξειδίου του Αζώτου

Τόσο το οξείδιο του αζώτου (εικ.18), όσο και το διοξείδιο του αζώτου έχουν επιβλαβείς επιδράσεις στον άνθρωπο και στο περιβάλλον. Το οξείδιο του αζώτου (NO) όπως ακριβώς και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) ελαττώνει την ικανότητα του αίματος για την μεταφορά του οξυγόνου. Συνδυάζεται επίσης εύκολα με το οξυγόνο για την δημιουργία του διοξειδίου του αζώτου (NO₂). Όταν το διοξείδιο του αζώτου έρχεται σε επαφή με υγρασία, είτε στον αέρα, είτε μέσα στο ανθρώπινο σώμα, τότε σχηματίζεται το εξαιρετικά διαβρωτικό νιτρικό οξύ (HNO₃).

Έκθεση μικρής διάρκειας (παραδείγματος χάρη τρεις ώρες) σε τρέχοντα επίπεδα NO₂ πιθανόν να οδηγήσει σε δυσλειτουργίες της αναπνευστικής ανταπόκρισης και αύξηση των ποσοστών εμφάνισης αναπνευστικών νόσων. Παρατεταμένη έκθεση δύναται να οδηγήσει σε σοβαρές μόνιμες αλλοιώσεις των πνευμόνων. Έτσι, το διοξείδιο του αζώτου ερεθίζει τα μάτια, την μύτη, το βρογχικό σύστημα και τους πνεύμονες. Υψηλές συγκεντρώσεις του τοξικού αυτού αερίου μπορούν να αποβούν θανατηφόρες.

Τα οξείδια του αζώτου, ακόμη, συμβάλουν στην εμφάνιση αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον, όπως οι σημαντικές αλλαγές στη σύσταση ορισμένων ειδών βλάστησης υδροβιοτόπων και χερσαίων εκτάσεων, την εμφάνιση της όξινης βροχής, την οξίνιση και στον ευτροφισμό γλυκών υδάτων, την μειωμένη ορατότητα, την αύξηση επιπέδων τοξινών διαφόρων ειδών ψαριών και άλλων υδρόβιων ζώων, κ.ά.

Το διοξείδιο του αζώτου είναι μια ουσία έντονα οξειδωτική και προσβάλλει τα μέταλλα με μεγάλη ευκολία. Αποτελεί «έναυσμα» ή καταλύτη των φωτοχημικών αντιδράσεων οι οποίες οδηγούν στην αιθαλομίχλη (από τις λέξεις smoke= αιθάλη και fog= ομίχλη). Το μόριο του διοξειδίου του αζώτου απορροφά υπεριώδη ενέργεια από τον ήλιο. Κάθε τέτοιο ενεργοποιημένο μόριο προκαλεί μια περίπλοκη σειρά αντιδράσεων με τους ατμοσφαιρικούς υδρογονάνθρακες, η οποία οδηγεί στην δημιουργία της φωτοχημικής αιθαλομίχλης.^{24,25}



Εικόνα 18. Πηγές NOX.²⁵

ε) Όζον

Το όζον είναι μια αλλοτροπική μορφή του οξυγόνου και σχηματίζεται κατά διοχέτευση ξηρού οξυγόνου ή αέρα διαμέσου ηλεκτρικών εκκενώσεων με τάση 5000 έως 20000 volt. Είναι αέριο ασταθές, ισχυρά οξειδωτικό, ισχυρό τοξικό με χαρακτηριστική οσμή και κυανό χρώμα. Είναι λίγο διαλυτό στο νερό και όπως είναι ασταθές και εύκολα διασπάται, δεν αφήνει υπολείμματα.

Ίχνη όζοντος φυσικής προελεύσεως υπάρχουν στο ανώτερο μέρος της ατμόσφαιρας. Η μέγιστη συγκέντρωση βρίσκεται σε ύψος 25Km από την επιφάνεια της Γης. Τα άτομα του οξυγόνου είναι πάρα πολύ ενεργά για να υπάρχουν μόνα τους. Έτσι ενώνονται εύκολα με άλλα άτομα O για να σχηματίσουν μόρια οξυγόνου, όπως επίσης και με μεγάλη ποικιλία άλλων ατόμων ή μορίων. Το ζωογόνο οξυγόνο αποτελείται από μόρια δύο ατόμων, κάθε μόριο δηλαδή αποτελείται από δύο άτομα οξυγόνου συνδεδεμένα μεταξύ τους (O₂). Το όζον αποτελείται από τρία άτομα οξυγόνου συνδεδεμένα μεταξύ τους (O₃) και συχνά παράγεται από τις αστραπές οι οποίες διασχίζουν την ατμόσφαιρα.

Το περισσότερο από το ατμοσφαιρικό όζον σχηματίζεται σε μεγάλη ύψη από την δράση της ενέργειας των υπεριωδών ακτινών του ηλιακού φωτός με το οξυγόνο. Αυτό το τμήμα της ατμόσφαιρας ονομάζεται 'στρώμα όζοντος' και είναι αυτό το οποίο προστατεύει τους ζώντες οργανισμούς στην επιφάνεια της Γης, γιατί απορροφάει όλη σχεδόν την ενέργεια των υπεριωδών ακτινών του ήλιου. Όλοι ξέρουμε τι επιπτώσεις στο δέρμα έχουν οι υπεριώδεις ακτίνες του ήλιου όταν φθάσουν στην Γη. Αυτό θα συμβεί λόγω της υπεριώδους ενέργειας. Το όζον αποτελεί ένα φράγμα, το οποίο φιλτράρει τις επικίνδυνες ποσότητες της υπεριώδους ακτινοβολίας από το ηλιακό φως. Έτσι καταλαβαίνουμε πόσο χρήσιμο είναι το όζον το οποίο παράγεται φυσικά στην άνω ατμόσφαιρα. Με τις εκπομπές του διοξειδίου του αζώτου στον αέρα ο άνθρωπος προκαλεί την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων όζοντος στην χαμηλή ατμόσφαιρα.^{23,26}

ε.1) Επιδράσεις του Όζοντος

Το όζον είναι ένα πολύ δυνατό οξειδωτικό και προσβάλλει με μεγάλη ευχέρεια όλες τις οργανικές ύλες. Είναι πάρα πολύ δηλητηριώδες για τους ζώντες οργανισμούς. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις προκαλεί πόνους στο στήθος, βήχα και ερεθισμούς στα μάτια. Η παρατεταμένη έκθεσή μας στο όζον αυξάνει την ευαισθησία μας στις προσβολές των βακτηριδίων. Γνωρίζουμε ότι σε μικρές ποσότητες το όζον θεωρείται προστατευτικό για την υγεία μας. Έρευνα έδειξε ότι πειραματόζωα που υπεβλήθησαν σε συγκέντρωση όζοντος 1ppm επί 8 ώρες ημερησίως επί 1 χρόνο παρουσίασαν βρογχίτιδα, βρογχιολίτιδα και άλλες αναπνευστικές ασθένειες.

Όσον αφορά το περιβάλλον, το όζον προσβάλλει την άνω επιφάνεια των φύλλων των φυτών και δημιουργεί στίγματα. Η ευαισθησία των διαφόρων φυτών είναι σχετική με τον μεταβολισμό και την φωτοσυνθετική λειτουργία των φυτών κατά την έκθεσή τους στο όζον.

Το όζον προσβάλλει τα υφάσματα, τα ελαστικά των αυτοκινήτων και καταστρέφει τους ελαστικούς σωλήνες που χρησιμοποιούμε για πότισμα ή για ύδρευση. Ο ρυθμός αποσυνθέσεως του ελαστικού αποτελεί και μέτρο της συγκεντρώσεως του όζοντος στην ατμόσφαιρα. Αυτό έχει μεγάλη σημασία για τα ελαστικά που χρησιμοποιούνται στα αεροπλάνα, τα οποία στα μεγάλα υψόμετρα καταστρέφονται πολύ γρήγορα, λόγω της υψηλότερης συγκεντρώσεως του όζοντος.

Το πρόβλημα του όζοντος είναι ακόμη ένα παράδειγμα των απρόβλεπτων και ανεπιθύμητων συνεπειών της ρυπάνσεως της ατμόσφαιρας. Δεν θα μπορούσαμε ποτέ να ελέγξουμε τις συγκεντρώσεις του όζοντος, εάν προηγουμένως δεν φροντίσουμε να ελέγξουμε την εκπομπή των άλλων χημικών ουσιών, όπως του διοξειδίου του αζώτου.²³

στ) Μόλυβδος

Το αεροζόλ μόλυβδου είναι ένας συνηθισμένος ρυπαντής στις αστικές ατμόσφαιρες και είναι ένα φυσικό συστατικό του αέρα, του νερού, του εδάφους όπως επίσης και των ζώντων οργανισμών. Τα επίπεδα στα οποία ο μόλυβδος υπάρχει στην φύση δεν έχουν προσδιορισθεί ακόμα. Οι σκόνες από την διάβρωση του εδάφους και από τις εκρήξεις των ηφαιστείων είναι οι κύριες φυσικές πηγές του μολύβδου στην ατμόσφαιρα.

Ο άνθρωπος όμως είναι εκείνος ο οποίος είναι υπεύθυνος για τις μεγαλύτερες εκπομπές μολύβδου στον αέρα. Η καύση του ορυκτού άνθρακα, η βιομηχανία, οι ψεκασμοί των ζιζανιοκτόνων και μυκητοκτόνων, η καύση των απορριμμάτων και περισσότερο από όλα η χρησιμοποίηση βενζίνης κατά το παρελθόν με μόλυβδο στις αστικές περιοχές, είναι οι κυριότερες πηγές αεροζόλ μολύβδου.

στ.1) Επιδράσεις Μόλυβδου

Ο μόλυβδος είναι ένα νευροτοξικό βαρύ μέταλλο, που συσσωρεύεται με το χρόνο στους μαλακούς ιστούς και τα κόκαλα. Είναι δηλητηριώδες μέταλλο, κυρίως για τα μικρά παιδιά, στα οποία προκαλεί ανωμαλίες του αίματος και του εγκεφάλου. Μακροχρόνια έκθεση σε μόλυβδο ή τα άλατά του, μπορούν να προκαλέσουν νεφροπάθειες και πόνους κολικού τύπου. Ο μόλυβδος αλλάζει το

μέγεθος και το σχήμα των ερυθρών αιμοσφαιρίων και τα κάνει ευπαθή. Είναι το μέταλλο που οδήγησε στην τρέλα τους περισσότερους Ρωμαίους αυτοκράτορες, λόγω της διαδεδομένης χρήσης ενός άλατος του μολύβδου ως γλυκαντική ουσία στο κρασί. Η έκθεση σε μολύβδο έχει συσχετιστεί με την εμφάνιση σχιζοφρένειας, και γι' αυτό η χρήση του στις ανεπτυγμένες χώρες έχει περιοριστεί στο ελάχιστο. Σε περιοχές κατοικίας με μεγάλη κυκλοφορία αυτοκινήτων ο αερομεταφερόμενος μολύβδος συσχετίζεται με υψηλό ποσοστό καρδιοπαθειών και θεωρείται ιδιαίτερα επιβλαβής για την αναπαραγωγική ικανότητα των γυναικών.

Ο μολύβδος είναι πολύ διαδεδομένος ρύπος του εδάφους και η προέλευσή του είναι κυρίως βιομηχανική, συμπεριλαμβανομένων και των εργοστασίων ηλεκτρικής ενέργειας. Αυξημένα ποσά μολύβδου έχουν ανιχνευτεί στο κρέας και το γάλα ζώων κοντά σε πηγές εκπομπής του, κάτι που αναμφισβήτητα αποτελεί κίνδυνο για τη δημόσια υγεία.²³

ζ) Άλλοι Ρυπαντές

ζ.1) Φθοριούχα

Οι εξαιρετικά τοξικές ενώσεις φθορίου, είτε υπό μορφή αερίων, είτε υπό μορφή στερεών σωματιδίων παρουσιάζουν ένα σοβαρό πρόβλημα. Οι συνηθέστερες πηγές των φθοριούχων είναι οι βιομηχανίες αλουμινίου, χάλυβα και φωσφορικών λιπασμάτων. Εκτός όμως αυτών, και τα κεραμουργεία και τα υαλουργεία εκπέμπουν φθοριούχα. Μικρότερες ποσότητες φθοριούχων ελευθερώνονται κατά την καύση του ορυκτού άνθρακα. Το υδροφθόριο, όπως επίσης και άλλες πτητικές ενώσεις, μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ρυπάνσεις στο περιβάλλον, σε συγκεντρώσεις ακόμα και 0.001 – 0.1 ppm.

Το αέριο υδροφθόριο συγκεντρώνεται στα φύλλα των φυτών αλλά και τα ζώα τα οποία τρέφονται με αυτά τα φυτά παθαίνουν μια ασθένεια η οποία ονομάζεται φθορίωση. Τα δόντια των ζώων που πάσχουν από φθορίωση αναπτύσσονται πάρα πολύ, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να μασήσουν και συνεπώς δεν μπορούν να τραφούν και πεθαίνουν. Αυτό ακριβώς συνέβη στην περιοχή του εργοστασίου αλουμινίου στον Άγιο Νικόλαο Βοιωτίας και σε ακτίνα 2-3 χιλιομέτρων από το εργοστάσιο, με αποτέλεσμα να γίνει μια πολυδάπανη εγκατάσταση συγκέντρωσης του φθορίου, η οποία με κόστος περίπου 30 εκατομμυρίων Ευρώ, προβλέπεται να συγκρατεί τα 85-95% του συνολικά εκπεμπόμενου αυτού τοξικού αερίου. Αντίθετα με τα ζώα όμως, δεν παρουσιάζεται κάποιο πρόβλημα στους ανθρώπους.

Οι αέριες φθοριούχες ενώσεις προσβάλλουν το διαφανές γυαλί, τα χρώματα και τις μεταλλικές επιφάνειες. Παρά το γεγονός ότι σε πολλές πόλεις του κόσμου έχει εγκριθεί επισήμως η φθορίωση του νερού, η οποία θεωρείται ότι προστατεύει τα δόντια, το φθοριομένο νερό, όταν υπερβεί ορισμένα όρια περιεκτικότητας σε φθόριο, γίνεται επικίνδυνο.

ζ.2) Αμίαντος

Ο αμίαντος είναι ένα ενυδατωμένο πυριτικό μαγνήσιο και έχει παγκόσμιες βιομηχανικές χρήσεις, ιδίως οικοδομικές. Από την στέγη ενός σπιτιού όπου χρησιμοποιείται με το αμιαντοτσιμέντο στις κυματοειδείς πλάκες επιστεγάσεως

και στις σωληνώσεις αποχετεύσεων και υδρεύσεων, έως τα δάπεδα όπου χρησιμοποιείται με χλωριούχο πολυβινύλιο για πλακάκια επιστρώσεως.

Έρευνες έδειξαν ότι η εισπνοή ινών αμιάντου συγκεντρώνεται στους ιστούς των πνευμόνων και προκαλείται ένας μηχανικός ερεθισμός. Ο ερεθισμός αυτός μπορεί να προκαλέσει ένα είδος καρκίνου, ο οποίος ονομάζεται μεσοθυλίωμα, αλλά μπορεί να προκαλέσει και καρκίνο του πνεύμονα. Πολλοί από τους οποίους εργάζονται με αμιάντο έχουν αρρωστήσει από μεσοθυλίωμα. Το περίεργο είναι ότι τα περισσότερα θύματα βρίσκονται μεταξύ εκείνων οι οποίοι δεν εργάζονται μέσα στα εργοστάσια, αλλά εργάζονται ή ζουν κοντά σε αυτά.

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι είναι λιγότερο σημαντικό να εξασφαλίσουμε την καθαρότητα της τροφής και του νερού που καταναλώνουμε, από το να εξασφαλίσουμε την ποιότητα του αέρα που αναπνέουμε, γιατί ο αέρας είναι το πιο ζωτικό αγαθό μας.

ζ.3) Κάδμιο

Η έκθεση των ανθρώπων σε κάδμιο προκαλείται κυρίως από τις δραστηριότητες καύσης του άνθρακα. Το κάδμιο συσσωρεύεται στα σπαρτά, που αναπτύσσονται κοντά σε πηγές εκπομπής του. Σοβαρά μαζικά ατυχήματα δηλητηρίασης έχουν συμβεί στο παρελθόν, όταν αγροτικοί πληθυσμοί κατανάλωσαν μολυσμένα προϊόντα όπως το ρύζι, εμφανίζοντας σοβαρές ανωμαλίες και παθήσεις.

Το κάδμιο και οι ενώσεις του είναι γνωστά καρκινογόνα, υπεύθυνα για πολλές μορφές καρκίνου. Αυξημένα ποσά καδμίου έχουν ανιχνευτεί στο κρέας και το γάλα ζώων κοντά σε πηγές εκπομπής του. Μόνο στην Γερμανία το 1978 αναφέρεται ότι τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας απελευθέρωσαν στο περιβάλλον 2.2 τόνους καδμίου από την καύση 110 εκ. τόνων λιγνίτη.

ζ.4) Υδράργυρος

Ο υδράργυρος είναι ένα **νευροτοξικό** βαρύ μέταλλο το οποίο συσσωρεύεται μέσω της τροφικής αλυσίδας και είναι πολύ επικίνδυνο κυρίως για τα υδατικά οικοσυστήματα. Σύμφωνα με την Υπηρεσία Ενέργειας των ΗΠΑ, τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ευθύνονται για την παραγωγή 48 τόνων υδραργύρου ετησίως και αποτελούν την μεγαλύτερη πηγή ρύπανσης υδράργυρου στις ΗΠΑ. Σε παγκόσμια κλίμακα εκπέμπουν 750-1500 τόνους υδραργύρου ετησίως. Ο υδράργυρος προσβάλλει το νευρικό και το ενδοκρινικό σύστημα, τα νεφρά και άλλα όργανα, το στόμα, τα ούλα και τα δόντια. Έκθεση για μεγάλα διαστήματα, οδηγεί σε βλάβη στον εγκέφαλο και τελικά σε θάνατο, ειδικά τα νεογνά και τα έμβρυα. Γυναίκες που είχαν εκτεθεί σε υδράργυρο κατά την εγκυμοσύνη, γέννησαν παιδιά με σοβαρές ανωμαλίες (περίπτωση Minamata Ιαπωνίας). Έκθεση σε ορισμένες ενώσεις του υδραργύρου όπως ο διμέθυλ-υδράργυρος μπορεί να οδηγήσει σε θάνατο μέσα σε λίγες ώρες. Στα μικρά παιδιά ο υδράργυρος εμποδίζει την σωστή ανάπτυξη του νευρικού ιστού και έχει ενοχοποιηθεί ακόμη και για εμφάνιση αυτιστικής συμπεριφοράς.

Τα ψάρια και τα θαλασσινά έχουν την φυσική τάση να συγκεντρώνουν υδράργυρο στον οργανισμό τους και να τον μετατρέπουν σε μέθυλο-

υδράργυρο, μια ιδιαίτερα τοξική ένωση. Κυρίως τα ψάρια που βρίσκονται πολύ ψηλά στην τροφική αλυσίδα όπως ο καρχαρίας, ο ξιφίας, ο τόνος, το σκουμπρί, κ.α. περιέχουν μεγαλύτερες ποσότητες υδραργύρου, τον οποίο λαμβάνουν από τα μικρότερα ψάρια που καταναλώνουν ως τροφή. Τα ψάρια δεν έχουν μηχανισμούς αποβολής του υδραργύρου και επομένως αυτός συνεχώς συσσωρεύεται στον οργανισμό τους. Στις γυναίκες που σκοπεύουν να μείνουν έγκυες συνιστάται η κατανάλωση ελάχιστων ποσοτήτων ψαριού έως και δύο 2 χρόνια πριν τη σύλληψη και κατά τη διάρκειά της.²⁴

4.1.2 Τέφρα

Έναν άλλο σοβαρό περιβαλλοντικό κίνδυνο αποτελεί η αιωρούμενη τέφρα που είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη τόσο για το περιβάλλον όσο και για τη δημόσια υγεία. Τα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας είναι σφαιρικά, με πολύ μικρή διάμετρο (0.5-100 μm). Αποτελούνται κυρίως από διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3) και οξείδιο του σιδήρου (Fe_2O_3). Οι εκπομπές μπορεί να μειωθούν με επεξεργασία των καυσαερίων με διάφορες τεχνολογίες φίλτρων όπως τα σακκόφιλτρα και οι ηλεκτροστατικοί κατακρημνιστές, που μπορούν να απομακρύνουν μέχρι και το 99% της ιπτάμενης τέφρας.

Η τέφρα που απομακρύνεται χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή τσιμέντου. Η διαφυγή αιωρούμενης τέφρας στο περιβάλλον εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους ραδιενεργού μόλυνσης. Ραδιενεργά στοιχεία, όπως το ουράνιο-238, το θόριο-232 και το ράδιο-226, αν και βρίσκονται σε πολύ μικρές ποσότητες στην τέφρα, εντούτοις η παράγωγή τεράστιων ποσοτήτων τέφρας στα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, οδηγεί σε μεγαλύτερη ραδιενεργό ρύπανση του περιβάλλοντος από ότι τα ίδια τα εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας.

Μείωση της έκθεσης και των επιπτώσεων στην υγεία μπορεί να γίνει μόνο με εκμηδένιση των εκπομπών ιπτάμενης τέφρας, και εγκατάστασης των εργοστασίων μακριά από κατοικημένες περιοχές ακριβώς όπως συμβαίνει με τα εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας. Το 1974 υπολογίζεται ότι μόνο στις ΗΠΑ διέφυγαν στην ατμόσφαιρα 1400 τόνοι ουρανίου από εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ποσότητα ραδιενεργού ραδίου-226 στην ιπτάμενη τέφρα μερικές φορές ξεπερνά το 1 KBq/Kg (χιλιομπεκερέλ ανά κιλό), που είναι πολύ μεγαλύτερη από την μέση φυσιολογική ποσότητα που απαντάται στα ελληνικά εδάφη (25 Bq/Kg). Η χρήση κοιτασμάτων με φυσιολογικά αυξημένες ποσότητες ραδιενεργών στοιχείων μπορεί να αποτελέσει κίνδυνο για την υγεία των εργαζομένων αλλά και του πληθυσμού κοντά στα εργοστάσια ηλεκτρικής ενέργειας. Άμεση έκθεση γίνεται από τα πολύ επικίνδυνα μικρά εισπνεύσιμα σωματίδια της τέφρας (<10 μm) αλλά και από το έδαφος στο οποίο εναποτίθενται (εξωτερική έκθεση). Επίσης από τα φυτά ή τα ζώα, από τα οποία προσλαμβάνεται και στη συνέχεια μεταφέρεται στον άνθρωπο μέσω της τροφικής αλυσίδα.

Άμεσα προβλήματα στην υγεία των ανθρώπων (κυρίως των εργαζομένων και των κατοίκων της γύρω περιοχής, ιδιαίτερα των παιδιών) μπορούν να προκληθούν από την εισπνοή τέφρας, που μπορεί να οδηγήσει σε παθολογικές καταστάσεις όπως πνευμονοκονίαση (εξαιτίας των μεγάλων ποσοστών πυριτίου) ή ακόμη και καρκίνο εξαιτίας της παρουσίας στην τέφρα διάφορων

τοξικών συστατικών, στα οποία μπορεί ο άνθρωπος να εκτεθεί άμεσα ή μέσω της τροφικής αλυσίδας (απόθεση στα φυτά, το έδαφος, τα ύδατα).²³

α) Βαρέα Μέταλλα

Βαρέα μέταλλα, είναι μια κατηγορία χημικών στοιχείων με μεγάλα μοριακά βάρη (όπως το νικέλιο, βανάδιο, αρσενικό, βηρύλλιο, βάριο, χρώμιο, χαλκός, μολυβδαίνιο, ψευδάργυρος, μόλυβδος, σελήνιο, ράδιο κ.α) τα οποία έχουν χημική συμπεριφορά μετάλλου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αν και τα στοιχεία αυτά βρίσκονται σε μικρές ποσότητες, ακόμη και η ίδια η ύπαρξή τους και η πιθανότητα απελευθέρωσής τους στο περιβάλλον θα πρέπει να κρούουν τον κώδωνα του κινδύνου καθώς τα στοιχεία αυτά είναι ιδιαίτερα τοξικά.

Κανένα από τα στοιχεία αυτά δεν συναντάται ούτε και είναι απαραίτητο για τους ζωντανούς οργανισμούς, ενώ επιπλέον είναι ιδιαίτερα τοξικά για τον άνθρωπο ή τα ζώα ακόμα και σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις. Τα βαρέα μέταλλα έρχονται σε επαφή με τον άνθρωπο κυρίως μέσω της απελευθέρωσής τους στην ατμόσφαιρα από καμινάδες εργοστασίων ηλεκτρικής ενέργειας, από το έδαφος ή τα ύδατα όπου έχουν αποτεθεί ως ρύποι και μέσω της τροφικής αλυσίδας.²³

β) Αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Mater)

Η ρυπανσμένη ατμόσφαιρα περιέχει μεγάλες ποσότητες στερεών και υγρών σωματιδίων, το μέγεθος των οποίων έχει ιδιαίτερη σημασία. Τα σωματίδια αυτά μαζί με αέρια, όπως το νιτρικό οξύ και το διοξείδιο του θείου, δημιουργούν το φωτοχημικό νέφος που υπάρχει στις πόλεις και σε περιοχές με βιομηχανική δραστηριότητα. Το μεγαλύτερο ποσοστό των αιωρούμενων σωματιδίων προέρχεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα και ιδιαίτερα από τις μηχανές των αυτοκινήτων. Το μέγεθος των σωματιδίων χωρίζεται σ' αυτά που η διάμετρος τους είναι μεγαλύτερη των 10μm (PM₁₀) και εισέρχονται στο τραχειοβρογχικό δένδρο δημιουργώντας προβλήματα που έχουν σχέση με το αναπνευστικό, όπως χρόνιες βρογχίτιδες και καρκίνο του πνεύμονα. Σωματίδια που το μέγεθος τους είναι μικρότερο και μεγαλύτερο των 2,5μm και εισέρχονται όχι μόνο στους πνεύμονες, αλλά και στην κυκλοφορία μέσω του ενδοθηλίου των κυψελίδων, δημιουργώντας προϋποθέσεις για την εμφάνιση καρδιαγγειακών προβλημάτων.

Οι παθολογοφυσιολογικοί μηχανισμοί μέσω των οποίων τα μικρά σωματίδια δρουν στο καρδιαγγειακό είναι τρεις. Ο πρώτος μηχανισμός είναι, μέσω ερεθισμού του πνευμονικού ιστού, η ενεργοποίηση του αυτόνομου νευρικού συστήματος της καρδιάς με αποτέλεσμα την εμφάνιση ταχυκαρδίας και την ελάττωση της διακύμανσης της καρδιακής συχνότητας (Heart Rate Variability) που έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση αρρυθμιών και αιφνιδίου θανάτου, ιδιαίτερα σε ηλικιωμένους ασθενείς.

Ο δεύτερος μηχανισμός είναι η απευθείας δράση στο μυοκάρδιο χωρίς την μεσολάβηση των πνευμόνων, με αποτέλεσμα τη διέγερση του αυτόνομου νευρικού συστήματος και πάλι με τα ίδια αποτελέσματα ως προαναφέρθηκαν.

Ο τρίτος και κύριος μηχανισμός, είναι η δημιουργία προϋποθέσεων φλεγμονής είτε μέσω φλεγμονής του ενδοθηλίου των πνευμόνων είτε με απευθείας δράση στο μυοκάρδιο.

Φαίνεται ότι το νέφος που δημιουργείται στην καθημερινότητα από τις μηχανές εσωτερικής καύσεως, αλλά σε μεγάλο βαθμό και από το κάπνισμα, εμπεριέχει μικρά έως πολύ μικρά σωματίδια (PM_{2.5}), τα οποία προκαλούν το οξειδωτικό *stress* σε σύντομο χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα τη δυσλειτουργία του ενδοθηλίου και την ενεργοποίηση των λευκοκυττάρων και των αιμοπεταλίων. Πολλές μελέτες τα τελευταία χρόνια έδειξαν ότι έκθεση σε μολυσμένο περιβάλλον ενεργοποιεί κυτταρικούς μηχανισμούς, με αποτέλεσμα την αύξηση των στοιχείων της φλεγμονής, όπως είναι οι κυτταροκίνες, οι χημειοκίνες, η ιντερλευκίνη-6 (IL-6), τα λεμφοκύτταρα και τα ηωσινόφιλα.²⁶

4.1.3 Υδρογονάνθρακες

Οι υδρογονάνθρακες είναι μόρια αποτελούμενα από 2 μόνο τύπους ατόμων, το υδρογόνο (H) και τον άνθρακα (C), τα οποία αποτελούν μία σχεδόν απεριόριστη ποικιλία μεγεθών και σχημάτων μορίων. Σαν παράδειγμα αναφέρεται ότι 200 περίπου διαφορετικά είδη υδρογονανθράκων εκπέμπονται από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων.

Οι φυσικές πηγές των υδρογονανθράκων περιλαμβάνουν τα δάση και τις πυρκαγιές των δασών, την φυτική καλλιέργεια και την βακτηριακή αποσύνθεση της οργανικής ύλης. Η τελευταία παράγει τεράστιες ποσότητες μεθανίου (CH₄).

Οι εκπομπές οι οποίες οφείλονται στον άνθρωπο αποτελούν μόνο το 15% της συνολικής ατμοσφαιρικής συγκεντρώσεως των υδρογονανθράκων. Δυστυχώς, όμως, οι εκπομπές αυτές είναι συγκεντρωμένες στις αστικές περιοχές και δημιουργούν τα λεγόμενα *προβλήματα ρυπάνσεως*. Οι εκπομπές αυτές παρέχουν τα συστατικά για την παραγωγή της αιθαλομίχλης. Άλλες πηγές υδρογονανθράκων οι οποίες οφείλονται στον άνθρωπο περιλαμβάνουν ορισμένες βιομηχανικές κατεργασίες: α) την εξάτμιση και β) την καύση. Η καύση ενός τόνου ορυκτού άνθρακα ελευθερώνει 10 περίπου κιλά υδρογονανθράκων.

Όλες όμως αυτές οι πηγές είναι μικρές, συγκρινόμενες με την κατεργασία και την χρήση του πετρελαίου. Η μεταφορά και η διανομή της βενζίνης δεν μπορεί να γίνει χωρίς εξάτμιση, η οποία όμως καίγεται και από τα συστήματα καύσεως των αυτοκινήτων. Κατά την λειτουργία των μηχανών εσωτερικής καύσης ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα υδρογονάνθρακες ή εντελώς άκαυστοι ή μετά από ατελή καύση.²³

α) Επίδραση των Υδρογονανθράκων

Εκτός από τον ρόλο των υδρογονανθράκων στη δημιουργία της φωτοχημικής αιθαλομίχλης, αρκετοί από αυτούς είναι καρκινογόνοι. Το βενζοπυρένιο είναι μία από τις ενώσεις, η οποία υπάρχει στον καπνό των τσιγάρων. Πολλές μελέτες σε μεγάλη κλίμακα, αναφέρουν ότι το βενζοπυρένιο προκαλεί καρκίνο των πνευμόνων. Οι περισσότεροι από τους κατοίκους των πόλεων αναπνέουν τόσο βενζοπυρένιο από τον αέρα, όσο αν κάπνιζαν 7 τσιγάρα ημερησίως. Σε κάποιες πόλεις μάλιστα οι κάτοικοι αναπνέουν από τον αέρα τόσο βενζοπυρένιο, όσο αντιστοιχεί σε 40 με 50 τσιγάρα ημερησίως.

Το περισσότερο βενζοπυρένιο το οποίο υπάρχει στον αέρα είναι αποτέλεσμα της καύσεως του ορυκτού άνθρακα. Ένα περίπου 10% εκπέμπεται από τις εξατμίσεις των αυτοκινήτων κι' ένα άλλο μικρό μέρος προέρχεται από την καύση του πετρελαίου και το κατεργασμένο ελαστικό. Το βενζοπυρένιο είναι μόνο ένας τύπος καρκινογόνου υδρογονάνθρακα.

Οι συγκέντρωση των υδρογονανθράκων στον αέρα δεν εξαρτάται μόνο από την πυκνότητα του πληθυσμού, αλλά και από άλλους παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες. Η συγκέντρωση είναι παραδείγματος χάρι υψηλότερη τις θερμές μέρες του χρόνου.

Οι υδρογονάνθρακες αποτελούν το 13% των ετήσιων εκπεμπόμενων ρυπαντών του αέρα και γι' αυτό πρέπει να ληφθούν μέτρα για τον έλεγχό τους.²³

4.1.4 Οργανικές ενώσεις

Η τοξικότητα των οργανικών ενώσεων ποικίλει ανάλογα με το είδος τους. Π.χ. ορισμένα ισομερή πολυχλωριωμένων διφαινυλίων έχουν **ισχυρή τοξικότητα ανάλογη των διοξινών**. Τα πιο συνήθη συμπτώματα στους ανθρώπους που έχουν εκτεθεί σε μεγάλη δόση, είναι δερματικές παθήσεις όπως εξανθήματα, καθώς και ηπατικές βλάβες. Οι σοβαρότερες επιπτώσεις αφορούν τις μητέρες και τα βρέφη. Επίσης σε ζώα που καταναλώνουν μολυσμένες τροφές μπορεί να προκληθούν ηπατικές βλάβες, αναιμία, δερματικές παθήσεις, βλάβες στο στομάχι και το θυρεοειδή, αλλαγές του ανοσοποιητικού συστήματος, διαταραχές συμπεριφοράς, προβλήματα στην αναπαραγωγή καθώς και θάνατος. Τα διφαινύλια που έχουν τοξικότητα διοξίνης είναι δυνατό να προκαλέσουν τερατογενέσεις τόσο στους ανθρώπους όσο και στα ζώα. Οι γυναίκες που είχαν εκτεθεί π.χ. από κατανάλωση μολυσμένων ψαριών γέννησαν παιδιά με κακή ανάπτυξη και με διαταραχές συμπεριφοράς όπως ανικανότητα χειρισμού μηχανημάτων, προβλήματα μνήμης, κλπ. Οι οργανικές ενώσεις μπορεί να μεταφερθούν στο μωρό τόσο μέσω του γάλακτος όσο και μέσω του πλακούντα, και μπορούν να προκαλέσουν ανωμαλίες όπως θηλυκοποίηση των αρσενικών εμβρύων, ή γέννηση μωρών χωρίς φύλο που είναι και οι πιο συνηθισμένες περιπτώσεις (ενδοκρινικές ανωμαλίες). Όλες σχεδόν οι ενώσεις αυτές έχουν συνδεθεί με την εμφάνιση καρκίνου.²²

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Πειραματικό Μέρος

5.1 Εισαγωγή

Η όξινη κατακρίμνηση αποτελείται κυρίως από αραιωμένο H_2SO_4 και HNO_3 και προέρχεται από την καύση φυσικών καυσίμων. Έχει γίνει ένα από τα κυριότερα περιβαλλοντικά προβλήματα και αποτελεί αντικείμενο εκτεταμένης έρευνας στην Δυτική Ευρώπη και στις ΒΑ ΗΠΑ για περίπου 35 χρόνια τώρα.

Η όξινη βροχή ευθύνεται για την καταστροφή δέντρων, την οξύνιση των λιμνών και την διάβρωση των μαρμάρινων κατασκευών και των αρχαίων μνημείων. Πρόσφατα, ιδιαίτερη προσοχή έχει επικεντρωθεί στη φθορά των μαρμάρων της Ακρόπολης στην Αθήνα.³⁵

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται τα αποτελέσματα χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού βροχής που συλλέχθηκε από τρεις περιοχές της πόλης των Χανίων Κρήτης την περίοδο από τον Οκτώβριο του 2007 έως και τον Δεκέμβριο του 2007.

5.2 Υλικά και Μέθοδοι Ανάλυσης

Τα δειγματοληπτικά όργανα εγκαταστάθηκαν σε 3 σημεία. Το πρώτο κοντά στο κέντρο της πόλης στην οδό Μ. Μπότσαρη 15, το δεύτερο στη περιοχή δικαστήρια στην οδό Κ. Μητσοτάκη 32 και το τρίτο στη περιοχή Χαλέπα στο κτίριο του παραρτήματος Χανίων του Τ.Ε.Ι. Κρήτης. Η Εικόνα 19 δείχνει τις περιοχές εγκατάστασης των τριών σταθμών. Η επιλογή των σταθμών δειγματοληψίας έγινε με βάση τον τόπο διαμονής των φοιτητών καθώς και την θέση του κτιρίου του ΤΕΙ.

Τα δείγματα νερού βροχής συλλέχθηκαν σε μεταλλικά δοχεία διαμέτρου 25cm, τα οποία τοποθετήθηκαν στην ταράτσα του κτιρίου της οδού Μπότσαρη και σε απόσταση 20m από τον δρόμο, σε μπαλκόνι του κτιρίου της οδού Κ. Μητσοτάκη και στον χώρο του υπαίθριου αμφιθεάτρου στο κτίριο του ΤΕΙ. Πριν τη συλλογή του δείγματος γινόταν καλή πλύση των μεταλλικών δοχείων με άφθονο απιονισμένο νερό. Αμέσως μετά το τέλος της βροχόπτωσης το δείγμα μεταγγιζόταν σε δοχεία πολυαιθυλενίου τα οποία ήταν επίσης πλυμένα με απιονισμένο νερό. Τέλος τα δοχεία αυτά τοποθετούνταν σε σταθερή θερμοκρασία 10-12°C στο ψυγείο. Σημειώνεται ότι η μετάγγιση γινόταν άμεσα έτσι ώστε να αποφευχθεί η πρόσμιξη άλλων συστατικών της ατμόσφαιρας με το δείγμα. Εντός 1 ημέρας πραγματοποιούνταν η μέτρηση και η καταγραφή των αποτελεσμάτων στο Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Υδατικών & Εδαφικών Πόρων του ΤΕΙ Κρήτης.

Όλα τα δείγματα υπόκειντο σε ποσοτική χημική ανάλυση για τον καθορισμό της ολικής οξύτητας (pH), ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC), σκληρότητας, χλωριόντων (Cl^-), νιτρικού αζώτου (NO_3^- -N), αμμωνιακού αζώτου (NH_4^+ -N), θεικών ιόντων (SO_4^{2-}), ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}), ιόντα νατρίου (Na^+) και ιόντα καλίου (K^+). Η αγωγιμότητα μετρήθηκε χρησιμοποιώντας αγωγιμόμετρο τύπου Hach (sension portable). Η μέτρηση του pH γινόταν με pHμετρο τύπου Hach (sension portable), το οποίο πριν από κάθε μέτρηση υφίστατο βαθμονόμηση (calibration) με σταθερό διάλυμα pH=4 και pH=7. Ο προσδιορισμός των χημικών συστατικών έγινε με ημιποσοτική μέθοδο ανάλυσης (Merck kits). Οι συγκεντρώσεις SO_4^{2-} , NO_3^- , και NH_4^+

γινόταν φωτομετρικά με το φωτόμετρο MERC (Nova 90), οι μετρήσεις του Ca^{2+} , K^+ και Na^+ πραγματοποιούνταν με φλογοφωτόμετρο ενώ ο προσδιορισμός της σκληρότητας γινόταν ογκομετρικά με την μέθοδο EDTA και των χλωριόντων με ογκομέτρηση Νιτρικού Αργύρου (AgNO_3). Ο μικρότερος όγκος σε ml που χρειαζόταν για την ολοκλήρωση της ανάλυσης ήταν 70ml.



Εικόνα 19: Χάρτης της πόλης των Χανίων και περιοχές δειγματοληψίας.²⁷

Προσδιορισμός του pH:

Ο όρος pH χρησιμοποιείται για να εκφράσει την ένταση της οξύτητας ή της αλκαλικότητας ενός διαλύματος. Η συνήθης κλίμακα του pH των διαλυμάτων είναι από 0-14. Για τιμές pH μικρότερες του 7 το δείγμα χαρακτηρίζεται όξινο, ενώ για τιμές pH μεγαλύτερες του 7 το δείγμα χαρακτηρίζεται βασικό-αλκαλικό.

Ο προσδιορισμός του pH γίνεται με εκλεκτικό ηλεκτρόδιο καλομέλανος, συνδεδεμένο με τα κατάλληλα βολτόμετρο και για την σωστή τους λειτουργία είναι απαραίτητη η βαθμονόμηση τους με πρότυπα διαλύματα. Η βαθμονόμηση επαναλαμβάνεται κάθε φορά που διαπιστώνεται ότι υπάρχει απόκλιση των μετρήσεων από τις πραγματικές τιμές.

Για τον προσδιορισμό του pH του βρόχινου νερού θέτουμε σε λειτουργία το όργανο και επιλέγουμε την ένδειξη pH. Ξεπλένουμε το ηλεκτρόδιο 2-3 φορές με απιονισμένο νερό και το στέλεχος του σκουπίζεται προσεκτικά. Στην συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία της βαθμονόμησης στην οποία το ηλεκτρόδιο εισάγεται μαζί με τον αισθητήρα θερμοκρασίας σε ένα πρότυπο διάλυμα με pH=7. Επιλέγουμε την

εντολή της βαθμονόμησης του πεχαμέτρου και ακολουθούνται οι οδηγίες που εμφανίζονται στην οθόνη του οργάνου. Στη συνέχεια ξεπλένουμε πάλι το ηλεκτρόδιο με απιονισμένο νερό και το εισάγουμε σε πρότυπο διάλυμα με $\text{pH}=4$ και ακολουθώντας τις οδηγίες του οργάνου. Όταν ολοκληρωθεί η βαθμονόμηση του οργάνου είμαστε έτοιμοι να μετρήσουμε το pH του δείγματος. Τέλος, να σημειωθεί ότι μετά από κάθε μέτρηση και πριν από την επόμενη το ηλεκτρόδιο ξεπλένεται με απιονισμένο νερό ώστε να μη μολυνθούν τα διαφορετικά δείγματα.²⁸

Προσδιορισμός της Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας:

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός διαλύματος αποτελεί μέτρο της ικανότητάς του να μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα και ποικίλλει ανάλογα με τον αριθμό και το είδος των ιόντων που βρίσκονται στο διάλυμα. Η μέτρηση γίνεται με μεταβολή της μεταβλητής αντίστασης μέχρι να διακοπεί εντελώς η ροή του ρεύματος από το κύκλωμα ανίχνευσης στο οποίο υπάρχει μετρητής ρεύματος. Η αγωγιμότητα των διαλυμάτων, αντίθετα από τα μέταλλα αυξάνει με άνοδο της θερμοκρασίας, ενώ εξαρτάται από τη φύση των ιόντων και το ιξώδες του διαλύματος. Σε χαμηλές συγκεντρώσεις (καθαρό νερό), ένα σημαντικό μέρος της αγωγιμότητας οφείλεται στη διάσταση του νερού.

Για τον προσδιορισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του βρόχινου νερού θέτουμε σε λειτουργία το όργανο και επιλέγουμε την ένδειξη της αγωγιμότητας. Ξεπλένουμε το ηλεκτρόδιο 2-3 φορές με απιονισμένο νερό και σκουπίζουμε το στέλεχος προσεκτικά. Στην συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία της βαθμονόμησης στην οποία το ηλεκτρόδιο αγωγιμότητας εισάγεται στο πρότυπο διάλυμα με γνωστή αγωγιμότητα και ακολουθούνται οι οδηγίες του οργάνου. Όταν ολοκληρωθεί η βαθμονόμηση του οργάνου είμαστε έτοιμοι να μετρήσουμε την αγωγιμότητα του δείγματος. Τέλος, να σημειωθεί ότι μετά από κάθε μέτρηση και πριν από την επόμενη το ηλεκτρόδιο ξεπλένεται με απιονισμένο νερό ώστε να αποφευχθούν σφάλματα στις μετρήσεις.²⁸

Προσδιορισμός Ολικής Σκληρότητας:

Η ολική σκληρότητα είναι μια χαρακτηριστική παράμετρος που εκφράζει το σύνολο των κατιόντων ασβεστίου με την μορφή του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3). Εάν υπάρχουν και άλλα κατιόντα συμπεριλαμβάνονται και αυτά.

Ο κύριος τρόπος προσδιορισμού της ολικής σκληρότητας του ύδατος είναι η ογκομέτρηση με διάλυμα EDTA (Ethylene-Diamino-Tetraacetic Acid). Η αρχή της ογκομετρήσεως στηρίζεται στην παρουσία του μεταλλοχρωμικού δείκτη Eriochrome Black T ο οποίος με τα κατιόντα ασβεστίου σε ορισμένη τιμή pH δίνει έγχρωμο αλλά όχι σταθερό σύμπλοκο. Με την προσθήκη πρότυπου διαλύματος EDTA, τα κατιόντα ασβεστίου σχηματίζουν με το EDTA άχρωμο σταθερό σύμπλοκο. Με την δέσμευση όλου του ασβεστίου (ή άλλου κατιόντος) από το EDTA απελευθερώνεται ο δείκτης, ο οποίος έχει άλλο χρώμα.²⁹

Για τον προσδιορισμό της σκληρότητας του βρόχινου νερού βάζουμε σε μία κωνική φιάλη 25ml δείγματος και προσθέτουμε μια ταμπλέτα σκληρότητας και αναδεύουμε μέχρι να δούμε κυανο-πράσινο χρώμα, έπειτα προσθέτουμε 1ml NH_3 και παρατηρούμε ένα σκούρο κεραμιδί. Αυτό το κάνουμε για να φτάσουμε το $\text{pH}=10$. Τέλος, ακολουθεί τιτλοδότηση με πρότυπο διάλυμα EDTA 0,1N και παρατηρούμε

ένα σκούρο πράσινο χρώμα. Η διαδικασία αυτή μας δείχνει πόσο ασβέστιο είναι δεσμευμένο από τον δείκτη Eriochrom Black T.

Προσδιορισμός Na^+ , Ca^{2+} και K^+ (Φλογοφωτομετρικά):

Η φλογοφωτομετρία είναι μια τεχνική προσδιορισμού, που χρησιμοποιείται από το 1930. Μπορούμε να επιτύχουμε ποσοτικές αναλύσεις που δεν μπορούν να ανιχνευθούν εύκολα, με εκπομπή στοιχείων σε φλόγα. Είναι ακριβέστερη μέθοδος από άποψη αποτελεσμάτων.

Το οπτικό σύστημα που χρησιμοποιείται στα φλογοφωτόμετρα αποτελείται από φίλτρα απορρόφησης και ως ανιχνευτές χρησιμοποιούνται φωτοστοιχεία. Η φλόγα παίρνει διαφορετικό χρώμα αναλόγως με το συστατικό που θέλουμε να προσδιορίσουμε. Εάν για παράδειγμα θέλουμε να προσδιορίσουμε άλας νατρίου, τότε η φλόγα παρατηρείται με κίτρινο χρώμα, ενώ η παρουσία ενός άλατος ασβεστίου χρωματίζει τη φλόγα κόκκινη. Το φαινόμενο αυτό αποτελεί την βάση για την ανίχνευση κυρίως του νατρίου, καλίου και ασβεστίου.

Ο χρωματισμός της φλόγας οφείλεται στο γεγονός ότι τα μόρια της ένωσης διασπώνται σε άτομα. Στη συνέχεια τα άτομα διεγείρονται και κατά την αποδιέγερση τους, παρατηρείται εκπομπή της ακτινοβολίας. Το μήκος κύματος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται, εξαρτάται από τη φύση του στοιχείου που εισέρχεται στο χώρο της φλόγας. Υπάρχει η δυνατότητα, κατά την εκπομπή ενός συγκεκριμένου μήκος κύματος, να απομονωθεί το στοιχείο με την χρήση κατάλληλων οπτικών φίλτρων και να ανιχνευθεί από τον φωτο-ανιχνευτή. Η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται είναι το μέτρο της συγκέντρωσης του στοιχείου στο δείγμα που εισάγεται στη φλόγα.³⁰

Για τον προσδιορισμό του Ca^{2+} και K^+ στο θαλασσίνο νερό προηγείται αραιώση 1:100, ενώ για το Na^+ 1:10.000.

Προσδιορισμός Νιτρικού Αζώτου (NO_3^- -N):

Σε θειικό και φωσφορικό διάλυμα, νιτρικά ιόντα αντιδρούν με 2,6 dimethylphenol και σχηματίζουν 4-Nitro-2,6 dimethylphenol το οποίο προσδιορίζεται φωτομετρικά.

Με μια πιπέτα προσθέτουμε 4ml αντιδραστηρίου NO_3^- σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα. Συμπληρώνουμε 0,5ml δείγματος με μια πιπέτα χωρίς ανάδευση. Έπειτα, προσθέτουμε 0,5ml από το αντιδραστήριο NO_3^- και αναδεύουμε. Παρατηρούμε ότι το δείγμα θερμαίνεται. Το αφήνουμε να πάρει θερμοκρασία περιβάλλοντος για 10 λεπτά και γίνεται μέτρηση στο φωτόμετρο.³¹

Προσδιορισμός του αμμωνιακού αζώτου (NH_4^+ - N):

Το αμμωνιακό άζωτο με την μορφή αμμωνιακού ιόντος και αμμωνίας υπάρχει σε μια ισορροπία η οποία εξαρτάται από το pH. Σε ισχυρά αλκαλικό διάλυμα, το αμμωνιακό άζωτο υπάρχει σχεδόν αποκλειστικά με τη μορφή αμμωνίας η οποία αντιδράει με το χλώριο και σχηματίζει μονοχλωραμίνη. Αυτό στη συνέχεια αντιδρά με θυμόλη και σχηματίζει ένα παράγωγο ινδοφαινόλης το οποίο προσδιορίζεται φωτομετρικά.

Τοποθετούμε με μια πιπέτα 5ml δείγματος σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα, συμπληρώνουμε 0,6 ml NH₄-1 και αναδεύουμε. Εν συνεχεία, προσθέτουμε μία μικροκουταλιά από το αντιδραστήριο NH₄-2 και αναδεύουμε. Αφήνουμε το μίγμα σε ηρεμία για 5 min. Έπειτα ρίχνουμε τέσσερις σταγόνες NH₄-3 και αναδεύουμε. Το διάλυμα αφήνεται σε ηρεμία για 5min και τέλος προσδιορίζουμε φωτομετρικά.³¹

Προσδιορισμός θειικών ιόντων (SO₄²⁻):

Τα θειικά ιόντα αντιδρούν με ιωδιούχο βάριο και απελευθερώνεται ιώδιο. Με το ιώδιο η τανίνη υπόκειται σε οξείδωση που έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό καφέ-κόκκινης ένωσης η οποία προσδιορίζεται φωτομετρικά.

Με μία πιπέτα τοποθετούνται 2,5 ml δείγματος σε ένα δοκιμαστικό σωλήνα. Προσθέτονται 2 σταγόνες αντιδραστήριου SO₄-1 και αναδεύουμε. Προστίθεται μία κουταλιά αντιδραστήριου SO₄-2 και αναδεύουμε καλά μέχρι να διαλυθεί το αντιδραστήριο. Στη συνέχεια τοποθετείται ο δοκιμαστικός σωλήνας με το διάλυμά μας σε υδατόλουτρο και θερμαίνεται για 5 min στους 40°C. Αφού περάσουν τα 5 min προστίθενται 2,5 ml SO₄-3 και αναδεύουμε. Το διάλυμα φιλτράρεται σε ένα δεύτερο δοκιμαστικό σωλήνα μέσω διηθητικού χαρτιού και προσθέτονται τέσσερις σταγόνες αντιδραστήριου SO₄-4. Τέλος, θερμαίνουμε το διάλυμά μας σε υδατόλουτρο στους 40°C για 7 min και φωτομετρούμε.³¹

Για τον προσδιορισμό των θειικών ιόντων στο θαλασσινό νερό, γίνεται αραιώση 1:25. Παίρνουμε 1ml από το δείγμα και το τοποθετούμε στο φιαλίδιο που περιέχει αντιδραστήριο SO₄⁻ και αναδεύουμε. Προσθέτουμε μια κουταλιά αντιδραστήριου SO₄-1K και αναδεύουμε. Αφήνεται σε ηρεμία για 2 min και στη συνέχεια μετράμε φωτομετρικά.

Προσδιορισμός Χλωριόντων (Cl⁻):

Το χλώριο υπό τη μορφή χλωριόντων, αποτελεί ένα από τα βασικά ανόργανα ανιόντα των υδάτων. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για τον προσδιορισμό των χλωριόντων. Η μέθοδος του νιτρικού αργύρου (AgNO₃) είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη. Πρόκειται για ογκομετρική μέθοδο που στηρίζεται στη δέσμευση χλωριόντων και σχηματισμό άλατος χλωριούχου αργύρου (AgCl₂), παρουσία δείκτη χρωμικού καλίου (K₂CrO₄) κατά την ογκομέτρηση ορισμένης ποσότητας δείγματος, με διάλυμα AgNO₃.³⁰

Σε κωνική φιάλη τοποθετούμε 25 ml αραιωμένου δείγματος μαζί με 1ml K₂CrO₄ και με ανάδευση που πραγματοποιείται, παρατηρούμε την αλλαγή του χρώματος σε κίτρινο. Τέλος, ογκομετρούμε με AgNO₃ N=0,01492 ,έως να παρατηρηθεί η αλλαγή του χρώματος από κίτρινο σε κεραμιδί. Να σημειωθεί ότι για τον προσδιορισμό των χλωριόντων στο θαλασσινό νερό αρχικά θα πρέπει να πραγματοποιηθεί αραιώση 1:100 λόγω της υψηλής συγκέντρωσης ιόντων χλωρίου που υπάρχουν στο νερό.

5.3 Αποτελέσματα – Συζήτηση

Στη συνέχεια γίνεται η παρουσίαση και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την χημική σύσταση των δειγμάτων βροχής που αναλύθηκαν. Στα Σχήματα 1, 2, 3 που ακολουθούν δίνονται τα αποτελέσματα του pH, αγωγιμότητας, Νιτρικών (NO₃⁻), Αμμωνιακών (NH₄⁻), Θειικών (SO₄²⁻) ιόντων, Χλωριόντων,

Σκληρότητας καθώς και οι συγκεντρώσεις των ιόντων Νατρίου (Na^+), Ασβεστίου (Ca^{2+}) και Καλίου (K^+) για όλα τα δείγματα βροχής που συλλέχθηκαν στην πόλη των Χανίων και αναλύθηκαν. Η σύστασή τους αντανακλά κυρίως την σύσταση των αέριων μαζών οι οποίες τροφοδότησαν τα νέφη με σωματίδια. Οι αέρειες αυτές μάζες, πριν πλυθούν από τις βροχές, διέσχισαν μεγάλες αποστάσεις και κατά την διάρκεια αυτού του «ταξιδιού» εμπλουτίστηκαν με σωματίδια.

Στην πρώτη σειρά του Σχήματος 1 βλέπουμε τις τιμές του pH στην περιοχή της Μπότσαρη. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι η μέγιστη τιμή του είναι 8.21 και η ελάχιστη 4.5, ενώ ο μέσος όρος ήταν 6.5. Στις 06/11/2007 που έχουμε τη μέγιστη τιμή pH, δεν είχε πραγματοποιηθεί η μέτρηση για το νιτρικό άζωτο (NO_3^- -N) λόγω έλλειψης επαρκούς ποσότητας δείγματος. Το αμμωνιακό άζωτο (NH_4^+ -N) μετρήθηκε σε χαμηλή συγκέντρωση όπως και τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-}). Αντίθετα στις 17/11/2007 που παρατηρείται πάλι το pH αλκαλικό, η συγκέντρωση των NO_3^- -N και SO_4^{2-} βρέθηκε υψηλή που αυτό θα έπρεπε να προκαλεί τη οξύνιση του. Όμως η παρουσία υψηλής συγκέντρωσης του NH_4^+ -N που επιδρά στην αύξηση του pH, φαίνεται ότι λειτούργησε σαν παράγοντας ουδετεροποίησης.

Στις 05/12/2007 που έχουμε την ελάχιστη τιμή pH παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις NO_3^- -N και SO_4^{2-} είναι χαμηλές, ενώ η συγκέντρωση NH_4^+ -N είναι υψηλότερη. Αυτή η σχέση μεταξύ των ιόντων δεν αιτιολογεί πλήρως την χαμηλή τιμή του pH καθώς είναι πιθανό να υπάρχουν και άλλοι λόγοι που προκαλούν τη μείωση του pH.

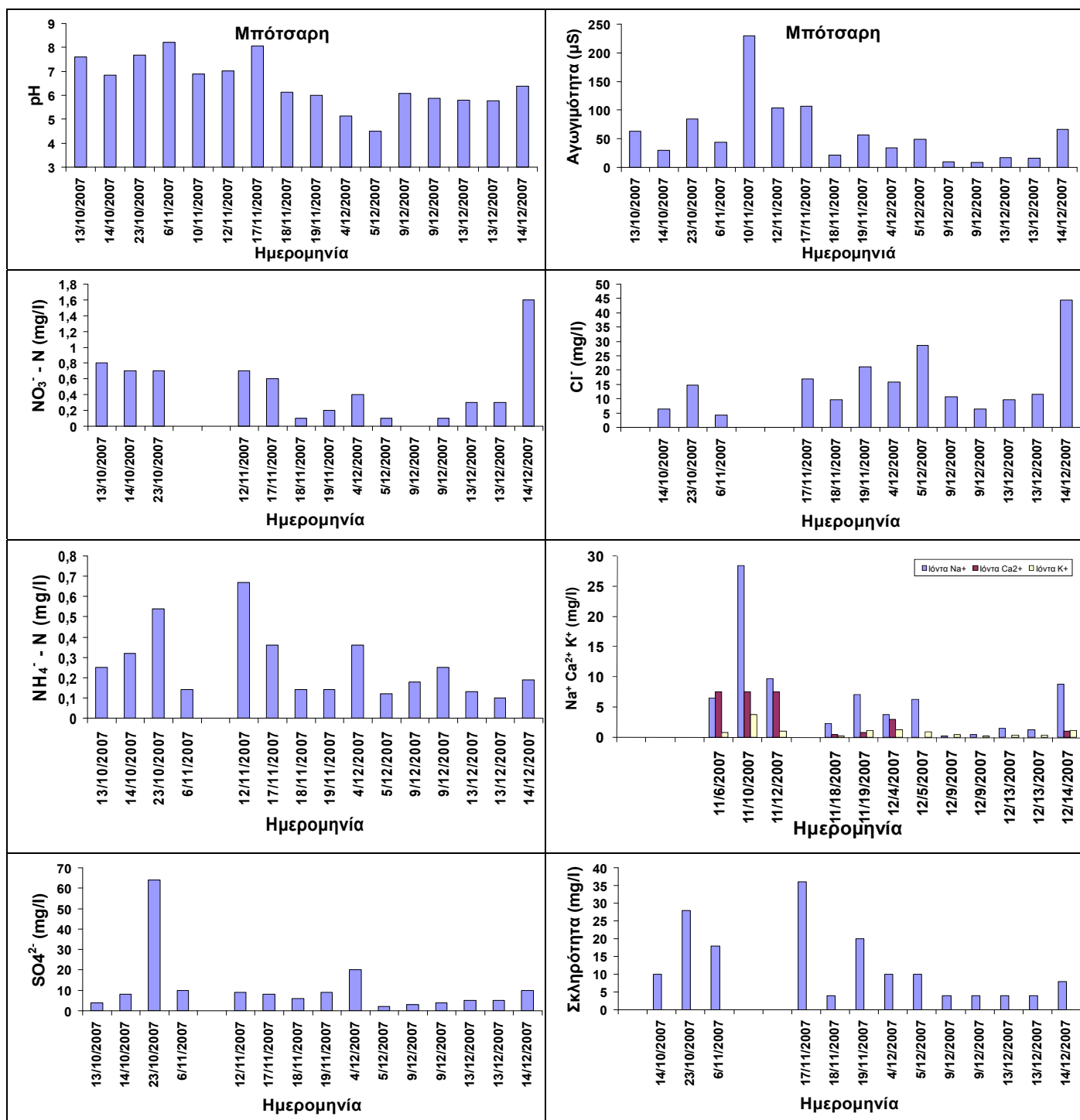
Στην αριστερή στήλη των αποτελεσμάτων του Σχήματος 1 από τις μετρήσεις ιόντων NO_3^- -N παρατηρούμε την υψηλότερη συγκέντρωσή τους στις 14/12/2007 που θα έπρεπε να προκαλέσει στη μείωση του pH. Αντίθετα, παρατηρούμε ότι το pH κυμαίνεται σε ουδέτερες προς αλκαλικές τιμές. Φαίνεται ότι η συγκέντρωση του NH_4^+ -N από μόνη της δεν μπορεί να έχει προκαλέσει την άνοδο του pH.

Η υψηλή συγκέντρωση των ιόντων SO_4^{2-} συνήθως δηλώνει μείωση του pH στο νερό βροχής, πράγμα όμως που δεν επιβεβαιώνεται στις παρούσες αναλύσεις. Στις 13/10/2007 παρατηρούμε πάλι υψηλή συγκέντρωση NO_3^- -N, αλλά είναι υψηλή και η συγκέντρωση των NH_4^+ -N γι' αυτό ίσως το pH να κυμαίνεται πάλι σε αλκαλικές τιμές. Η συγκέντρωση των SO_4^{2-} είναι χαμηλή και δε φαίνεται να επηρεάζει το αποτέλεσμα.

Προχωρώντας στην τρίτη σειρά του Σχήματος 1, παρουσιάζονται οι τιμές των συγκεντρώσεων του NH_4^+ -N. Η μέγιστη τιμή στις 12/11/2007 δε φαίνεται να επηρεάζει την τιμή του pH, η οποία είναι η μεγαλύτερη που μετρήθηκε. Το γεγονός αυτό, οφείλεται στην υψηλή συγκέντρωση των NO_3^- -N και SO_4^{2-} , επιπλέον όμως και σε άλλους παράγοντες ουδετεροποίησης του pH. Στις 13/12/2007 που έχουμε την χαμηλότερη συγκέντρωση NH_4^+ -N, παρατηρούμε ουδέτερη τιμή στο pH. Αυτό αντισταθμίζεται, βέβαια, από την υψηλή συγκέντρωση NO_3^- -N και SO_4^{2-} . Στις 09/12/2007 παρατηρούμε όμως ότι το pH βρίσκεται σε ουδέτερη τιμή. Συγκρίνοντας το με τα ιόντα του NH_4^+ -N, διαπιστώνουμε ότι έχουμε υψηλή συγκέντρωση ενώ την ίδια στιγμή δεν υπάρχουν ιόντα NO_3^- -N. Η συγκέντρωση των SO_4^{2-} βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα.

Στην τέταρτη και τελευταία σειρά του Σχήματος 1 βλέπουμε τις τιμές των συγκεντρώσεων των SO_4^{2-} ιόντων. Παρατηρούμε τη μέγιστη τιμή τους στις 23/10/2007. Υπό άλλες συνθήκες θα έπρεπε το pH να είναι μειωμένο, εφόσον είναι παράγοντας μείωσης του pH. Όμως κάτι τέτοιο δεν βλέπουμε να συμβαίνει. Επίσης, τα NO_3^- -N βρίσκονται σε υψηλή συγκέντρωση όπως και τα NH_4^+ -N.

Αντίθετα στις 04/12/2007 που υπάρχει πάλι υψηλή συγκέντρωση SO_4^{2-} , NO_3^- -N και NH_4^+ -N παρατηρούμε ότι pH μετρήθηκε κοντά στο 5.



Σχήμα 1. Μεταβολή ποιοτικών χαρακτηριστικών δειγμάτων βρόχινου νερού που συλλέχθηκαν κοντά στο κέντρο της πόλης των Χανίων, την περίοδο από 13/10/07 έως 14/12/07.

Στην πρώτη σειρά της δεύτερης στήλης του Σχήματος 1 βλέπουμε τις τιμές της αγωγιμότητας στην περιοχή Μπότσαρη. Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή της είναι στις 10/11/2007, ενώ η ελάχιστη στις 09/12/2007.

Στη δεύτερη σειρά της δεύτερης στήλης του Σχήματος 1 βλέπουμε τις συγκεντρώσεις των χλωριόντων των δειγμάτων βροχής. Σε γενικές γραμμές παρατηρούμε ότι τα ιόντα του Cl⁻ επηρεάζουν στην μεταβολή της αγωγιμότητας. Φαίνεται ότι όσο αυξάνεται η συγκέντρωση των Χλωριόντων (Cl⁻), αυξάνεται η τιμή

της αγωγιμότητας και αντιστρόφως, με εξαίρεση στις 14/12/2007 που ενώ έχουμε την μεγαλύτερη συγκέντρωση Cl^- , η τιμή της αγωγιμότητας δεν επηρεάζεται.

Στην τρίτη σειρά, παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των ιόντων Νατρίου (Na^+), Ασβεστίου (Ca^{2+}) και Καλίου (K^+). Παρατηρούμε ότι το Na^+ σε σύγκριση με τα άλλα δύο ιόντα, επηρεάζει περισσότερο την αγωγιμότητα. Δηλαδή, αύξηση Na^+ συνεπάγεται αύξηση αγωγιμότητας και το αντίστροφο. Συγκεκριμένα στις 10/11/2007 έχουμε την μέγιστη συγκέντρωση ιόντων Na^+ , ενώ παράλληλα έχουμε την μέγιστη τιμή της αγωγιμότητας. Οι συγκεντρώσεις των ιόντων Ca^{2+} δε φαίνεται να έχουν ιδιαίτερη επίδραση στις τιμές της αγωγιμότητας. Όσον αφορά τις συγκεντρώσεις του K^+ παρατηρούμε ότι συμβαίνει ακριβώς το ίδιο με το Na^+ , όμως σε μικρότερη κλίμακα.

Στην τέταρτη σειρά βλέπουμε τις τιμές των συγκεντρώσεων της σκληρότητας. Όπως και με το Na^+ παρατηρούμε ότι αύξηση αγωγιμότητας συνεπάγεται αύξηση σκληρότητας και το αντίθετο.

Στην πρώτη στήλη του σχήματος 2. στην περιοχή των Δικαστηρίων η μέγιστη τιμή pH που μετρήθηκε ήταν περίπου 7.5, ενώ η μικρότερη βρέθηκε στο 4.5. Η μέση τιμή βρίσκεται στο 6,1.

Προχωρώντας στη δεύτερη σειρά που παρουσιάζεται το νιτρικό άζωτο NO_3^- -N. Εδώ παρατηρούμε ότι οι πολύ υψηλές συγκεντρώσεις, συγκεκριμένα για τις ημέρες 13/11/2007 και 5/12/07, προκάλεσαν ελάχιστη μείωση του pH, αντίθετα με την αναμενόμενη οξίνιση που προκαλεί στο νερό της βροχής.

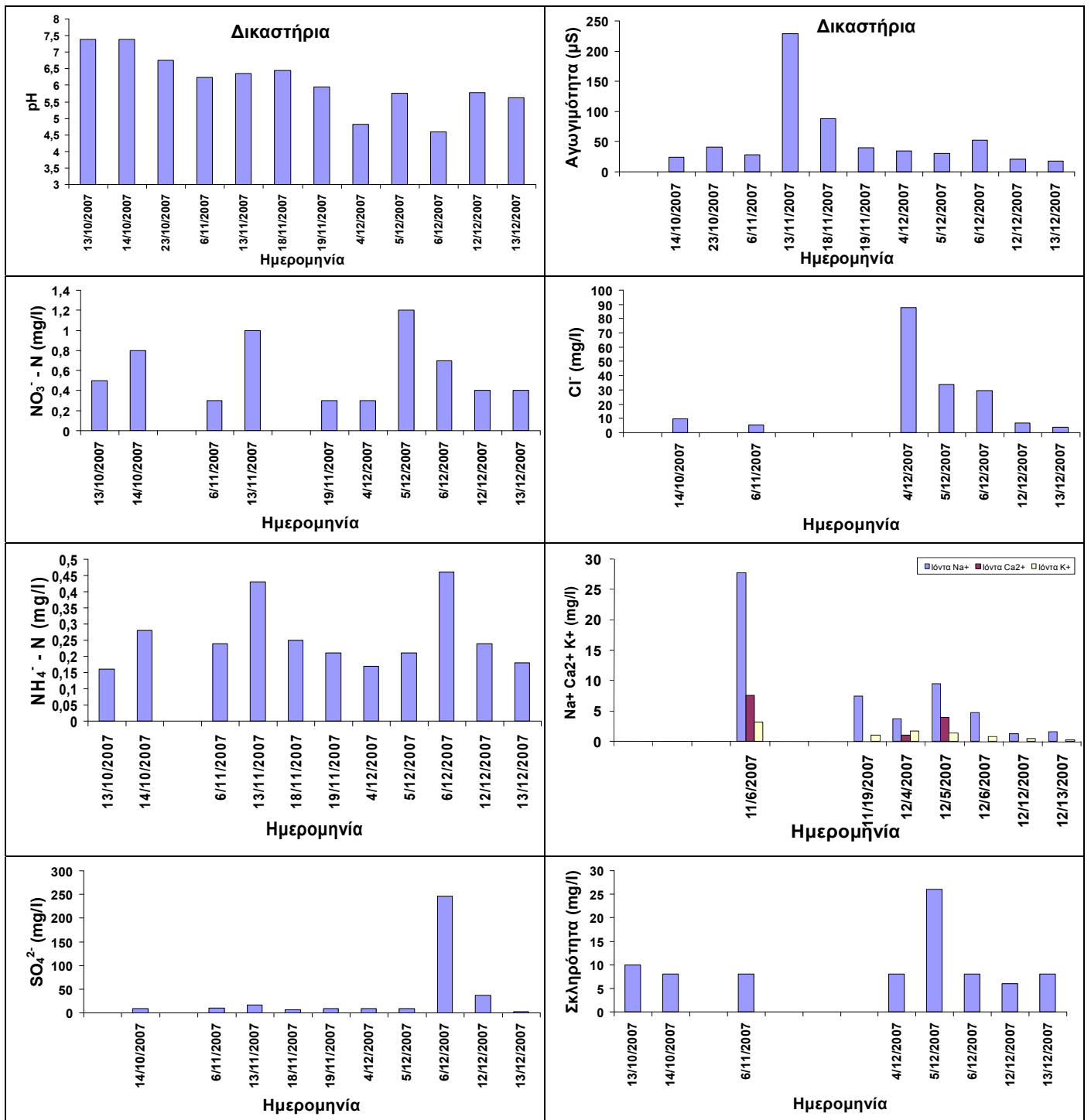
Στη συνέχεια, στην τρίτη σειρά το αμμωνιακό άζωτο (NH_4^+ -N) φαίνεται να εξουδετερώνει το νιτρικό άζωτο τις ημέρες 14/10/2007 και 13/11/2007, καθόσον ουδετεροποιεί το pH όταν εκείνο τείνει να το μειώσει. Εξαιρείται η ημέρα της 6/12/2007 που το αμμωνιακό άζωτο έχει αυξημένη συγκέντρωση, όταν το νιτρικό άζωτο βρίσκεται σε χαμηλή συγκέντρωση την ίδια ημέρα.

Τέλος, στην τέταρτη σειρά παρουσιάζονται τα θειικά ιόντα. Στις περισσότερες μετρήσεις ανιχνεύτηκαν σε αρκετά χαμηλές συγκεντρώσεις. Μία μόνο συγκέντρωση είναι αρκετά υψηλή που παρατηρείται στις 6/12/2007 και ταυτόχρονα αυξημένες τιμές παρουσιάζονται και στο αμμωνιακό και νιτρικό άζωτο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του pH.

Στη δεύτερη στήλη του σχήματος στην πρώτη σειρά που προβάλετε η αγωγιμότητα έχει μέγιστη τιμή στις 13/11/2007, όμως τη συγκεκριμένη ημέρα δεν είχαν ληφθεί μετρήσεις για τα χλωριόντα, Na^+ , Ca^{2+} , K^+ και για σκληρότητα.

Συνεχίζοντας στη δεύτερη σειρά με τα χλωριόντα τα οποία βρίσκονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις, εκτός από τις 4/12/2007 που είναι η υψηλότερη. Όμως σε σύγκριση με την αγωγιμότητα την ίδια ημέρα, δε φαίνεται να επαληθεύεται η ερμηνεία που δόθηκε προηγουμένως στην περιοχή της Μπότσαρη, καθώς εδώ τα χλωριόντα μειώνουν την τιμή της.

Στην τρίτη σειρά, μόνο το Νάτριο (Na^+) έχει τη μέγιστη συγκέντρωση στις 6/11/2007 σε σχέση με τα υπόλοιπα ιόντα του Ασβεστίου (Ca^{2+}) και Καλίου (K^+). Την συγκεκριμένη ημέρα η τιμή της αγωγιμότητας είναι αρκετά χαμηλή. Πιθανόν για τον λόγο αυτό να οφείλονται άλλοι παράγοντες, οι οποίοι δεν έχουν εξετασθεί. Το ασβέστιο (Ca^{2+}) είναι ανεξάρτητο, ενώ το Κάλιο (K^+) ακολουθεί τη συμπεριφορά του Νατρίου (Na^+).



Σχήμα 2. Μεταβολή ποιοτικών χαρακτηριστικών δειγμάτων νερού βροχής, που συλλέχθηκαν από την περιοχή Δικαστηρίων (Κ. Μητσοτάκη) της πόλης των Χανίων την χρονική περίοδο από 13/10/07 έως 13/12/07.

Τελειώνοντας στην τέταρτη σειρά οι μετρήσεις που καταγράφηκαν κατά τον προσδιορισμό της σκληρότητας, έχει τη μεγαλύτερη τιμή στις 5/12/2007 αλλά η αγωγιμότητα δεν επηρεάζεται καθώς οι τιμές της σκληρότητας δε φαίνεται να συμβαδίζουν με τις τιμές της αγωγιμότητας.

Στην πρώτη στήλη του σχήματος 3 στην περιοχή της Χαλέπα, η μέγιστη τιμή pH που μετρήθηκε ήταν 7.6, ενώ η ελάχιστη 3.54. Η μέση τιμή ήταν 6. Στις 05/12/2007 όπου μετρήθηκε η χαμηλότερη τιμή, παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση

του NO_3^- -N και SO_4^{2-} είναι χαμηλή σε σύγκριση με την συγκέντρωση του NH_4^+ -N, αποτέλεσμα που δεν αιτιολογεί την μείωση του pH και επομένως είναι πιθανό να υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που το επηρεάζουν.

Στη δεύτερη σειρά παρουσιάζονται οι τιμές του NO_3^- -N. Παρατηρούμε ότι στις 10/12/2007 έχουμε την μεγαλύτερη συγκέντρωση του NO_3^- -N, ενώ και η συγκέντρωση του NH_4^+ -N είναι υψηλή με αποτέλεσμα η τιμή του pH να παραμένει σε ουδέτερο επίπεδο.

Προχωρώντας στην τρίτη σειρά συναντάμε τις τιμές συγκεντρώσεων του NH_4^+ -N. Εδώ παρατηρούμε ότι στις 10/12/2007 έχουμε την μεγαλύτερη συγκέντρωση των αμμωνιακών. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, αυτό έχει ως αποτέλεσμα την διατήρηση του pH σε ουδέτερα επίπεδα. Αντίθετα, στις 05/12/2007 έχουμε πάλι υψηλή συγκέντρωση NH_4^+ -N, αλλά αυτό δεν είναι αρκετό για την διατήρηση του pH σε ουδέτερα επίπεδα.

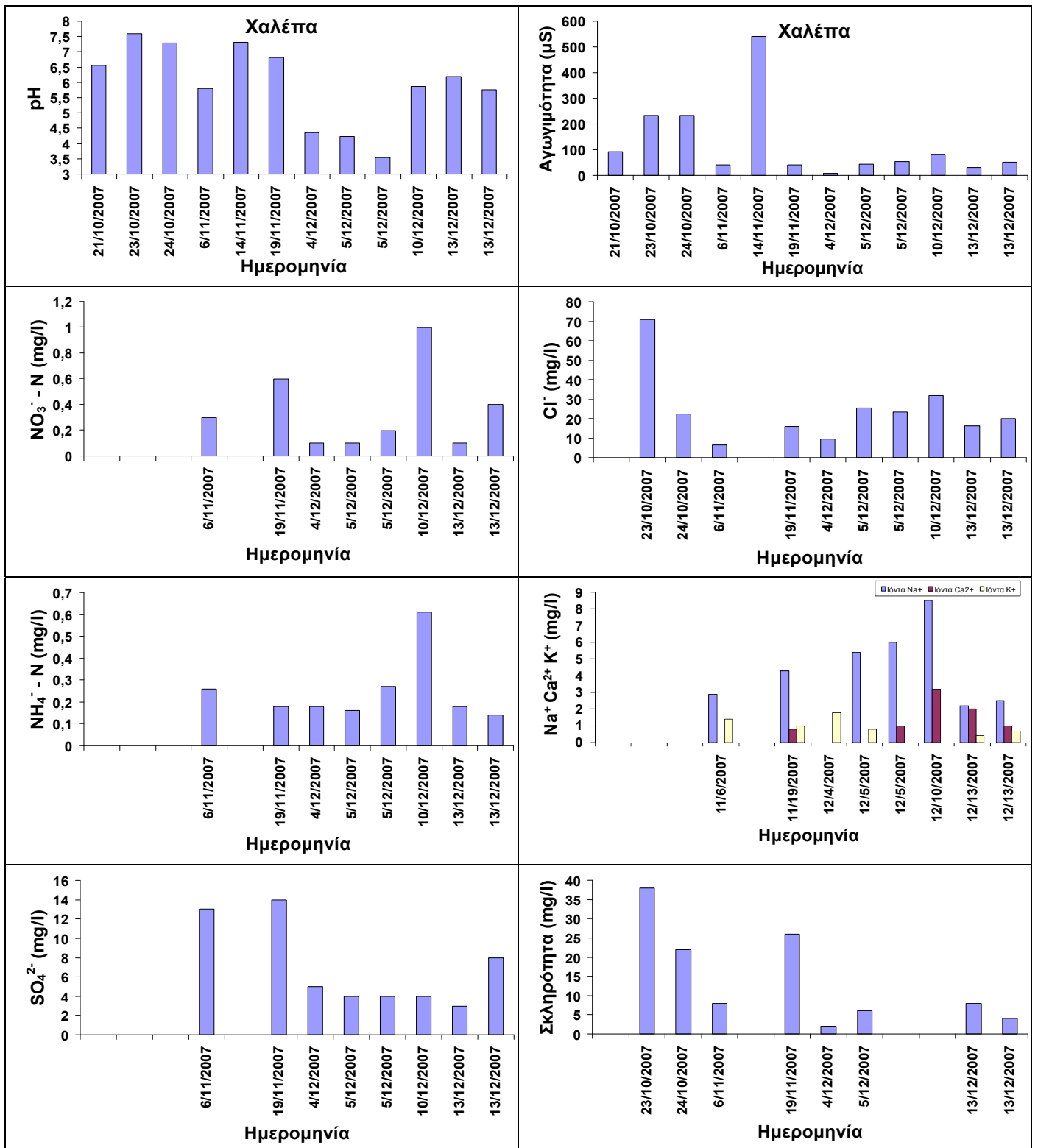
Στην τέταρτη και τελευταία σειρά, βλέπουμε τις συγκεντρώσεις των SO_4^{2-} ιόντων. Στις 19/11/2007 έχουμε μέγιστη συγκέντρωση, η οποία όμως δεν επηρεάζει άμεσα την τιμή του pH. Ανάλογα το ίδιο συμβαίνει και με όλα τα δείγματα τα οποία δεν φαίνεται να προκαλούν μεταβολές στην τιμή του pH.

Συνεχίζοντας τώρα στη δεύτερη στήλη του Σχήματος 3, εμφανίζονται οι τιμές της αγωγιμότητας στην πρώτη σειρά. Παρατηρούμε ότι η υψηλότερη αγωγιμότητα μετρήθηκε στις 14/11/2007, όμως αυτό δεν συνοδεύεται από υψηλές συγκεντρώσεις Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , K^+ και σκληρότητας. Η ελάχιστη τιμή αγωγιμότητας μετρήθηκε στις 04/12/2007, η οποία όπως φαίνεται να συνδυάζεται και με τη μικρή συγκέντρωση των παραπάνω ιόντων, εκτός του ιόντος K^+ που για τη συγκεκριμένη μέρα έχει την μέγιστη τιμή.

Στην δεύτερη σειρά βλέπουμε ότι η μέγιστη συγκέντρωση των ιόντων του Cl^- , βρέθηκε στις 23/10/2007, που συγκρίνοντας το με την τιμή της αγωγιμότητας την ίδια ημέρα, παρατηρούμε μόνο μια μικρή αύξηση της. Παρατηρούμε τις τιμές των συγκεντρώσεων ιόντων Cl^- , να συμβαδίζουν με αυτές της αγωγιμότητας αντίστοιχα.

Παρακάτω στην τρίτη σειρά, παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις των ιόντων Na^+ , Ca^{2+} , και K^+ . Οι υψηλές συγκεντρώσεις των ιόντων Na^+ , συνήθως αντιστοιχούν με τις υψηλές τιμές αγωγιμότητας, αλλά αυτό δε συμβαίνει στη συγκεκριμένη περίπτωση. Οι συγκεντρώσεις των ιόντων Ca^{2+} δεν είναι ανάλογες με τις τιμές που βρέθηκαν στην αγωγιμότητα. Συμβάλουν όμως στην αύξηση της τιμής του pH και πιο συγκεκριμένα, τα δείγματα για τις ημέρες στις 10/12 και 13/12/2007. Επίσης οι συγκεντρώσεις των ιόντων K^+ δεν συμβαδίζουν και αυτές με τις τιμές της αγωγιμότητας.

Τέλος, στην τέταρτη σειρά έχουμε τις τιμές που μετρήθηκαν κατά τον προσδιορισμό της σκληρότητας. Παρατηρούμε λοιπόν ότι για μεγάλες συγκεντρώσεις σκληρότητας, έχουμε υψηλές τιμές αγωγιμότητας, με μια εξαίρεση για το δείγμα που πάρθηκε στις 19/11/2007 που δε μας το πιστοποιεί.



Σχήμα 3. Μεταβολή διάφορων ποιοτικών χαρακτηριστικών δειγμάτων νερού βροχής, που συλλέχθηκαν από την περιοχή Χαλέπα (κτήριο TEI) την περίοδο από 21/10/07 έως 13/12/07.

Το σχήμα 4 δείχνει την διακύμανση του pH στα 3 διαφορετικά σημεία δειγματοληψίας. Παρατηρούμε σημαντικές διακυμάνσεις στις δειγματοληψίες 23/10, 06/11, 19/11, 04/12, 05/12, και 13/12. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις οι τιμές του pH κυμάνθηκαν περίπου στα ίδια επίπεδα.

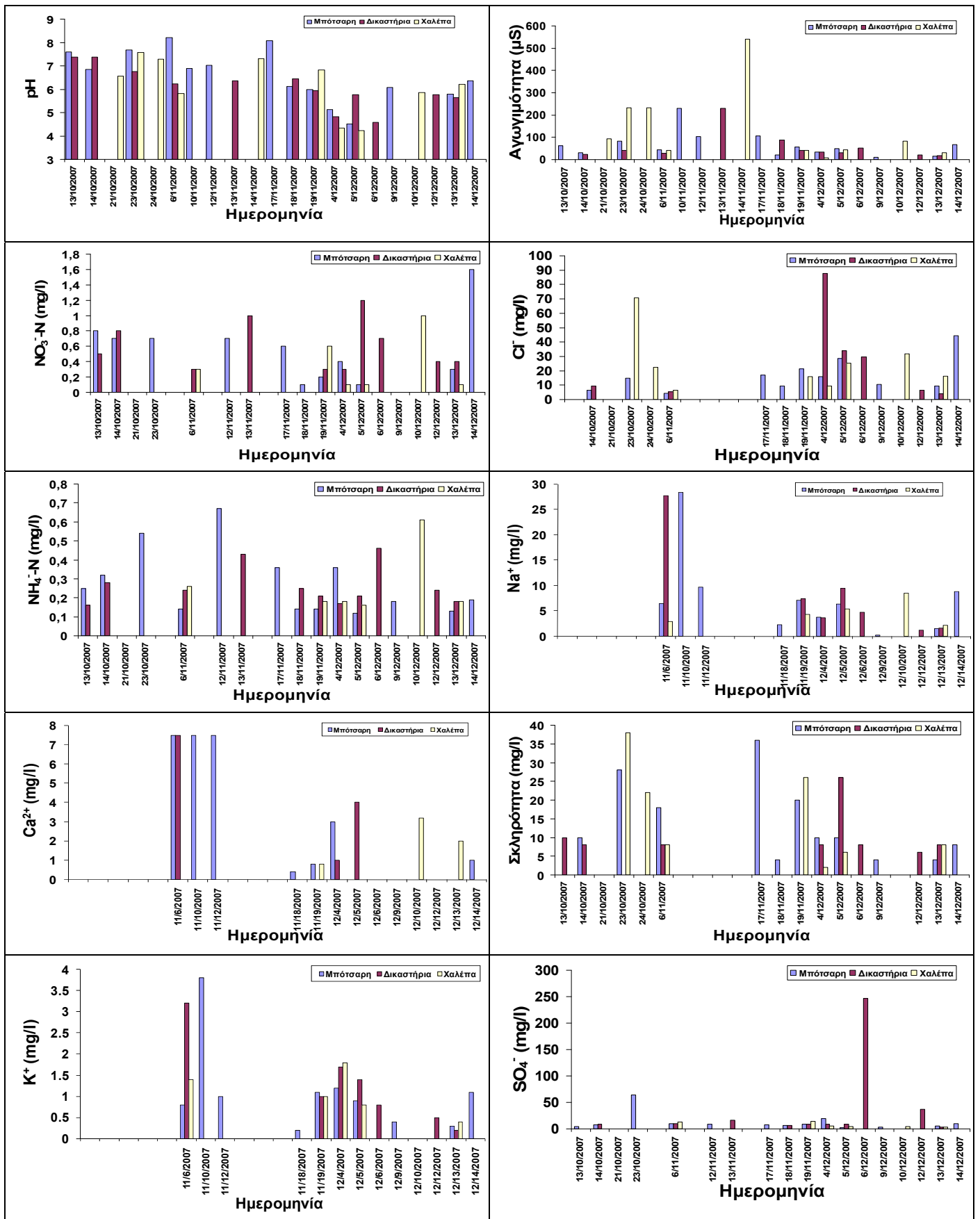
Κατόπιν συγκρίσεως των 7 ημερομηνιών δειγματοληψίας παρατηρήθηκε ότι στις 04/12 και 05/12 είχαμε τις πιο χαμηλές τιμές pH και στις τρεις περιοχές δειγματοληψίας στις οποίες έχουμε τις υψηλότερες συγκεντρώσεις Θεϊκών (SO_4^{2-}) και Νιτρικών (NO_3^- -N) ιόντων. Αυτό σημαίνει ότι οι αέριες μάζες έχουν εμπλουτισθεί με θεϊκά και νιτρικά αερολύματα τα οποία εκπέμπονται αποκλειστικά από διαδικασίες καύσεων. Άρα οι περιοχές οι οποίες έχουν χαμηλό pH είναι ρυπανσμένες από θεϊκά και νιτρικά αερολύματα που οφείλονται κυρίως σε ανθρωπογενείς παράγοντες (καυσαέρια από την αυξημένη κυκλοφορία αυτοκινήτων, οικιακά συστήματα θέρμανσης κλπ). Επίσης, άλλη μια χαμηλή ένδειξη $\text{pH}=4,59$ παρουσιάζεται στις 06/12 στην περιοχή των Δικαστηρίων στην οποία παρατηρούμε πάλι ότι έχουμε τις υψηλότερες συγκεντρώσεις θεϊκών και νιτρικών ιόντων. Κατά την αποτύπωση των αποτελεσμάτων παρατηρείται το εξής παράδοξο. Από τις παραπάνω 7 τιμές pH που παρουσιάζουν διακυμάνσεις φαίνεται ότι στην περιοχή της Μπότσαρη η οποία βρίσκεται κοντά στο κέντρο της πόλης λήφθηκαν μεγαλύτερες τιμές pH (εκτός από την 19/11 και 05/12) σε αντίθεση με την περιοχή των Δικαστηρίων και της Χαλέπας. Αυτό πιθανόν να οφείλεται ότι η δειγματοληψία στην περιοχή Μπότσαρη γινόταν μακριά από τον κεντρικό δρόμο.

Ισχυρά οξέα (H_2SO_4 , HNO_3) που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι υπεύθυνα για την δημιουργία της όξινης βροχής. Στην πόλη των Χανίων τα παραπάνω οξέα προέρχονται από τις εξατμίσεις των μέσων μαζικής μεταφοράς. Ουδέτερες προς αλκαλικές τιμές pH υποδεικνύουν την ουδετεροποίηση που λαμβάνει χώρα ως κύρια διαδικασία κατά την διάρκεια της βροχής. Το χημικό προφίλ της βροχής στα Χανιά φαίνεται ότι επηρεάζεται πολύ από την παρουσία ηλεκτρολυτών που προέρχονται από τις διαδικασίες ουδετεροποίησης με τη σκόνη από το έδαφος και από την εξάτμιση της θάλασσας.

Στην πρώτη σειρά της δεύτερης στήλης, παρουσιάζονται οι τιμές της αγωγιμότητας των δειγμάτων. Παρατηρούμε ότι μικρή αγωγιμότητα σημαίνει χαμηλές συγκεντρώσεις σε ιόντα. Η πιο μικρή τιμή αγωγιμότητας στην Μπότσαρη είναι 9,69 , στα Δικαστήρια 17,53 και στην Χαλέπα 8,68. Παρατηρούμε ότι και στις τρεις περιοχές η μικρή τιμή της αγωγιμότητας συμβαδίζει με τις χαμηλές συγκεντρώσεις τόσο σε κατιόντα όσο και σε ανιόντα. Ανάλογα, η αγωγιμότητα στα υπόλοιπα όπου είναι μεγαλύτερη, συμφωνεί και με τις αυξημένες συγκεντρώσεις σε ανιόντα και κατιόντα.

Το ασβέστιο (Ca^{2+}) είναι γνωστό ότι αυξάνει το pH των δειγμάτων. Στα δείγματα βρόχινου νερού που αναλύθηκαν βρέθηκε ότι το υψηλότερο pH στην Μπότσαρη ήταν 8,21, στα Δικαστήρια 6,24, ενώ στην περιοχή της Χαλέπας 5,86. Η συγκέντρωση των ιόντων ασβεστίου (Ca^{2+}) στα δείγματα αυτά ήταν η μεγαλύτερη που μετρήθηκε σε όλα τα δείγματα για κάθε περιοχή ξεχωριστά.

Με βάση επιστημονική έρευνα (32) το ασβέστιο (Ca^{2+}) και τα ιόντα αμμωνίου (NH_4^+) είναι οι κύριοι παράγοντες ουδετεροποίησης της βροχής. Όπως βρέθηκε το Ca^+ συνεισφέρει το 80% στην ουδετεροποίηση και το υπόλοιπο 20% η ατμοσφαιρική αμμωνία. Αυτό συμφωνεί και με τα δεδομένα μας. Η κύρια πηγή ατμοσφαιρικού ασβεστίου είναι η σκόνη του εδάφους λαμβάνοντας υπόψη ότι η πλειονότητα του εδάφους της Ελλάδας αποτελείται από ασβεστόλιθο. Επιπλέον στην σκόνη αυτή υπολογίζεται και η μεταφορά σκόνης από τη Σαχάρα. Τα ιόντα αμμωνίου (NH_4^+) προέρχονται ή από το έδαφος ή από ανθρωπογενείς δραστηριότητες ή από άλλα φυσικά αίτια.



Σχήμα 4. Μεταβολή ποιοτικών χαρακτηριστικών δειγμάτων νερού βροχής από τις περιοχές Μ.Μπότσαρη, Δικαστήρια και Χαλέπα της πόλης των Χανίων. Συγκεντρωτικά σχήματα.

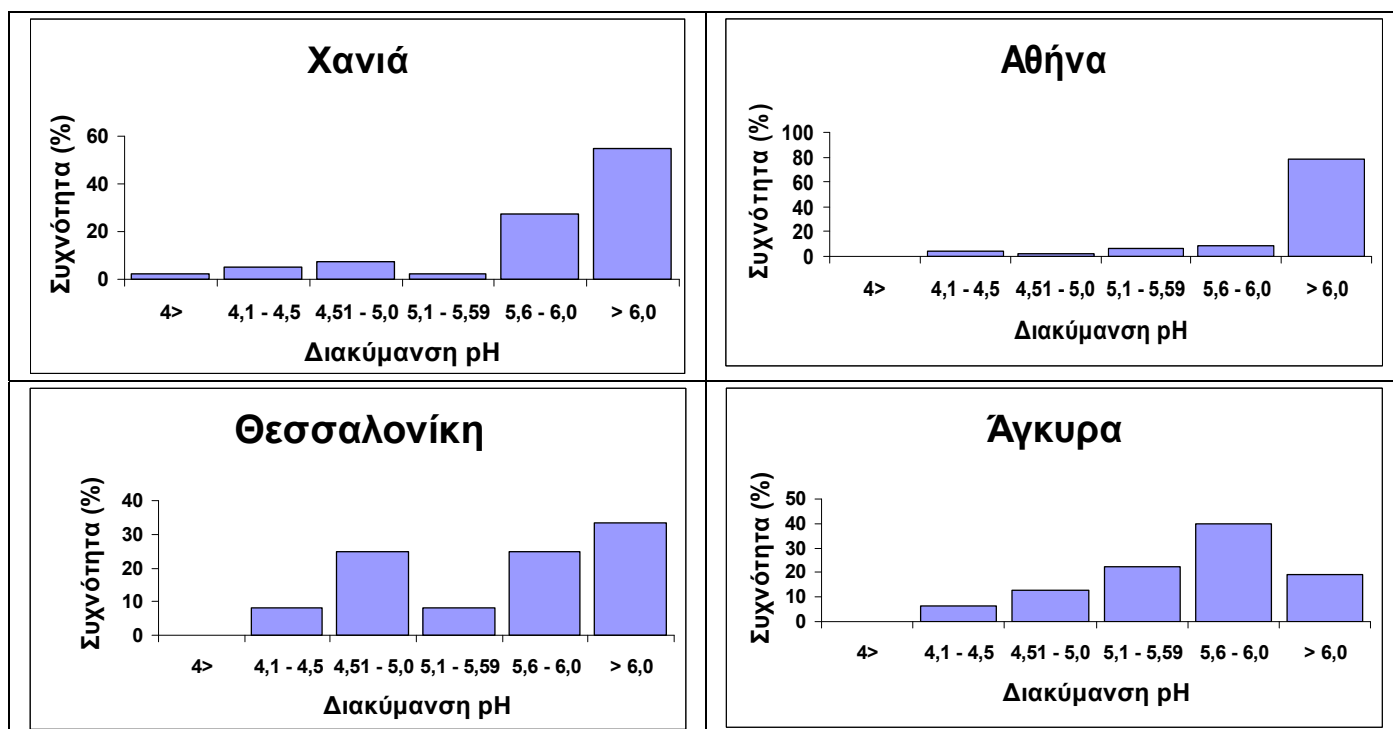
Στα δείγματα που πάρθηκαν στις 14/10, 18/11, 19/11, 13/12 και 14/12 από την Μπότσαρη, τα δείγματα στις 06/11, 13/11, 19/11, 12/12 και 13/12 από τα Δικαστήρια και τα δείγματα στις 06/11, 19/11, 10/12 και 13/12 της Χαλέπας φαίνεται πως η «αλκαλικότητα» του pH που προκαλείται από την υψηλή συγκέντρωση ιόντων Ca^{2+} εξουδετερώνεται από τα νιτρικά (NO_3^-) και τα θειικά (SO_4^{2-}). Σε αυτές τις περιπτώσεις έχουμε ανάμιξη δύο κατηγοριών αέριων μαζών: α) Νότιων μη ρυπασμένων από τη Σαχάρα και Βόρειων ρυπασμένων που έχουν διασχίσει αστικά κέντρα και βιομηχανικές περιοχές. Στο δείγμα που πάρθηκε στις 05/12 στα δικαστήρια φαίνεται επίσης, ότι μέρος της οξύτητας, λόγω της παρουσίας νιτρικών (NO_3^-) και θεικών (SO_4^{2-}) εξουδετερώθηκε από την υψηλή συγκέντρωση ιόντων Ca^{2+} . Για το λόγο αυτό, το pH του δείγματος αυτού είναι ελαφρά μεγαλύτερο από αυτό του δείγματος στις 13/12 παρά το γεγονός ότι η συγκέντρωση των θεικών στο δείγμα στις 05/12 είναι τριπλάσια από το δείγμα στις 13/12. Κάτι αντίστοιχο φαίνεται να συμβαίνει στα δείγματα που πάρθηκαν στις 14/12 και στις 09/12 στην περιοχή της Μπότσαρη και στις 04/12 και 05/12 σε μικρότερη κλίμακα όμως στην Χαλέπα.

Το σχήμα 5 δείχνει την διακύμανση του pH (από 3,54 – 8,21) από 40 δείγματα σε όλη την περίοδο των μετρήσεων. Περίπου το 20% των δειγμάτων βροχής εμφανίζεται με $\text{pH} \leq 5,6$ και μόνο ένα 8% των δειγμάτων εμφανίζεται με $\text{pH} < 4,5$. Η χαμηλότερη τιμή pH της βροχής που μετρήθηκε είναι το 3,54 (Χαλέπα 05/12). Οξινες τιμές του pH φανερώνουν την παρουσία ισχυρών οξέων στο βρόχινο νερό, ενώ ουδέτερες ή αλκαλικές τιμές pH οφείλονται στα εξουδετερωμένα οξέα με αμμωνία, με αλάτι της θάλασσας και με σκόνη εδάφους (κυρίως με CaCO_3). Υψηλές συγκεντρώσεις στερεών (δυσδιάλυτων) υλικών στα δείγματα μικρών ποσοτήτων βροχής είναι υπεύθυνα για ουδέτερες τιμές pH.

Στο σχήμα 5, όπου φαίνεται η κατανομή του pH στην πόλη των Χανίων, γίνεται μια σύγκριση τιμών pH νερού βροχής με άλλες πόλεις της Ελλάδος (Αθήνα, Θεσσαλονίκη) και μία της Τουρκίας (Αγκυρα)^{32,33,34}. Παρατηρούμε ότι και στις τέσσερις περιπτώσεις το μεγαλύτερο μέρος των δειγμάτων έχουν αλκαλικό χαρακτήρα. Αυτό επιβεβαιώνει όσα αναφέρονται παραπάνω για αλκαλικό pH. Δηλαδή, καθώς πέφτει η βροχή αναμιγνύεται με την σκόνη που υπάρχει στην ατμόσφαιρα και σταγονίδια από τη θάλασσα με αποτέλεσμα η ανάμιξη αυτή να προκαλεί ουδέτερο προς αλκαλικό pH.

Φυσικές ή ανθρωπογενείς πηγές και διαδικασίες (θαλασσινό αλάτι, σκόνη του εδάφους, HNO_3 , H_2SO_4 , NH_3) είναι υπεύθυνες για το ιονικό «προφίλ» της βροχής. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος για τον υπολογισμό της συμβολής των αλάτων της θάλασσας στις συγκεντρώσεις ιόντων βροχής είναι η σύγκριση των λόγων $[\text{Na}^+]/[\text{Cl}^-]$, $[\text{K}^+]/[\text{Na}^+]$, $[\text{Ca}^{2+}]/[\text{Na}^+]$ και $[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{Na}^+]$.³³ Η τρίμηνη μέση τιμή του λόγου $[\text{Na}^+]/[\text{Cl}^-]$ για 24 δείγματα από όλες τις περιοχές δειγματοληψίας είναι 0,466, ενώ ο ίδιος λόγος για το θαλασσινό νερό είναι 0,58. Η τιμή του λόγου για κάθε περιοχή ξεχωριστά είναι 0,31 στην Μπότσαρη (για 10 δείγματα), 1,05 στα Δικαστήρια (για 6 δείγματα) και 0,21 στην Χαλέπα (για 8 δείγματα). Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται στον Πίνακα 4.

Οι παραπάνω αναλογίες βοηθούν στο να διαπιστωθεί κατά πόσο η σύσταση του νερού της βροχής επηρεάζεται από την γειτνίαση με την θάλασσα. Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι για να είναι σωστός αυτός ο λόγος, απαιτείται ετήσιος κύκλος δειγματοληψιών βρόχινου νερού καθώς και θαλασσινού νερού έτσι ώστε να είναι εφικτή η σύγκριση αυτών των δύο παραμέτρων για την εξαγωγή συμπερασμάτων.



Σχήμα 5. Διακύμανση του pH στην πόλη των Χανίων, της Αθήνας, της Θεσσαλονίκης και της Άγκυρας.^{32,33,34}

Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι στην περιοχή της Αθήνας, η μέση ετήσια τιμή του λόγου $[Na^+]/[Cl^-]$ για 57 δείγματα βρέθηκε 0,81, ενώ η αντίστοιχη τιμή για το θαλασσινό νερό είναι 0,86. Αυτό δείχνει ότι η σύσταση του εξεταζόμενου βρόχινου νερού επηρεάζεται από την θάλασσα, αφού οι τιμές είναι πολύ κοντά η μία με την άλλη.³² Το ίδιο ισχύει και για την περιοχή των Χανίων αφού η τιμή του λόγου $[Na^+]/[Cl^-]$ είναι πολύ κοντά. Άρα την περίοδο των μετρήσεων η σύσταση των βροχών ήταν επηρεασμένη από την θάλασσα. Οι παραπάνω λόγοι υπολογίστηκαν και στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Στον Πίνακα 5 φαίνονται οι μέσες τιμές των λόγων των ιόντων του βρόχινου νερού και οι αντίστοιχες τιμές για το θαλασσινό νερό. Ο μέσος όρος των λόγων της βροχής είναι μεγαλύτερος από τους αντίστοιχους λόγους για το θαλασσινό νερό κατά 26-38%. Αυτές οι μέσες τιμές της σύστασης της βροχής επηρεάζονται σημαντικά από την εξάτμιση της θάλασσας, ωστόσο όμως πρέπει να υπάρχουν και μη θαλασσινές πηγές για το Cl^- .³³

Πίνακας 1. Μέσες τιμές λόγων ιόντων βρόχινου νερού και θαλασσινού νερού στις περιοχές Χανιά και Αθήνα.

-	$[Na^+]/[Cl^-]$	$[K^+]/[Na^+]$	$[Ca^{2+}]/[Na^+]$	$[SO_4^{2-}]/[Na^+]$
Χανιά	0,47	0,25	0,23	5,6
Αθήνα	0,81	0,21	2,02	1,47
Θαλασσινό νερό-Χανιά	0,58	0,3	0,5	2,7
Θαλασσινό νερό-Αθήνα	0,86	-	-	-

Πίνακας 2. Μέσες τιμές λόγω ιόντων βρόχινου νερού και θαλασσινού νερού στην περιοχή της Θεσσαλονίκης.

-	$[Cl^-]/[Na^+]$	$[K^+]/[Na^+]$	$[Ca^{2+}]/[Na^+]$	$[SO_4^{2-}]/[Na^+]$
Θεσσαλονίκη	1,62	0,36	10,26	8,16
Θαλασσινό νερό-Θεσ/νίκη	1,17	0,02	0,04	0,12

Ο προσδιορισμός του ιοντικού ισοζυγίου σε δείγματα βροχής μπορεί να δώσει πληροφορίες για την ορθότητα των μετρήσεων καθώς *ιοντικό ισοζύγιο σημαίνει ότι τα θετικά φορτία που φέρουν τα θετικά ιόντα δηλαδή τα κατιόντα είναι ίσα με τα αρνητικά φορτία που φέρουν τα αρνητικά ιόντα δηλαδή τα ανιόντα*. Το ιοντικό ισοζύγιο σε κάθε δείγμα βροχής υπολογίζεται με την μετατροπή των συγκεντρώσεων των ιόντων από mg/l σε mequivalents/l. Θα πρέπει είτε το άθροισμα των θετικών φορτίων να ισούται με το άθροισμα των αρνητικών είτε ο λόγος τους να είναι ίσος ή σχεδόν ίσος με την μονάδα.

Ο υπολογισμός του ιοντικού ισοζυγίου είναι πολύ σημαντικός διότι μας επιβεβαιώνει ότι έχουμε εργαστεί σωστά. Αυτό σημαίνει ότι αν το ιοντικό ισοζύγιο κλείνει, έχουμε προσδιορίσει το σύνολο των θετικών και των αρνητικών ιόντων σωστά. Αν όμως δεν κλείνει, σημαίνει ότι είτε μας λείπουν ανιόντα ή κατιόντα που δεν μπορέσαμε να προσδιορίσουμε είτε ότι το δείγμα μας έχει υποστεί αλλοιώσεις.³⁵

Το ιοντικό ισοζύγιο υπολογίζεται ως εξής. Για κάθε ιόν εφαρμόζουμε την εξής σχέση (1):

$$[A] = (A \cdot 1000) / E_A \quad (1)$$

Όπου [A]= Η συγκέντρωση των ιόντων σε meq/l

A= Η συγκέντρωση των ιόντων σε mg/l

E_A= ισοδύναμο βάρος για το ιοντικό είδος σε gr/l

Στον Πίνακα 2 δίνονται τα ισοδύναμα βάρη για τα ιόντα που μας ενδιαφέρουν.

Είδος	E _A
SO ₄ ²⁻	16
NH ₄ ⁺	14
NO ₃ ⁻	14
Na ⁺	23
Cl ⁻	35.5
Ca ²⁺	20
K ⁺	39.1

Το άθροισμα των θετικών ιόντων δίνεται από την σχέση (2):

$$\Sigma^+ = [H^+] + [NH_4^+ - N] + [Na^+] + [K^+] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] \quad (2)$$

Η συγκέντρωση των κατιόντων του υδρογόνου [H⁺] υπολογίζεται από την σχέση (3):

$$[H^+] = 10^{(6-pH)} \quad (3)$$

Τα υπόλοιπα ιόντα υπολογίζονται από την σχέση (1).

Το άθροισμα των αρνητικών ιόντων υπολογίζεται από την σχέση (4):

$$\Sigma^- = [Cl^-] + [NO_3^- - N] + [SO_4^{2-}] + [HCO_3^-] \quad (4)$$

Η απουσία μέτρησης των συγκεντρώσεων HCO_3^- και Mg^{2+} στην παρούσα εργασία δεν επιτρέπει τον υπολογισμό του παραπάνω λόγου. Μπορούμε όμως από την βιβλιογραφία να δώσουμε ένα παράδειγμα παρουσίας και ερμηνείας των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την ιοντική σύσταση δειγμάτων της βροχής.

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι ιοντικές συγκεντρώσεις καθώς και τα αποτελέσματα της αγωγιμότητας και του pH για πέντε δείγματα βρόχινου νερού που συλλέχθηκαν σε περιοχή που βρίσκεται σε απόσταση περίπου 110Km ΒΔ της αστικής περιοχής των Αθηνών.

Πίνακας 3. Αγωγιμότητα, pH και ιοντικές συγκεντρώσεις σε πέντε δείγματα βρόχινου νερού.

Δείγμα	Αγωγιμ.	pH	Na^+	NH_4^+-N	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	NO_3^--N	$\text{SO}_4^{2--}\text{S}$
-	$\mu\text{S}/\text{cm}$	-	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	11,3	6,2	0,78	0,37	0,04	0,01	0,28	0,48	0,12	0,60
2	47	6,6	0,96	0,78	0,08	0,12	5,85	0,55	0,47	0,99
3	19,4	5,23	1,12	0,71	0,31	0,08	0,58	1,54	0,80	1,14
4	50,2	5,74	0,93	2,14	0,97	0,24	2,45	1,86	1,18	4,03
5	45,6	7,68	0,47	0,57	0,45	0,21	6,47	1,09	0,64	0,97

Η εφαρμογή των παραπάνω σχέσεων στα πέντε δείγματα βρόχινου νερού έδωσε τα εξής αποτελέσματα:

Πίνακας 4. Ιοντικά ισοζύγια δειγμάτων βρόχινου νερού.

No	H^+	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	ISP	ISN	Π	Δ
-	Me/l	Me/l	$\mu\text{e}/\text{l}$	$\mu\text{e}/\text{l}$	$\mu\text{e}/\text{l}$	$\mu\text{e}/\text{l}$	$\mu\text{e}/\text{l}$	$\mu\text{e}/\text{l}$	$\mu\text{e}/\text{l}$	$\mu\text{e}/\text{l}$	-	-	-	-
1	0,71	33,9	26,43	1,0	0,98	14	13,4	8,29	37,3	7,20	77	66,2	1,2	10,3
2	0,25	41,7	55,71	2,0	9,84	292	15,6	33,9	61,8	324,3	402	415	1	-13
3	5,89	48,6	50,64	7,9	6,39	28,7	43,3	57,2	71,5	0,87	148	174	0,9	-26
4	1,82	40,3	153,1	25	19,84	122	52,4	84,2	252	2,8	362	397	0,9	-35
5	0,02	20,4	40,49	11	17,07	324	30,8	45,5	60,4	244,1	413	381	1	32

$\text{Π} = \text{ISP}/\text{ISN}$, $\Delta = \text{ISP}-\text{ISN}$

Από τον Πίνακα 4 παρατηρούμε ότι τα ιοντικά ισοζύγια "κλείνουν" πολύ ικανοποιητικά, πράγμα που φανερώνει τόσο το πηλίκιο Π το οποίο πλησιάζει τη μονάδα όσο και η διαφορά Δ , η οποία δεν ξεπερνά το 35. Το πρόσημο στη διαφορά φανερώνει αν το έλλειμμα των ιόντων προέρχεται από θετικά ή αρνητικά ιόντα. Για παράδειγμα, στο δείγμα 4 έχουμε διαφορά ίση με -35 που σημαίνει ότι υπάρχει πλεόνασμα 35 μονάδες ως προς τα αρνητικά ιόντα. Μας λείπουν δηλαδή κάποια θετικά ιόντα. Αντίθετα στο δείγμα 5 έχουμε πλεόνασμα 32 μονάδες ως προς τα θετικά ιόντα. Μας λείπουν δηλαδή αρνητικά ιόντα.³⁵

Από τα αποτελέσματα της παρούσης εργασίας προκύπτει ότι στην περιοχή της Μπότσαρη (Σχήμα 1) όσο αφορά τις τιμές του pH δεν επαληθεύονται οι μετρήσεις για τις συγκεντρώσεις των SO_4^{2-} , ενώ οι τιμές των ιόντων Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , και σκληρότητας συμφωνούν με τις αυξομειώσεις της αγωγιμότητας. Στην περιοχή των Δικαστηρίων (Σχήμα 2) παρόλο που υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις $\text{NO}_3^- - \text{N}$ δεν

γίνεται και η σχετική μείωση του pH, ενώ οι συγκεντρώσεις των ιόντων Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , και σκληρότητας δεν συμφωνούν με τις τιμές της αγωγιμότητας. Στην Χαλέπα (Σχήμα 3) οι τιμές του pH δεν συμφωνούν με τις συγκεντρώσεις του NO_3^- -N, SO_4^{2-} , NH_4^+ -N, ενώ οι τιμές της αγωγιμότητας δεν συμβαδίζουν με τις τιμές των ιόντων Na^+ , Ca^{2+} , K^+ σε αντίθεση με τα Cl^- και την σκληρότητα.

Τα κύρια συστατικά που προκαλούν τις όξινες κατακρυσμώσεις είναι οι ρυπαντές H_2SO_4 και HNO_3 . Αυτά τα οξέα ουδετεροποιούνται μερικώς από αέρια αμμωνία και την αλκαλική σκόνη του εδάφους, αλλά και από την εξάτμιση της θάλασσας. Η πλειοψηφία των δειγμάτων είχαν ουδέτερο ή αλκαλικό χαρακτήρα, ενώ φαίνεται ότι υψηλές συγκεντρώσεις Ca^{2+} επηρεάζουν την τιμή του pH.

Για την ποιοτική ανάλυση του βρόχινου νερού θα πρέπει να γίνουν συστηματικότερες και εκτενέστερες δειγματοληψίες σε ετήσια βάση, ώστε να έχουμε εξακριβωμένα συμπεράσματα. Επίσης, θα πρέπει να μετρηθούν εκτός από τις παραμέτρους που μετρήθηκαν σε αυτή την εργασία (pH, Αγωγιμότητα, Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , NO_3^- -N, SO_4^{2-} , NH_4^+ -N, Cl^- , Σκληρότητα) και οι συγκεντρώσεις Mg^{2+} και HCO_3^- . Τέλος, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε όλες τις μετρήσεις οι μετεωρολογικοί παράγοντες.

Βιβλιογραφία

1. http://el.wikipedia.org/wiki/Κύκλος_του_νερού
2. Χρήστος Μακρόπουλος. Γεωλογική Υπηρεσία Η.Π.Α, Ελληνικό κείμενο: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html>
3. <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleevaporation.html>
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Evaporation/Factors_influencing_the_rate_of_evaporation
5. <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleevapotranspiration.html>
6. <http://el.wikipedia.org/wiki/Υετός>
7. <http://el.wikipedia.org/wiki/Βροχή>
8. <http://utopia.duth.gr>
9. www.neo.gr/website/ergasiamathiti/37.html
10. <http://www.e-telescope.gr/gr/cat08>
11. http://xg2.blogspot.com/2008/06/blog-post_734.html
12. <http://www.prasino.gr/enviroment/acid-rain.htm>
13. <http://www.ecocrete.gr>
14. http://el.wikipedia.org/wiki/Ατμοσφαιρικά_κατακρημνισματα
15. <http://el.wikipedia.org/wiki/ph>
16. <http://www.livepedia.gr>

17. <http://www.corfuweather.gr/html/>
18. <http://el.wikipedia.org/wiki/Χιόνι>
19. <http://skifun.gr/meteorologia/o-ietos.html>
20. <http://el.wikipedia.org/wiki/Βροχή>
21. <http://el.wikipedia.org/wiki/Παγετός>
22. <http://astakos.wordpress.com> (“Ρύποι Εργοστασίων Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας”)
23. Ανώνυμος (1977) Το περιβάλλον μας και η προστασία του Εκδόσεις Ελληνικής Εταιρίας Έρευνας Ελέγχου Ρυπάνσεως Υδάτων Εδάφους Αέρος Ε.Ρ.Υ.Ε.Α. Σελ 200.
24. Βερεσόγλου Σ. Δημήτρης (1999) Οικολογία. Εκδόσεις ΕΛΛΑ. Σελ. 300.
25. <http://www.stat-athens.aueb.gr/~jpan/diatrives/Tsigopoulou/chapter2.pdf>
26. <http://zarkadoulas.wordpress.com>
27. <http://www.2821.gr/xartes.htm>
28. Λυδάκης Ν. Σημαντήρης (2005) Εγχειρίδιο εργαστηριακών ασκήσεων Χημείας 1 & 2. ΤΕΙ Κρήτης Παράρτημα Χανίων. Σελ. 240.
29. Βασιλικιώτη Γ. Σ. και Κ. Κ. Φυτιάνου (1986) Μέθοδοι ελέγχου ρυπάνσεως περιβάλλοντος. Εκδόσεις ΖΗΤΗ. Σελ. 230.
30. Σταυρουλάκης Γ. (2009). Εγχειρίδιο εργαστηρίου Τεχνολογία Ελέγχου Ποιότητας Νερού. ΤΕΙ Κρήτης Παράρτημα Χανίων. Σελ 45.
31. Merck Kit manual.
32. J.G. Dikaiakos, C. G. Tsitouris, P. Siskos, D.A. Mellisos and P. Nastos (1989) Rainwater composition in athens, greece. Atmospheric Environment Vol. 24B, No1, pp. 171-176, 1990.
33. C. Samara, R. Tsitouridou and Ch. Balafoutis (1992) Chemical composition of rain in thessaloniki, greece, in relation to meteorological conditions. Atmospheric Environment Vol. 26B, No3, pp.359-367, 1992.
34. Semra G. Tuncel and Sevgi Ungor (1995) RAINWATER CHEMISTRY IN ANKARA, TURKEY. Atmospheric Environment Vol. 30, No15, pp. 2721-2727, 1996.
35. <http://www.metal.ntua.gr/uploads/2999/askhsh5.pdf>