



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΣΤΟΝ ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ ΤΟΜΕΑ ΚΑΙ ΤΗ  
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»  
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
" Η ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΦΥΤΟΥ *CREPIS SANCTA* ΣΤΙΣ  
ΒΙΟΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ "



ΦΑΛΕΛΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΣ ΗΛΙΑΣ  
ΛΑΡΙΣΑ 2019



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μεταβολή του παγκοσμίου κλίματος και ειδικότερα οι μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που συμβαίνουν εξαιτίας της ανθρώπινης δραστηριότητας, κινητοποιούν την επιστημονική κοινότητα να μελετήσει χαρακτηριστικά όπως η δομή της ατμόσφαιρας και των αερολυμάτων (aerosol), και μετεωρολογικών φυσικών φαινομένων όπως οι κατακρημνίσεις. Στην διατριβή αυτή θα ερευνηθεί η πιθανή συμβολή του φυτού *Crepis sancta* στη δημιουργία ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων. Πιο συγκεκριμένα θα διερευνηθεί η υπόθεση αν το φυτό έχει την ικανότητα να επιδρά στη δημιουργία ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων μέσω της γύρης του και ειδικότερα μέσω παγωμάτων της γύρης ή διαφόρων παγοπυρηνωτικών μικροοργανισμών που μπορεί να βρίσκονται πάνω σε αυτή.

Το πρώτο μέρος της έρευνας περιλαμβάνει εισαγωγικά στοιχεία σχετικά με την ατμόσφαιρα, τα νέφη, τα βιοκατακρημνίσματα και τα μικροσωματίδια που περιέχονται μέσα σε αυτά όπως γύρη, μύκητες ή βακτήρια. Στη συνέχεια γίνεται βοτανική περιγραφή του φυτού *Crepis sancta* και παρουσιάζονται πρόσφατα πειραματικά δεδομένα που διεξήχθησαν στο εργαστήριο Βιοτεχνολογίας του Τ.Ε.Ι Θεσσαλίας σε αυτό το θέμα και αφορούν τις βιοκατακρημνίσεις. Τέλος συγκεντρώνοντας όλα τα παραπάνω θα διερευνηθεί ή ευστάθεια της αρχικής υπόθεσης.

## ABSTRACT

The change in global climate and in particular the changes in meteorological conditions which occur because of human activities, has mobilized the scientific community to study features such as the structure of air and aerosol and meteorological phenomena such as precipitation. In this thesis it will be investigated the possibility of the contribution of the plant *Crepis sancta* in atmospheric precipitation and more precisely the assumption that this plant has the capacity to influence the creation of atmospheric precipitation through its pollen and in particular through ice nucleating ability of pollen or through various ice nucleating microorganisms that can be found on pollen.

The first part of the survey includes introductory information about the atmosphere, clouds, precipitation and the particles contained within them such as pollen, fungi or bacteria. Next a botanical description of the plant *Crepis sancta* and also recent experimental data on this topic are presented, which were conducted by the biotechnology laboratory of T.E.I of Thessaly. Finally, after taking into account all of the above, the validity of the original assumption will be examined.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ .....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> ΠΑΓΟΠΥΡΗΝΩΣΗ.....	11
2.1 Ιστορική αναδρομή.....	11
2.2 Αρχές παγοπυρήνωσης.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ.....	14
3.1 Εισαγωγικά .....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> ΝΕΦΗ.....	16
4.1 Εισαγωγή.....	16
4.2. Ταξινόμηση νεφών.....	18
4.3 Ορογραφικά νέφη .....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ (AEROSOL).....	26
5.1 Εισαγωγή.....	26
5.2 Φυσικά αερολύματα .....	28
5.2.1 Ανόργανα αερολύματα.....	29
5.3 Ανθρωπογενή αερολύματα.....	30
5.4 Βιολογικά αερολύματα .....	31
5.4.1 Σπόρια μυκήτων .....	32
5.4.2 Γύρη .....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup> ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ.....	34
6.1 Παγοπυρήνωση της ατμόσφαιρας.....	34
6.2 Βροχή.....	35
6.3 Χιόνι.....	36
6.4 Χαλάζι.....	37
6.5 Δρόσος .....	38
6.6 Πάχνη ή Παγετός .....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 <sup>ο</sup> ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΓΟΠΥΡΗΝΩΣΗ .....	40
7.1 Εισαγωγή.....	40
7.2 Παγοπυρήνωση βακτηρίων .....	40
7.3 Παγοπυρήνωση μυκήτων.....	43
7.4 Παγοπυρήνωση φυτών.....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 <sup>ο</sup> ΓΥΡΗ ΚΑΙ ΥΠΟΣΩΜΑΤΙΑΙΑ ΓΥΡΗΣ.....	45
8.1 Εισαγωγή.....	45
8.2 Διασπορά της γύρης απο τον άνεμο.....	46
8.3 Ηλεκτρική φόρτιση της γύρης .....	49

8.4 Έκρηξη της γύρης .....	51
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup> <i>Crepis sancta</i> .....</b>	<b>54</b>
9.1 Βοτανική ταξινόμηση .....	54
9.2 Βοτανικά χαρακτηριστικά .....	56
9.3 Πολλαπλασιασμός.....	58
9.4. Παγκόσμια κατανομή.....	58
9.5. Προσαρμοστικότητα στο περιβάλλον .....	59
9.6. Υψηλή βιωσιμότητα μετά απο πυρκαγιά .....	59
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10<sup>ο</sup> ΣΚΟΠΟΣ .....</b>	<b>60</b>
<b>ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....</b>	<b>62</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>73</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>	<b>85</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό αποτελεί θεμέλιο λίθο για την υγεία των ανθρώπων και άλλων μορφών ζωής. Η κλιματική αλλαγή είναι μια διαδικασία τα αποτελέσματα της οποίας είναι ορατά με πολύ σημαντικές και ίσως μη αναστρέψιμες επιπτώσεις (Υ.Π.Ε.Κ.Α.)<sup>1</sup>. Στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (United Nations Framework Convention on Climate Change -UNFCCC)<sup>2</sup>ως κλιματική αλλαγή ορίζεται η μεταβολή του κλίματος που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, διακρίνοντας τον όρο από την κλιματική μεταβλητότητα που έχει φυσικά αίτια. Η χρήση ορυκτών καυσίμων, η αποψίλωση των δασών και η αλόγιστη κτηνοτροφία έχουν ως συνέπεια την προσθήκη τεράστιων ποσοτήτων αερίων του θερμοκηπίου στα ήδη υπάρχοντα αέρια της ατμόσφαιρας, προκαλώντας αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Δυσμενέστερη συνέπεια αυτού, είναι η άνοδος της θερμοκρασίας του πλανήτη γεγονός που προκαλεί την κατάρρευση όγκων πάγου στους δύο πόλους του πλανήτη γη, την τήξη των παγετώνων και ως φυσικό επακόλουθο την ανύψωση της στάθμης των θαλασσών με αποτέλεσμα την εμφάνιση πλημμυρών και την διάβρωση των ακτών και των πεδινών παράκτιων περιοχών. Ακόμη η εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων και κυρίως η αλλαγή των χαρακτηριστικών των βροχοπτώσεων οδηγούν σε υποβάθμιση της ποιότητας του νερού, περιορισμό των υδάτινων πόρων και αύξηση των πυρκαγιών (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος -Ε.Ο.Π).<sup>3</sup>



Εικόνα 1. Λίμνη Oroville στην Καλιφόρνια μετά από τρία χρόνια ξηρασίας

<sup>1</sup> <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=226> Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας

<sup>2</sup> <https://unfccc.int/>

<sup>3</sup> <https://www.eea.europa.eu/el> Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος





Εικόνα 2. Φράγμα Φανερωμένης Μεσσαρά Κρήτης (Πηγή: Νέα Κρήτη)

Στην 5η έκθεση αξιολόγησης (5th Assessment report - AR5)<sup>4</sup> το 2013, η Διακυβερνητική Ομάδα για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change- IPCC) επιβεβαιώνει τις αρνητικές επιπτώσεις από τις μεταβολές του παγκόσμιου κλίματος. Οι μεταβολές αυτές πλήττουν όχι μόνο την ακεραιότητα του οικοσυστήματος, καθώς ένας σημαντικός αριθμός φυτών και ζώων οδηγούνται σε εξαφάνιση, αλλά επηρεάζουν και τις γεωργικές καλλιέργειες, τη παραγωγή τροφής και τη δημόσια υγεία. Σε έκθεση του ΚΕΕΛΠΝΟ σχετικά με την κλιματική αλλαγή αναφέρεται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας θα οδηγήσει σε αύξηση της μετάδοσης ασθενειών μέσω ακάθαρτου νερού και μολυσμένων τροφίμων. Επίσης η Ευρωπαϊκή επιτροπή αναφέρει αύξηση του αριθμού των θανάτων που σχετίζονται με τον καύσωνα (Ε.Ο.Π).

Στην Ελλάδα, χαρακτηριστικά παραδείγματα κλιματικής αλλαγής είναι η

<sup>4</sup> <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1>



συνεχόμενη μείωση της στάθμης του νερού της λίμνης Παμβώτιδας στα Ιωάννινα κυρίως την τελευταία τριετία (greenagenda.gr)<sup>5</sup>, καθώς και στο φράγμα Φανερωμένης στην Μεσσαρά Κρήτης, το οποίο ενώ έχει 19 εκατομμύρια κυβικά νερού χωρητικότητα, το φθινόπωρο του 2017, μετρήθηκε μέσα σε αυτό ποσότητα μόλις 800 χιλιάδες κυβικά (Νέα Κρήτη)<sup>6</sup>.

Υδατικά διαμερίσματα	Έκταση (km <sup>2</sup> )	Όγκος Βροχής (hm <sup>3</sup> )	Εξάτμιση (hm <sup>3</sup> )	Υδατ. Δυν. (hm <sup>3</sup> )	Προσφορά (hm <sup>3</sup> )	Ζήτηση (hm <sup>3</sup> )	Παρατηρήσεις
Δυτικής Πελοποννήσου	7301	8031	3614	4417	73	55	Πλεονασματικό
Βόρειας Πελοποννήσου	7310	6404	2824	3580	122	104	Πλεονασματικό
Δυτικής Σ.τ Ελλάδας	10199	13973	5310	8663	415	82	Πλεονασματικό
Ηπείρου	10026	17046	6818	10228	193	33	Πλεονασματικό
Δυτικής Μακεδονίας	13440	10470	5654	4816	159	136	Πλεονασματικό
Ανατολικής Μακεδονίας	7280	4917	2722	2195	354	132	Πλεονασματικό
Θράκης	11177	8574	5325	3249	424	253	Πλεονασματικό
Αττικής	3207	1642	1150	492	56	54	Οριακά Πλεονασματικό
Κεντρικής Μακεδονίας	10389	6068	3034	3034	137	130	Οριακά Πλεονασματικό
Κρήτης	8335	7500	4874	2626	130	133	Οριακά Ελλειμματικό
Ανατ. Στερεάς Ελλάδας	12341	9516	5257	4259	128	187	Ελλειμματικό
Ανατολικής Πελοποννήσου	8477	6563	3290	3273	56	67	Ελλειμματικό
Θεσσαλίας	13377	10434	6260	4174	210	335	Ελλειμματικό
Νήσων Αιγαίου	9103	5192	3104	2088	7	25	Ελλειμματικό
<b>Σύνολο χώρας</b>	<b>131962</b>	<b>116330</b>	<b>59236</b>	<b>57094</b>	<b>2.464</b>	<b>1.726</b>	

Πίνακας 1. Γενικευμένο ετήσιο υδρολογικό ισοζύγιο, κατά υδατικό διαμέρισμα (hm<sup>3</sup>) (Τράπεζα της Ελλάδος, 2011)<sup>7</sup>.

Τα παραπάνω οδηγούν στη ανάγκη για μελέτη και κατανόηση των συγκεκριμένων καιρικών φαινομένων όπως οι κατακρημνίσεις ώστε να παρθούν μέτρα για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή.

<sup>5</sup><http://greenagenda.gr/>

<sup>6</sup><https://www.neakriti.gr/article/eidiseis/1447428/-erimos-to-allote-ploysio-fragma-fanerwmenis-video/>

<sup>7</sup><https://www.bankofgreece.gr/>

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

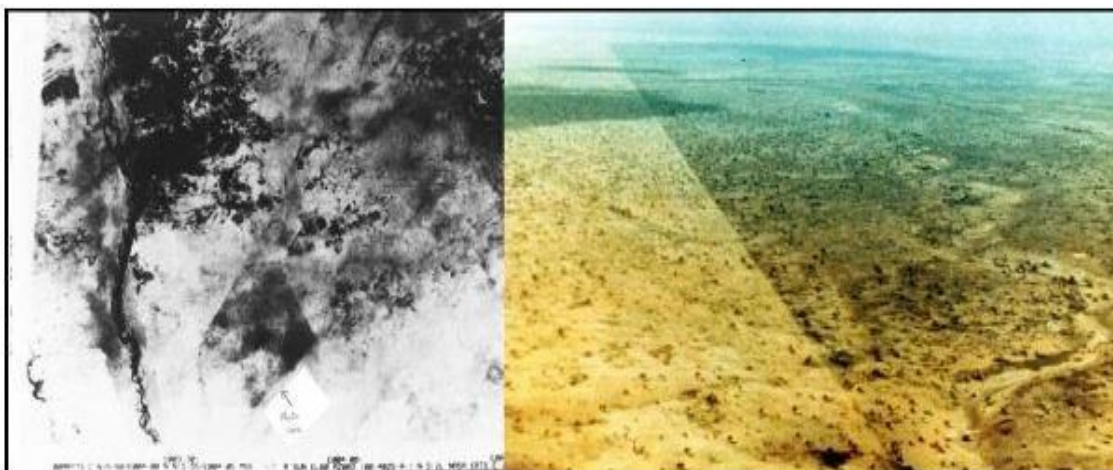
Η Γη είναι ένα εξαιρετικά πολύπλοκο σύστημα που αποτελείται από το έδαφος, την ατμόσφαιρα και τους ωκεανούς, τα οποία αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους μέσω ενός ευρέος φάσματος χρονικών και χωρικών διεργασιών (Suní, 2015). Η διασύνδεση εδάφους - ατμόσφαιρας είναι το κρίσιμότερο στοιχείο για τη λειτουργία του ενεργειακού συστήματος της Γης και περιλαμβάνει αλληλεπιδράσεις μέσω μάζας, ενέργειας και βιογεωχημικών κύκλων (κύκλος του νερού, κύκλος του άνθρακα, κύκλος του θείου, κύκλος του αζώτου, κύκλος του οξυγόνου, κύκλος του φωσφόρου).

Ο κύκλος του νερού είναι ο σπουδαιότερος βιογεωχημικός κύκλος αφού από αυτόν εξαρτάται η ζωή στον πλανήτη. Αναφέρεται στην συνεχή κυκλοφορία του νερού που βρίσκεται στην επιφάνεια και στο εσωτερικό της γης, καθώς και στο νερό της ατμόσφαιρας. Μέσω των αλλαγών φάσης του νερού, μεγάλες ποσότητες θερμότητας μεταφέρονται μεταξύ γης και ατμόσφαιρας. Αρχικά το νερό θαλασσών, λιμνών, ποταμιών, εξατμίζεται λόγω θέρμανσης από την ηλιακή ακτινοβολία και υπό την μορφή υδρατμών, μεταφέρεται μέσω ανοδικών ρευμάτων αέρα στην ατμόσφαιρα. Επίσης ή λειτουργία αποβολής νερού από τα φυτά με τη μορφή υδρατμών (διαπνοή) αποτελεί σημαντικό τμήμα του κύκλου του νερού. Εν συνέχεια μέσω συμπύκνωσης και κρυστάλλωσης των υδρατμών σχηματίζονται νέφη στη τροπόσφαιρα. Τέλος μέσω βροχοπτώσεων ή χιονοπτώσεων γίνεται επιστροφή νερού στην επιφάνεια της γης (Wallace 2006; Χαλδούπης 2015).

Ο υδρολογικός κύκλος επηρεάζεται από το έδαφος, τη βλάστηση, τους ανθρώπινους χειρισμούς. Ειδικότερα τις τελευταίες δεκαετίες ίσως ο σημαντικότερος παράγοντας που επιδρά στην «σύνδεση» του εδάφους με την ατμόσφαιρα είναι ο άνθρωπος. Από την βιομηχανική επανάσταση διάφορες επαναλαμβανόμενες ανθρώπινες δραστηριότητες οι οποίες τροποποιούν την επιφάνεια του εδάφους, μπορούν και επηρεάζουν τους βιογεωχημικούς κύκλους, αλλάζουν την χημική σύνθεση της ατμόσφαιρας, επιδρούν στην ισορροπία της ηλικιακής ακτινοβολίας του πλανήτη, αλλάζουν τις ιδιότητες των νεφών (ανθρωπογενή αερολύματα), και γενικότερα επηρεάζουν την ροή της ενέργειας μεταξύ γης και ατμόσφαιρας (Suní, 2015).

Μια ανθρώπινη πρακτική που επηρεάζει άμεσα τον κύκλο του νερού είναι η υπερβόσκηση. Η ανεξέλεγκτη βόσκηση και άλλες εντατικές χρήσεις γης σε ημι-άγονα εδάφη, οδηγούν σε μείωση των εδαφικών αποθεμάτων νερού, μείωση της εξάτμισης, αυξημένη απορροή υδάτων, διάβρωση και μείωση της γονιμότητας των εδαφών, και πολλές φορές σε ερημοποίηση. Αυτό έχει αρνητικές μακροπρόθεσμες συνέπειες στην βιωσιμότητα της τοπικής γεωργίας και γενικότερα στους ζωτικούς πόρους και στην βιοποικιλότητα μιας περιοχής (Vörösmarty, 2000; Czeglédi, 2005).

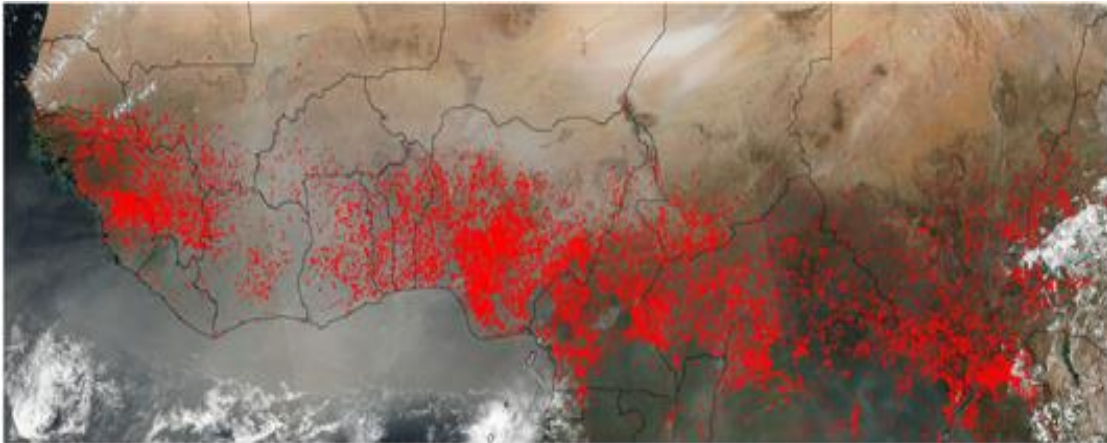
Το 1973 ο Δρ. Schnell Russell παρουσίασε την υπόθεση ότι η μαζική υπερβόσκηση στην περιοχή Σαχέλ (στεπική λωρίδα γης στην Αφρική που αποτελεί την μεταβατική ζώνη μεταξύ της ερήμου Σαχάρας και της Σαβάνας<sup>8</sup>), είχε ως αποτέλεσμα την εξάντληση πηγών βιολογικών παγοπυρήνων και ως επακόλουθο την μείωση των συνολικών κατακρημνίσεων καθώς και την επιδείνωση της ξηρασίας. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στα αποτελέσματα που συνέλεξε είχε το γεγονός ότι οι πιο ενεργοί παγοπυρήνες (-7 ° C), προερχόταν από τη βλάστηση πιο κοντά στην έρημο της Σαχάρας, όπου όλα τα βοοειδή και οι κατσίκες είχαν πεθάνει τα δύο προηγούμενα χρόνια και η βλάστηση είχε αρχίσει να επανέρχεται (Schnell, 1974).



Εικόνα 3. Δορυφορικές φωτογραφίες της Σαχέλ που απεικονίζουν την διαφορά στην ανάπτυξη της βλάστησης εντός και εκτός μιας περιφραγμένης περιοχής, τις οποίες παρατήρησε και στην συνέχεια ανέπτυξε την έρευνα του ο Δρ. Schnell Russell. <https://bioice.files.wordpress.com/2015/11/sahel.jpg>

<sup>8</sup> <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%B1%CF%87%CE%AD%CE%BB>

Στην ίδια περιοχή (Σαχέλ), πιο πρόσφατη έρευνα (Ichoku, 2016) απέδειξε ότι και το κάψιμο της βιομάζας σχετίζεται με μειωμένες βροχοπτώσεις που συμβάλουν στην ξηρασία της περιοχής. Με το κάψιμο της βιομάζας απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα ένα πολύ υψηλό ποσοστό αερολυμάτων, τα οποία προκαλούν διασπορά των υδρατμών και κατά συνέπεια αναστέλλεται η συμπύκνωση και ο σχηματισμός σταγονιδίων βροχής. Επίσης παρατηρήθηκε ότι στα έτη στα οποία κατά τη διάρκεια της ξηρής εποχής, έγινε υπερβολική καύση βιομάζας, στην υγρή εποχή που ακολούθησε, η εδαφική υγρασία, η εξάτμιση, και η βλάστηση μειώθηκαν.



Εικόνα 4. Δορυφορική φωτογραφία της Σαχέλ στις 30 Ιανουαρίου 2016 που απεικονίζει τις τοποθεσίες εκατοντάδων εστιών πυρκαγιάς (Πηγή: Ichoku, 2016).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> ΠΑΓΟΠΥΡΗΝΩΣΗ

### 2.1 Ιστορική αναδρομή

Το νερό που παραμένει σε υγρή κατάσταση σε θερμοκρασίες κάτω από τους 0°C έως και -40°C αναφέρεται ως υπέρψυχρο νερό. Το φαινόμενο της παγοπυρήνωσης παρουσιάζεται όταν η υπέρψυξη διαταραχθεί και ξεκινήσει η δημιουργία κρυστάλλων πάγου. Το υπέρψυχρο νερό παρατηρήθηκε πρώτη φορά το 1721 από τον Φαρενάιτ σε θερμοκρασία -9°C μέσα σε ένα κλειστό γυάλινο σκεύος. Από τότε το πείραμα του επαναλήφθηκε πολλές φορές, με αποτέλεσμα την ίδια κατάληξη - το νερό να παγώνει τη στιγμή που το βάζο ανοίγεται. Οι παρατηρήσεις αυτές συνέδεαν τα παγώματα με μηχανικές κινήσεις και έδειξαν ότι ο ρυθμός κρυστάλλωσης του νερού, είναι τόσο ραγδαίος ώστε είναι αδύνατο κανείς να μετρήσει τις εστίες παγώματος με τον ίδιο τρόπο όπως στα πειράματα με υπερκορεσμένα διαλύματα. Ο Altborg, το 1938 αναφέρει ότι πειράματα που διεξήχθησαν το 1788 έδειξαν ότι ο βαθμός υπέρψυξης του νερού, περιορίζεται από ακαθαρσίες που είναι διαλυμένες μέσα σε αυτό (Vali, 1995). Τα σύγχρονα πειράματα παγοπυρήνωσης βασίζονται σε δυο παραδοσιακές μεθοδολογίες. Στην πρώτη μεθοδολογία, τα πειράματα με υπέρψυχρο νερό ή υπερκορεσμένα υγρά εκτελούνται σε δοκιμαστικούς σωλήνες ή παρόμοια σκεύη. Η δεύτερη μεθοδολογία η οποία ανακαλύφθηκε από το C.T.R Wilson το 1895 βασίστηκε στην ανάπτυξη του θαλάμου νέφωσης (cloud chamber) η οποία έχει το χαρακτηριστικό ότι μικροσκοπικά σταγονίδια νερού αιωρούνται στον αέρα κατά τη διάρκεια των παρατηρήσεων. Οι έρευνες σχετικά με την παγοπυρήνωση επιταχύνθηκαν πάρα πολύ, όταν ο Schaefer το 1946 και ο Vonnegut το 1947 ανέφεραν ότι οι κρύσταλλοι πάγου μπορούν να παραχθούν μέσω ενός εργαστηριακού νέφους και ότι η προσθήκη σωματιδίων ιωδιούχου άργυρου (AgI) στο νέφος αυτό, προκαλεί σχηματισμό πάγου σε μεγάλες ποσότητες. Ουσιαστικά από το τέλος της δεκαετίας 1950 είχαν αναπτυχθεί ήδη οι πειραματικές μέθοδοι παγοπυρήνωσης που χρησιμοποιούνται και σήμερα καθώς τότε θεωρητικές ανακαλύψεις που γινόταν στην φυσική, την χημεία και την μεταλλουργία γρήγορα αξιοποιούνταν και στην έρευνα της παγοπυρήνωσης. Ωστόσο πολλά σχετικά με την παγοπυρήνωση πρακτικά και θεωρητικά προβλήματα παραμένουν άλυτα (Vali, 1995).

## 2.2 Αρχές παγοπυρήνωσης

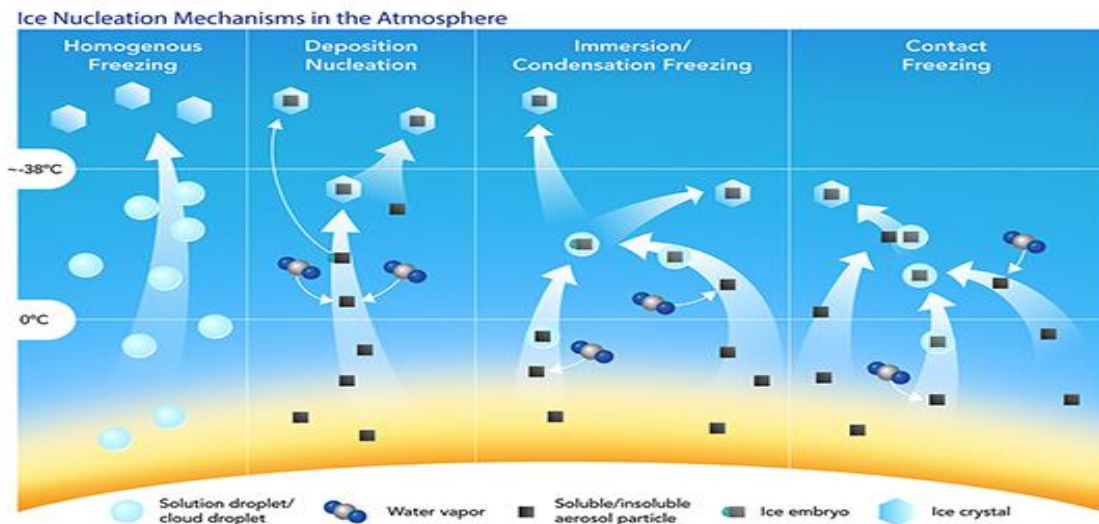
Η παγοπυρήνωση μπορεί να είναι ομοιογενής ή ετερογενής. Η ομοιογενής παγοπυρήνωση, είναι η δημιουργία ενός εμβρυακού κρυστάλλου πάγου από μόρια νερού. Για να συμβεί το πάγωμα πρέπει αρκετά μόρια νερού να συσσωματωθούν μέσα στα σταγονίδια για να σχηματίσουν ένα έμβρυο πάγου αρκετά μεγάλο για να επιβιώσει και να αναπτυχθεί. Τα σταγονίδια που προκύπτουν, “επιβιώνουν” μόνο όταν το μέγεθός τους υπερβαίνει μία ορισμένη κρίσιμη τιμή, ενώ τα μικρότερα φθίνουν μέσω της εξάτμισης (Χαλδούπης, 2015; Wallace, 2006).

Στην ετερογενή παγοπυρήνωση η έναρξη σχηματισμού παγοκρυστάλλων γίνεται σε θερμοκρασίες πολύ υψηλότερες από τους  $-40^{\circ}\text{C}$ . Αυτό είναι αποτέλεσμα της παρουσίας στερεών αιωρημάτων (παγοπυρηνωτικά σωματίδια ή παγοπυρήνες) που ουσιαστικά προάγουν τον σχηματισμό πάγου. Ανάλογα με την θερμοκρασία που ξεκινάει ο σχηματισμός παγοκρυστάλλων, οι παγοπυρήνες μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες από τους θερμότερους προς τους ψυχρότερους: από  $-2^{\circ}\text{C}$  μέχρι  $-5^{\circ}\text{C}$ , από τους  $-5^{\circ}\text{C}$  μέχρι  $-7^{\circ}\text{C}$  και κάτω από  $-7^{\circ}\text{C}$  (Vali, 1995).

Η ετερογενής παγοπυρήνωση, είναι η κυρίαρχη μορφή παγώματος στα σύννεφα (Pruppacher, 1997), αλλά και γενικότερα στη φύση (Wilson, 2003). Επιτυγχάνεται με τους παρακάτω τρόπους (Vali, 2015; Vali, 1985):

- Εναπόθεση (deposition ice nucleation), σχηματισμός παγοκρυστάλλων από υπερκορεσμένους υδρατμούς πάνω σε παγοπυρηνωτικά σωματίδια.
- Εμβάπτιση (immersion freezing), σχηματισμός παγοκρυστάλλων από υπέρψυχρα υδατικά σταγονίδια που περιέχουν μέσα τους παγοπυρηνωτικά σωματίδια.
- Επαφή (contact freezing), σχηματισμός παγοκρυστάλλων κατόπιν σύγκρουσης υπερψυγμένων σταγονιδίων με παγοπυρηνωτικά σωματίδια.

Δεν είναι γνωστό αν η αποτελεσματικότητα ψύξης με επαφή ενισχύεται από κάποιο είδος προ-ενεργοποίησης του παγοπυρηνωτικού σωματιδίου λίγο πριν την επαφή με το υπερψυγμένο σταγονίδιο, ή αν διευκολύνεται από την παγοπυρήνωση πάνω στην επιφάνεια της υπερψυγμένης σταγόνας νερού (Kiselev, 2013).



Εικόνα 5. Μηχανισμοί παγοπυρήνωσης της ατμόσφαιρας (Πηγή: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ice\\_Nucleation\\_Mechanisms\\_fr.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ice_Nucleation_Mechanisms_fr.svg)).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ

### 3.1 Εισαγωγικά

Ατμόσφαιρα ονομάζεται η μάζα του αέρα που περιβάλλει την γη και κρατείται κοντά στον πλανήτη μέσω της βαρύτητας.

Η ατμόσφαιρα ταξινομείται σε πέντε τμήματα:

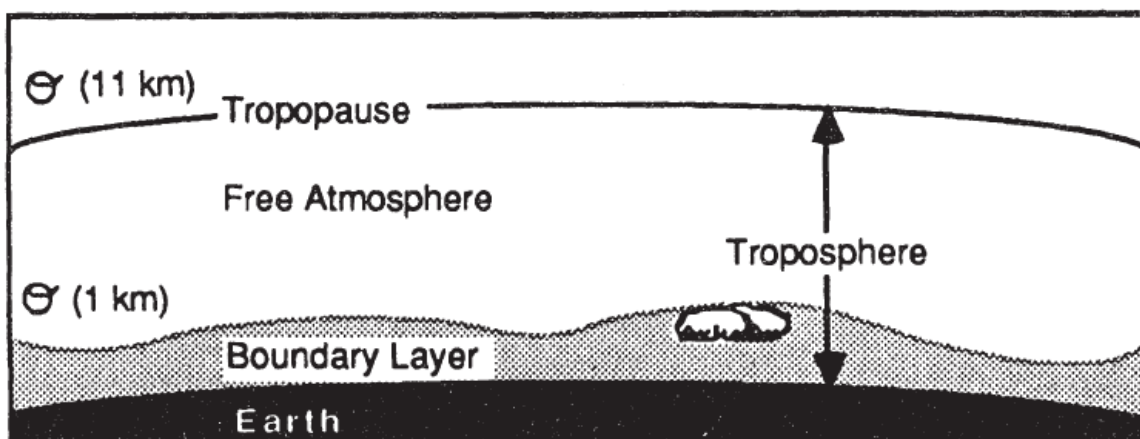
1. Τροπόσφαιρα, η οποία φτάνει σε υψόμετρο περίπου 10 χλμ. από την επιφάνεια της γης.
2. Στρατόσφαιρα, που βρίσκεται σε απόσταση 10 χλμ. έως 50 χλμ. από την επιφάνεια της γης,
3. Μεσόσφαιρα, που βρίσκεται σε απόσταση 50 χιλιομέτρων έως 80 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της γης
4. Θερμοσφαίρα, από 80 χιλιόμετρα από την επιφάνεια της γης με ανώτατο ύψος τα 400-500 χλμ
5. Εξώσφαιρα, η οποία είναι το ανώτατο και τελευταίο στρώμα της ατμόσφαιρας καθώς εκτείνεται πάνω από την θερμόσφαιρα μέχρι το διάστημα (Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2011).



Εικόνα 6. Τα ατμοσφαιρικά στρώματα της γης (Πηγή: <https://simplebooklet.com/publish.php?wpKey=bTtYzofIKNek7UnJ8obmwF>)

Η τροπόσφαιρα μπορεί να διακριθεί σε δύο μέρη, στο κατώτερο - εδαφικό στρώμα της ( Atmospheric Boundary Layer, ABL), το οποίο φτάνει έως 1 km περίπου και στο ελεύθερο κύριο στρώμα της που βρίσκεται πάνω από αυτό.

Το κατώτατο εδαφικό στρώμα (ABL) είναι το τμήμα της τροπόσφαιρας το οποίο επηρεάζεται άμεσα από την επιφάνεια της γης (Lagzi, 2013) και διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ατμοσφαιρική ρύπανση, στη γεωργική μετεωρολογία, στην υδρολογία, στην αεροναυτική μετεωρολογία, στην πρόγνωση του καιρού και στο κλίμα. Επίσης έχει υψηλή περιεκτικότητα σε υδρατμούς και αλληλεπιδρά με διεργασίες όπως η εξάτμιση, η διαπνοή, η μεταφορά θερμότητας και η εκπομπή ρύπων (Garratt, 1994 ; Stull, 1988). Το ABL είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την παρούσα διατριβή, διότι στο στρώμα αυτό συμβαίνει το σύνολο σχεδόν των μετεωρολογικών φαινομένων που μελετάμε όπως ο σχηματισμός, η διατήρηση, η διασπορά νεφών, οι κατακόρυφες μετακινήσεις αέριων μαζών και η μεταφορά της γύρης στην ατμόσφαιρα.



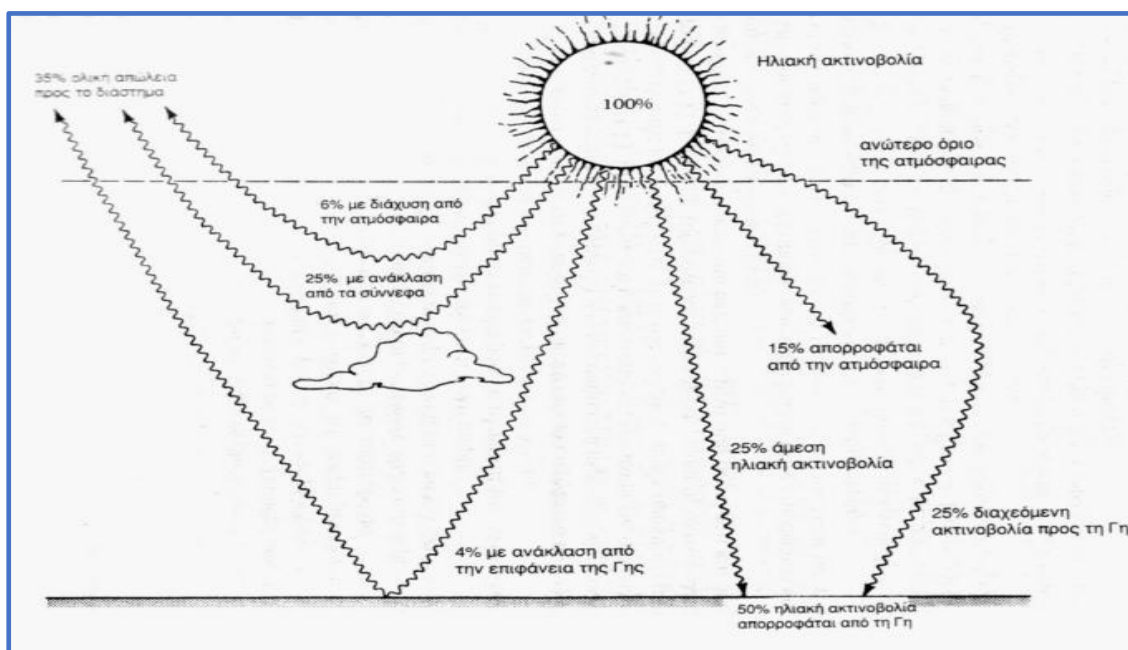
Εικόνα 7. Atmospheric Boundary Layer (Πηγή: Stull, 1988)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΝΕΦΗ

### 4.1 Εισαγωγή

Η συμπύκνωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα προκαλεί τη δημιουργία νεφών. Τα νέφη είναι το μακροσκοπικό αποτέλεσμα διεργασιών μεταβολής φάσεων του νερού (συμπύκνωση, εξάτμιση, τήξη, πήξη, εναπόθεση), οι οποίες συμβαίνουν σε μοριακό και μικροσκοπικό επίπεδο και ως φαινόμενο αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της συνεχής ανακύκλωσης του νερού της γης.

Τα νέφη παίζουν σπουδαίο ρόλο στη διαμόρφωση του κλίματος. Ο κυριότερος λόγος είναι οι κατακρημνίσεις όπως το νερό και το χιόνι. Δευτερευόντος μπορούν και επηρεάζουν την ηλιακή ακτινοβολία (απορρόφηση, ανάκλαση) και τη θερμοκρασία (θέρμανση, ψύξη). Πιο συγκεκριμένα, κατά την διάρκεια της ημέρας ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία πίσω στο διάστημα οπότε η επιφάνεια παραμένει δροσερή, ενώ τη νύχτα ανακλούν τη θερμότητα στην επιφάνεια, και έτσι η γη παραμένει θερμή (NASA<sup>9</sup>; N.W.S<sup>10</sup>). Τέλος τα νέφη χρησιμεύουν στην πρόγνωση του καιρού ενώ επηρεάζουν και τις εναέριες μεταφορές.

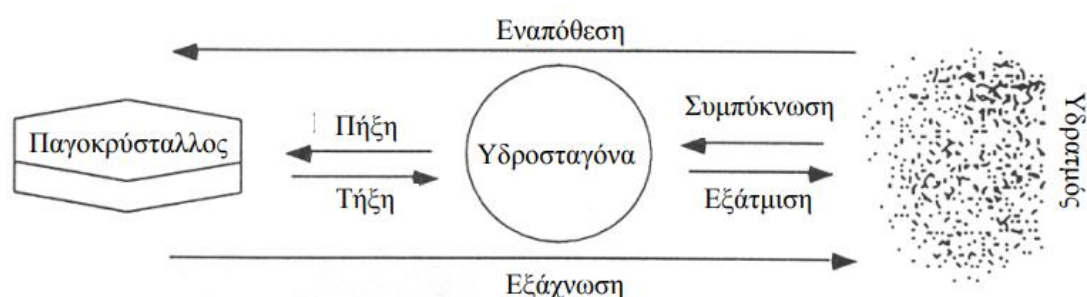


Εικόνα 8. Ποσοστιαία κατανομή της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στον πλανήτη (Πηγή: <http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc318y/th/Sxima58.jpg>)

<sup>9</sup> <https://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-are-clouds-58.html>

<sup>10</sup> National Weather Service: [https://www.weather.gov/jetstream/clouds\\_intro](https://www.weather.gov/jetstream/clouds_intro)

Ένα νέφος, συνίσταται από ένα μεγάλο αριθμό μικροσταγονιδίων νερού ή πάγου, ή αμφοτέρων, όπως επίσης μπορεί να περιλαμβάνει μη υδατικά υγρά και στερεά σωματίδια. Προκειμένου να συμβεί η συμπύκνωση του νερού, πρέπει η θερμοκρασία να ελαττωθεί επαρκώς ώστε να υπάρξει κορεσμός υδρατμών. Οι υγρές αέριες μάζες, κατά την αδιαβατική (απώλεια θερμότητας μιας μάζας αέρος) άνοδο τους, υφίστανται εκτόνωση και ψύξη, κατόπιν συνθήκων πιέσεων, με αποτέλεσμα όταν φτάσουν σε κάποιο ύψος να καταστούν κορεσμένες υδρατμών και εν συνεχεία πάνω από το ύψος αυτό να προξηνηθεί υδροσυμπύκνωση που οδηγεί στην εμφάνιση των νεφών. Οι πιέσεις των κορεσμένων υδρατμών έχουν σημαντικό ρόλο στην δημιουργία των νεφών διότι καθορίζουν την υγρή κατάσταση των υδρατμών ή την εναπόθεση τους ως παγοκρυστάλλους (Χαλδούπης, 2015; International Cloud Atlas<sup>11</sup>).



Η πήξη (τήξη) στους 0°C απελευθερώνει (δεσμεύει) 333.5 J.g<sup>-1</sup>,  
 η εναπόθεση (εξάχνωση) απελευθερώνει (δεσμεύει) 2835 J.g<sup>-1</sup>,  
 η συμπύκνωση (εξάτμιση) απελευθερώνει (δεσμεύει) 2510 J.g<sup>-1</sup> στους 0°C και 2259 J.g<sup>-1</sup> στους 100°C

Εικόνα 9. Μεταβολές καταστάσεων του νερού σε αντιστοιχία με τα μεγέθη λανθάνουσας θερμότητας σε κάθε μια από αυτές. (Πηγή: <http://www.physics.uoi.gr/seci/AtmPh6.pdf>)

Τα νέφη εξελίσσονται συνεχώς και παρουσιάζονται σε διάφορα σχήματα και μορφές. Διάφορα μετεωρολογικά δεδομένα και άλλες πληροφορίες σε συνδυασμό με την παρατήρηση, τον χαρακτηρισμό και την ταξινόμηση των νεφών, παρέχουν την δυνατότητα μιας πρώτης εμπειρικής εκτίμησης της καιρικής κατάστασης στο χώρο σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή αλλά και της πιθανής εξέλιξής της στο άμεσο μέλλον δηλαδή μιας μετεωρολογικής πρόβλεψής.

<sup>11</sup> <https://cloudatlas.wmo.int/home.html> Διεθνής Ατλαντας Νεφών.

## 4.2. Ταξινόμηση νεφών

Υπάρχει ένα παγκόσμιο σύστημα ταξινόμησης που ομαδοποιεί τα νέφη ανάλογα με βασικές χαρακτηριστικές μορφές που έχουν παρατηρηθεί σε ολόκληρο τον κόσμο. Το σύστημα αυτό είναι παρόμοιο με τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση των έμβιων οργανισμών (γένος, είδος, ποικιλία) και ομοίως χρησιμοποιεί λατινικά ονόματα. Υπάρχουν κάποιες ενδιάμεσες ή μεταβατικές μορφές νεφών που αν και παρατηρούνται αρκετά συχνά, λόγω της ασταθής εμφάνισής τους και της σχετικής ομοιότητας με τις βασικές μορφές, παρουσιάζουν μικρό ενδιαφέρον και ως εκ τούτου δεν περιγράφονται στο κύριο σύστημα ταξινόμησης. Οι βασικές μορφές είναι:

α) Cirrus (Θύσανοι): Διάφανα νέφη, τα οποία καλύπτουν παραπάνω από 20% του πλανήτη.

β) Stratus (Στρώματα): Νέφη σταγονιδίων νερού στα οποία κυριαρχεί μια εικόνα στρωμάτωσης στον ουρανό και καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις.

γ) Cumulus (Σωρείτες): Πυκνά λευκά νέφη μεταβαλλόμενου σχήματος που μοιάζουν με ακανόνιστους σωρούς ή τούφες βαμβακιού σε οριζόντιο επίπεδο.

Δευτερεύοντες σχηματισμοί είναι τα Nimbus (Μελανίας) που αφορούν μελανά νέφη βροχής και τα Alto που περιλαμβάνουν νέφη μέσου ύψους περίπου 2–7 km. Τα νέφη που εντοπίζονται σε ύψη ~7 km μέχρι την τροπόπαυση χαρακτηρίζονται ως μεγάλων υψών ενώ αυτά που βρίσκονται από το εδάφους σε ύψος ~2 km χαρακτηρίζονται ως χαμηλά νέφη. (Χαλδούπης, 2015).



Εικόνα 10. Σχηματισμοί σύννεφων σε διάφορα ύψη  
 (πηγή:<https://kids.britannica.com/kids/assembly/view/104861>),  
<https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather/types-of-weather/clouds/cloud-spotting-guide>)

Τα νέφη μπορούν να ταξινομηθούν και σύμφωνα με την κατάσταση του υδατικού περιεχομένου τους.

Αυτά που αποτελούνται εξ ολοκλήρου από παγοκρυστάλλους ονομάζονται νέφη πάγου. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη δημιουργία παγοκρυστάλλων είναι η ύπαρξη πυρήνων συμπύκνωσης, δηλαδή επιφανειών γύρω από τις οποίες συμπυκνώνονται οι υδρατμοί και δημιουργούν πάγο (Cotton, 2009). Χαρακτηριστικό παράδειγμα νεφών που αποτελούνται μόνο από παγοκρυστάλλους αλλά δεν δίνουν κατακρημνίσεις είναι τα υψηλά νέφη Cirrus ή Θύσσανοι.

Τα νέφη που αποτελούνται κυρίως από σταγόνες νερού ή υπέρψυχρα υδροσταγονίδια νερού ονομάζονται νέφη νερού ή θερμά νέφη, συνήθως είναι τα χαμηλά και μέσου ύψους νέφη commulus και stratus.

Τέλος αυτά που περιέχουν υδροσταγονίδια νερού μαζί με παγοκρυστάλλους ονομάζονται νέφη μικτής φάσης (Mixed-phase clouds, MPCs). Τα νέφη νέφη μικτής φάσης είναι ευρέως διαδεδομένα στην τροπόσφαιρα, και μπορούν να εμφανιστούν σε πληθώρα διαφορετικών τοποθεσιών ανά τον πλανήτη, από τις τροπικές ζώνες έως τους πόλους, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και σε όλες τις εποχές. Συνθήκες ή διεργασίες όπως η ανάπτυξη και ο σχηματισμός πάγου, οι αναταράξεις του ανέμου, οι αλλαγές σε

θερμοκρασία και υγρασία, αλληλεπιδρούν και σχηματίζουν σύστημα νεφών μικτής φάσης (Morrison, 2012).

Εξαιτίας της εκτεταμένης εξάπλωση τους, τα νέφη μικτής φάσης διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο, στο σχηματισμό κατακρημνίσεων, στην ηλεκτροφόριση των νεφών και στην ισορροπία της ακτινοβολίας τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Λόγω της πολύπλοκης δομής τους, της δυναμικής τους καθώς και των αντιδράσεών τους με τα αερολύματα, τα νέφη αυτά δεν έχουν κατανοηθεί πλήρως και είναι πολύ δύσκολο να χρησιμοποιηθούν για την πρόγνωση του καιρού ή για κλιματικά μοντέλα (Korolev, 2017).

Τα νέφη τα οποία μας ενδιαφέρουν στην συγκεκριμένη μελέτη είναι τα νέφη τα οποία παράγουν κατακρημνίσεις και ενδεχομένως περιέχουν παγοπυρηνωτικά σωματίδια βιολογικής προέλευσης. Τέτοια είναι τα χαμηλού και μέσου ύψους μικτής φάσης νέφη (Cumulus, Stratus) και τα ορογραφικά νέφη. Αυτά τα νέφη βρίσκονται στο όριο του ABL που σημαίνει ότι έχουν άμεση αλληλεπίδραση με το έδαφος. Επίσης επηρεάζονται από το ανάγλυφο της γης καθώς επίσης και από την συγκέντρωση αερολυμάτων που είναι μεγαλύτερη κοντά στο έδαφος.

Ακολουθεί αναλυτική αναφορά σε όσους τύπους νεφών σχετίζονται με κατακρημνίσεις. Οι παρακάτω πληροφορίες πάρθηκαν από τον ιστότοπο του Παγκόσμιου Ατλαντα Νεφών (International Cloud Atlas).



Cumulus (Σωρείτες): Είναι λευκού χρώματος, λαμπερά, πυκνά, ακανόνιστου σχήματος νέφη και παρουσιάζονται σε ύψος 600-1500μ. Τα Cumulus παρουσιάζονται σε διάφορους σχηματισμούς που μπορεί να δίνουν ή να μην δίνουν κατακρημνίσεις (Houze, 2014).



Εικόνα 11. Νέφος Commulus (*international Cloud Atlas*)

Alto cumulus (Υψισωρείτες) Λευκόγκριζα νέφη μέσου ύψους (2-5 km), σχηματιζόμενα από σταγονίδια νερού και αποτελούμενα από μικρότερα νέφη ταξινομημένα σε σειρές, με σχετικά κενά μεταξύ τους. Παράγουν ελαφριές βροχοπτώσεις (N.W.S<sup>12</sup>).



Εικόνα 12. Νέφος altocumulus (*international Cloud Atlas*)

---

<sup>12</sup> National Weather Service: <https://www.weather.gov/jetstream/basicten>

Altostratus (Υψιστρώματα): Νέφη γκριζα στρωματώδη μέσου ύψους (2-5km), καλύπτουν μεγάλες εκτάσεις σαν πέπλο και το υδατικό τους περιεχόμενο βρίσκεται σε υγρή φάση. Παράγουν βροχοπτώσεις περιστασιακά (National Weather Service; Χαλδουπης 2015).



Εικόνα 13. Νέφος altostratus (international Cloud Atlas)

Stratocumulus (Στρωματοσωρείτες): Χρώματος λευκό ή σκούρο γκριζο, μέσο-χαμηλού ύψους, ακανόνιστου σχήματος αναμιγνύομενα με στρώματα, μπορούν να αποφέρουν μετρήσιμη ποσότητα νερού (ψιχάλες, χιονόνερο) στα ορεινά (National Weather Service).



Εικόνα 14. Νέφος stratocumulus (international Cloud Atlas)

Nimbostratus (Μελανοστρώματα): Στρωματώδη σκοτεινού γκριζου χρώματος νέφη, τα οποία εκτείνονται από χαμηλά μέχρι μεγάλα ύψη. Περιέχουν υψηλή ποσότητα νερού και μπορούν να παράγουν βροχή ή χιόνι (Houze, 2014; Χαλδουπης 2015).



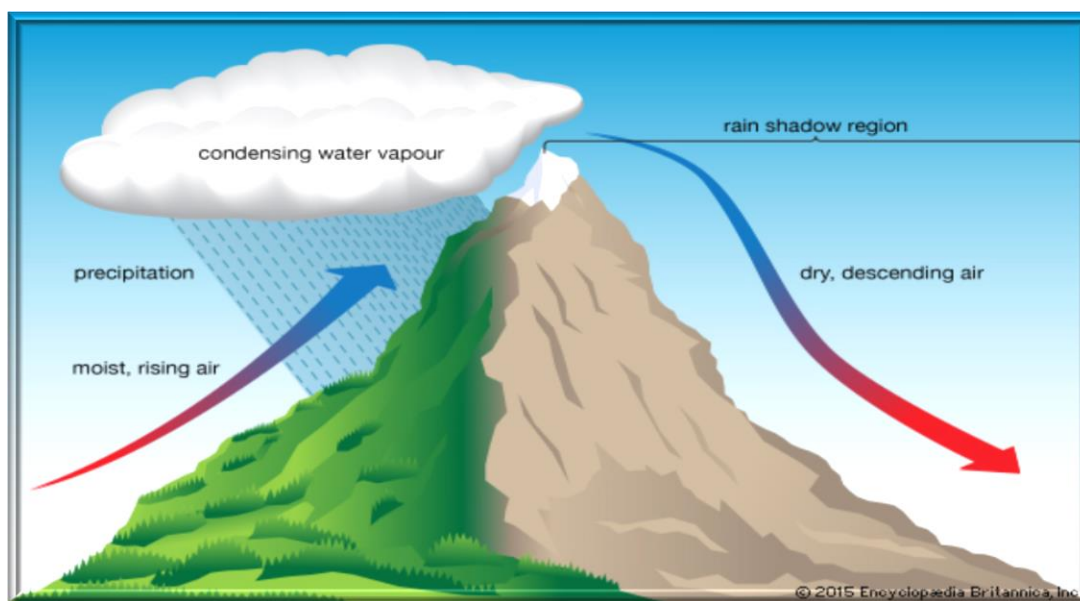
Εικόνα 15. Νέφος Nimbostratus (international Cloud Atlas)

Cumulonimbus (Σωρειτομελανίες): Είναι τα μεγαλύτερα νέφη με ογκώδη και πυκνή σύσταση, μεγάλης κατακόρυφου έκτασης με την βάση τους σχεδόν να ακουμπάει το έδαφος φτάνοντας μέχρι τη τροπόπαυση. Τα νέφη αυτά είναι ένα προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης Commulus. Περιέχουν παγοκρυστάλλους μαζί με υδροσταγόνες, είναι καταγιδοφόρα και σχετίζονται με κεραυνική δραστηριότητα (Houze,2014).



Εικόνα 16. Νέφος Cumulonimbus (international Cloud Atlas)

Σε πολλά μέρη του πλανήτη οι ορογραφικές κατακρημνίσεις αποτελούν την κυρίαρχη πηγή νερού. Η άνοδος αερίων μαζών πάνω από ορεινούς όγκους (βουνά ή λόφους), οδηγεί στο σχηματισμό ορογραφικών νεφών σχηματισμός που μας ενδιαφέρει για την συγκεκριμένη ερεύνα, γιατί η ορογραφική ανύψωση ενισχύει σημαντικά τις κατακρημνίσεις σε σχέση με τις ανυψώσεις που συμβαίνουν σε επίπεδο έδαφος.



Εικόνα 17. Σχηματισμός ορογραφικού νέφους (<https://www.britannica.com/science/orographic-precipitation>)

Όταν ο άνεμος συναντά ένα βουνό, ανυψώνεται προς τα πάνω και ταυτόχρονα ψύχεται καθώς ανεβαίνει. Εάν κατά την διάρκεια αυτής της ανόδου ο αέρας ψυχθεί στη θερμοκρασία κορεσμού του, οι υδρατμοί συμπυκνώνονται και γίνονται ορατοί ως σύννεφο. Μόλις φθάσει στην κορυφή του βουνού, ο αέρας θα είναι βαρύτερος από το περιβάλλον και καθώς θα κατεβαίνει στην άλλη πλευρά θα θερμαίνεται. Μόλις ο αέρας επιστρέψει στο αρχικό του ύψος, θα έχει την ίδια κινητικότητα με τον περιβάλλοντα αέρα. Κατά τη διάρκεια της ανώτατης φάσης ανόδου του ανέμου αναπτύσσονται τα νέφη. Στις περιοχές όπου ο αέρας κατεβαίνει, ο ουρανός είναι καθαρός. Η ανύψωση ανέμου με υψηλό ποσοστό υγρασίας μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία νεφών, ενώ η ανύψωση στεγνού ανέμου δεν δημιουργεί νέφη.





Εικόνα 18. Α. Ορογραφικό νέφος στον Κίσαβο. “Σαν το καπέλο του ο Κίσαβος φορεί, κακοκαιρία να θωρείς”. Οι κάτοικοι του Κισσάβου προβλέπουν βροχές και χιόνια όταν ένα μόνο σύννεφο σχηματίζεται πάνω από την κορυφή του Κισσάβου. Το σύννεφο δημιουργείται καθώς βόρειοι άνεμοι μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες υγρασίας από το Αιγαίο προς τα ηπειρωτικά. (Πηγή: <https://www.larissanet.gr/2017/12/28/larisa-to-kapelo-tou-kissavou/>)

Β. Στην Ιαπωνία η κορυφή του φημισμένου βουνού Fuji πολλές μέρες του χρόνου σκεπάζεται από ένα «καπέλο» (Πηγή: <https://www.youtube.com/watch?v=VCprnzvZPg0>)

Τα νέφη αυτά διαρκούν λίγες ώρες εκτός και αν οι άνεμοι παραμένουν συνεχείς για μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι ταχύτητες εξαναγκασμένης ανόδου, εξαρτώνται από την ταχύτητα και την κατεύθυνση των ανέμων σε σχέση με το φυσικό εμπόδιο, κυμαίνονται από λίγες δεκάδες cm/s μέχρι λίγα m/s. Το περιεχόμενο σε νερό των ορογραφικών νεφών είναι της τάξης των λίγων δέκατων του γραμμαρίου ανά κυβικό μέτρο (g/m<sup>3</sup>) (Χαλδούπης, 2015).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> ΑΕΡΟΛΥΜΑΤΑ (AEROSOL)

### 5.1 Εισαγωγή

Η ατμόσφαιρα περιέχει, σε υψηλές συγκεντρώσεις, διάφορα στερεά και υγρά μικροσωματίδια που βρίσκονται σε κατάσταση αιώρησης και συνεχής κίνησης, τα αερολύματα (Morris, 2006). Τα ατμοσφαιρικά αερολύματα μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα του αέρα, τον άνθρωπο και γενικότερα το οικοσύστημα, καθώς επίσης και το κλίμα της γης (Fuzzi, 2015). Πιο συγκεκριμένα, τα αερολύματα ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία πίσω στο διάστημα, μειώνοντας τη ποσότητα του φωτός που απορροφούν τα νέφη. Στην κατώτερη ατμόσφαιρα, μπορούν να τροποποιήσουν τις ιδιότητες των νεφών και να προκαλέσουν κατακρημνίσματα (Nasa<sup>15</sup>). Επίσης τα αερολύματα διαδραματίζουν θεμελιώδη ρόλο στην ενίσχυση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών της ατμόσφαιρας εξαιτίας του ηλεκτρικού τους φορτίου (Tomasi, 2016).

Source	Present flux		
	Low	High	Best
<b>Natural</b>			
<i>Primary</i>			
Soil dust (mineral aerosol)	1,000	3,000	1,500
Sea-salt	1,000	10,000	1,300
Volcanic dust	4	10,000	33
Biological debris	26	80	50
<i>Secondary</i>			
Sulphates from biogenic gases	60	110	90
Sulphates from volcanic SO <sub>2</sub>	4	45	12
Organic matter from biogenic NMHC <sup>a</sup>	40	200	55
Nitrates from NO <sub>x</sub>	10	40	22
<b>Anthropogenic</b>			
<i>Primary</i>			
Industrial dust etc.	40	130	100
Black carbon (soot and charcoal)	10	30	20
<i>Secondary</i>			
Sulphates from SO <sub>2</sub>	120	180	140
Biomass burning (w/o black carbon)	50	140	80
Nitrates from NO <sub>x</sub>	20	50	36
Organics from anthropogenic NMHC <sup>a</sup>	5	25	10
<b>Total</b>	<b>2,390</b>	<b>24,000</b>	<b>3,450</b>

<sup>a</sup>NMHC, non-methane hydrocarbons.

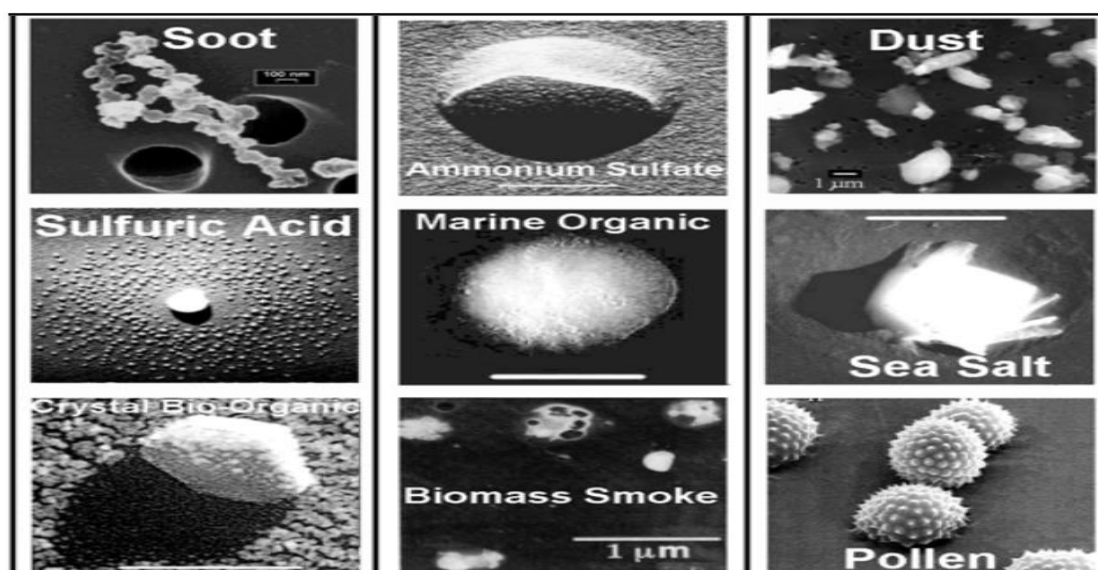
Εικόνα 19. Εκτίμηση παγκόσμιων εκπομπών των κυριότερων αερολυμάτων (Tg/year) (Πηγή: Meinrat O.A 1995).

<sup>15</sup> <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/Aerosols/>

Τα αερολύματα ανάλογα με το μέγεθος τους διακρίνονται σε μεγάλα (coarse particles) με διάμετρο μεγαλύτερη από 2 $\mu\text{m}$ , σε λεπτά (fine particles) με διάμετρο από 0,01 έως 2 $\mu\text{m}$  και σε υπέρλεπτα (ultrafine particles) με διάμετρο μικρότερη από 0,01 $\mu\text{m}$  και (Whitby, 1977; Wallace, 2006).

Ανάλογα με την ποσότητά τους στην ατμόσφαιρα, τα αερολύματα διακρίνονται σε μείζονα συστατικά και σε ίχνη αερίων. Τα κυριότερα συστατικά της ατμόσφαιρας είναι Άζωτο (78,08 4%), Οξυγόνο (20,946 %), Αργό (0,934 %) και το Διοξείδιο του Άνθρακα (0,03 %) (Lagzi, 2013).

Ο χρόνος παραμονής των αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα εξαρτάται από το μέγεθος, την χημική σύσταση και την πηγή προέλευσης τους (Wallace, 2006). Τα αερολύματα με διάμετρο μικρότερη από 0,01 $\mu\text{m}$  καθώς και αυτά με διάμετρο μεγαλύτερη από 20 $\mu\text{m}$  έχουν χρόνο παραμονής περίπου μια ημέρα. Αντίθετα, αερολύματα με διαμέτρους 0,2-2 $\mu\text{m}$  έχουν μεγαλύτερους χρόνους παραμονής, φτάνοντας αρκετές εκατοντάδες ημέρες στην τροπόσφαιρα (Wallace, 2006).



Εικόνα 20. Ηλεκτρονική μεγέθυνση αερολυμάτων σε διάφορα σχήματα και μεγέθη. (Πηγή: *Aerosols: Climate & Air Quality, ESRL Theme Presentation 4 September 2008*).

Τα αερολύματα μπορούν να διακριθούν, ανάλογα με την προέλευση τους σε φυσικά ή ανθρωπογενή, ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους σε πρωτογενή και δευτερογενή και ανάλογα με την σύστασή τους σε βιολογικά και μη βιολογικά (Fuzzi, 2015).



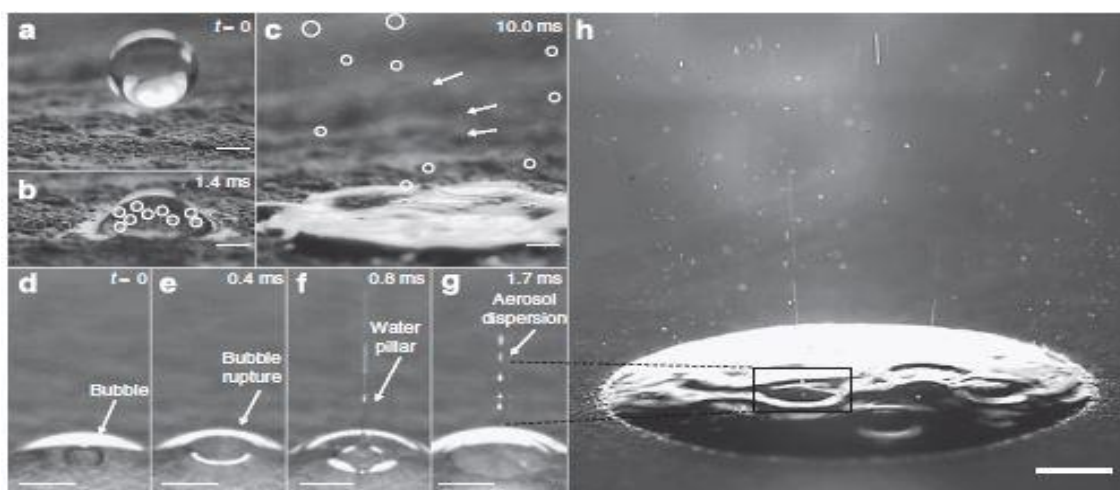
## 5.2 Φυσικά αερολύματα

Φυσικά αερολύματα είναι τα μικροσωματίδια που προέρχονται από φυσικές πηγές (NASA's Earth Observatory, 2010) κυρίως μέσω:

- A. Αερομεταφερόμενης ορυκτής σκόνης,
- B. Επιφάνειας θάλασσας,
- C. Καύση βιομάζας,
- D. Ηφαιστειακών εκρήξεων
- E. Βιόσφαιρας.

Σύγχρονες εργαστηριακές μελέτες έχουν αποδείξει απότομη αύξηση εκπομπής ατμοσφαιρικών βιολογικών σωματιδίων, κατά την διάρκεια πυρκαγιών σε δασικές εκτάσεις (Vestin, 2007; Hobbs, 1969).

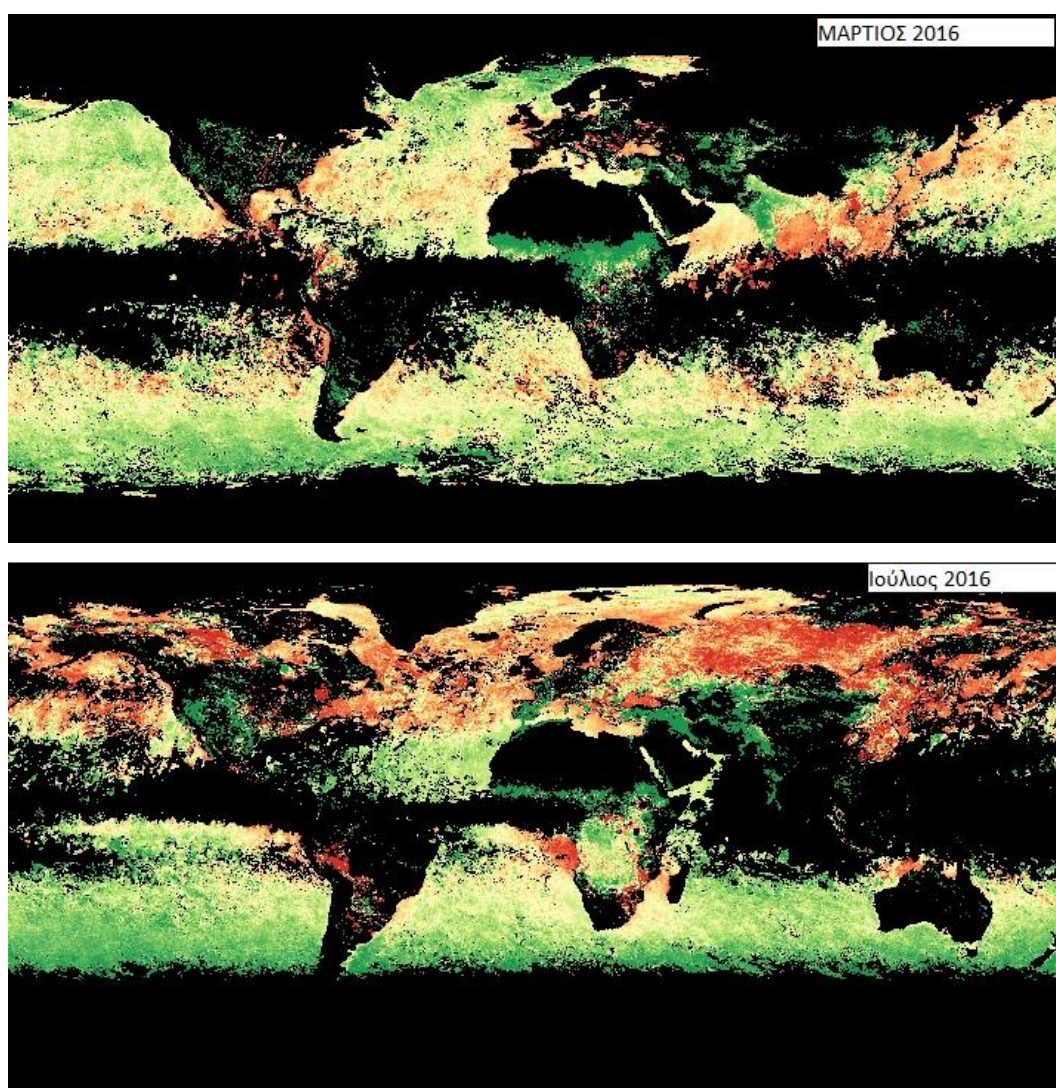
Τέλος ένα ακόμα φυσικό φαινόμενο το οποίο προκαλεί δευτερογενή παραγωγή αερολυμάτων, είναι μέσω της πρόσκρουσης σταγόνων νερού σε πορώδες επιφάνειες και σε διάφορους τύπους εδαφών (Joung, 2015).



Εικόνα 21. Παραγωγή αερολυμάτων μέσω πρόσκρουσης υδροσταγόνων στο έδαφος (Joung, 2015).

### 5.2.1 Ανόργανα αερολύματα

Από τις πιο πλούσιες φυσικές πηγές προέλευσης μη βιολογικών αερολυμάτων, είναι η σκόνη ορυκτών προερχόμενη από ξηρές άνυδρες περιοχές όπως η έρημος Σαχάρα (Ansmann A., 2008). Η σκόνη ορυκτών μετά την απελευθέρωση της στην ατμόσφαιρα, μπορεί να παραμείνει σε αιώρηση για αρκετές ημέρες, να μεταφερθεί εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά, να τροποποιήσει μέσω ετερογενών αντιδράσεων την αέρια σύσταση της τροπόσφαιρας και γενικότερα να επηρεάσει το κλίμα σε παγκόσμιο επίπεδο (Tang, 2017).



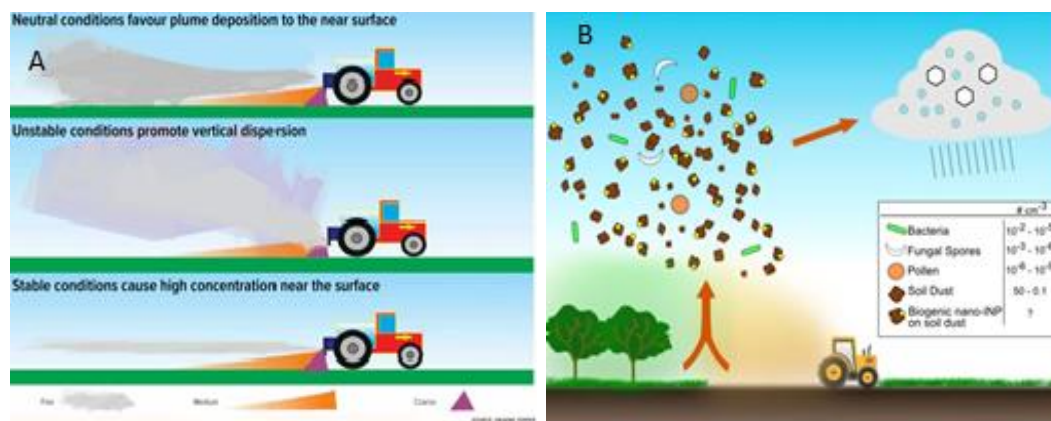
Εικόνα 22. Δορυφορική χαρτογράφηση εκπομπών αερολυμάτων. Τα κόκκινα χρώματα δείχνουν τον διασκορπισμό των αερολυμάτων που αποτελούνται από μικρότερα σωματίδια και βρίσκονται πάνω από περιοχές όπου υπάρχει ανθρωπογενή ρύπανση. Τα πράσινα χρώματα δείχνουν τον διασκορπισμό των αερολυμάτων που αποτελούνται από μεγαλύτερα σωματίδια και βρίσκονται πάνω από περιοχές που παράγονται από φυσικές πηγές. Το κίτρινο χρώμα αφορά τα αερολύματα στα οποία έχουν αναμιχθεί μικρά και μεγάλα σωματίδια. Στο μαύρο χρώμα ο δορυφόρος δεν μπορούσε να μετρήσει τα αερολύματα. (πηγή: [https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MODAL2\\_M\\_AER\\_RA](https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MODAL2_M_AER_RA))

Επίσης, η επιφάνεια της θάλασσας είναι σημαντική φυσική πηγή αερολυμάτων μέσω των σταγονιδίων που αποκολλώνται από την επιφάνεια των ωκεανών ή θαλασσών με τους ανέμους, τα οποία αρχικά διασκορπίζονται στον αέρα και στην συνέχεια εξατμίζονται, αφήνοντας στην ατμόσφαιρα στερεά αιωρήματα από μικροσκοπικούς κόκκους αλατιού (Rosinski J. 1987).

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις αποτελούν επίσης σημαντική φυσική πηγή αιωρημάτων στην ατμόσφαιρα, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν μακρόχρονες μεταβολές στο κλίμα, μέσω της ηφαιστειακής τέφρας και των θεικών που παράγονται από το ηφαιστειακό διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>). Παράδειγμα αποτελεί η μεγάλη έκρηξη τον Ιούνιο του 1991 του ηφαιστείου του Pinatubo στις Φιλιππίνες, κατά την οποία τόνοι ηφαιστειακών αερολυμάτων απελευθερώθηκαν στην ατμόσφαιρα και επιδρούσαν στα κλιματικά φαινόμενα για πολλά χρόνια μετά την έκρηξη (Song Guo, 2004).

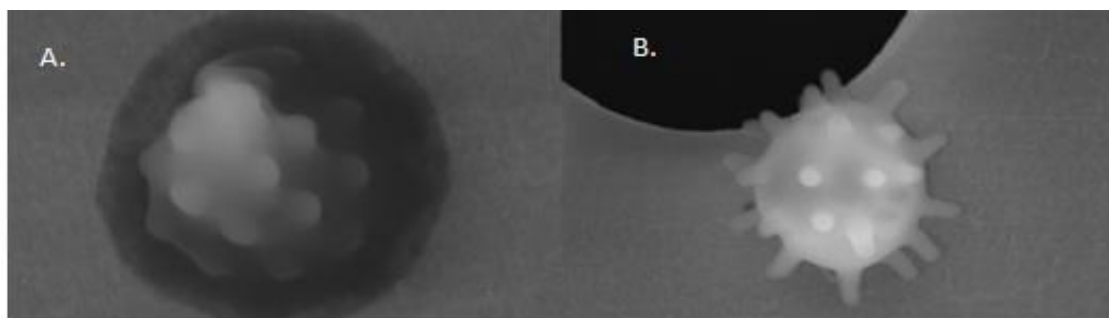
### 5.3 Ανθρωπογενή αερολύματα

Τα ανθρωπογενή αερολύματα περιέχουν οργανικά αλλά και ανόργανα σωματίδια τα οποία δύναται να ενεργούν ως παγοπυρήνες και ως εκ τούτου, να τροποποιούν τις ιδιότητες των σύννεφων (Knorr, 2011; Möhler, 2007). Ανθρώπινες δραστηριότητες όπως το κάψιμο ορυκτών καυσίμων, η συγκέντρωση αστικών λυμάτων, η βιομηχανική δραστηριότητα και οι εκπομπές αερίων από τα οχήματα, παράγουν πρωτογενή ρυπογόνα στοιχεία μαζί με μικροσωματίδια, όπως υδρογονάνθρακες (HC), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), μονοξείδιο του αζώτου (NO) και διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) τα οποία μέσω διάφορων χημικών αντιδράσεων παράγουν δευτερογενή στοιχεία όπως νιτρικά ιόντα (NO<sub>3</sub>) όζον (O<sub>3</sub>) κ.α.



Εικόνα 23. (Α) Ασταθή κατάσταση στην ατμοσφαιρα ευνοεί την μεταφορά αερολυμάτων που παράγονται πχ. απο ψεκαστικό συρρώμενο απο γεωργικό ελκυστήρα στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. (Πηγή [https://grdc.com.au/data/assets/pdf\\_file/0024/248181/GRDC-Weather-Essentials-for-Pesticide-Application-2017.pdf](https://grdc.com.au/data/assets/pdf_file/0024/248181/GRDC-Weather-Essentials-for-Pesticide-Application-2017.pdf)) (Β) Βιογενή παγοπυρηνωτικά νανοσωματίδια απελευθερώνονται στην ατμοσφαιρα μέσω της άρωσης και μεταφοερόμενα στην ατμόσφαιρα προκαλούν βροχή. Πηγή: O' Sullivan, 2015).

Ο μαύρος άνθρακας (αιθάλη) είναι ένα υποπροϊόν της ατελής καύσης των ορυκτών καυσίμων και της βιομάζας και έχει ιδιαίτερο ρόλο στην δυναμική του κλίματος αφού μπορεί και απορροφάει το περισσότερο ηλιακό φως ανά μονάδα μάζας οποιουδήποτε ατμοσφαιρικού μικροσωματιδίου. Τα σωματίδια μαύρου άνθρακα όταν εναποτίθενται στο χιόνι ή στον πάγο, προκαλούν μια σαφή μείωση στο φαινόμενο albedo (λευκαύγεια) προκαλώντας “σκοτεινίασμα”, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τους ορεινούς όγκους πάγου των Ιμαλαίων (Schwarz, 2013).



Εικόνα 24. Ηλεκτρονικές μικρογραφίες σπορίων μυκήτων (Α) με επικάλυψη από δευτερογενή οργανικά αερολύματα και (Β) χωρίς επικάλυψη από δευτερογενή οργανικά αερολύματα (Πηγή: Pöschl U, 2010).

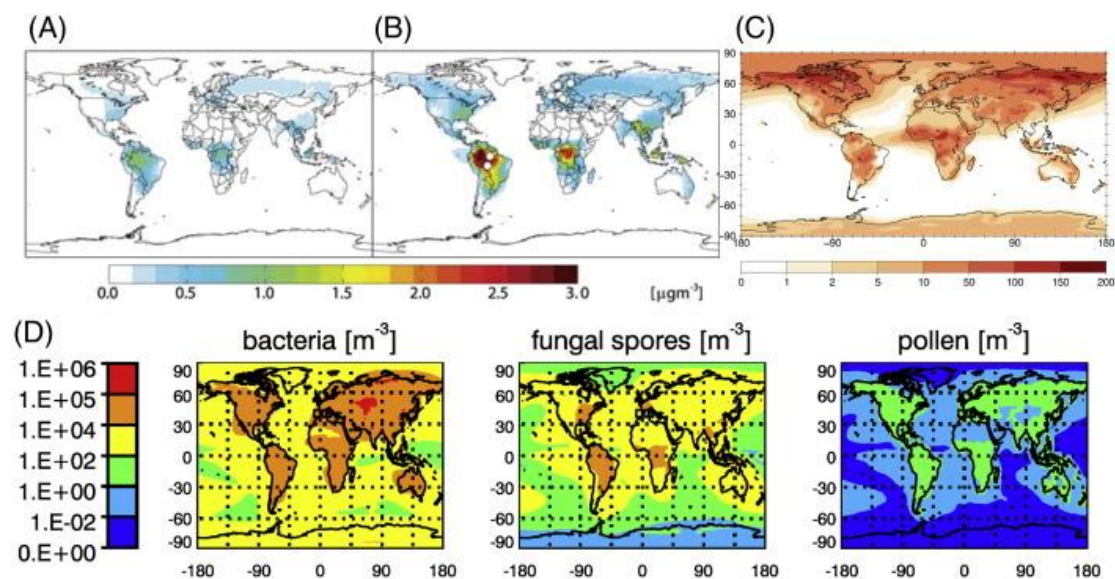
#### 5.4 Βιολογικά αερολύματα

Τα αερολύματα βιολογικής προέλευσης, όπως και τα ανόργανα αερολύματα, έχουν ζωτικό ρόλο στο σύστημα της γης μέσω της αλληλεπίδρασης τους με την ατμόσφαιρα, την βιόσφαιρα, το κλίμα και την δημόσια υγεία.. Μέσω των ηπειρωτικών αλλά και των υδατικών οικοσυστημάτων του πλανήτη, απελευθερώνονται άμεσα στην ατμόσφαιρα βιολογικά αερολύματα όπως:

- βακτήρια
- σπόρια μυκήτων
- μικροσκοπικά άλγη (*Chlorella minutissima*)
- γύρη φυτών



Η συμβολή των βιολογικών αερολυμάτων στο σύνολο των ατμοσφαιρικών αερολυμάτων είναι περίπου 25% είτε σε συγκέντρωση, είτε σε όγκο (Diehl, 2001).



Εικόνα 25. Ετήσιες-μέσες συγκεντρώσεις βιοαερολυμάτων κοντά στην επιφάνεια : A και B. Συγκέντρωση μυκήτων [ $\mu\text{g m}^{-3}$ ], C. Βακτηριακά ίχνη [ $10^3 \text{ m}^{-3}$ ], D. Βακτήρια, σπόρια μυκήτων και γύρη [ $\text{m}^{-3}$ ] (Πηγή: Fröhlich-Nowoisky, 2016).

#### 5.4.1 Σπόρια μυκήτων

Τα σπόρια μυκήτων είναι ευρέως διαδεδομένα στην ατμόσφαιρα της γης. Οι εκτιμώμενες παγκόσμιες εκπομπές σποριών τα κατατάσσουν ανάμεσα στις μεγαλύτερες πηγές βιολογικών αερολυμάτων. Απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα μέσω υγρών σταγονιδίων, πιο συγκεκριμένα, έχει παρατηρηθεί κατά τη διάρκεια βροχόπτωσης πρόκληση διασποράς σποριών μυκήτων (καθώς επίσης και αλλαγές στις συγκεντρώσεις βακτηρίων στην ατμόσφαιρα) (Constantinidou, 1990; Allitt 2000). Κατόπιν της ανύψωσης τους σε υψηλά ατμοσφαιρικά στρώματα μπορούν, όπως και η γύρη, να λειτουργήσουν ως παγοπυρήνες νεφών επηρεάζοντας τον υδρολογικό κύκλο και το κλίμα. Οι κυριότεροι μύκητες που έχουν βρεθεί στην ατμόσφαιρα ανήκουν στις τάξεις των ασκομυκήτων και βασιδιομυκήτων. Σπόρια μυκήτων του γένους *Fusarium* έχουν βρεθεί έως 6 Km υψός (Pouleur, 1992; Fröhlich-Nowoisky, 2012; Christner, 2008).

### 5.4.2 Γύρη

Η γύρη κατατάσσεται στα μεγάλα βιολογικά σωματίδια αερολυμάτων με διάμετρο μεταξύ 10 και 100μm. Οι γυρρέοκοκκοί απελευθερώνονται στο περιβάλλον από τη χερσαία βλάστηση με σκοπό την αναπαραγωγή (Faegri ,1989). Μπορούν να μεταφερθούν από 100 μέχρι 1Km απόσταση (Schueler, 2006; Sofien, 2006), όπως επίσης μπορούν να ανυψωθούν και να φτάσουν στην τροπόσφαιρα (Noh, 2013) αλλά και σε άλλα επίπεδα της ατμόσφαιρας σε υψόμετρο έως και 3Km και να παραμείνουν εκεί για μεγάλο χρονικό διάστημα (Diehl, 2002). Εκτός απο την γύρη, στην ατμόσφαιρα μπορεί να υπάρχουν και υποσωματίδια γύρης, που προκύπτουν απο την έκρηξη γυρεοκόκκων. Εξ'όσων γνωρίζουμε τα σωματίδια αυτά δεν έχουν παρατηρηθεί μέχρι σήμερα στην ατμόσφαιρα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>0</sup> ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

### 6.1 Παγοπυρήνωση της ατμόσφαιρας

Κατακρημνίσματα είναι η μορφή που έχει το νερό όταν πέφτει στη γη (βροχόπτωση, χιονόπτωση, χαλαζόπτωση), ενώ τα φαινόμενα που τα προκαλούν χαρακτηρίζονται με τον όρο κατακρημνίσεις. Στην διεθνή βιβλιογραφία το φαινόμενο και τα αποτελέσματα του, αποδίδονται με τον όρο precipitation. Στην Ελλάδα, χρησιμοποιείται και ο όρος υετός ως ισοδύναμο με τον όρο precipitation (Κουτσογιάννης, 1999).

Για να προκληθεί από ένα σύννεφο υετός (βροχή, χιόνι) πρέπει να σχηματιστούν σταγόνες βροχής ή σωματίδια πάγου στην τροπόσφαιρα. Το μέγεθος των σταγονιδίων νερού από τα οποία αποτελούνται τα νέφη (cloud droplets) είναι τόσο μικρό που δεν μπορούν να πέσουν εξαιτίας της βαρύτητας και να καταλήξουν ως βροχή. Για να συμβεί αυτό πρέπει το μέγεθος τους να αυξηθεί σχεδόν ένα εκατομμύριο φορές. Υπάρχουν δύο μηχανισμοί που μπορεί να επιτευχθεί αυτό<sup>17</sup>.

Ο πρώτος μηχανισμός είναι μέσω της σύγκρουσης και συνένωσης (collision-coalescence). Σε αυτή την περίπτωση τα σταγονίδια του νέφους μεταφέρονται από τα ρεύματα αέρα μέσα στο σύννεφο και συγκρούονται μεταξύ τους. Οι απανωτές συγκρούσεις έχουν ως αποτέλεσμα την συγχώνευση τους και επομένως την αύξηση του μεγέθους τους και το σχηματισμό βροχοσταγόνων. Αυτός ο μηχανισμός αν και δεν είναι ο κύριος μηχανισμός πρόκλησης βροχής, είναι σημαντικός, ειδικά στις τροπικές περιοχές.

Ο δεύτερος και συνηθέστερος μηχανισμός πρόκλησης βροχής, ονομάζεται μηχανισμός Bergeron. Ο μηχανισμός αυτός προϋποθέτει αφενός την ύπαρξη σταγόνων νερού σε υπέρψυχρη κατάσταση, δηλαδή νερό που βρίσκεται σε θερμοκρασία κάτω από 0 ° C και αφετέρου ένα παγοπυρηνωτικό παράγοντα (CCN) ο οποίος θα πυροδοτήσει το πάγωμα. Σημαντικό στην διαδικασία αυτή είναι, ότι, όταν ο πάγος έχει την ίδια θερμοκρασία με το νερό, η πίεση των κορεσμένων υδρατμών του πάγου είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή του νερού, με αποτέλεσμα ο πάγος να ελκύει πιο πολύ

---

<sup>17</sup> Διάλεξη του καθηγητή του πανεπιστημίου Yale Δρ. Ronald Smith σχετικά με τα σύννεφα και τις κατακρημνίσεις <https://www.youtube.com/watch?v=QO-zH0Uf17o&t=1173s>



τους υδρατμούς από ότι το νερό. Όταν μια νεφοσταγόνα παγώσει θα αρχίσει να απορροφάει υδρατμούς και θα μεγαλώνει μέχρι να φτάσει σε ένα κρίσιμο μέγεθος και να αρχίσει να πέφτει. Κατά την διάρκεια της πτώσης μέσα στο νέφος, μπορεί να πέσει πάνω σε άλλες υπέρψυχτες σταγόνες νερού οι οποίες θα παγώσουν αμέσως με τη σύγκρουση και θα μεγαλώσει περαιτέρω το μέγεθος της αρχικής νεφοσταγόνας (Riming). Τέλος περνώντας μέσα από θερμότερα στρώματα αέρα λιώνει και καταλήγει να γίνει βροχή. Αν είναι χειμώνας και οι θερμοκρασίες μέσα και έξω από το νέφος είναι μικρότερες από  $0^{\circ}\text{C}$  τότε προκαλείται χιόνι.

## 6.2 Βροχή

Η βροχή είναι το σημαντικότερο μετεωρολογικό φαινόμενο. Όπως αναφέρεται σε προηγούμενο κεφάλαιο, στα νέφη περιέχονται νεφοσταγόνες (cloud droplets) το μέγεθος των οποίων εκτείνεται από έμβρυα λίγων υδρατμών έως το μέγεθος μιας τυπικής βροχοσταγόνας (rain drop).

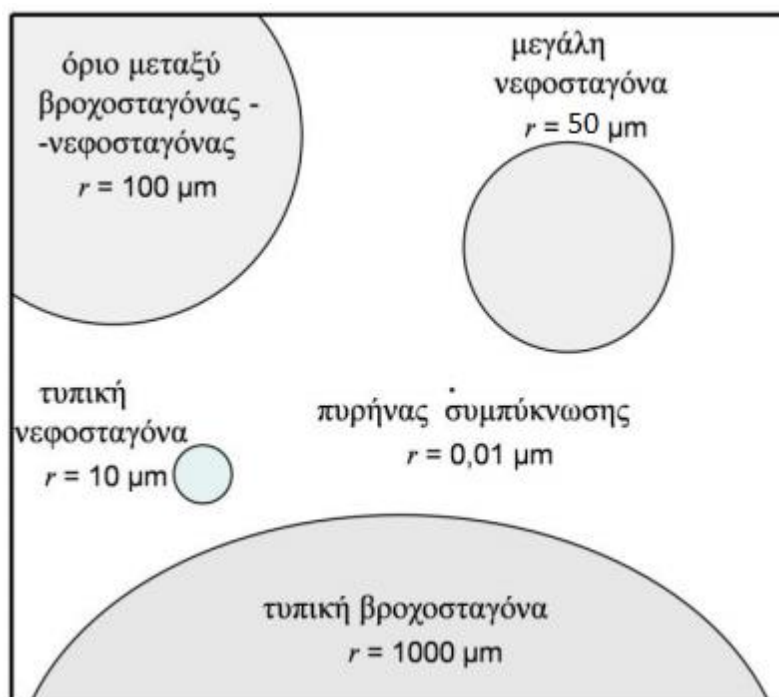
Αρχικά, από τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας δημιουργούνται οι νεφοσταγόνες και οι παγοκρύσταλλοι, σωματίδια τα οποία λόγω του πολύ μικρού μεγέθους και βάρους τους, κινούνται στον αέρα και δεν κατακρημνίζονται άμεσα. Για να δημιουργηθεί μία σταγόνα βροχής χρειάζεται να συνενωθούν περίπου ένα εκατομμύριο από τα σωματίδια αυτά.

Οι νεφοσταγόνες έχουν ακτίνα περίπου 0,01 mm και σ' ένα κυβικό εκατοστό νέφους μπορεί να περιέχονται από 30 μέχρι 3.000 νεφοσταγόνες. Οι τυπικές βροχοσταγόνες έχουν ακτίνα από 1 mm και μπορούν να φθάσουν τα 3 – 5 mm ή περισσότερο<sup>18</sup>. Μια τυπική βροχοσταγόνα είναι περίπου 100 φορές μεγαλύτερη από μια τυπική νεφοσταγόνα<sup>19</sup>. Η ανάπτυξή τους λόγω της συνεχής κίνησης τους μέσα στο νέφος (κρούση - συνένωση σταγονιδίων ή παγοκρυστάλλων) μπορεί να συνεχιστεί έως ότου φτάσουν και ξεπεράσουν ένα κρίσιμο μέγεθος. Όταν το βάρος τους γίνει μεγαλύτερο από την άνωση που υφίστανται από τις ανοδικές κινήσεις των αέριων μαζών των νεφών, πέφτουν προς το έδαφος (Χαλδούπης, 2015).

<sup>18</sup> [https://dasarxeio.com/2016/03/17/29531/?fbclid=IwAR1A0DwP\\_zLlk9NbpDvIDCyXe-i8YN7BoY00RQ8AVk7he2wdqn\\_36hUxwE](https://dasarxeio.com/2016/03/17/29531/?fbclid=IwAR1A0DwP_zLlk9NbpDvIDCyXe-i8YN7BoY00RQ8AVk7he2wdqn_36hUxwE)

<sup>19</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=QO-zH0Uf17o>

Κατά την διάρκεια της πτώσης τους οι σταγόνες περνούν μέσα από θερμότερα στρώματα αέρα και αν δεν εξατμιστούν τότε καταλήγουν με κάποια μορφή υετού (βροχή, χιόνι, χαλάζι) σε ποτάμια, λίμνες και θάλασσες (Houze, 2014 ;Φράγκου, 2010).



Εικόνα 26. Τυπικό μέγεθος υδροσταγόνων (πηγή:προσαρμογή Houze, 2014).

### 6.3 Χιόνι

Το χιόνι αποτελείται από παγοκρυστάλλους, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους σχηματίζοντας λευκές και ελαφρές χιονονιφάδες. Όταν το στρώμα του αέρα κάτω από το σύννεφο και μέχρι το έδαφος έχει θερμοκρασία μικρότερη από  $0^{\circ}\text{C}$ , οι παγοκρυστάλλοι φθάνουν μέχρι το έδαφος χωρίς να λιώσουν δημιουργώντας το φαινόμενο του χιονιού. Οι παγοκρυστάλλοι ποικίλουν σε σχηματισμούς, συνήθως εξαγωνικούς με επικρατέστερους αυτούς με αστεροειδή μορφή. Το χιόνι μετριέται με το ύψος του χιονοστρώματος (Στάθης 2015).



Εικόνα 27. Κρύσταλλοι χιονιού από τον W.A Bentley (Πηγή: <http://dontpaniconline.de/p/featured/the-snowflake-man-of-vermont>)

#### 6.4 Χαλάζι

Το χαλάζι προέρχεται από μεγάλα καταιγιδοφόρα νέφη (Cumulonimbus) και αποτελείται από κομμάτια πάγου, κυρίως σφαιρικής μορφής αλλά και άλλων σχημάτων, τα οποία ονομάζονται χαλαζόκοκκοι. Δημιουργούνται στις ανώτερες περιοχές των συγκεκριμένων νεφών όταν οι παγοκρύσταλλοι συγκρούονται με άλλα σταγονίδια και αυξάνουν πάρα πολύ το μέγεθος τους. Στην περίπτωση που κατά την διάρκεια μιας χαλαζόπτωσης πέφτουν πολύ μεγάλες ποσότητες χαλαζόκοκκων για μεγάλο χρονικό διάστημα, τότε το φαινόμενο χαρακτηρίζεται ως χαλαζοθύελλα (Στάθης, 2015).



Εικόνα 28. Χαλαζόπτωση στον δημο Καλαμπάκας τον Μαιο 2018 (Πηγή: <https://www.kalabakacity.gr/isxyri-xalazoptosi-stin-ayra-kalampakas>)



## 6.5 Δρόσος

Η δρόσος (Dew) είναι μια μικρής κλίμακας συμπύκνωση των υδρατμών, κατά την οποία σχηματίζονται σταγονίδια νερού πάνω σε μια ψυχρή επιφάνεια ενός αντικειμένου. Σχηματίζεται τις νύχτες των ψυχρότερων εποχών του έτους, όταν οι επικρατούσες ατμοσφαιρικές συνθήκες διατηρούν ανέφελους ουρανούς. Η δρόσος σχηματίζεται κυρίως στα φύλλα των φυτών και της χλόης, γενικά σε επιφάνειες που παρουσιάζουν μεγάλη θερμική αγωγιμότητα. Ως φαινόμενο είναι ωφέλιμο για την βλάστηση και την γεωργία (Στάθης, 2015).



Εικόνα 29. Σχηματισμός δρόσου σε γρασίδι (Πηγή: Στάθης, 2015)

## 6.6 Πάχνη ή Παγετός

Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας που βρίσκονται κοντά στο έδαφος ψύχονται πάρα πολύ ξεπερνώντας το σημείο δρόσου, όποτε συμπυκνώνονται και μετατρέπονται σε κρυστάλλους πάγου. Ο παγετός είναι πιο συνηθισμένος σε περιοχές με χαμηλό υψόμετρο, που δεν πνέουν άνεμοι, εκδηλώνεται κυρίως τον χειμώνα κατά την διάρκεια της νύχτας και είναι καταστρεπτικός για τη γεωργία. (Στάθης, 2015). Ο παγετός ανάλογα με τον αν υπάρχει συμπύκνωση

υδρατμών κατά την παραγωγή παγοκρυστάλλων ή όχι χαρακτηρίζεται σε λευκός ή μαύρος αντίστοιχα (Δαλέζιος, 2015).



Εικόνα 30. Ζημιά από παγετό σε φυτό τομάτας (Πηγή: [http://www.tomatodirt.com/ Tomato\\_Dirt-tomato-dirt-newsletter-132.html](http://www.tomatodirt.com/ Tomato_Dirt-tomato-dirt-newsletter-132.html))

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΓΟΠΥΡΗΝΩΣΗ

### 7.1 Εισαγωγή

Όταν ένας οργανισμός ψυχθεί σε θερμοκρασίες κάτω του σημείου ισορροπίας πήξεως των υγρών ιστών του, τότε μπορεί να σχηματιστεί σκληρός πάγος στους ιστούς, γεγονός που είναι θανατηφόρο για τα κύτταρα και κατά συνέπεια για ολόκληρο τον οργανισμό. Οι φυσικοί οργανισμοί για να παρεμποδίσουν το πάγωμα ή τουλάχιστον για να αντέξουν την ψύξη τους ώστε να επιβιώσουν, παρεμβαίνουν στο υδατικό περιεχόμενο του σώματος τους είτε με την παραγωγή οσμολυτών, είτε με παγοπυρηνωτικούς ή αντιπαγοπυρηνωτικούς μηχανισμούς οι οποίοι προωθούν ή εξουδετερώνουν τον σχηματισμό πάγου (Zachariassen, 2000).

Στο κεφάλαιο αυτό θα εστιάσουμε στο φαινόμενο της βιολογικής παγοπυρήνωσης, σύμφωνα με το οποίο ζωντανοί οργανισμοί καταλύουν τον σχηματισμό πάγου σε θερμοκρασίες πολύ κοντά στους 0°C (Pitter, 1973; Diehl, 1998; Möhler, 2008).

### 7.2 Παγοπυρήνωση βακτηρίων

Το 1970 δύο ερευνητές ο Gabor Vali και ο Steven Lindow δουλεύοντας ανεξάρτητα ανακάλυψαν παγοπυρηνωτικά βακτήρια, που είναι υπεύθυνα για την εκκίνηση του σχηματισμού πάγου σε θερμοκρασίες λίγο κάτω από τους 0°C. Η έκφραση της παγοπυρήνωσης στα βακτήρια προέρχεται από μία πρωτεΐνη που βρίσκεται στην εξωτερική μεμβράνη των κυττάρων, η οποία δεσμεύει μόρια νερού σε διάταξη πλέγματος, παρέχοντας ένα παγοπυρηνωτικό πρότυπο που ενισχύει τον σχηματισμό κρυστάλλων πάγου (Morris, 2004).

Το ίδιο διάστημα ο φοιτητής τότε Russell Schnell κατά την διάρκεια της συνεργασίας του με τον Vali επιβεβαίωσε την υπόθεση, ότι τα εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία έχουν και υψηλή παγοπυρηνωτική ικανότητα. Η κυριότερη ανακάλυψη του Schnell ήταν, ότι τα φύλλα που βρίσκονταν σε αποσύνθεση αποτελούσαν την πηγή παγοπυρήνων στο χούμο (Upper, 1995).



Τα βακτήρια, μπορούν και προκαλούν τραυματισμούς από παγώματα στις επιφάνειες των φυτών, με σκοπό να γίνουν διαθέσιμα για τροφή τα θρεπτικά συστατικά που βρίσκονται στο εσωτερικό των ιστών (Christner, 2008; Morris, 2004). Τα βακτήρια αυτά είναι συνήθως επιφυτικοί αλλά και ενδοφυτικοί οργανισμοί, πιο συγκεκριμένα συναντώνται στην φυλλόσφαιρα, στο ριζικό σύστημα, στο άνθος και στην γύρη των φυτών (Manirajan, 2016; Frank, 2017). Ειδικότερα το νέκταρ και τα εκκρίματα του στίγματος και της γύρης προσφέρουν ένα εξαιρετικό υπόστρωμα καλλιέργειας για μικροοργανισμούς (Junker, 2011).

Το 1982 ο καθηγητής του Πανεπιστημίου της Μοντάνα (Η.Π.Α) David Sands, διατύπωσε την υπόθεση ότι βιολογικά σωματίδια όπως τα βακτήρια μπορούν να προκαλέσουν κατακρημνίσεις. Μετέπειτα, το 1987 ο Καθηγητής Βοτανολογίας του Πανεπιστημίου του Μίσιγκαν (Η.Π.Α) Williams S. Benninghoff υποστήριξε ότι για να προκληθεί από ένα σύννεφο κάποιο κατακρήμισμα πρέπει να υπάρχουν στην ατμόσφαιρα αιωρούμενα σωματίδια (αερολύματα) με παγοπυρηνωτικές ιδιότητες.

Ο κύκλος των βιοκατακρημνίσεων απαρτίζεται από δύο φαινόμενα:

A. Την εξάτμιση του νερού από τα φυτά, που αποδίδει μικροοργανισμούς και άλλα βιολογικά μικροσωματίδια στην ατμόσφαιρα (βιολογικά αερολύματα), τα οποία συμμετέχουν στην δημιουργία βροχής και χιονιού.

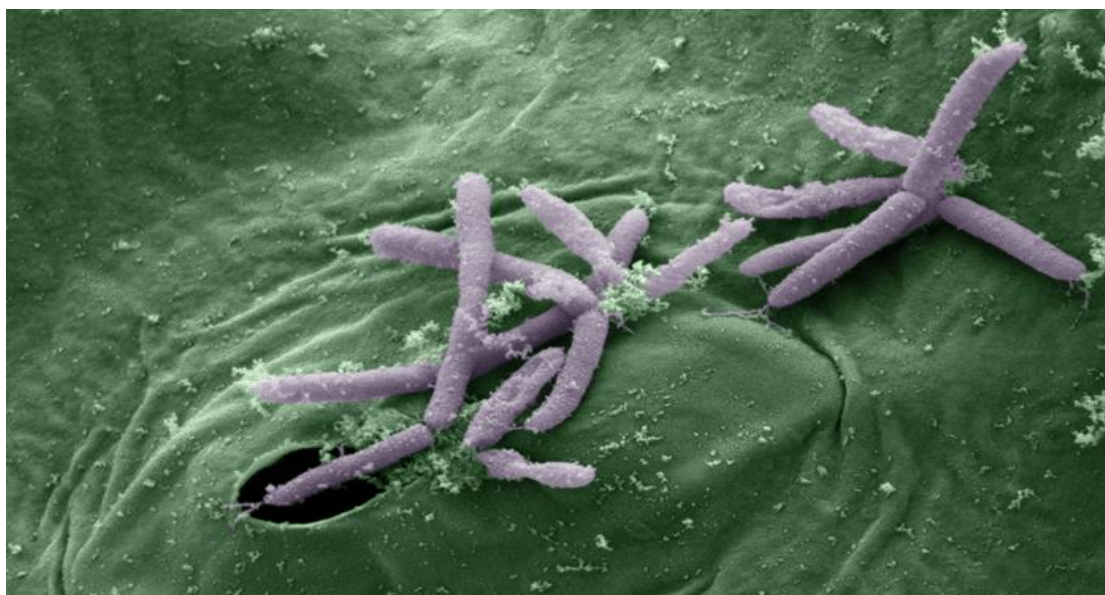
B. Τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις που προκύπτουν και είναι εμπλουτισμένες με παγοπυρηνωτικούς οργανισμούς ή όργανά τους (βακτηρία, γύρη, μύκητες), τα οποία μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις επικοιζοντας απομακρυσμένα περιβάλλοντα και επηρεάζοντας την βλάστηση και το περιβάλλον (Morris, 2014; Morris, 2016).

Τα περισσότερα ευρέως διαδεδομένα και καλά μελετημένα βιολογικά αερολύματα είναι τα παγοπυρηνωτικά βακτήρια των γενών *Pseudomonas syringae*, *Pseudomonas viridiflava*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pantoea agglomerans*, *Xanthomonas campestris* και μύκητες όπως το *Fusarium* (Christner, 2008; Stopelli, 2015). Τα αερομεταφερόμενα βακτήρια έχουν σημαντικό ρόλο στον σχηματισμό των νεφών και στις κατακρημνίσεις για τους εξής κύριους λόγους: Λόγω της παγοπυρηνωτικής τους ικανότητας, καθώς επίσης εξαιτίας του μεγέθους τους (0.1-3 μm) και της συγκέντρωσης τους, μπορούν να συνεισφέρουν στο σχηματισμό γιγάντιων

πυρήνων πάγου οι οποίοι λειτουργούν σαν συλλέκτες σταγονιδίων και προκαλούν βροχόπτωση (DeLeon-Rodriguez , 2013).

Επίσης βακτήρια εισέρχονται στην ατμόσφαιρα κυρίως μέσω φυσικών πηγών όπως η βλάστηση και το έδαφος και σε μικρότερο βαθμό, μέσω ανθρωπογενών πηγών. Η επιβίωση τους και η παραμονή τους στην ατμόσφαιρα καθορίζονται από βιολογικούς παράγοντες και μετεωρολογικές συνθήκες, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία (Lighthart, 1997).

Η γύρη έχει αναφερθεί ως πηγή του βακτηρίου *Xanthomonas arboricola*, το οποίο προκαλεί καρκίνο στην καρυδιά, όπως επίσης και του βακτηρίου *Pseudomonas syringae* που προκαλεί βακτηριακό καρκίνο στο ακτινίδιο (Vanneste, 2011). Στις παραπάνω περιπτώσεις δεν έχει εξακριβωθεί εάν το βακτήριο προϋπάρχει σαν μόλυσμα πάνω στην γύρη ή μολύνεται κατόπιν εισόδου του παθογόνου στο άνθος, όμως σε κάθε περίπτωση η επίσκεψη επικονιαστών στο άνθος όπως και άλλοι μηχανισμοί μετακίνησης της γύρης παρέχουν συνθήκες διασποράς μικροοργανισμών.



Εικόνα 31. Βακτήριο *Pseudomonas syringae* πάνω στην επιφάνεια φύλλου (Πηγή: <https://www.popsoci.com/heres-how-bacteria-freeze-water-around-them>)

### 7.3 Παγοπυρήνωση μυκήτων

Σε αντίθεση με τα βακτήρια, πολύ λίγα είναι γνωστά για την παγοπυρηνωτική ικανότητα των μυκήτων. Παγοπυρηνωτικοί παράγοντες πρωτεϊνικής φύσεως έχουν βρεθεί στους μύκητες *Fusarium acuminatum* και *Fusarium avenaceum* (Pouleur, 1992) οι οποίοι είναι φυτοπαθογόνα, όπως επίσης στον μύκητα εδάφους *Mortierella alpina* (Fröhlich-Nowoisky, 2014). Στον μύκητα *Fusarium acuminatum* έχει επίσης κλωνοποιηθεί το πρώτο ευκαρυωτικό παγοπυρηνωτικό γονίδιο (Anastassopoulos and Panopoulos 2004<sup>20</sup>). Η θερμότερη θερμοκρασία στην οποία παρουσιάστηκε ο σχηματισμός πάγου για το *Fusarium avenaceum* ήταν - 2,5 °C ενώ για το *Mortierella alpina* η παγοπυρηνωτική δραστηριότητα βρέθηκε σε θερμοκρασίες - 5 με - 6 °C.

### 7.4 Παγοπυρήνωση φυτών

Τα φυτά είναι ευαίσθητα στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, επειδή η θερμοκρασία τους ακολουθεί τις αλλαγές της θερμοκρασίας του αέρα. Πτώση της θερμοκρασίας κάτω από τους 0 °C μπορεί να προκαλέσει πήξη του νερού των φυτικών ιστών, δημιουργία σκληρού πάγου που διαπερνάει τις κυτταρικές μεμβράνες καταστρέφοντας τα φυτικά κύτταρα και κατά συνέπεια ολόκληρο το φυτό.

Υπάρχουν δύο μηχανισμοί που έχουν αναπτύξει τα φυτά για να προστατευθούν από ζημιές, στο εσωτερικό των κυττάρων τους, που οφείλονται στον παγετό, η υπέρψυξη (supercooling) και η παγοπυρήνωση (Lindow, 1983; Zaragotas, 2016). Καθοριστικός παράγοντας στο πάγωμα των φυτών είναι η παρουσία ή η απουσία επιφανειακής υγρασίας. Τα στεγνά φυτά υπερψύχονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από ότι τα νωπά (Ashworth, 1992). Ειδικότερα κατά την υπέρψυξη τα φυτά μπορούν έως ένα βαθμό να κρατήσουν τους ιστούς τους υγρούς χωρίς να παγώσουν κάτω από τους 0 °C, γεγονός που εξαρτάται από το φυτικό είδος και από την ύπαρξη παγοπυρηνωτικών παραγόντων στο φυτό (Lindow, 1983; Lindow, 1978). Η ικανότητα αυτή μπορεί να λειτουργήσει και αρνητικά όσο αφορά την επιβίωση του φυτού, εφόσον το πάγωμα του νερού των ιστών συμβεί σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (Ashworth, 1995).

---

<sup>20</sup> <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/AF265576.1>

Η παγοπυρήνωση μπορεί να λειτουργήσει ως ενεργός μηχανισμός αποφυγής του παγετού, όταν συμβαίνει σε σχετικά θερμές θερμοκρασίες. Περιλαμβάνει σε πρώτη φάση πάγωμα του νερού κατά μήκος της επιφάνειας των κυττάρων και σε δεύτερη φάση εξαγωγή του νερού από το εσωτερικό των κυττάρων και σχηματισμό μαλακού πάγου στον εξωκυττάριο χώρο (Wisniewski, 2001).

Φυτά που φύονται σε πολύ ψυχρές περιοχές έχουν προσαρμοστεί στην αποφυγή του ψύχους και χρησιμοποιούν μηχανισμούς όπως η υπέρψυξη (supercooling), με χαρακτηριστικό παράδειγμα υψηλής ικανότητας υπέρψυξης, τα φύλλα του φυτού *Espeletia* (Compositae) που απαντάται στις Άνδεις (Goldstein, 1985).

Επίσης έχουν καταγραφεί αρκετές περιπτώσεις φυτών εύκρατων περιοχών τα οποία έχουν ανοχή στο ψύχος μέσω παγοπυρηνωτικών παραγόντων (INAs) που βρίσκονται στους εξωκυτταρικούς χυμούς τους. Τέτοιες περιπτώσεις είναι τα κωνοφόρα έλατο του Κολοράντο (*Abies concolor*) και Άρκευθος η σινική (*Juniperus chinensis*), τα φυτά του γένους *Prunus*, η σίκαλη (*Secale cereale*), τα εσπεριδοειδή (Citrus), το Ιπποφαές (*Hippophae rhamnoides* L.) και κάποιες λειχήνες (Zachariassen, 2000; Zaragotas et al 2016). Στα φυτά του γένους *Prunus* έχει αποδειχτεί ότι η παγοπυρηνωτική ικανότητα οφείλεται σε μη βακτηριακούς παράγοντες (Gross, 1988) ενώ στη σίκαλη οι παγοπυρηνωτικοί παράγοντες φαίνεται να είναι πρωτεϊνικά σύμπλοκα φωσφολιπιδίων και υδατανθράκων (Brush, 1994).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup> ΓΥΡΗ ΚΑΙ ΥΠΟΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΓΥΡΗΣ

### 8.1 Εισαγωγή

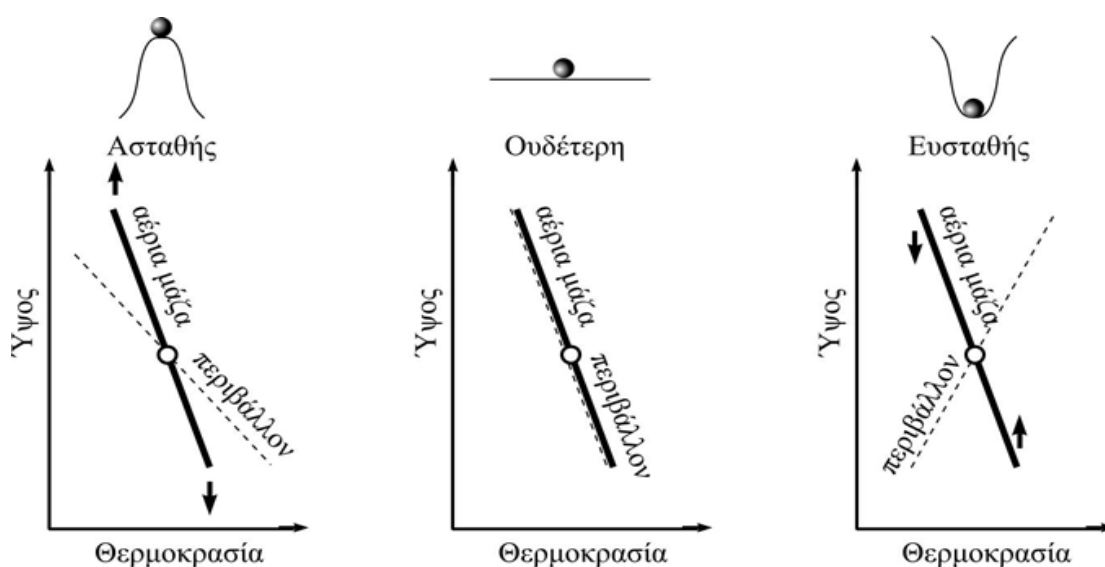
Καθοριστικό ρόλο στις κατακρημνίσεις έχει η παρουσία αερολυμάτων εξαιτίας της παγοπυρηνωτικής τους ικανότητας και της επίδραση τους στα νέφη (Fröhlich-Nowoisky, 2016; Möhler, 2007). Πιο συγκεκριμένα, στα υψηλότερα επίπεδα της τροπόσφαιρας, κύριο χαρακτηριστικό της οποίας είναι ότι όσο ανεβαίνουμε ψηλότερα τόσο πέφτει η θερμοκρασία (έως τους  $-80^{\circ}\text{C}$ ) (Wikipedia), σχηματίζονται παγοκρύσταλλοι γύρω από τους παγοπυρήνες, ενώ στα χαμηλότερα και θερμότερα επίπεδα σχηματίζονται υδροσταγονίδια (Benninghoff, 1987). Νεότερες μελέτες αναφέρουν ότι παγοπυρηνωτικά σωματίδια έχουν παρατηρηθεί ακόμα και στα κατώτατα επίπεδα της στρατόσφαιρας (Nielsen, 2011).

Όταν οι παγοκρύσταλλοι ή οι σταγόνες νερού αποκτήσουν επαρκή μάζα πέφτουν στη γη ως βροχή ή χιόνι. Η συμπύκνωση και η κρυστάλλωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του κύκλου του νερού του πλανήτη. Από το σύνολο των βιοαερολυμάτων που μπορούν να υπάρχουν στην ατμόσφαιρα, στην παρούσα μελέτη θα ασχοληθούμε μόνο με την γύρη και τα υποσωματίδιά της.

Παλαιότερα θεωρούσαν ότι η γύρη δεν μπορεί να έχει σημαντική συμβολή στην δημιουργία του κλίματος, εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους της και της σύντομης παραμονής της στην ατμόσφαιρα. Σήμερα γνωρίζουμε ότι η γύρη είναι στενά συνδεδεμένη με το κλίμα και ότι μπορεί να αλλάξει τις ιδιότητες των νεφών (Diehl, 2002, 2001; Steiner, 2015; Augustin, 2013). Επίσης νέα στοιχεία αποδεικνύουν ότι η γύρη μέσω των υποσωματιδίων της μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά ως παγοπυρηνωτικός παράγοντας και κατ' επέκταση να συμβάλει σημαντικά σε μετεωρολογικά φαινόμενα (Wallace, 2006; Steiner, 2015; Mikhailov, 2019; O'Sullivan, 2015).

## 8.2 Διασπορά της γύρης απο τον άνεμο

Οι ατμοσφαιρικές περιβαλλοντικές διεργασίες χαρακτηρίζονται από μεταφορά μάζας (L.T.P.E.P<sup>26</sup>). Η ατμοσφαιρική σταθερότητα είναι το μέτρο της τάσης της ατμόσφαιρας για την υποστήριξη κατακόρυφων κινήσεων, οι οποίες σχετίζονται άμεσα με πολλούς τύπους καιρικών συστημάτων και με τη σοβαρότητά τους (Wikipedia<sup>27</sup>). Οι κύριες καταστάσεις της ατμόσφαιρας είναι η σταθερή, η ουδέτερη και η ασταθής.



Εικόνα 32. Ατμοσφαιρική Σταθερότητα (Πηγή: <http://transp.cheng.auth.gr/mja/download/Chap%204.pdf>)

Σε σταθερές συνθήκες, η σχέση των θερμοκρασιών αντιτίθεται σε οποιαδήποτε κίνηση της αέριας μάζας, τα αερομεταφερόμενα σωματίδια δεν διασκορπίζονται κατακόρυφα, αλλά κινούνται οριζόντια σε υψηλές συγκεντρώσεις κοντά στο έδαφος. Η κατάσταση αυτή συνδέεται με την ατμοσφαιρική μόλυνση.

Οι ουδέτερες συνθήκες (χωρίς αλλαγή θερμοκρασίας σε σχέση με το ύψος) δεν προωθούν ή περιορίζουν τη διασπορά σωματιδίων και συναντώνται πολύ σπάνια. Οι

<sup>26</sup> Aristotle university, laboratory of thermophysical properties and environmental processes:

<http://transp.cheng.auth.gr/mja/download/Chap%204.pdf>

<sup>27</sup>

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%84%CE%BC%CE%BF%CF%83%CF%86%CE%B1%CE%B9%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%AC%CE%B8%CE%B5%CE%B9%CE%B1>



ουδέτερες συνθήκες είναι ιδανικές για γεωργικές πρακτικές όπως το ψέκασμα καλλιεργειών.

Σε ασταθείς συνθήκες, η κίνηση εξαρτάται άμεσα από τη σχέση της θερμοκρασίας της αέριας μάζας με αυτή του περιβάλλοντος. Αν η αέρια μάζα (σωματίδια) είναι θερμότερη από τον περιβάλλοντα αέρα τότε θα ενισχυθεί η κατακόρυφη κίνηση προς τα πάνω, ενώ στην αντίθετη περίπτωση θα κινηθεί προς τα κάτω. Αυτό έχει άμεση σχέση με τη δημιουργία νεφών, όπως τα Cumulus, τα οποία ανάλογα με το μέτρο της ατμοσφαιρικής αστάθειας, μπορεί να καταλήξουν τελικά ως καταγιδοφόρα νέφη. (L.T.P.E.P ; G.R.D.C).



Εικόνα 33. Τα Cumulus νέφη είναι ένδειξη ασταθής κατάστασης της ατμόσφαιρας (πηγή: G.R.D.C)

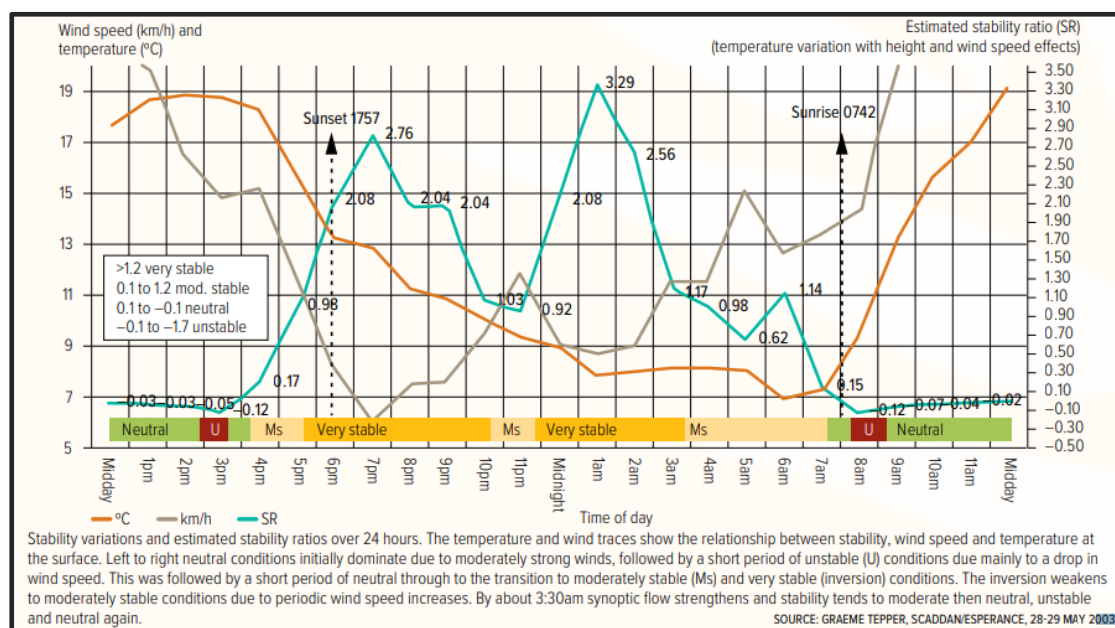
Μικρές αλλαγές στην κατάσταση σταθερότητας, μπορούν να προκαλέσουν ραγδαίες αλλαγές στις συγκεντρώσεις των αερομεταφερόμενων αερίων ή σωματιδίων (G.R.D.C<sup>29</sup>). Οι επιδράσεις της ατμοσφαιρικής αστάθειας κυρίως σε υγρές ατμόσφαιρες περιλαμβάνουν ανάπτυξη καταιγίδων, κυκλώνων, καθώς και αναταράξεις.

Οι αναταράξεις είναι οι απότομες και ακανόνιστες μεταβολές στην κίνηση και στην κλίση του αέρα που οφείλονται στα ανοδικά και καθοδικά ρεύματα (N.W.S).

<sup>29</sup> [https://grdc.com.au/data/assets/pdf\\_file/0024/248181/GRDC-Weather-Essentials-for-Pesticide-Application-2017.pdf](https://grdc.com.au/data/assets/pdf_file/0024/248181/GRDC-Weather-Essentials-for-Pesticide-Application-2017.pdf)

Αποτελούν ένα από τα πιο απρόβλεπτα καιρικά φαινόμενα που έχουν καθοριστικό ρόλο στον διασκορπισμό μικροσωματιδίων από το έδαφος στην ατμόσφαιρα. Οι αιτίες της δημιουργίας αναταράξεων μπορεί να είναι μηχανικές (mechanical turbulence), εξαρτώμενες από το ανάγλυφο της επιφάνειας (φυσικά εμπόδια όπως βουνά ή ανθρώπινες κατασκευές κτλ) (Lagzi, 2013), θερμικές (thermal turbulence) μέσω στηλών θερμού αέρα που προκύπτουν από την θέρμανση της επιφάνειας της γης (Lagzi, 2013), μετωπικές μέσω της ανύψωσης του θερμού αέρα, ή την απότομη μετατόπιση του ανέμου μεταξύ των ζεστών και ψυχρών αέριων μαζών (N.W.S<sup>30</sup>).

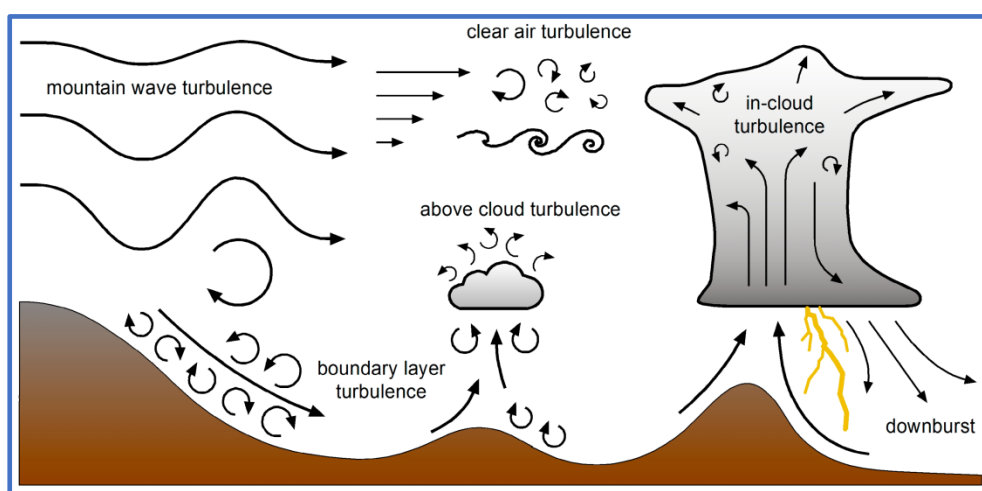
Όσον αφορά τις θερμικές αναταράξεις, ο αέρας γίνεται θερμότερος κατά τις θερμότερες περιόδους της ημέρας, μεσημεριανές έως απογευματινές ώρες, ενώ κατά τις βραδινές ώρες όταν η θερμοκρασία μειώνεται οι επιδράσεις της θερμικής αναταραχής ελαττώνονται. Σε αντιστοιχία έχει παρατηρηθεί ότι η συγκέντρωση της γύρης στην ατμόσφαιρα κορυφώνεται κατά τις απογευματινές ώρες και παραμένει υψηλή, κυρίως τις πολύ θερμές ημέρες, έως το βράδυ όπου αρχίζει και μειώνεται (Dowding, 1987).



Εικόνα 34. Διακύμανση της θερμοκρασίας και της ταχύτητας του ανέμου σε σχέση με τις εκτιμώμενες αναλογίες ευστάθειας της ατμόσφαιρας στο εικοσιτετράωρο (Πηγή: [https://grdc.com.au/data/assets/pdf\\_file/0024/248181/GRDC-Weather-Essentials-for-Pesticide-Application-](https://grdc.com.au/data/assets/pdf_file/0024/248181/GRDC-Weather-Essentials-for-Pesticide-Application-)

<sup>30</sup> National Weather Service: <https://www.weather.gov>

Κατά την διάρκεια των θερμικών αναταράξεων, ή ελεύθερη γύρη διατηρείται σε αιώρηση μέσα σε ένα θερμοαγωγό στρώμα το οποίο αναπτύσσεται. Αφού αυτό αναπτυχθεί επαρκώς, κάποια από τα περιεχόμενα του θα ανυψωθούν αδιαβατικά έως ότου καταστούν κορεσμένα υδρατμών και καταλήξουν στον σχηματισμό νεφών. Είναι πολύ πιθανό ότι η γύρη και άλλα σωματίδια που ανυψώνονται στην ατμόσφαιρα μπορούν να ενεργήσουν ως παγοπυρήνες (Dowding, 1987).



Εικόνα 35. Αναταράξεις κοντά και πάνω από ορεινό έδαφος (πηγή: Wekker, 2018)

### 8.3 Ηλεκτρική φόρτιση της γύρης

Τα φυτά, τα σπόρια μυκήτων, καθώς και η γύρη είναι συνήθως αρνητικά φορτισμένα (Reponen, 2014; Vercoulen, 1992 ), ωστόσο σε περίπτωση ξαφνικού ισχυρού ανέμου η πολικότητα της γύρης μπορεί να μετατραπεί σε θετική (Benninghoff, 1985). Έχει προταθεί ότι οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις εμπλέκονται στην επικοινωνία των φυτών από τα έντομα (Corbet, 1982) όπως επίσης έχει αποδειχθεί ότι οι ίδιες δυνάμεις επηρεάζουν την επικοινωνία μέσω του ανέμου, όταν η γύρη είναι φορτισμένη. Υπό καλές καιρικές συνθήκες, δημιουργείται ένα αδύναμο ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ της αρνητικά φορτισμένης επιφάνειας των φυτών και του θετικού φορτίου της ατμόσφαιρας, σε αυτήν την περίπτωση οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις μπορούν να αυξήσουν την μετακίνηση φορτισμένων σπόρων γύρης, και συγκεκριμένα την

μετατόπιση της γύρης προς το στίγμα των ανθέων. Οι θετικά φορτισμένοι κόκκοι γύρης προσελκύνονται προς τα φυτά ενώ οι αρνητικά φορτισμένοι κόκκοι γύρης απομακρύνονται από τα μητρικά φυτά ψάχνοντας ένα θετικά φορτισμένο σώμα (Bowker, 2007).

Τα ανθοφόρα φυτά και οι μέλισσες έχουν μια μακροχρόνια και σπουδαία από κοινού προσαρμογή, με εξελικτικά χαρακτηριστικά που ωφελούν και τις δύο πλευρές (επικονίαση για τα φυτά και τροφή για τις μέλισσες). Οι μέλισσες έχουν προσαρμοστεί δομικά ώστε να μπορούν να συλλέγουν και να μεταφέρουν αποδοτικά την γύρη. Επίσης όμως μπορούν με παθητικούς τρόπους ή με συμπεριφορές του εντόμου όπως δόνηση των ανθέων, μηχανική διέγερση των ανθίμων κ.α (Thorp 1999), απλά να διασπείρουν ένα ποσοστό γύρης στο περιβάλλον το οποίο κατά συνέπεια, μέσω του ανέμου ή μέσω ηλεκτρικών δυνάμεων, θα καταλήξει στην ατμόσφαιρα. Έχει αποδειχθεί ότι οι μέλισσες καθώς πετάνε μπορεί να αποκτήσουν θετικό ηλεκτρικό φορτίο και ότι επιπλέον έχουν την ικανότητα να ανιχνεύουν ηλεκτρικά πεδία μέσω των τριχών και των κεραιών τους, αυτό σημαίνει ότι όταν η θετικά φορτισμένη μέλισσα φτάνει στο αρνητικά φορτισμένο λουλούδι, η γύρη αποσπάται από τους ανθήρες έλκεται και προσκολλάται στο σώμα της μέλισσας (Clarke, 2017).

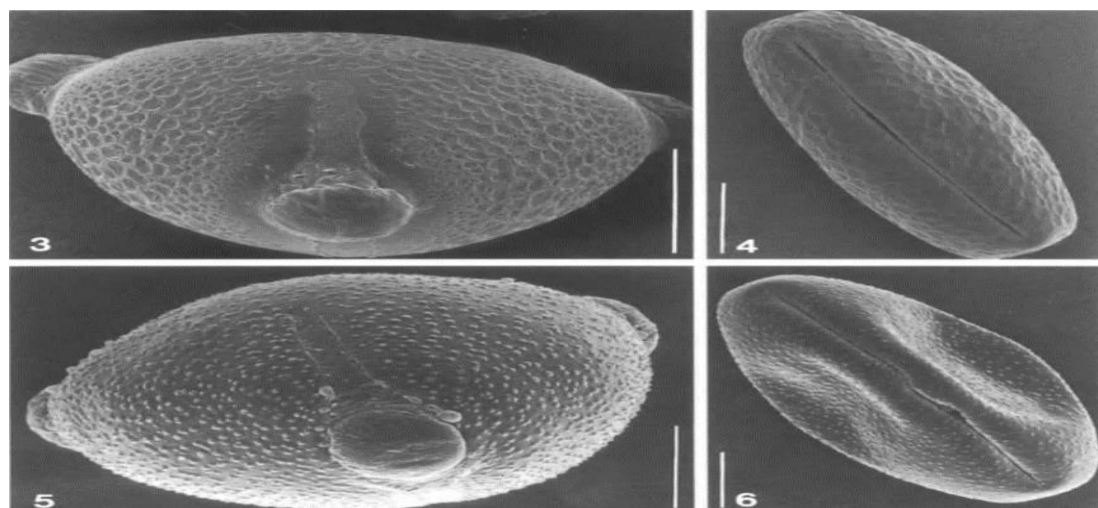


Εικόνα 36. Προσκόλληση γύρης πάνω σε μέλισσα (Πηγή: <http://aetherforce.com/how-pollen-sticks-to-bees-static-electricity/>)

Όταν η συλλογή και η μεταφορά της γύρης του άνθους γίνεται στοχευμένα και με ακρίβεια από τις μέλισσες, τότε χαρακτηρίζεται ως ενεργή συλλογή, ενώ όταν η λήψη συμβαίνει τυχαία χαρακτηρίζεται ως παθητική (Westerkamp 1996). Η μεταφορά της γύρης από τις μέλισσες μέσω της επίδρασης της ηλεκτροστατικής έλξης χαρακτηρίζεται ως παθητικός τρόπος συλλογής. Σε πολλές περιπτώσεις που η γύρη λαμβάνεται παθητικά, έχει παρατηρηθεί ότι η μέλισσα όταν καλύπτεται με υψηλό ποσοστό από γύρη στο σώμα της, αντί να την αποθηκεύσει προς μεταφορά σε ειδικά διαμορφωμένα σημεία του σώματος της, καθαρίζεται και την αποβάλλει στο περιβάλλον (Thorp 1999).

#### 8.4 Έκρηξη της γύρης

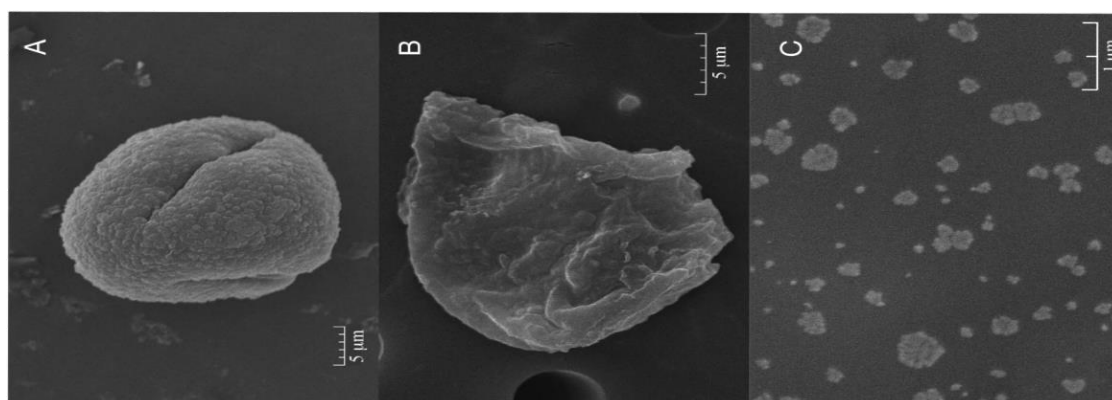
Η γύρη μπορεί να απορροφήσει σημαντικές ποσότητες νερού από ένα υγρό περιβάλλον όχι μόνο στην επιφάνεια της αλλά και στο εσωτερικό της. Πιο συγκεκριμένα όταν η γύρη έρχεται σε επαφή με εδαφική υγρασία, ή όταν έρχεται σε επαφή με το στίγμα ενός λουλουδιού ή όταν η ατμοσφαιρική υγρασία είναι υψηλή, ενυδατώνεται και “φουσκώνει” (J. Heslop-Harrison 1987; Hesse, 1999; Steiner 2015; Deihl, 2001).



Εικόνα 37. Παράδειγμα ενυδατωμένης (3 και 5) και αφυδατωμένης γύρης των φυτών *Rhamnus alaternus* (Rhamnaceae) και *Comus floribunda* (Cornaceae). (Πηγή: Hesse, 1999).



Υπό συνθήκες πολύ υψηλής υγρασίας, μετά από βροχόπτωση, αλλά και στην διάρκεια ανύψωση τους στην ατμόσφαιρα (κατά την επαφή με χαμηλού ύψους νέφη), οι κόκκοι της γύρης μπορούν να εκραγούν-διαρρηχθούν και να αποβάλουν το υλικό που περιέχουν, σχηματίζοντας μικρότερα υποσωματίδια γύρης (Sub Pollen Particles, SPP). Η μελέτη συγκεκριμένων φυτικών ειδών απέδειξε ότι η φρέσκια γύρη μπορεί να παραμείνει στο νερό από λίγα δευτερόλεπτα έως και 3 ώρες πριν “εκραγεί”(Steiner, 2015; Taylor, 2004; Suphioglu, 1992).



Εικόνα 38. Ρήξη γύρης *Quercus polymorpha*. A. Στεγνή, B. διαρρηγμένη, C. υποσωματίδια (SPP) μεγέθους 50 - 300nm (Πηγή: Steiner, 2015).

Έχει αποδειχθεί ότι δεν έχει μόνο η γύρη παγοπυρηνωτική ικανότητα μέσω της διαδικασίας της επαφής (contact freezing) και της εμβάπτισης (immersion freezing) (Diehl, 2001, 2002) αλλά και ότι τα SPP έχουν επίσης παγοπυρηνωτική ικανότητα, παρέχοντας μια επιφάνεια για την συμπύκνωση υδρατμών που επιτρέπει την ανάπτυξη σταγονιδίων στα νέφη (condensation nuclei) (Steiner, 2015; O’Sullivan, 2015 ; Taylor, 2004; Suphioglu, 1992).

Η δραστηριότητα συμπύκνωσης των υποσωματιδίων γύρης είναι συγκρίσιμη με την δραστηριότητα συμπύκνωσης των δευτερογενών οργανικών αερολυμάτων και δεν εξαρτάται σημαντικά από τον τύπο της πρωτογενούς γύρης (Mikhailov, 2019). Τα μεγέθη των SPP κυμαίνονται από μερικά νανόμετρα έως μερικά μικρόμετρα και αποτελούνται κυρίως από πολυσακχαρίτες όπως το άμυλο, μονοσακχαρίτες και ολιγοσακχαρίτες. Μετρήσεις έχουν δείξει ότι SPP μεγέθους 50-200 nm μπορούν να εκκινήσουν τον σχηματισμό νεφοσταγόνων όταν ο υπερκορεσμός των υδρατμών μέσα στο νέφος βρίσκεται στο 0.12-0.81% (Mikhailov, 2019). Ο αριθμός των



παγοπυρηνωτικών υποσωματιδίων που μπορεί να προκύψει από ένα και μοναδικό σπόρο γύρης έχει εκτιμηθεί σε χιλιάδες (Möhler, 2007; Augustin, 2013).

Το μικρό μέγεθος των υποσωματιδίων γύρης, μπορεί να εξηγήσει την παρουσία τους στον αέρα και την ατμόσφαιρα και κατά επέκταση, ως οργανικοί παγοπυρήνες των νεφών, την συμβολή τους σε μετεωρολογικά φαινόμενα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup> *Crepis sancta*

### 9.1 Βοτανική ταξινόμηση

Το *Crepis sancta* (Κρηπίδα) είναι ένα μικρό χειμερινό μονοετές φυτό ύψους περίπου 20 εκατοστών και ανήκει στην οικογένεια Asteraceae. Η οικογένεια Asteraceae (παλαιότερα Compositae), το όνομα της οποίας προέρχεται από το γένος *Aster*, είναι η δεύτερη μεγαλύτερη οικογένεια των Σπερματοφύτων, σε αριθμό γενών και ειδών, με σημαντικό ρόλο στην οικονομία, λόγω της συμβολής των μελών της στη διατήρηση της βιοποικιλότητας των ξηρότερων τύπων βλάστησης, ιδιαίτερα στις τροπικές και ημιτροπικές περιοχές. Η οικογένεια Asteraceae εκτείνεται σε παγκόσμια κλίμακα (εκτός της Ανταρκτικής) αυξάνοντας έτσι την ποικιλομορφία των αντιπροσώπων της οι οποίοι συνήθως είναι αειθαλείς θάμνοι ή ημίθαμνοι ή ριζοματώδεις πόες, πολυετή με σαρκώδεις ρίζες, μονοετείς ή διετείς πόες και αναρριχητικά φυτά και σπανιότερα είδη με δενδρώδη μορφή, επίφυτα και υδρόβια. Περιλαμβάνει edώδιμα είδη (μαρούλι, ραδίκι, σταμναγκάθι, αγκινάρα κ.α), φαρμακευτικά (*Artemisia cina* και *A. maritima*, *Achillea millefolium* κ.α), καλλωπιστικά φυτά (*Dahlia*, *Gazania* κ.α) και φυτά για την παραγωγή διαφόρων πρώτων υλών όπως για την παραγωγή σπερμάτων από τα οποία παράγουμε έλαια (Ηλίανθος, Κάρδαμο). Από την άλλη αρκετοί αντιπρόσωποι της οικογένειας είναι ζιζάνια, παρασιτικά φυτά και δηλητηριώδη φυτά. Το είδος *Chrysanthemum cinerariaefolium* είναι η κύρια εμπορική πηγή για την παραγωγή φυσικού πύρεθρου το οποίο χρησιμοποιείται ως εντομοκτόνο (EClass Πάτρας<sup>32</sup>).

---

<sup>32</sup><https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/BIO348/%CE%A4%CE%AC%CE%BE%CE%B7%20Asterales%20ASTERACEAE.pdf>

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ	
Βασίλειο	Plantae
Υπεράθροισμα	Spermatophyta
Άθροισμα	Magnoliophyta
Κλάση	Magnoliopsida
Υποκλάση	Asteridae
Τάξη	Asterales
Οικογένεια	Asteraceae
Φυλή	Cichorieae
Υποφυλή	Crepidinae
Γένος	<i>Crepis</i>
Είδος	<i>Crepis sancta</i>



Εικόνα 39. Φυτό *Crepis sancta* (πηγή: [http://www.homolaicus.com/scienza/erbario/10000foto/crepis\\_sancta.htm](http://www.homolaicus.com/scienza/erbario/10000foto/crepis_sancta.htm))

## 9.2 Βοτανικά χαρακτηριστικά

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του άνθους του φυτού *Crepis sancta* για την παρούσα μελέτη είναι το γεγονός ότι ανθίζει μέσα στο χειμώνα από το Δεκέμβριο έως και το Μάρτιο, μια περίοδο, όπου η άνθηση για τα περισσότερα ήδη φυτών είναι απαγορευμένη εξαιτίας του ψύχους και της ευπάθειας των ανθικών οργάνων σε αυτό. Η διάρκεια αναπαραγωγής του είναι 5-8 εβδομάδες (Cheptou, 2000). Τα φυτά μπορούν να αναπτύξουν έως 100 κίτρινες ταξιανθίες στην περίοδο ανθοφορίας. Κάθε ταξιανθία αποτελείται από ερμαφρόδιτα ταινιόστενα πέταλα. Τα περιφερειακά μπουκετάκια της ταξιανθίας παράγουν μεγάλα ανοιχτόχρωμα αχάινια χωρίς πάππο τα οποία είναι βαριά και πέφτουν κοντά στο μητρικό φυτό, ενώ τα κεντρικά μπουκετάκια παράγουν μικρά καφέ χρώματος αχάινια με πάππο τα οποία είναι ελαφρύτερα από τα περιφερειακά και επομένως αερομεταφερόμενα. Οι κοτυληδόνες είναι αντωοειδές (έχουν την μορφή αυγού), άμισχοι. Ο τύπος των φύλλων είναι απλός και η διάταξη εναλλασσόμενη. (Gallego, 2017; Κέντρο μελέτης αρχαίας Θουρίας, 2015<sup>34</sup>). Η γύρη του φυτού είναι πεπλατυσμένη, σφαιροειδής, ακανθώδης, με διάμετρο 28–34 μm (Wang, 2009).



Εικόνα 40. Αριστερά αχάινια με πάππο φυτού *Crepis biennis* (Hermann Schachner, [https://sv.m.wikipedia.org/wiki/File:Crepis\\_pyrenaica\\_\(Pyren%C3%A4en-Pippau\)\\_IMG\\_4516.JPG](https://sv.m.wikipedia.org/wiki/File:Crepis_pyrenaica_(Pyren%C3%A4en-Pippau)_IMG_4516.JPG)). Δεξιά ανθοκεφαλή *Crepis sancta* ([https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Crepis\\_sancta#/media/File:Nimes\\_Hawk%27s-beard\\_\(Crepis\\_sancta\)\\_8558557804.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Crepis_sancta#/media/File:Nimes_Hawk%27s-beard_(Crepis_sancta)_8558557804.jpg)).

<sup>34</sup> <https://kentromeletisarxaiasthourias.wordpress.com/2015/11/27/crepis-sancta-%CE%BA%CF%81%CE%B7%CF%80%CE%AF%CE%B4%CE%B1-%CE%B7-%CE%B9%CE%B5%CF%81%CE%AE-%CF%87%CE%B1%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CF%81%CE%B7%CF%80%CE%AF%CE%B4%CE%B1/>

Γενικά ο χρόνος ανοίγματος και κλεισίματος του ανθούς ποικίλλει ανάλογα με το είδος του φυτού την εποχή και τον μήνα (Abraham H. Halevy, 1989). Αλλάζει επίσης ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες όπου κατά κανόνα ο βροχερός ή κρύος καιρός μπορεί να καθυστερήσει ή να διακόψει το άνοιγμα του άνθους ενώ ή θερμή εποχή ή ημέρα μπορεί να το προάγει. Το άνοιγμα ή το κλείσιμο του άνθους επηρεάζεται πρωτίστως από τη θερμοκρασία του αέρα και λιγότερο από παράγοντες όπως το φως, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου, ή η ακτινοβολία (Gardiner, 2007). Έτσι στις μεσογειακές χώρες όπως η Ελλάδα όπου ο χειμώνας δεν είναι ιδιαίτερα δριμύς, η άνθιση μπορεί να γίνει εκτός της προβλεπόμενης εποχής.

Εργαστηριακές μελέτες έδειξαν ότι φυτά της οικογένειας Asteraceae (*Taraxacum albidum*, *Taraxacum officinale*, *Taraxacum japonicum*), στην οποία ανήκει και το *Crepis sancta*, ανταποκρίνονται άμεσα στις αλλαγές της θερμοκρασίας, με πιθανότερο λόγο την προστασία της γύρης και άλλων αναπαραγωγικών δομών από βλάβες που προκαλούνται από την υγρασία (Tanaka, 1987, 1988). Ειδικότερα αυξημένη υγρασία μπορεί να προκαλέσει ξέπλυμα της γύρης από το φυτό όπως επίσης και 'έκρηξη' της κατόπιν απορρόφησης νερού (Dafni A. 1996) (Von Hase, 2006). Αυτός είναι και ο λόγος που η σύνθεση της γύρης καθώς και η πυκνότητα της στην ατμόσφαιρα ποικίλλουν ανάλογα με την εποχή του χρόνου και με τις καιρικές συνθήκες, (Κούτουλα 2004).

Σχετικά με την κίνηση των ανθέων και την επικονίαση, φαίνεται να υπάρχει στενή σχέση με την θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Έχει αναφερθεί ότι σε θερμοκρασίες πάνω από 20 °C, το ποσοστό ανοίγματος των ανθέων αυξάνεται ραγδαία (Von Hase, 2006). Επίσης βρέθηκε, ότι τα *Crepis capillaris* και *Crepis biennis* που ανοίγουν νωρίς το πρωί, κλείνουν μέσα σε 3 ώρες μετά από τεχνητή επικονίαση με το χέρι, ενώ αυτά που δεν έχουν επικονιαστεί παραμένουν ανοικτά μέχρι αργά το απόγευμα. (Van Doorn, 2014). Ο ενδογενής μηχανισμός ανοίγματος κλεισίματος περιλαμβάνει αύξηση της οσμωτικής πίεσης στα κύτταρα μετά από πρόσληψη νερού (Van Doorn, 2014).

### 9.3 Πολλαπλασιασμός

Το *Crepis sancta* είναι σταυρογονιμοποιούμενο φυτό. Γενετικοί και οικολογικοί παράγοντες μπορούν να ευνοήσουν την σταυρογονιμοποίηση του (Cheptou, 2000). Ένας από τους μηχανισμούς που τίθενται σε εφαρμογή προκειμένου να εμποδισθεί η αυτογονιμοποίηση ή η διασταύρωση με γενετικά, συγγενή φυτά, είναι το ασυμβίβαστο ή αυτόστειρο που αποτελεί γνώρισμα πολλών φυτικών ειδών μεταξύ αυτών και του *Crepis sancta* (Hughes, 1950). Τα φυτά του γένους *Crepis* παρουσιάζουν μεγάλη βλαστική και σποροπαραγωγική ικανότητα (Enke 2008). Υπό συνθήκες καταπόνησης το *Crepis sancta* μπορεί και προσαρμόζει τον τρόπο και τον ρυθμό διασποράς των απογόνων του, προκειμένου να επιβιώσει. Συγκεκριμένα σε πείραμα που διενεργήθηκε (Imbert, 2001), το φυτό υποβλήθηκε σε διάφορες καταπονήσεις όπως την εξάντληση των θρεπτικών συστατικών, την προσομοιωμένη βόσκηση καθώς και τον συνδυασμό τους. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι κατά την προσομοιωμένη βόσκηση, τα φυτά άρχισαν να παράγουν περισσότερους γόνιμους σπόρους πάνω στις ανθοκεφαλές αμέσως μετά την εφαρμογή της καταπόνησης. Επίσης υπό την έλλειψη θρεπτικών συστατικών αυξήθηκε η παραγωγή σπόρων με σχήματα διασποράς.

### 9.4. Παγκόσμια κατανομή

Το γένος *Crepis* περιλαμβάνει περίπου 200 είδη και έχει παγκόσμια κατανομή, ενώ απαντάται συχνότερα σε όλο το βόρειο ημισφαίριο και στην Αφρική. Ο υψηλός βαθμός πολυμορφισμού καθώς και οι πολλοί διαφορετικοί βοτανικοί χαρακτήρες ανάμεσα στα συγγενή είδη αλλά ακόμα και στα φυτά του ίδιου είδους, καθιστούν το γένος ταξινομικά προβληματικό (Inceer, 2016). Προήλθε πιθανόν από την κεντρική Ασία και το κέντρο της ποικιλομορφίας του θεωρείται η ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου (Enke 2008).



## 9.5. Προσαρμοστικότητα στο περιβάλλον

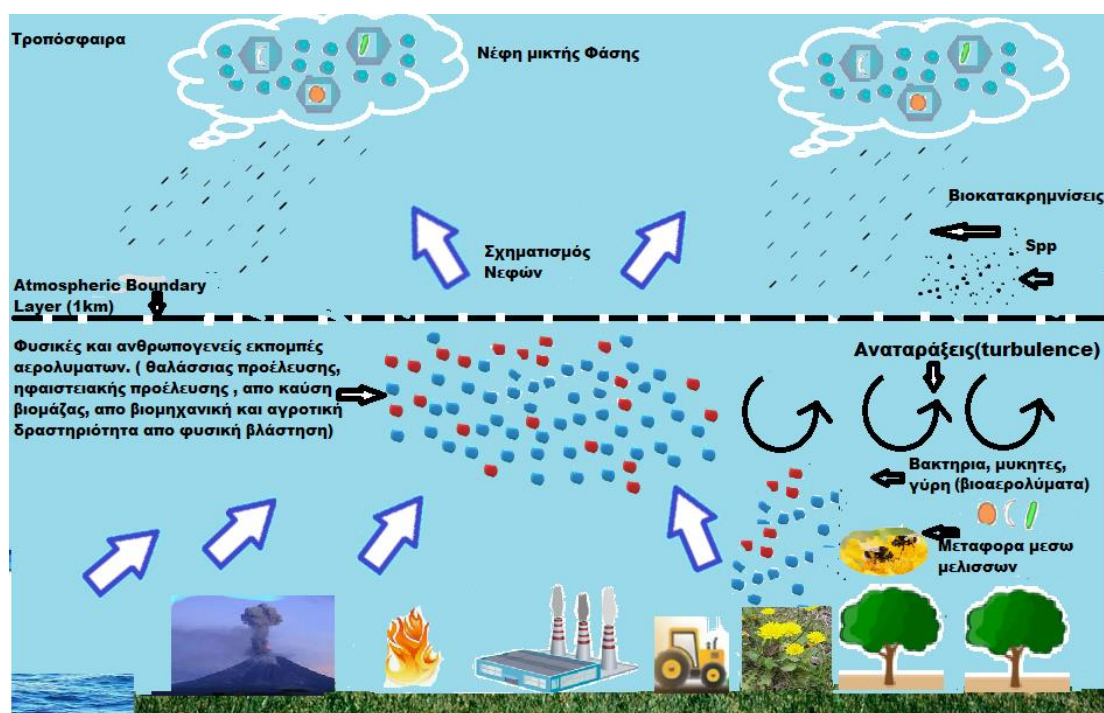
Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του *Crepis sancta* είναι η προσαρμοστικότητα του, (φαινοτυπική πλαστικότητα) πχ. αλλαγή της γενετικής τους σύστασης με σκοπό την επιβίωση (Cheptou, 2000 ; Hughes, 1950). Η προσαρμοστικότητα που παρουσιάζει στο εκάστοτε τοπικό ενδιαίτημα που αναπτύσσεται, εκφράζεται κυρίως μέσω μορφολογικών διαφοροποιήσεων μεταξύ των περιφερειακών και κεντρικών αχαιίνων μέσα στη σύνθετη ταξιανθία, το κεφάλιο (Imbert, 1999). Πιο συγκεκριμένα παράγει δύο είδη σπόρων (αχαιίνια), τους περιφερειακούς που ως μεγαλύτεροι και βαρύτεροι (0,27 mg), καθώς και λιγότεροι σε αριθμό (9,6), πέφτουν κοντά στο μητρικό φυτό και τους εσωτερικούς οι οποίοι είναι περισσότεροι (60,1) και ελαφρύτεροι (0,10 mg) με αποτέλεσμα να παρασύρονται και να διασπείρονται εύκολα από τον άνεμο (Imbert, 1999). Έχει βρεθεί ότι φυτά του *Crepis sancta* που προήλθαν από σπόρους του αστικού περιβάλλοντος παρήγαγαν με τη σειρά τους περίπου 14% βαρύτερους σπόρους, συγκριτικά με φυτά που προήλθαν από την ύπαιθρο και τα οποία παρήγαγαν 10% βαρύτερους σπόρους (Sanderson, 2008).

## 9.6. Υψηλή βιωσιμότητα μετά απο πυρκαγιά

Τα φυτά του γένους *Crepis* παρουσιάζουν υψηλή βιωσιμότητα έντονη προσαρμοστικότητα και επανεμφάνιση σε μεγάλους πληθυσμούς κατόπιν περιστατικών πυρκαγιάς (Trabaud, 1973; Evans, 2005). Μετά από φωτιά σε μεσογειακές περιοχές της Γαλλίας, φυτά όπως τα *Crepis pulchra* και *Crepis vesicaria* ssp εμφανίστηκαν και παρέμειναν στην περιοχή εξ αιτίας της δράσης πυρκαγιάς, χωρίς την οποία θα είχαν εξαφανιστεί (Trabaud, 1973). Το *Crepis atrabarba* παρουσίασε σημαντική πληθυσμιακή αύξηση και κατανομή μέσα σε τέσσερα χρόνια μετά από μεγάλη πυρκαγιά στην πολιτεία Ουάσιγκτον της Αμερικής το 2000 (Evans, 2005). Τέλος σε αντιστοιχία με τις παραπάνω περιπτώσεις το *Crepis tectorum* εμφανίστηκε και αποίκισε σε δάσος στην Αλασκά μετά από πυρκαγιά (Walker, 2017).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10<sup>ο</sup> ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός αυτής της διατριβής ήταν να ερευνηθεί η πιθανότητα της συμβολής του φυτού *Crepis sancta*, στη δημιουργία ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων μέσω της γύρης του. Οι αλλαγές στην γεωμορφολογία μιας τοποθεσίας, κυρίως μέσω της βλάστησης, μπορούν να έχουν επιπτώσεις στο κλίμα, μέσω της επίδρασης τους στον υδρολογικό κύκλο. Οι αλλαγές αυτές λειτουργούν ρυθμιστικά στη διαθέσιμη εδαφική και ατμοσφαιρική υγρασία καθώς και στον χρόνο παραμονής του νερού στην ατμόσφαιρα. Στα πλαίσια της αειφόρου διαχείρισης του περιβάλλοντος και βασισμένοι στην αρχή της αμφίδρομης σχέσης του χερσαίου οικοσυστήματος με το κλίμα, μελετούμε τη συμβολή του φυτού *Crepis sancta* στην πρόκληση υετού.



Εικόνα 41. Σχηματική απεικόνιση δημιουργίας βιοκατακρημνίσεων. (Spp= Sub-pollen particles)

Πιο συγκεκριμένα διερευνούμε τη χρησιμότητα της παγοπυρηνωτικής ικανότητας των γυρεοκόκκων του φυτού *Crepis sancta*, στη πρόκληση βιοκατακρημνισμάτων. Το φυτό αυτό, στο μέλλον μπορεί να αποτελέσει ένα μοντέλο αξιοποίησης της βλάστησης για αύξηση των βροχοπτώσεων, με απώτερο στόχο την ανάπλαση οικοσυστημάτων που έχουν πληγεί ιδιαίτερα από φωτιές ή από την υπερβόσκηση και έχουν οδηγηθεί ή οδηγούνται σε ερημοποίηση.

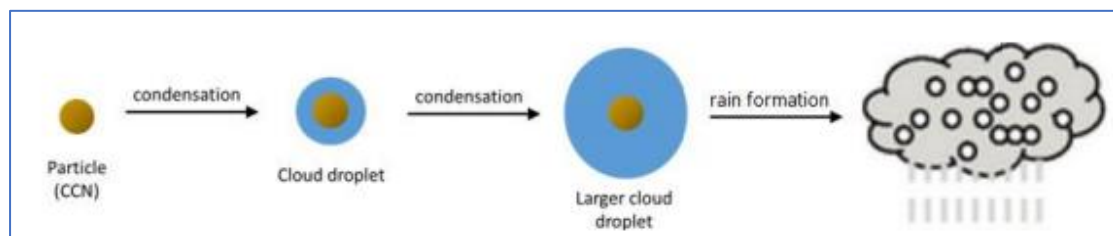
Τα βασικά ερευνητικά ερωτήματα που μελετήσαμε είναι:

- Αν και πως το *Crepis sancta* μπορεί να συμμετέχει στο σχηματισμό ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων;
- Με ποιο τρόπο η γύρη επιδρά στην δημιουργία ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων;
- Υπάρχουν μικρόβια πάνω στην γύρη και ποιος ο ρόλος τους στο εν λόγω φαινόμενο.

## ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Δεδομένου ότι τα ανθικά όργανα των περισσότερων φυτών είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στον παγετό είναι αξιοπερίεργο το γεγονός ότι κάποια φυτά ανθίζουν μέσα στο χειμώνα. Τα φυτά αυτά θα πρέπει να έχουν αναπτύξει προσαρμοστικούς μηχανισμούς που τα καθιστούν ανθεκτικά στο παγετό. Στη προσπάθειά μας να μελετήσουμε αυτούς τους μηχανισμούς, εστίασαμε στο άνθος, το πλέον ευαίσθητο φυτικό όργανο στον παγετό. Πιο συγκεκριμένα ελέγξαμε την παγοπυρηνωτική ικανότητα της γύρης του φυτού *Crepis sancta* που ξεκινάει την άνθησή του μέσα στο Χειμώνα (Φεβρουάριο - Μάρτιο) (Σβάρνας 2017). Η επιλογή του φυτού *Crepis sancta* βασίστηκε στη παρατήρηση ότι το φυτό αυτό ανοίγει τα άνθη του μόνο τις ηλιόλουστες ώρες της ημέρας και τα διατηρεί κλειστά όσο διάστημα ο καιρός είναι νεφοσκεπής ή βροχερός ή όσο διάστημα το φυτό βρίσκεται στη σκιά.

Στη παρούσα μελέτη διερευνήσαμε την υπόθεση, βασιζόμενοι σε περιορισμένα πειραματικά δεδομένα, που αφορούν το ρόλο του φυτού *Crepis sancta* στη δημιουργία κατακρημνίσεων. Η παγοπυρηνωτική ικανότητα γυρεόκοκκων των γενών *Betula*, *Populus*, *Quercus*, *Pinus*, *Agrostis*, *secale*, *Poa*, κ.α ήταν ήδη γνωστή, σύμφωνα με πειραματικά δεδομένα άλλων ερευνητών (Von Blohn 2005; Diehl, 2002, 2001; Steiner, 2015) όπως επίσης και το γεγονός ότι γυρεόκοκκοί είχαν ανιχνευθεί στα σύννεφα όπου ενεργούσαν σαν παγοπυρήνες συμπύκνωσης νεφών (Sofiev 2006; Schueler, 2006; Noh, 2013; Diehl, 2001, 2002; Steiner, 2015, O'Sullivan, 2015, Augustin, 2013). Όλες οι παραπάνω μελέτες αφορούσαν ανεμόφυλα φυτά, που παράγουν σημαντικά ελαφρύτερη γύρη από αυτή των εντομόφυλων φυτών, γεγονός που εξηγούσε και την μεταφορά της στα στρώματα της ατμόσφαιρας όπου δημιουργούνται τα νέφη.



Εικόνα 42. Διαδικασία ανάπτυξης των πυρήνων συμπύκνωσης νεφών (CCN) σε μεγάλες νεφοσταγόνες μέσω συμπυκνώσεων και σχηματισμός νετού.

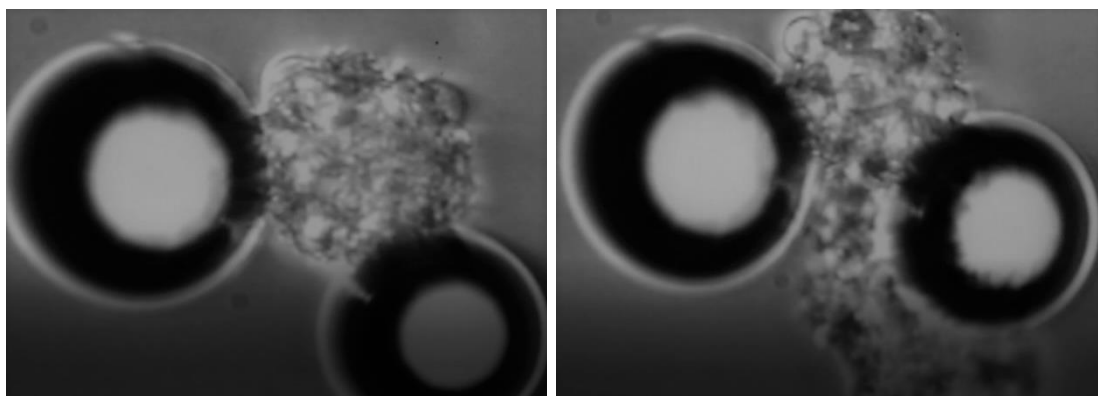
(<https://www.physics.uu.se/forskning/molcond/Pagagendeforskning/molekyler-och-vatskor/aerosols>)

Το πλέον μελετημένο για τη συμβολή του στη δημιουργία ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων ανεμόφυλο φυτό είναι η σημύδα, *Betula sp.* Συγκριτικά με τους γυρεόκοκκους του φυτού *Betula sp.* οι οποίοι έχουν μελετηθεί εκτενώς σχετικά με τη παγοπυρηνωτική ικανότητά τους και τη παρουσία τους στα σύννεφα, οι γυρεόκοκκοί του φυτού *Crepis sancta* παράγουν θερμότερους παγοπυρήνες (Εικ.43).

Treatments	Freezing T	SD
Crepis pollen	-8.83	3.22
Betula pollen	-10.28	2.06

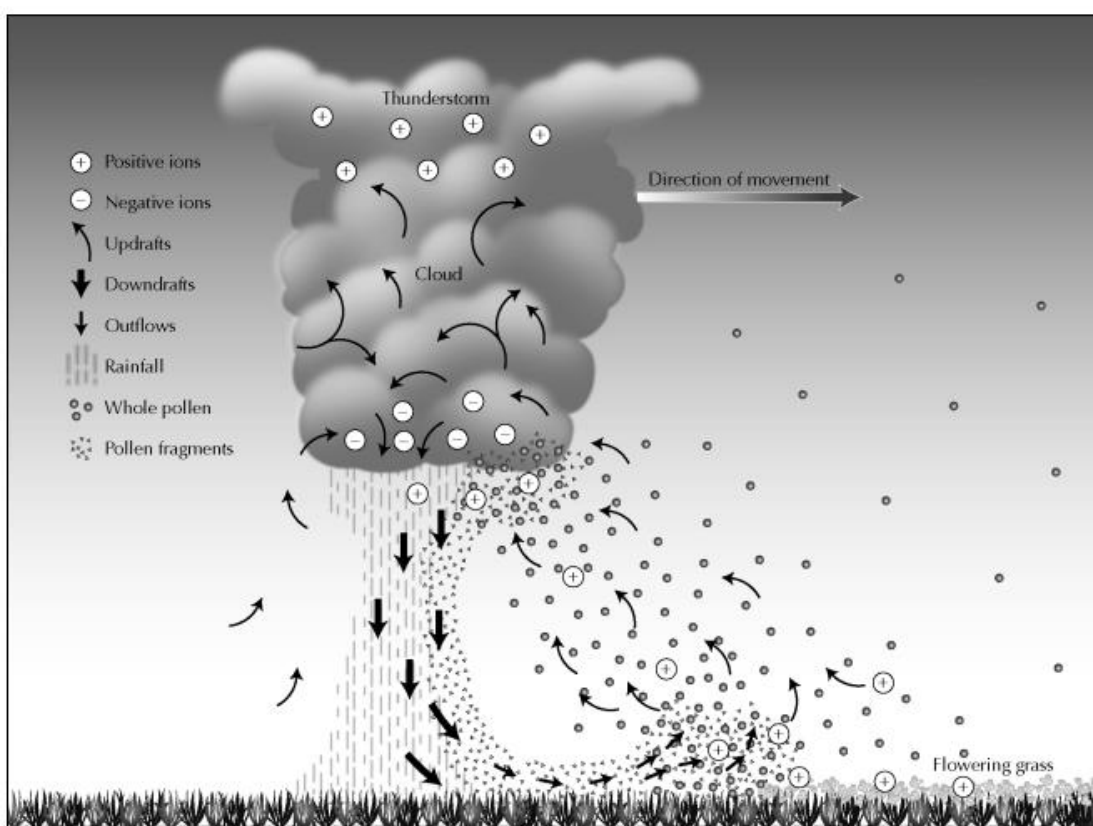
Εικόνα 43. (Αδημοσίευτα δεδομένα. Πληροφορίες για υλικά και μέθοδοι Zaragotas et al 2016)

Επίσης πρόσφατα πειραματικά δεδομένα του εργαστηρίου μας (Εικ.44) έδειξαν ότι μετά από ενυδάτωση οι γυρεόκοκκοί του φυτού *Crepis sancta* εκρήγνυνται πολύ πιο γρήγορα ~7secs απ' ότι οι γυρεόκοκκοί του *Betula sp.* ~20secs.



Εικόνα 44. Έκρηξη γύρης *Crepis sancta* σε δευτερόλεπτα μετά από επαφή με νερό. ( Φωτογραφία από μικροσκόπιο στο εργαστήριο βιοτεχνολογίας)

Το φαινόμενο της έκρηξης της γύρης μετά από ενυδάτωσή της (J. Heslop-Harrison 1987; Hesse, 1999; Steiner 2015; Deihl, 2001, Taylor, 2004; Suphioglu, 1992) είναι πολύ σημαντικό για τη παρούσα μελέτη. Το φαινόμενο αυτό αρχικά μελετήθηκε σε αγρωστώδη φυτά, οι γυρεόκοκκοι των οποίων είναι γνωστό ότι προκαλούν αλλεργίες (Suphioglu, 1992; Grote 2001; Taylor, 2004; Allitt 2000). Με την έκρηξή τους οι γυρεόκοκκοι απελευθερώνουν υποσωματίδια γύρης με αλλεργιογόνο δράση και γι' αυτό το λόγο μετά από περιόδους έντονων βροχοπτώσεων ή και καταιγίδων συχνά παρουσιάζεται αύξηση των περιστατικών άσθματος (Grote, 2001; Taylor 2004).



**Figure 1.** A proposed mechanism for explaining thunderstorm asthma. Dry updrafts entrain whole pollen grains into the high humidity at the cloud base of a maturing thunderstorm. Here, pollen may rupture, and cold downdrafts transport pollen fragments to ground level. Dry outflows distribute these respirable allergens at ground level and increase the exposure risks to humans. The turbulent front of the advancing outflow releases more pollen from flowering grasses, and then updrafts may entrain them into the cloud base. Strong electric fields develop in the thunderstorm. Positive ions are released from the ground and attach to particles entrained into the updrafts. Electric charge may enhance pollen rupture.

Εικόνα 45. Προτεινόμενος μηχανισμός για την εξήγηση της συσχέτισης των καταιγίδων με το άσθμα (πηγή: Taylor, 2004)

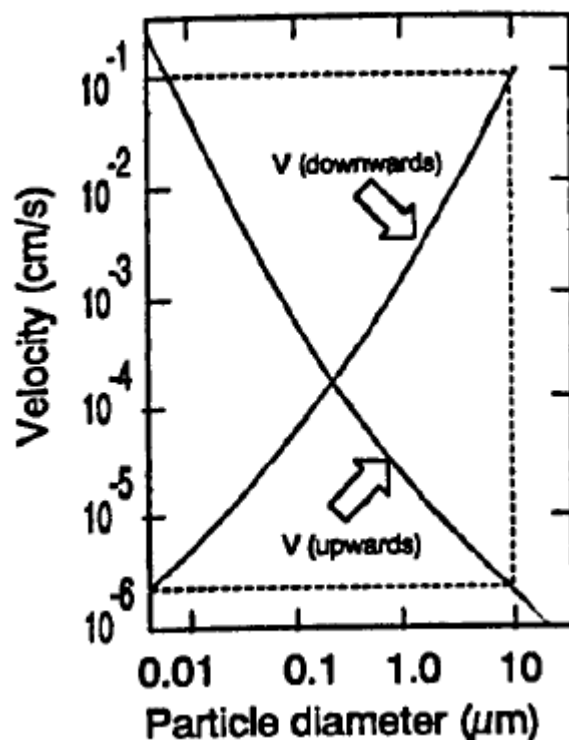


Εκτός όμως από τις επιπτώσεις τους στην υγεία, τα υποσωματίδια αυτά είναι ιδιαίτερα σημαντικά και στη δημιουργία κατακρημνίσεων. Το πολύ μικρό μέγεθος (50-200 nm) των υποσωματιδίων γύρης που παράγονται μετά την έκρηξη των γυρεόκοκκων του *Crepis sancta* τα καθιστούν ελαφριά και ικανά να υπερνικήσουν τη βαρυτική δύναμη που θα τα διατηρούσε καθηλωμένα στο έδαφος ή σε άλλες επιφάνειες (πχ. φυτών, ζώων, κ.α.). Αν στη περιοχή επικρατούν ασταθείς ατμοσφαιρικές συνθήκες τότε τα υποσωματίδια αυτά μπορούν να μεταφερθούν από ανοδικά ρεύματα του αέρα προς τα σύννεφα, όπου διαδραματίζουν το ρόλο παγοπυρήνων συμπύκνωσης (CCNs) (Wallace, 2006; Steiner, 2015; Mikhailov, 2019).

Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες παίζουν πρωτεύοντα ρόλο όχι μόνο στην μεταφορά των υποσταγονιδίων γύρης στα σύννεφα, αλλά και στην δημιουργία τους. Πιο συγκεκριμένα, ηλιόλουστες μέρες μέσα στο χειμώνα ή νωρίς την άνοιξη, είναι απαραίτητες για την άνθηση του φυτού *Crepis sancta*, προκειμένου να προστατευθούν οι γυρεόκοκκοι του φυτού, που είναι ιδιαίτερος υγροσκοπικοί. Ένα μέρος αυτών των γυρεόκοκκων θα χρησιμοποιηθούν για τη σταυρεπικονίαση των ανθέων του φυτού που γίνεται από τις μέλισσες, αλλά και από άλλα έντομα.

Οι υπόλοιποι γυρεόκοκκοι θα πέσουν από το άνθος ή από τα έντομα κατά την μεταφορά τους στο έδαφος ή σε άλλες (π.χ. φυτικές) επιφάνειες, όπου και θα παραμείνουν, έως ότου η πρωινή πάχνη τους ενυδατώσει. Η ενυδάτωσή τους θα προκαλέσει την έκρηξή των γυρεόκοκκων και την απελευθέρωση των υποσωματιδίων γύρης στο περιβάλλον. Κάποια από αυτά θα κινηθούν για μεγάλες αποστάσεις οριζόντια εξαιτίας της τυρβώδους κίνησης του αέρα (drifting) προτού επικαθήσουν σε επιφάνειες όπως στο έδαφος, φυλλικές επιφάνειες (Rivas-Ubach et al 2018) ή και σε ζώα (πχ. έντομα).

Στην διασπορά των υποσωματιδίων γύρης στην ατμόσφαιρα, αλλά και στην μεταφορά τους στα σύννεφα, εκτός από την τυρβώδη (turbulence) κίνηση του ανέμου, (Lagzi, 2013; Dowding, 1987) σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν τόσο το ηλεκτρικό φορτίο των ίδιων των υποσωματιδίων γύρης, όσο και άλλων φορτισμένων σωματιδίων της ατμόσφαιρας με τα οποία έρχονται σε επαφή, κάποια από τα οποία είναι φυτικής προέλευσης (Kok, 2006; Ross 1996).



Εικόνα 46. Ηλεκτροστατική ταχύτητα  $V$  προς τα πάνω και προς τα κάτω, αρνητικά φορτισμένων σωματιδίων. (Πηγή: Roos, 1996).

Περίπου μία ώρα μετά την ανατολή του ηλίου οι ατμοσφαιρικές συνθήκες είναι ιδιαίτερα ασταθής (Εικ. 34) γεγονός που επιτρέπει την διασπορά, από τον άνεμο, των υποσωματίδιων γύρης που έχουν παραχθεί. Αν κατά τη διάρκεια της υπόλοιπης ημέρας επικρατήσουν ασταθής συνθήκες (π.χ. παρουσία σωρειτών), τότε τα υποσωματίδια θα μεταφερθούν στα σύννεφα, εξαιτίας της ανοδικής κίνησης των ανέμων.

Την υπόθεσή μας υποστηρίζουν και ορισμένα αξιοσημείωτα οικολογικά χαρακτηριστικά του φυτού *Crepis sancta* σε συνδυασμό με πρόσφατα πειραματικά δεδομένα που αφορούν την έκρηξη των γυρεόκοκκων του και την παγοπυρηνωτική τους ικανότητα. Πιο συγκεκριμένα το φυτό *Crepis sancta* έχει παγκόσμια εξάπλωση (Enke 2008), πιθανότατα λόγω της μεγάλης τους προσαρμοστικότητας σε διαφορετικά περιβάλλοντα (Imbert, 1999).

Η υψηλή ικανότητα διασποράς του φυτού *Crepis sancta* οφείλεται τόσο στη φαινοτυπική του πλαστικότητα (Imbert, 2001) όσο και στο διμορφισμό των σπόρων (αχαινίων) που παράγει (Imbert, 1999; Sanderson, 2008). Η φαινοτυπική πλαστικότητα αφορά την ιδιότητα του φυτού να παράγει διαφορετικούς φαινοτύπους,

όταν εκτίθεται σε διαφορετικές βιοτικές ή αβιοτικές καταπονήσεις. Ο διμορφισμός των αχαινίων αφορά τη μορφολογική ιδιαιτερότητα του φυτού να παράγει δύο είδη σπόρων, τους περιφερειακούς που είναι μεγαλύτεροι και βαρύτεροι και τους εσωτερικούς οι οποίοι είναι περισσότεροι και ελαφρύτεροι (Imbert, 1999; Gallego, 2017).

Η γενετική ποικιλότητα του φυτού *Crepis sancta* ήταν γνωστή ήδη από τη δεκαετία του '50 (Babcock, 1947a, 1947b), γι' αυτό και το συγκεκριμένο φυτό είχε προταθεί σαν γενετικό μοντέλο (Smocovitis, 2009). Στη γενετική ποικιλότητα του φυτού αυτού συμβάλει και ο γενετικός μηχανισμός του ασυμβίβαστου που εμποδίζει την αυτογονιμοποίηση, ενώ διευκολύνει τη σταυρεπικονίαση (Hughes, 1950).

Ένα ακόμα αξιοσημείωτο γεγονός είναι η ικανότητά του φυτού *Crepis sancta* να αναπτύσσεται και να αυξάνεται πληθυσμιακά έπειτα από την έκθεση του σε πυρκαγιά (Trabaud, 1973; Evans, 2005). Άλλα είδη φυτών όπως το πολυετές, αγρωστώδες *Triodia scariosa*, ενδημικό ημίξηρων περιοχών της Αυστραλίας, που επίσης αναβλαστάνει σημαντικά μετά από πυρκαγιά και η βλάστησή του εξαρτάται κυρίως από τις βροχοπτώσεις, θεωρούνται «θεμελιακά είδη» (foundation species) για τις συγκεκριμένες περιοχές που ενδημούν (Giljohann, 2017). Θεμελιακά είδη θεωρούνται όσα ρυθμίζουν συγκεκριμένες διαδικασίες ενός οικοσυστήματος (όπως π.χ. οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις) και κατά συνέπεια ελέγχουν τη βιολογική ποικιλότητα των ειδών του οικοσυστήματος. Τα πρώτα είδη που αποικίζουν άγονα περιβάλλοντα ή βιο-οικοσυστήματα σταθερής κατάστασης που έχουν διαταραχθεί, π.χ. από φωτιά καλούνται πρωτοπόρα είδη (pioneer species) και συχνά είναι οπορτουμιστικά είδη τα οποία γρήγορα μπορεί να καλύψουν κενά που έχουν δημιουργηθεί στην φυτοκάλυψη μιας περιοχής<sup>35</sup>. Πιθανολογούμε ότι το φυτό *Crepis sancta* μπορεί να ανήκει στην κατηγορία των πρωτοπόρων ή οπορτουμιστικών ειδών.

Βασιζόμενοι σε όσα γνωρίζουμε σήμερα για το φυτό *Crepis sancta* μπορούμε να προτείνουμε την μελέτη του σαν μοντέλο εντομόφυλου φυτού που συμβάλει στη δημιουργία κατακρημνίσεων. Τα σημερινά πειραματικά δεδομένα συνηγορούν στο πρωτεύοντα ρόλο των υποσωματιδίων γύρης του φυτού, είτε αυτόνομα, είτε σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες (π.χ. βακτήρια ή VOCs, Volatile Organic Compounds, σκόνη) που επηρεάζουν τη διασπορά τους ή την παγοπυρηνωτική ικανότητά τους. Ειδικά για την περίπτωση της αερομεταφερόμενης σκόνης από την

---

<sup>35</sup> <http://www.countrysideinfo.co.uk/successn/intro2.htm>

έρημο Σαχάρα, ένα πολύ συχνό φαινόμενο στη περιοχή της Μεσογείου, είναι γνωστό ότι συμβάλει στη μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις σπορίων μυκήτων του είδους *Fusarium spp* γι αυτό και πιθανολογούμε ότι το ίδιο μπορεί να συμβαίνει και με τα υποσωματίδια γύρης (Palmero et al 2011).

Μια σειρά πειραμάτων τόσο στο εργαστήριο, όσο και στο πεδίο, απαιτούνται προκειμένου να διευκρινισθεί ο ρόλος του συγκεκριμένου φυτού στη δημιουργία κατακρημνίσεων. Σχετικά με το άνοιγμα και το κλείσιμο των ανθέων, το οποίο συμβαίνει μια φορά την ημέρα, θα πρέπει να μελετηθούν όλοι οι μακροκλιματικοί παράγοντες που συμβάλουν σε αυτό, όπως η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα και του εδάφους, η βροχή, η ώρα της ημέρας, η ένταση του φωτός, η ταχύτητα του ανέμου, η επισκεψιμότητα του άνθους από έντομα, καθώς και τα είδη των εντόμων που επισκέπτονται τα άνθη. Σημειώνεται ότι στο Μεσογειακό περιβάλλον η θερμοκρασία του αέρα και η σχετική υγρασία συν-μεταβάλλονται χρονικά (Crandall, 2017).

Σχετικά με το προσδιορισμό των μικροκλιματικών παραγόντων που καθορίζουν την απελευθέρωση της γύρης, πρέπει να μελετηθούν η βροχή, η εδαφική υγρασία, η υγρασία των φυτικών υπολειμμάτων του εδάφους, η θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους, η ταχύτητα του ανέμου, η τυρβώδη κίνησή του τόσο στο έδαφος, όσο και στο ύψος των φυτών. Η συλλογή της γύρης μπορεί να γίνει από μη επανδρωμένο αεροσκάφος (Unmanned Aerial Vehicle – UAV) (Crazzolaria et al 2019) ή με την χρήση παγίδας σπορίων μυκήτων (Manstretta et al 2015). Επισημαίνεται ότι οι ίδιοι μικροσκοπικοί περιβαλλοντικοί παράγοντες πρέπει να μελετηθούν και ως προς την διασπορά των υποσωματιδίων γύρης μετά των έκρηξη των γυρεόκοκκων.

Αν η διασπορά των υποσωματιδίων γύρης στην ατμόσφαιρα παρομοιάζει αυτή των αιρούμενων σπορίων μυκήτων, τότε αναμένουμε η συγκέντρωσή τους να ευνοείται από την απότομη αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, της σχετικής υγρασίας, ή των κατακρημνίσεων (Crandall, 2017). Είναι γνωστό ότι η βροχή ευνοεί την απελευθέρωση σπορίων μυκήτων, ενώ η υγρασία του εδάφους ή των φύλλων, που επικρατεί μετά από βροχή, ευνοεί την συγκέντρωση αιωρούμενων σπορίων μυκήτων. Επίσης η απότομη αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα και της σχετικής υγρασίας, μπορεί να οδηγήσει στην σποροποίηση των μυκήτων πάνω σε φυτικά μέρη ή υπολείμματα καθώς και στην

επιφάνεια του εδάφους. (Crandall, 2017). Παρόμοιες συνθήκες μπορεί να ευνοούν και την έκρηξη των γυρεόκοκκων.

Όπως η βλάστηση των σπορίων μυκήτων και η επακόλουθη εκδήλωση μυκητιάσεων ευνοείται από εκτεταμένη υγρασία στην επιφάνεια των φύλλων, έτσι και η απελευθέρωση υποσωματιδίων γύρης μπορεί να ευνοείται από εκτεταμένη υγρασία στην επιφάνεια των φύλλων που παρατηρείται όταν υπάρχει πάχνη νωρίς το πρωί, ή καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας μετά από βροχή. Τα υποσωματίδια γύρης που απελευθερώνονται μετά την έκρηξη των γυρεόκοκκων μπορούν να επικαθίσουν σε φυτικές ή άλλες επιφάνειες είτε με υγρή ή ξηρή εναπόθεση, όπως έχει αποδειχθεί στην περίπτωση σπορίων μυκήτων (Crandall, 2017).

Σχετικά με την παγοπυρηνωτική ικανότητα της γύρης του *Crepis sancta* πρέπει να μελετηθεί πως αυτή αλλάζει ως προς το χρόνο εμφάνισής της σε νερό προκειμένου να διαπιστωθεί αν τα υποσωματίδια γύρης έχουν και αυτά παγοπυρηνωτική ικανότητα και σε ποιο βαθμό. Επίσης θα ήταν σκόπιμο να συγκριθεί με την παγοπυρηνωτική ικανότητα γύρης και υποσωματιδίων αυτής, άλλων φυτών που επίσης ανθίζουν μέσα στο χειμώνα όπως η φουντουκιά (Rizzi, 2010) αλλά και άλλων φυτών που δεν ανθίζουν μέσα στο χειμώνα αλλά παγοπυρηνώνουν όπως η *Betula spp.* αλλά και φυτών που δεν παγοπυρηνώνουν (π.χ. φυτών ανθεκτικών στην ξηρασία).

Ένα άλλο προτεινόμενο πεδίο έρευνας αφορά την πρόκληση τεχνητής βροχής σε εργαστηριακό θάλαμο νεφών χρησιμοποιώντας γυρεόκοκκους ή υποσωματίδια αυτών, του φυτού *Crepis sancta*. Μια απλή πειραματική προσέγγιση όπως αυτή που περιγράφεται (βλέπε υποσημείωση 17) με κατάλληλες προσαρμογές μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να διαπιστωθεί αν είναι δυνατή η τεχνητή πρόκληση βροχής χρησιμοποιώντας τους γυρεόκοκκους ή υποσωματίδια αυτών, του φυτού *Crepis sancta*. Το πείραμα αυτό θα βοηθήσει στη διάχυση της γνώσης σχετικά με το ρόλο της γύρης γενικά στην δημιουργία βιοκατακρημνίσεων.

Επίσης σημαντικές πληροφορίες μπορεί να αντληθούν από πειράματα τεχνητής έκθεσης γυρεόκοκκων σε φυτικές επιφάνειες ή στο έδαφος, όπου θα καταγράφεται η έκρηξή τους μετά από ενυδάτωση από την πάχνη. Για το σκοπό αυτό προτείνεται η καταγραφή της έκρηξης με στερεοσκόπιο και με ζωντανή απεικόνιση μετά από παρέλευση χρόνου (Live time lapsed imaging) (Hiroi et al 2013).

Σχετικά με την οικολογία του φυτού *Crepis sancta* προτείνεται να διερευνηθεί αν ευσταθεί ο χαρακτηρισμός του ως θεμελιακού ή και πρωτοπόρου ή και οπορτουμιστικού είδους, δεδομένης της εξάπλωσής του μετά από πυρκαγιά. Μια σχετική παρατήρηση που έκαναν οι σπουδαστές Έλενα Αλευρά και Χρήστος Ασπιώτης στο εργ/ριο Βιοτεχ/γιας του πρώην ΤΕΙ Θεσσαλίας είναι η ικανότητα των σπόρων του φυτού *Crepis sancta* να βλαστάνουν ακόμα και αν είναι πλήρως καλυμμένοι με νερό. Η ιδιότητά τους αυτή ίσως διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην οικολογία του φυτού.

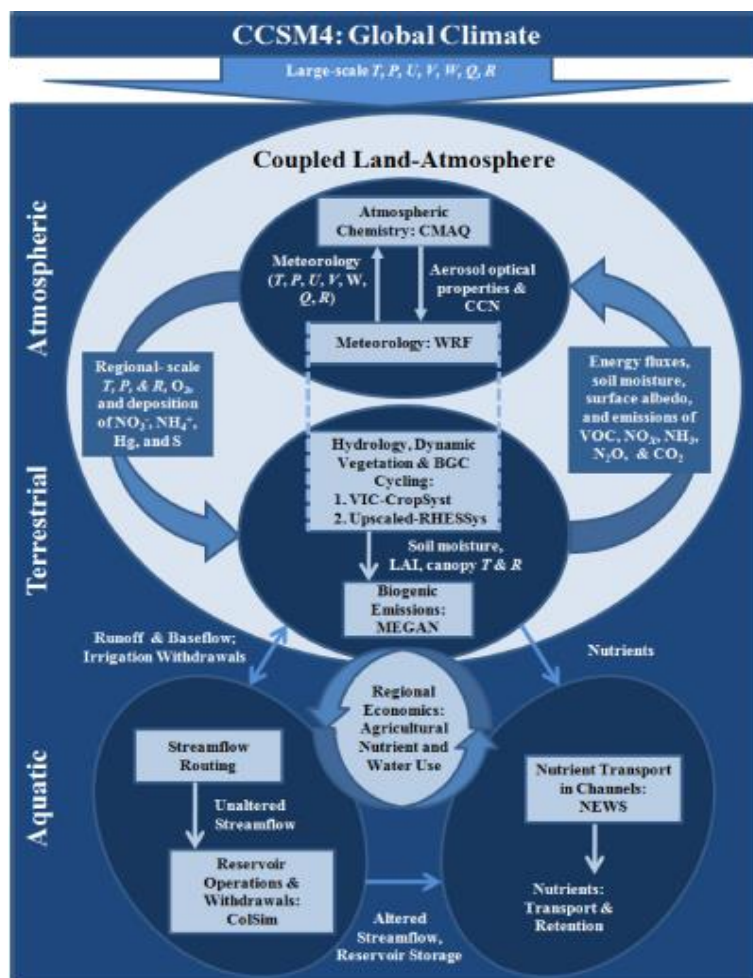
Η επιλογή συγκεκριμένων περιοχών που εποίκίζονται από μεγάλους πληθυσμούς φυτών *Crepis sancta* που μπορεί να λειτουργήσουν σαν δεξαμενές εναέριων παγοπυρήνων, η μελέτη τους τη περίοδο της άνθησης των φυτών και η συσχέτισή τους με κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής ή γειτονικών περιοχών, μπορεί να μας βοηθήσει να αντλήσουμε χρήσιμα συμπεράσματα ως προς τη χρήση του φυτού *Crepis sancta* σε μοντέλα πρόγνωσης καιρού.

Δεδομένου ότι η φυτοκάλυψη επηρεάζει το κατώτερο μέρος της ατμόσφαιρας ( Planetary Boundary Layer, PBL), μέσω της τοπογραφίας, της αλλαγής στο albedo, της αεροδυναμικής τραχύτητας της επιφάνειας, της ακτινοβολίας κ.α. είναι ενδιαφέρον να διερευνηθούν οι επιπτώσεις που μπορεί να φέρουν αλλαγές στη χρήση γης στους πληθυσμούς του φυτού *Crepis sancta* και πως αυτές μπορεί να επηρεάσουν το κλίμα. Τα αποτελέσματα μιας τέτοιας διερεύνησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε προγράμματα λήψης αποφάσεων σχετικά με τη διαχείριση φυσικών ή αγροτικών περιβαλλόντων (Adam et al 2015).

Ακόμα, δεν γνωρίζουμε τον ρόλο που μπορεί να διαδραματίζει η διαπνοή των φυτών στην έκρηξη των γυρεόκοκκων και την διασπορά υποσωματιδίων τους στην ατμόσφαιρα, όπως επίσης και το κατά πόσο είναι δυνατή η δευτερογενή παραγωγή αερολυμάτων, μέσω της πρόσκρουσης σταγόνων νερού που μεταφέρουν



γυρεόκοκκούς ή υποσωματίδια αυτών σε πορώδες επιφάνειες και σε διάφορους τύπους εδαφών



Εικόνα 47. Διασυνδέσεις μεταξύ των ατμοσφαιρικών, χερσαίων, υδρόβιων και οικονομικών συστατικών που αποτελούν την βιόσφαιρα. θερμοκρασία ( $T$ ), Κατακρημνίσεις ( $P$ ), Στοιχεία ταχύτητας του ανέμου ( $U, V, W$ ), Αναλογία ανάμειξης νερού ( $Q$ ), Ακτινοβολία ( $R$ ), Πυρήνες συμπύκνωσης νεφών ( $CCN$ ), Όζον ( $O_3$ ), Νιτρικό ανιόν ( $NO_3^-$ ), Αμμώνιο ( $NH_4^+$ ), Υδράργυρος ( $Hg$ ), Θειάφι ( $S$ ), Πτητικές οργανικές ενώσεις ( $VOC$ ), Μονοξειδίο του αζώτου + Διοξειδίο του αζώτου ( $NO_x$   $NO + NO_2$ ), αμμωνία ( $NH_3$ ), Υποξείδιο του αζώτου ( $N_2O$ ), Διοξειδίο του άνθρακα  $CO_2$ , Φυλλική επιφάνεια ( $LAI$ ). (Πηγή: Adam, 2015).

Σήμερα όπου οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής γίνονται όλο και πιο ορατές είναι επιβεβλημένη η μελέτη όλων των παραγόντων που παίζουν καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση του κλίματος της γης. Η μελέτη του φυτού *Crepis sancta* όχι μόνο μπορεί να συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση του ρόλου που μπορεί να διαμορφώσει η βλάστηση στη διαμόρφωση του κλίματος, αλλά μπορεί να συμβάλει και στην αποφυγή της ερημοποίησης σε περιοχές που είναι σήμερα ημίξηρες, χρησιμοποιώντας το φυτό *Crepis sancta* ως φυσική πηγή παγοπυρήνων. Επίσης μπορεί να βοηθήσει στην μετεωρολογία σε ακριβέστερες προγνώσεις καιρού.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

### ▪ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δαλέζιος, Ν. 2015. Αγρομετεωρολογία: ανάλυση και προσομοίωση. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.

Κούτουλα, Μ. 2004 Συμβολή στη δημιουργία γυρεολογικού άτλαντα της χλωρίδας της. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστημιούπολης Πατρών.

Κουτσογιάννης, Δ., και Ξανθόπουλος Θ.,(1999). *Τεχνική Υδρολογία*, Εκδοση 3. Σελ. 75-95.

Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου (2011). Στοιχεία Μετεωρολογίας. Σελ. 1-20.

Χαλδούπης, Χ., (2015). *Εισαγωγή στην ατμοσφαιρική φυσική*. Σελ. 95-116.

Σβάρνας, Ι.Γ. Η γύρη του *Crepis sancta* και η πιθανή συμβολή της στη δημιουργία κατακρημνισμάτων. ΤΕΙ Θεσσαλίας. Πτυχιακή εργασία Λάρισα 2017.

Φράγκου, Μ., Καλλής, Γ. (2010). Προβλήματα και λύσεις για την ολοκληρωμένη διαχείριση του νερού. WWF Ελλάς, Αθήνα.

Στάθης, Δ., (2015). *Μαθήματα δασικής μετεωρολογίας και κλιματολογίας*. [ebook] Athens: Hellenic Academic Libraries Link. Διαθέσιμο στο σύνδεσμο: <http://hdl.handle.net/11419/4657>.

### ▪ ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Adam, J. C., Stephens, J. C., Chung, S. H., Brady, M. P., Evans, R. D., Kruger, C. E., Rajagopalan, K. (2015). BioEarth: Envisioning and developing a new regional earth system model to inform natural and agricultural resource management. *Climatic Change*, 129(3-4), 555-571.

Allitt, U., (2000). Airborne fungal spores and the thunderstorms of 24 June 1994, *Aerobiologia*, 16, 397–406.

Ansmann, A., Tesche M., Althausen, D., Müller, D., Seifert, P., Freudenthaler V., Heese, B., Wiegner, M., Pisani, G., Knippertz, P., & Dubovik, O. (2008). Influence of Saharan dust on cloud glaciation in southern Morocco during Saharan mineral dust experiment, *Journal of Geophysical Research*., 113, D04210.

Ashworth, E. N. (1992). Formation and spread of ice in plant tissues. *Horti. Rev.* 13: 215-255.

Ashworth, E. N., Kieft, T. L. (1995). Ice nucleation activity associated with plants and fungi, in *Biological Ice Nucleation and Its Applications*, eds Lee R. E., Warren G. J., Gusta L. V., (St. Paul, MN: APS Press) 137–162.

Augustin, S., Wex, H., Niedermeier, D., Pummer, B., Grothe, H., Hartmann, S., Tomsche, L., Clauss, T., Voigtländer, J., Ignatius, K., Stratmann, F. (2013). Immersion freezing of birch pollen washing water, *Atmos.Chem. Phys.* 13, 10989–11003.

Babcock, E.B. 1947a. The Genus *Crepis*, part one, The Taxonomy, Phylogeny, Distribution and Evolution of *Crepis*. University of California Publications 21. University of California Press, Berkeley & Los Angeles.

Babcock, E.B. 1947b. The Genus *Crepis*, part two, Systematic Treatment. University of California Publications 22. University of California Press, Berkeley & Los Angeles.

Benninghoff, W. S. (1987). Environmental influences on deposition of airborne particles. *Advances in Aerobiology*, EXS 51.

Benninghoff, W. S., Benninghoff, A. S. (1985). Wind Transport of Electrostatically Charged Particles and Minute Organisms in Antarctica. *Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs* pp 592-596.

Bowker, G. E., Crenshaw, H. C. (2007). Electrostatic forces in wind-pollination—Part 1: Measurement of the electrostatic charge on pollen. *Atmospheric Environment* 41, 1587–1595.

Brush, R. A., Griffith, M., Mlynarz, A. (1994). Characterization and quantification of intrinsic ice nucleators in winter rye (*Secale cereale*) leaves. *Plant. Physiol.* 104, 725–735.

Cheptou, P.O., Imbert, E., Lepart, J., Escarre, J. (2000). Effects of competition on lifetime estimates of inbreeding depression in the outcrossing plant *Crepis sancta* (Asteraceae). *J. Evol. Biol.* 13: 522-531.

Christner, B.C., Cai, R., Morris, C.E., McCarter, K.S., Foreman, C.M., Skidmore, M.L., Montross, S.N., Sands, D.C. (2008). Geographic, seasonal, and precipitation chemistry influence on the abundance and activity of biological ice nucleators in rain and snow. *Proc. National Acad. Sci.*, 105, 18854–18859.

Clarke, D., Morley, E., Robert, D. (2017). The bee, the flower, and the electric field: electric ecology and aerial electroreception. *Journal of Comparative Physiology A*, 203:737–748.

Constantinidou, H. A., Hirano, S. S., Baker, L. S., and Upper, C. D. (1990). Atmospheric dispersal of ice nucleation-active bacteria – the role of rain, *Phytopathology*, 80, 934–937

Corbet, S.A., Beament, J., Eisikowitch, D. (1982). Are electrostatic forces involved in pollen transfer? *Plant, Cell & Environment*, 5:125–129.

Corlett, R.T. (2016). Plant diversity in a changing world: Status, trends, and conservation needs. *Plant Diversity* Volume 38, Issue 1, Pages 10-16.

Cotton, R. W., Yuter, S. (2009). Principles of Cloud and Precipitation Formation, in *Aerosol Pollution Impact on Precipitation*, eds Levin, Z., Cotton, R.W., pp 13-43.

- Crandall, S. G., Gilbert, G. S. (2017). Meteorological factors associated with abundance of airborne fungal spores over natural vegetation. *Atmospheric Environment*, 162, 87–99.
- Crazzolaro, C., Ebner, M., Platis, A., Miranda, T., Bange, J., & Junginger, A. (2019). A new multicopter-based unmanned aerial system for pollen and spores collection in the atmospheric boundary layer. *Atmospheric Measurement Techniques*, 12(3), 1581-1598.
- Czeglédi, L., Radácsi, A. (2005). Overutilization of pastures by livestock. *Acta pascuorum (Grassland studies)*, 3, 29–36.
- Dafni, A. (1996). Autumnal and winter pollination adaptations under Mediterranean conditions, - *Bocconea* 5: 171-181.
- Dar, S.A., Hassan, I Gh., Padder, A B., Wani, R A., Parey, H P., (2017). Pollination and evolution of plant and insect interaction. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(3): 304-311.
- DeLeon-Rodriguez, N., Lathem, T.L., Rodriguez, R.L., Barazesh, J.M., Anderson B.E., Beyersdorf, A.J., et al. (2013). Microbiome of the upper troposphere: species composition and prevalence, effects of tropical storms, and atmospheric implications. *Proc Natl Acad Sci USA*, 110(7):2575-80.
- De Wekker, S. F., Kossmann, M., Knievel, J. C., Giovannini, L., Gutmann, E. D., & Zardi, D. (2018). Meteorological applications benefiting from an improved understanding of atmospheric exchange processes over mountains. *Atmosphere*, 9(10), 371.
- Diehl, K., and S. Mitra (1998). A laboratory study of the effects of a kerosene - burner exhaust on ice nucleation and the evaporation rate of ice crystals, *Atmospheric Environment*, 32, 3145 – 3151.
- Diehl, K., Matthias-Maser, S., Jaenicke, R., Mitra, S.K. (2002). The ice nucleating ability of pollen: Part II. Laboratory studies in immersion and contact freezing modes. *Atmospheric Research* 61,125– 133.
- Diehl, K., Quick, C., Matthias-Maser, S., Mitra, S.K., Jaenicke, R. (2001). The ice nucleating ability of pollen Part I: Laboratory studies in deposition and condensation freezing modes, *Atmospheric Research*, 5, 75–87.
- Dowding, P. (1987). Wind Pollination Mechanisms and Aerobiology. *International Review of Cytology* Volume 107, Pages 421-437.
- Enke, N., Gemeinholzer, B. (2008) Babcock revisited: new insights into generic delimitation and character evolution in *Crepis* L. (Compositae: Cichorieae) from ITS and matK sequence data. *Taxon* 57, Pages 14-26.
- Evans, J.R., Lih, M.P. (2005). Recovery and rehabilitation of vegetation on the Fitzner-Eberhardt Arid Lands Ecology Reserves, Hanford Reach National Monument, following the 24 Command Fire: final report 2001-2004. The Nature Conservancy of Washington, Seattle, Washington.

Faegri, K., Iversen, J. (1989). Textbook of Pollen Analysis, 4th ed., 328 pp., Blackburn Press, Caldwell, New Jersey.

Frank, A.C., Saldierna Guzman J.P., Shay, J.E. (2017). Transmission of bacterial endophytes. *Microorganisms* 5:70.

Fröhlich - Nowoisky, J., Hill, T. C. J., Pummer, B. G., Franc, G. D., and Pöschl, U. (2014). Ice Nucleation Activity in the Widespread Soil Fungus *Mortierella alpina*. *Biogeosciences Discuss.*, 11, 12697–12731.

Frohlich-Nowoisky, J., Burrows, S. M., Xie Z., Engling, G., Solomon, P. A., Frazer, M. P., Mayol-Bracero, O. L., Artaxo, P., Begerow, D., Conrad, R., Andreae, M.O., Despres, V.R., Poschl, U. (2012). Biogeography in the Air: Fungal Diversity over Land and Oceans. *Biogeosciences*, 9(3):1125-1136.

Fröhlich-Nowoisky, J., Kampf, C.J., Weber, B., Huffman, J.A., Pöhlker, C., Andreae, M.O., Lang-Yona, N., Burrows, S.M., Gunthe, S.S., Elbert, W., Su, H., Hoor, P., Thines, E., Hoffmann, T., Després, V.R., Pöschl, U. (2016). Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions. *Atmospheric Research* 182:346–376.

Fuzzi, S., Baltensperger, U., Carslaw, K., Decesari, S., Denier van der Gon, H., Facchini, M.C., Fowler, D., Koren, I., Langford, B., Lohmann, U., Nemitz, E., Pandis, S., Riipinen, I., Rudich, Y., Schaap, M., Slowik, J.G., Spracklen, D.V., Vignati, E., Wild M., Williams, M., Gilardoni, S. (2015). Particulate matter, air quality and climate: lessons learned and future needs. *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 8217–8299.

Gallejo, PPF., Talavera S. (2017). Typification of *Crepis sancta* (L.) Bab. (Compositae, Cichorieae). *Collectanea Botanica* 35.

Garratt, J. R. (1994). Review: the atmospheric boundary layer. *Earth-Science Reviews* 37, 89-134.

Gardiner, Brian G. Some Aspects of Linnaeus' Life. 4. Linnaeus' Floral Clock. *The Linnean* 1987, 3: 26-9 (republished for the Linnean Tercentenary, 2007).

Giljohann, K. M., McCarthy, M. A., Keith, D. A., Kelly, L. T., Tozer, M. G., & Regan, T. J. (2017). Interactions between rainfall, fire and herbivory drive resprouter vital rates in a semi-arid ecosystem. *Journal of Ecology*, 105(6), 1562-1570.

Goldstein, G., Rada, F., Azocar, A. (1985). Cold hardiness and supercooling along an altitudinal gradient in Andean giant rosette species. *Oecologia* 68, 147–152.

Gross, D. C., Proebsting, E. L., MacCrindale- Zimmermann, H. (1988). Development, distribution, and characteristics of intrinsic, non-bacterial ice nuclei in *Prunus* wood. *Plant. Physiol.* 88, 915–922.

Grote, M., S. Vrtala, V. Niederberger, R. Wiermann, Valenta, R., Reichelt, R. (2001). Release of allergen-bearing cytoplasm from hydrated pollen: a mechanism common to a variety of grass (Poaceae) species revealed by electron microscopy. *J. Allergy Clin. Immunol.* 108: 109–115.



- Guo, S., Rose, W.I., Bluth Gregg J. S., Watson, I.M. (2004). Particles in the great Pinatubo volcanic cloud of June 1991: The role of ice. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 5.
- Habib, S. (2016). Biomass burning, land-cover change, and the hydrological cycle in northern sub-Saharan Africa. *Environ. Res. Lett.*, 11.
- Hallar, A.G., et al, (2017). Impacts of increasing aridity and wildfires on aerosol loading in the intermountain Western US. *Environmental Research Letters* Vol. 12.
- Halevy, A. H., Handbook of Flowering: Volume VI, August 31, 1989 by CRC Press Reference - 776 Pages.
- Heslop-Harrison, J. (1979). An interpretation of the hydrodynamics of pollen. *Am.J.Bot.*66: 737-743.
- Hesse, M., (1999), Pollen wall stratification and pollination. Special Edition of *Plant Systematics and Evolution*, Vol. 222, No. 1-4, 1-17.
- Hiroi, K., Sone, M., Sakazono, S., Osaka, M., Masuko-Suzuki, H., Matsuda, T., Watanabe, M. (2013). Time-lapse imaging of self-and cross-pollinations in *Brassica rapa*. *Annals of botany*, 112(1), 115-122.
- Hobbs, P. V., Locatelli J. D., (1969). Ice nuclei from a natural forest fire. *J. Appl. Meteor.*, 8, 833–834.
- Houze, R.A. (2014) Cloud Dynamics 2nd Edition, *International Geophysics Volume 104*, Pagespp 1-43276.
- Hoyle, C.R., Luo, B. P., Peter, T. (2005). The Origin of High Ice Crystal Number Densities in Cirrus Clouds. *Journal of Atmospheric Sciences*, vol. 62, Issue 7, pp.2568-2579.
- Hughes, M.B., Babcock, E.B. (1950). Self-Incompatibility in *Crepis foetida* (L.) Subsp. *Rhoadifolia* (Bieb.) Schinz Et Keller. *Genetics*, 35(5): 570–588.
- Ichoku, C., Ellison, L. T., Willmot, K. E., Matsui, T., Dezfuli, A. K., Gatebe, C. K., Wang, J., Wilcox, E. M., Lee, J., Adegoke, J., Okonkwo, C., Bolten, J., Policelli, F. S., Habib, S. (2016). Biomass burning, land-cover change, and the hydrological cycle in Northern sub-Saharan Africa, *Environmental Research Letters*, 11(9), 95005.
- Imbert, E. (1999). The effects of achene dimorphism on the dispersal in time and space in *Crepis sancta* (Asteraceae). *Can. J. Bot.* 77:508-513.
- Imbert, E., Escarré, J., & Lepart, J. (1997). Seed heteromorphism in *Crepis sancta* (Asteraceae): performance of two morphs in different environments. *Oikos*, 325-332.
- Imbert, E., Escarré, J., Lepart, J. (1999). Local adaptation and non-genetic maternal effects among three populations of *Crepis sancta* (Asteraceae). *Ecoscience* 6: 223-229.
- Imbert, E. and Ronce, O. (2001). Phenotypic plasticity for dispersal ability in the seed heteromorphic *Crepis sancta* (Asteraceae). *Oikos* 93: 126–134.

- Inceer, H., Kalmuk, N. A., Imamoglu, K. V., Duman, O., Hayirlioglu-Ayaz, S., Arslan, G. (2016). Micromorphological, anatomical and cytogenetical studies in endemic *Crepis macropus* Boiss. & Heldr. (Asteraceae) from Turkey. *Acta Bot. Croat.* 75 (2), 173-178.
- Junker, R. R., Loewel, C., Gross, R., Dötterl S., Keller A. & Blüthgen N.(2011). Composition of epiphytic bacterial communities differs on petals and leaves. *Plant Biology* ISSN 1435-8603.
- Joung, Y. S. & Buie, C. R. (2015). Aerosol generation by raindrop impact on soil. *Nature Commun.* 6, 6083.
- Kiselev, A., Hoffmann, N., Duft, D., Leisner, T. (2013). On the size dependence of contact freezing probability. *AIP Conference Proceedings* 1527, 859.
- Knopf, D. A., Wang, B. Laskin, A., Moffet R. C., Gilles, M. K. (2011). Heterogeneous Nucleation of Ice on Anthropogenic Organic Particles Collected in Mexico City, *Geophysical Research Letters*.
- Kok, J. F., Renno, N. O. (2006). Enhancement of the emission of mineral dust aerosols by electric forces. *Geophys. Res. Lett.*, 33 (19).
- Korolev, A., McFarquhar, G., Field, P. R., Franklin, C., Lawson, P., Wang, Z., Williams, E., Abel, S. J., Axisa, D., Borrmann, S., Crosier, J., Fugal, J., Krämer, M., Lohmann, U., Schlenczek, O., Schnaiter, M., Wendisch, M. (2017). Mixed-Phase Clouds: Progress and Challenges. *Meteorological Monographs*, vol. 58, pp. 5.1-5.50.
- Lagzi, I., Meszaros, R., Gelybo, G., Leelossy, A., (2013). Atmospheric Chemistry. Eotvos Loránd University Faculty of Science Institute of Geography and Earth Science. Pages 1-13, 105-112.
- Leppä, J. (2012). Report series in aerosol science No 137, University of Helsinki.
- Lighthart, B. (1997). The ecology of bacteria in the alfresco atmosphere. *FEMS Microbiology Ecology*, Volume 23, Issue 4, pp 263–274.
- Lindow, S.E. (1983). The role of bacterial ice nucleation ice in frost injury to plants. *Annual Review of Phytopathology*, 21:363-84.
- Lindow, S.E., Arny, D.C., Upper C.D. (1978). Distribution of ice-nucleation-active bacteria on plants in nature. *Applied and Environmental Microbiology* 36, 831-838.
- Luebke, A. E., Afchine, A., Costa, A., Grooss, J.-U., Meyer, J., Rolf, C., Spelten, N., Avallone, L. M., Baumgardner, D., and Krämer, M. (2016). The origin of midlatitude ice clouds and the resulting influence on their microphysical properties, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 5793–5809.
- Manirajan, B.A., Ratering, S., Rusch, V., Schwiertz, A., Geissler-Plaum, R., Cardinale, M., Schnell, S. (2016). Bacterial microbiota associated with flower pollen is influenced by pollination type, and shows a high degree of diversity and species-specificity. *Environ. Microbiol.* 18, 5161–5174.

- Manstretta, V., Gourdain, E., & Rossi, V. (2015). Deposition patterns of *Fusarium graminearum* ascospores and conidia within a wheat canopy. *European journal of plant pathology*, 143(4), 873-880.
- Meinrat, O.A. (1995). Climatic effects of changing atmospheric aerosol levels. *World Survey of Climatology*, 16, 347-389.
- Mikhailov, E.F., Ivanova, O.A., Nebosko, E.Y., Vlasenko, S.S., Ryshkevich, T.I. (2019). Subpollen particles as atmospheric cloud condensation nuclei. *Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics* 55(4):357-364.
- Möhler, O., DeMott, P. J., Vali, G., Levin, Z. (2007). Microbiology and atmospheric processes: The role of biological particles in cloud physics. *Biogeosciences* 4, 1059–1071.
- Möhler, O., Georgakopoulos, D. G., Morris, C. E., Benz, S., Ebert, V., Hunsmann, S., Saathoff, H., Schnaiter, M., and Wagner, R. (2008). Heterogeneous ice nucleation activity of bacteria: new laboratory experiments at simulated cloud conditions, *Biogeosciences*, 5, 1425-1435.
- Morris, C. E, Soubeyrand, S., Bigg, E. K., Creamean, J.M., Sands D.C. (2016). Mapping rainfall feedback to reveal the potential sensitivity of precipitation to biological aerosols. *Bulletin of the American Meteorological Society*, doi: 10.1175/BAMS-D-15-00293.1.
- Morris, C.E., Georgakopoulos, D.G., Sands, D.C. (2004). Ice nucleation active bacteria and their potential role in precipitation. *Journal de Physique IV (Proceedings)*. 121. 87-103.
- Morris, C.E., Conen, F., Huffman, J.A., Phillips, V., Pöschl U., Sands D.C. (2014). Bioprecipitation: a feedback cycle linking Earth history, ecosystem dynamics and land use through biological ice nucleators in the atmosphere. *Glob. Chang. Biol.*, 20 (2014), pp. 341-351, 10.1111/gcb.12447
- Morrison, H., G. de Boer, G. Feingold, J. Harrington, M. D. Shupe, Sulia, K. (2012). Resilience of persistent Arctic mixed - phase clouds. *Nature Geoscience*, 5, 11 -17.
- National Research Council. (2015). *Climate Intervention: Carbon Dioxide Removal and Reliable Sequestration*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council. (2015). *Climate Intervention: Reflecting Sunlight to Cool Earth*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Nielsen, J. K., Maus, C., Rzesanke, D., and Leisner, T. (2011). Charge induced stability of water droplets in subsaturated environment, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 2031-2037.
- Noh, Y. M., H. Lee, D. Mueller, K. Lee, D. Shin, S. Shin, T. J. Choi, Y. J. Choi, Kim K. R. (2013). Investigation of the diurnal pattern of the vertical distribution of pollen in the lower troposphere using LIDAR, *Atmos. Chem. Phys.*, 13(15), 7619–7629.
- O’Sullivan, D., Murray B. J., Ross J. F., Whale T. F., Price H. C., Atkinson J. D., Umo, N. S., Webb, M. E. (2015). The relevance of nanoscale biological fragments for ice nucleation in clouds, *Sci. Rep.*, 5(8082), 1–7.

Palmero, D., Rodríguez, J. M., De Cara, M., Camacho, F., Iglesias, C., & Tello, J. C. (2011). Fungal microbiota from rain water and pathogenicity of *Fusarium* species isolated from atmospheric dust and rainfall dust. *Journal of industrial microbiology & biotechnology*, 38(1), 13-20.

Pitter, R. L. and Pruppacher, H. R. (1973). A wind tunnel investigation of freezing of small water drops falling at terminal velocity in air. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 99, 540 – 550.

Pöschl U, et al. (2010). Rainforest aerosols as biogenic nuclei of clouds and precipitation in the Amazon. *Science* 329:1513–1516.

Pouleur, S., Richard, C., Martin, J. G., Antoun, H. (1992). Ice nucleation activity in *Fusarium acuminatum* and *Fusarium avenaceum*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 58, 2960–4.

Pruppacher, H. R., Klett, J. D. *Microphysics of Clouds and Precipitation*. (Kluwer Academic Publishers, 1997).

Reponen, T, Saari, S, Mensah-Attipoe, J, Ukkonen, A, Veijalainen, A, Pasanen, P., Keskinen, J. (2014). Characterization of charge in airborne fungal spores. *julkaisussa Indoor Air 2014 - 13th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*. International Society of Indoor Air Quality and Climate, Sivut 359-361, Hong Kong, Hongkong, 7-12 heinäkuu.

Rivas-Ubach, A., China, S., Smallwood, C. R., Handakumbura, P. P., Sharma, N., Jansson, C., Peñuelas, J., Paša-Tolić, L., Guenther, A. B. (2018). Understanding the aerosol-microbe-plant interactions in the phyllosphere with "-omics" techniques. American Geophysical Union, Fall Meeting 2018, abstract #B53H-2157.

Rizzi Longo, L., Pizzulin Sauli, M. (2010). Flowering phenology and airborne pollen occurrence of *Corylus* and *Castanea* in Trieste (Italy), 1991-2004. *Acta Botanica Croatica*, 69(2.), 199-162.

Roos, R.A., Goldman, M. (1990). Observation of the interaction between artificially activated particles and insulating surfaces. *J. Aerosol Science* 21-S1, s131-s134.

Roos, R.A. (1996). Bio-aerosols and electric fields, an introduction. *Journal of Aerosol Science* 27 DOI: 10.1016/0021-8502(96)00185-1.

Rosinski, J., Haagenson, P.L, Nagamoto, C. T., Parungo F. (1987). Nature of ice-forming nuclei in marine air masses. *Journal of Aerosol Science* Vol. 18, No. 3, pp. 291-309.

Sands, D.C., Langhans, V.E., Scharen, A.L., De Smet, G. (1982). The association between bacteria and rain and possible resultant meteorological implications. *J. Hung Meteorol. Serv.*, 86, 148–152.

Sanderson, K. Weed's seeds evolve quickly in the city. Published online 3 March 2008 *Nature*, doi:10.1038/news.2008.639

Schnell, R.C. (1974). Biogenic and inorganic ice nuclei sources in the drought-stricken areas of the Sahel-1974, *Report to the Rockefeller Foundation, New York*.

- Schueler, S., Schluenzen, K. H. (2006). Modeling of oak pollen dispersal on the landscape level with a mesoscale atmospheric model. *Environ. Model. Assess.*, 11(3), 179–194.
- Schwarz, J. P., Gao, R. S., Perring, A. E., Spackman, J. R., Fahey, D. W. (2013). Black carbon aerosol size in snow. *Scientific Reports* volume 3, Article number: 1356.
- Smocovitis, V.B. (2009). The "Plant Drosophila": E.B. Babcock, the genus "Crepis," and the evolution of a genetics research program at Berkeley, 1915-1947, *Hist Stud Nat Sci.*, 39(3):300-55.
- Siingh, D., Gopalakrishnan, V., Singh, R.P., Kamra, A.K., Singh, S., Pant, V., Singh, R., Singh, A.K. (2007). The atmospheric global electric circuit: An overview. *Atmospheric Research*, 84 (2). pp. 91-110.
- Sofiev, M., Belmonte, J., Gehrig, R., Izquierdo, R., Smith, M., Dahl, A., Siljamo, P. (2013). Airborne Pollen Transport *Allergenic Pollen. A Review of the Production, Release, Distribution and Health Impacts.* (pp.127-159).
- Sofiev, M., Siljamo, P., Ranta, H., Rantio-Lehtimäki, A. (2006). Towards numerical forecasting of long-range air transport of birch pollen: Theoretical considerations and a feasibility study, *Int. J. Biometeorol.*, 50(6), 392–402.
- Steiner, A. L., Brooks, S. D., Deng, C., Thornton, D. C. O M., Pendleton, W., Bryant, V. (2015). Pollen as atmospheric cloud condensation nuclei, *Geophys. Res. Lett.*, 42, 3596–3602.
- Stopelli, E., Conen, F., Morris, C. E., Herrmann, E., Bukowiecki, N., Alewell, C. (2015). Ice nucleation active particles are efficiently removed by precipitating clouds, *Sci. Rep.*, 5, 16433.
- Stull, R.B. (1988). An Introduction to Boundary Layer Meteorology. *Atmospheric Sciences Library*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 669 pp. ISBN 90-277-2768-6.
- Suni, T., Guenther, A., Hansson, H.C., Kulmala, M., Andreae, M.O., Arneth, A., Artaxo, P., Blyth, E., Brus, M., Ganzeveld, L., Kabat, P., Noblet-Ducoudré, N. de., Reichstein M., Reissell, A., Rosenfeld, D., Seneviratne S. (2015). The significance of land-atmosphere interactions in the Earth system iLEAPS achievements and perspectives. *Anthropocene* 12 (2015) 69–84.
- Suphioglu, C., M. B. Singh, P. Taylor, R. B. Knox, R. Bellomo, P. Holmes, Puy, R. (1992). Mechanism of grass-pollen-induced asthma, *Lancet*, 339(8793), 569–572.
- Tanaka, O., Wada, H., Yokoyama, T., Murakami, H. (1987). Environmental factors controlling capitulum opening and closing of dandelion, *Taraxacum albidum*. *Plant Cell Physiol.*28: 727–730.
- Tanaka, O., Tanaka, Y., Wada, H. (1988). Photonastic and thermonastic opening of capitulum in dandelion, *Taraxacum officinale* and *Taraxacum japonicum*. *J. Plant. Res.*, 101, 103–110.

- Tang MJ, Huang X, Lu KD, Ge MF, Li YJ, Cheng P, Zhu T, Ding AJ, Zhang YH, Gligorovski S, Song W., Ding X., Bi X., Wang X. (2017). Heterogeneous reactions of mineral dust aerosol: implications for tropospheric oxidation capacity. *Atmospheric Chemistry and Physics and Physics*, 17, 11727-11777.
- Taylor, P. E., R. C. Flagan, A. G. Miguel, R. Valenta, Glovsky, M. M. (2004). Birch pollen rupture and the release of aerosols of respirable allergens, *Clin. Exp. Allergy*, 34(10), 1591–1596.
- Taylor, P. E., & Jonsson, H. (2004). Thunderstorm asthma. *Current allergy and asthma reports*, 4(5), 409-413.
- Thorp, R. W. (2000). The collection of pollen by bees. *Plant Syst. Evol.* 222:211-223.
- Tomasi, C., Lupi A. (2016). Primary and Secondary Sources of Atmospheric Aerosol, in *Atmospheric Aerosols: Life Cycles and Effects on Air Quality and Climate*, eds Tomasi C., Fuzzi S., Kokhanovsky A. WILEY-VCH, 1-75.
- Trabaud, L. (1973). Experimental study on the effects of prescribed burning on a *Quercus coccifera* L. garrigue: early results. Proc. 13th Tall Timbers Fire Ecology Conf. Tallahassee, Florida.
- Upper, C. D., and Vali, G. (1995). The discovery of bacteria ice nucleation and its role in the injury of plants by frost. *Biological Ice Nucleation and its Applications*. (Ed. R.E. Lee, Jr., G.J. Warren, L.V. Gusta, APS Press, St. Paul) pp. 29-36.
- Vali, G. (1985). Nucleation terminology. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 66(11), 1426-1427.
- Vali, G., (1995). *Biological Ice Nucleation and its Applications*. (Ed. R.E. Lee, Jr., G.J. Warren, L.V. Gusta, APS Press, St. Paul) pp. 1-28.
- Vali, G., DeMott, P. J, Möhler, O., Whale, T. F. (2015). Technical Note: A proposal for ice nucleation terminology. *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 10263–10270.
- Van Doorn, W.G, Chanattika, K. (2014). Flower opening and closure: an update, *Journal of Experimental Botany*, Volume 65, Issue 20, Pages 5749–5757.
- Vanneste, J.L., Giovanardi, D., Yu, J., Cornish, D.A., Kay, C., Spinelli, F., Stefani, E. (2011). Detection of *Pseudomonas syringae* pv. actinidiae in kiwifruit pollen samples. *New Zealand Plant Protection* 64: 246-251.
- Vercoulen, P.H.W., Roos, R.A, Madjnissen, J.C.M., Scadett, B. (1992). Measuring electric charge on pollen. *J. Aerosol Sci.*, Vol. 23, Suppl. 1, pp. S377-S380.
- Vestin, A., Rissler, J., Swietlicki, E., Frank, G.P., Andreae, M.O. (2007). Cloud-nucleating properties of the Amazonian biomass burning aerosol: cloud condensation nuclei measurements and modelling. *J. Geophys. Res.*, 112, D14201.
- Von Blohn, N., Mitra, S. K., Diehl, K., Borrmann, S. (2005). The ice nucleating ability of pollen: Part III: New laboratory studies in immersion and contact freezing modes including more pollen types. *Atmospheric Research*, 78(3-4), 182-189.



- Von Hase, A. Cowling, R.M., Ellis, A.G. (2006). Petal movement in cape wildflowers protects pollen from exposure to moisture, *Plant Ecology* 184:75 –87.
- Vörösmarty, C.J., Sahagian, D. (2000). Anthropogenic disturbance of the terrestrial water cycle. *BioScience* 50: 753–765.
- Wallace, M. J., Hobbs, V. P. (2006). Atmospheric Science, 2nd Edition: An Introductory Survey. ISBN: 978-0-12-732951-2.
- Walker, X.J., Frey, M.D., Conway, A.J., Jean, M., Johnstone, J.F. (2017). Impacts of fire on non-native plant recruitment in black spruce forests of interior Alaska. *PLoS ONE* 12 (2), 1–10.
- Wang, H., Wortley, A.H, Blackmore, S. (2009). Pollen morphology of Crepidinae and Lactucinae (Asteraceae: Cichorieae) and its systematic significance, *Grana*, 48:3, 160-178.
- Westerkamp, C. (1996). Pollen in bee-flower relations. Some considerations on melittophily. *Botanica Acta* 109: 325-332.
- Wilson, P. W., Heneghan, A. F., & Haymet, A. D. J. (2003). Ice nucleation in nature: supercooling point (SCP) measurements and the role of heterogeneous nucleation. *Cryobiology*, 46(1), 88-98.
- Wisniewski, M., Fuller, M., Glenn, D.M., Palta, J., Carter, J., Gusta, L., Griffith, M., Duman, J. (2001). Factors involved in ice nucleation and propagation in plants: an overview based on new insights gained from the use of infrared thermography. *Buvisindi Icel. Agr. Sci.* 14:41-47.
- Whitby, K.T. (1978). The physical characteristics of sulfate aerosols. *Atmos. Environ*, 12, 135–159.
- Zachariassen, K. E., Kristiansen, E. (2000). *Ice nucleation and antinucleation in nature*. *Cryobiology* 41, 257–79.
- Zaragotas, D., Liolios, N., Anastassopoulos, E. (2016). Supercooling, ice nucleation and crystal growth: a systematic study in plant samples. *Cryobiology* Volume 72, Issue 3, June 2016, Pages 239-243.
- Zidorn, C. (2008). "Sesquiterpene lactones and their precursors as chemosystematic markers in the tribe Cichorieae of the Asteraceae". *Phytochemistry*. 69: 2270–2296.
- Zidorn, C., Schubert, B., Stuppner, H. (2008). Phenolics as chemosystematic markers in and for the genus *Crepis* (Asteraceae, Cichorieae). *ScientiaPharmaceutica* (Vienna, Austria). 76: 743–50.



# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

# Παράρτημα I

## Θρησκευτικές παρακλήσεις για βροχόπτωση.

Από την αρχαιότητα η θρησκεία έχει συσχετιστεί με την βροχή. Αρχαίοι πολιτισμοί παγκοσμίως οργάνωναν τελετουργίες οι οποίες συσχετιζόταν με τα ζώα ή τα φυτά με σκοπό την πρόκληση βροχής. Πολλοί και διαφορετικοί λαοί πίστευαν ότι τα υδρόβια φυτά περιέχουν τη δύναμη για πρόκληση βροχής και γι' αυτό το λόγο πραγματοποιούσαν τελετές κοντά σε πηγές ή πηγάδια. Η υπόθεση ότι το κάψιμο της βλάστησης μπορεί να επάγει την βροχόπτωση είναι επίσης παλιά, όπως παράδειγμα στην αρχαία Ινδία όπου κατά τη διάρκεια θρησκευτικών τελετών που σχετιζόταν με την βροχή, γινόταν καύση του φυτού *Capparis aphylla* το οποίο περιείχε ιώδιο <sup>36</sup>.

Στην Ελλάδα τα τελετουργικά της βροχής είναι σημαντικά σε κάποια θρησκευτικά δρώμενα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το έθιμο της περπερούνας ή πιρπιρούνας. Σε περιόδους μεγάλης ξηρασίας σε διάφορες περιοχές της χώρας, οι κάτοικοι είτε πήγαιναν στην εκκλησία να κάνουν παράκληση είτε θα έντυναν ένα μικρό κοριτσάκι με αγριόχορτα ή με φλούδες από μουριά. Το κοριτσάκι αυτό παρίστανε την λεγόμενη πιρπιρούνα. Η πιρπιρούνα συνοδευόμενη από τα υπόλοιπα μικρά κορίτσια του χωριού γυρνούσαν από πόρτα σε πόρτα τραγουδώντας ένα τραγούδι που λεγόταν επίσης "πιρπιρούνα ως παράκληση προς το θεό για να στείλει βροχή"<sup>37, 38</sup>.

Φυτά όπως η κοινή παπαρούνα και η ελιά είχαν ξεχωριστή θέση στα τελετουργικά. Πολλές σχετικές ευχές υπάρχουν και στην σημερινή ορθόδοξη Εκκλησία και περιλαμβάνουν λουλούδια, κλαδιά, συνήθως αρωματικά φυτά, όπως ο βασιλικός, η δάφνη και η μυρτιά. Κάποια από αυτά χρησιμοποιούνται ως θυμίαμα σε περιπτώσεις ασθενειών, κακοκαιρίας όπως καταιγίδες και χαλαζοπτώσεις αλλά και σε περιπτώσεις παρατεταμένης ανομβρίας. <sup>39</sup>

---

<sup>36</sup> Szyrmer, W., Zawadzki, I. (1997). Biogenic and Anthropogenic Sources of Ice-Forming Nuclei: A Review. *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 78, Issue 2, pp.209-209.

<sup>37</sup> <https://www.e-evros.gr/gr/pages/20383/pirpiroyna-h-perperoyna>

<sup>38</sup> [Νάκη, Ε. \(2004\). Λαϊκά δρώμενα-το έθιμο της Περπερούνας στην ελληνική κοινωνία και εκπαίδευση: βιβλιογραφική έρευνα και πρώτη διερεύνηση προγράμματος εφαρμογής με την τεχνική της αφήγησης και του παιγνιδιού ρόλων \(Bachelor's thesis\).](#)

<sup>39</sup> [http://en.arch.uoa.gr/fileadmin/arch.uoa.gr/uploads/images/evy\\_johanne\\_haland/cosmos\\_17-2\\_haland.pdf](http://en.arch.uoa.gr/fileadmin/arch.uoa.gr/uploads/images/evy_johanne_haland/cosmos_17-2_haland.pdf)

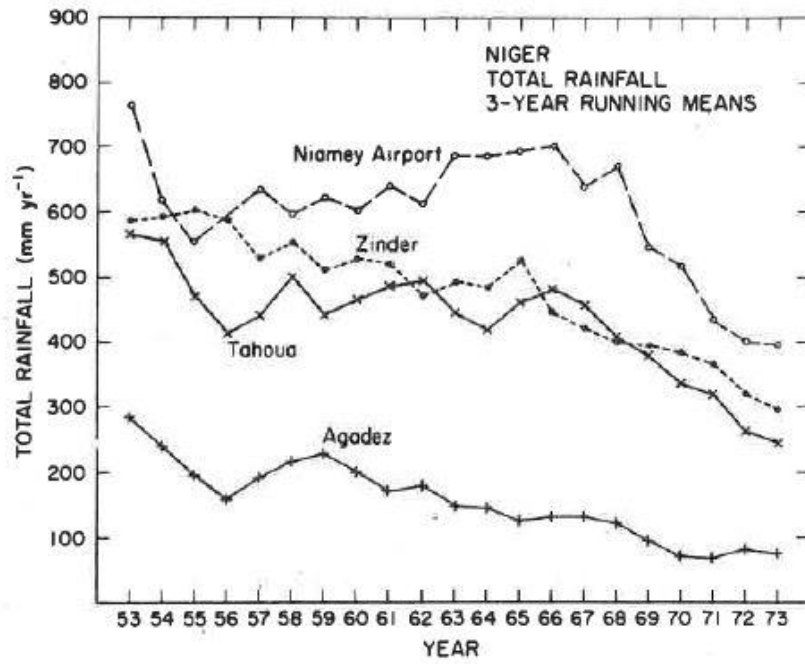
## Παράρτημα Β

### **Η επίδραση της υπερβόσκησης στη συγκέντρωση βιολογικών παγοπυρήνων στη περιοχή Σαχέλ (Η υπόθεση Schnell).**

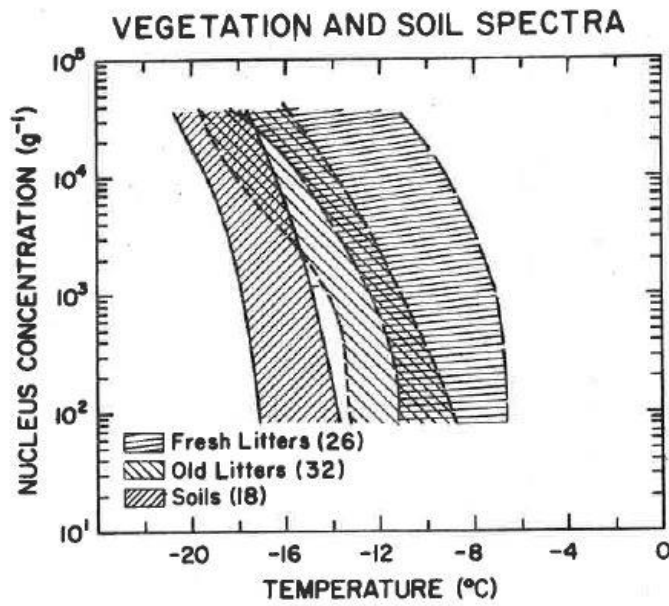
Η μεταβατική ζώνη μεταξύ της ερήμου Σαχάρας και της σαβάνας που ονομάζεται Σαχέλ, αποτελείται από 10 Πολιτείες και περίπου 300.000.000 άτομα και είναι μια από τις πιο περιβαλλοντικά υποβαθμισμένες περιοχές του κόσμου, με την προβλεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας να είναι 1,5 φορές υψηλότερη από τον παγκόσμιο μέσο όρο, σύμφωνα με τον ΟΗΕ. Η αύξηση του πληθυσμού της εκτιμάται σε 2,8 % ετησίως σε ένα περιβάλλον συρρίκνωσης των φυσικών πόρων, συμπεριλαμβανομένων των χερσαίων και υδάτινων πόρων.<sup>40</sup> Ο Δρ. Schnell Russell κατόπιν παρατήρησης δορυφορικών φωτογραφιών υποψιαζόταν ότι η υπερβόσκηση είχε αφαιρέσει τους πιο ενεργούς βιολογικούς πυρήνες πάγου γεγονός που με τη σειρά του επιδείνωσε την ξηρασία στην περιοχή. Για να δοκιμάσει αυτή την υπόθεση, αναζήτησε και έλαβε χρηματοδότηση από το Ίδρυμα Ροκφέλερ και στη συνέχεια για περίπου ένα μήνα τον Αύγουστο-Σεπτέμβριο του 1974 ταξίδεψε μόνος του στην περιοχή Σαχέλ του Νίγηρα, συχνά πεζός, συλλέγοντας βλάστηση και δείγματα χώματος. Τα αποτελέσματα της έρευνας του επιβεβαίωσαν την αρχική του υπόθεση σχετικά με την σχέση μεταξύ της διαθεσιμότητας παγοπυρήνων, προερχόμενων από οργανική σήψη φυτικών ειδών, με τα ποσοστά κατακρημνίσεων.

---

<sup>40</sup> <https://www.climatecentre.org/news/1066/un-sahel-region-one-of-the-most-vulnerable-to-climate-change>



Μέσοι όροι ετήσιας βροχόπτωσης από επιλεγμένους σταθμούς στον Νίγηρα (Schnell, 1974).



Εύρος του φάσματος παγοπυρήνων των δειγμάτων που πάρθηκαν από τον Dr. Schnell το καλοκαίρι του 1974(Schnell, 1974).



## Παράρτημα III

### Κλιματική αλλαγή και υγεία

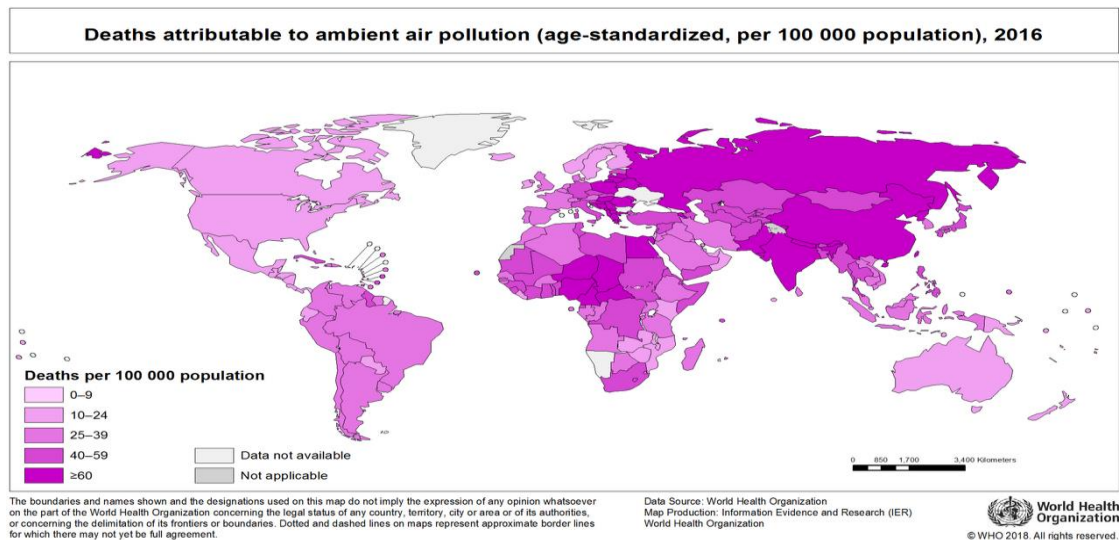
Έχει βρεθεί συσχέτιση μεταξύ της ξηρασίας και της ποιότητας του αέρα. Οι πυρκαγιές πιθανόν είναι σημαντικός συντελεστής στη συσχέτιση αυτή. Οι πυρκαγιές εκπέμπουν μεγάλες ποσότητες αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα, τα οποία έχουν αντίκτυπο στο κλίμα, στη ποιότητα του αέρα και στην ανθρώπινη υγεία. Ο ρόλος τους στην τροποποίηση του κλίματος είναι σημαντικός, ανάλογα με τη σύνθεση των σωματιδίων. Τα σωματίδια σκόνης μπορούν να αντανακλούν την ηλιακή ενέργεια και έτσι να ψύχουν το έδαφος. Σωματίδια που προέρχονται από καύση βιομάζας, όπως η αιθάλη ή ο καπνός, μπορούν να απορροφήσουν την ηλιακή ενέργεια, θερμαίνοντας το κλίμα. Τέλος τα αερολύματα μπορούν να προκαλέσουν σχηματισμό νεφών τα οποία με τη σειρά τους ασκούν επιρροή στη θερμοκρασία του πλανήτη και το κλίμα γενικότερα (Hallar, 2017).

Τα ατμοσφαιρικά αερολυμάτα έχουν διάφορες επιδράσεις στην καθημερινή ζωή. Τα σωματίδια αερολυμάτων μπορούν να εισέλθουν στο ανθρώπινο σώμα μέσω της αναπνοής και ανάλογα με τη σύνθεσή τους και το μέγεθος τους να προκαλέσουν ανεπιθύμητες συνέπειες στην υγεία. Σε παγκόσμιο επίπεδο, το 8% των θανάτων από καρκίνο του πνεύμονα, το 5% καρδιοαναπνευστικών θανάτων και 3% θανάτων από αναπνευστικές λοιμώξεις, συνδέονται με λεπτά σωματίδια με το συνολικό αριθμό θανάτων που οφείλονται στην αστική ατμοσφαιρική ρύπανση το 2004 να είναι 1,15 εκατομμύρια (Leppä, 2012). Ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας αναγνωρίζοντας την άμεση σύνδεση κλιματικής αλλαγής- υγείας διατύπωσε τα εξής συμπεράσματα:<sup>41</sup>

- Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τους κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες της υγείας, όπως ο καθαρός αέρας, το ασφαλές πόσιμο νερό, τα επαρκή τρόφιμα και το ασφαλές καταφύγιο.
- Μεταξύ 2030 και 2050, η κλιματική αλλαγή αναμένεται να προκαλέσει περίπου 250000 επιπρόσθετους θανάτους ανά έτος, από υποσιτισμό, ελονοσία, διάρροια και θερμοπληξία.
- Το κόστος της άμεσης ζημίας για την υγεία, εκτιμάται ότι κυμαίνεται μεταξύ 2-4 δισεκατομμυρίων δολαρίων ανά έτος έως το 2030.

<sup>41</sup> <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>

- Οι περιοχές με ελλείψεις στις υποδομές υγείας (κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες) δεν θα μπορέσουν να ανταπεξέλθουν χωρίς βοήθεια.
- Η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέσω καλύτερων επιλογών στις μεταφορές, στα τρόφιμα και στη χρήση ενέργειας μπορεί να οδηγήσει στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και στη βελτίωση της υγείας.

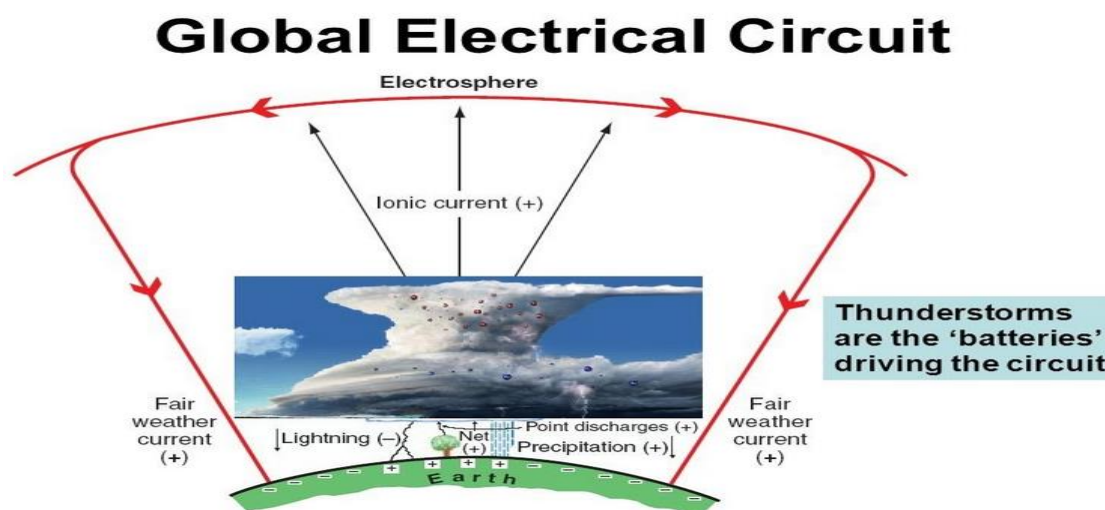


Παγκόσμιος χάρτης θανάτων εξαιτίας της μόλυνσης της ατμόσφαιρας  
([http://gamapservr.who.int/mapLibrary/Files/Maps/Global\\_aap\\_deaths\\_age\\_standardized\\_per\\_capit a\\_2016.png](http://gamapservr.who.int/mapLibrary/Files/Maps/Global_aap_deaths_age_standardized_per_capit a_2016.png))

## Παράρτημα IV

### Ατμοσφαιρικός Ηλεκτρισμός

Ο ατμοσφαιρικός ηλεκτρισμός αφορά ηλεκτρικά φαινόμενα που συμβαίνουν κυρίως στην κατώτερη ατμόσφαιρα. Τα ηλεκτρικά φαινόμενα οφείλονται στην παρουσία ηλεκτρικών φορτίων, πεδίων ή ρευμάτων και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις διάφορες μετεωρολογικές διεργασίες. Η γη φορτίζεται αρνητικά μέσω ενός πολύπλοκου μηχανισμού φόρτισης που ονομάζεται "παγκόσμιο ατμοσφαιρικό ηλεκτρικό κύκλωμα" (Global Electric Circuit, GEC). Στις περιοχές που πέφτουν κεραυνοί, η γη φορτίζεται με αρνητικό φορτίο, το οποίο μεταφέρεται σε περιοχές με καλοκαιρία και ισοκατανέμεται στην επιφάνειά της (Χαλδούπης, 2015). Το παγκόσμιο ηλεκτρικό κύκλωμα συνδέει το ηλεκτρικό πεδίο και την τρέχουσα ενεργειακή ροή της χαμηλότερης ατμόσφαιρας καθώς και την ιονόσφαιρα και την μαγνητόσφαιρα, σχηματίζοντας ένα γιγαντιαίο σφαιρικό πυκνωτή που φορτίζει τη γη συνεχώς. Διάφοροι παράγοντες όπως οι εποχιακές αλλαγές, μεταβολές στο ποσοστό των ανθρωπογενών αερολυμάτων καθώς και αλλαγές στην επιφανειακή ταχύτητα του ανέμου, επιδρούν στις διακυμάνσεις του παγκόσμιου ηλεκτρικού κυκλώματος. Η υψηλή συγκέντρωση των αερολυμάτων μειώνει την αγωγιμότητα του αέρα στο κατώτερο στρώμα της τροπόσφαιρας, και επηρεάζει την ηλεκτρική δομή της χαμηλότερης ατμόσφαιρας.



Παγκόσμιο ηλεκτρικό κύκλωμα. (πηγή: <https://www.youtube.com/watch?v=la3xBfQLsTg>)

Η έρευνα στον τομέα του παγκόσμιου ηλεκτρικού κυκλώματος (GEC) έχει επεκταθεί τα τελευταία χρόνια κυρίως μέσω παρατηρήσεων της κεραυνικής δραστηριότητας καθώς και οπτικών εκπομπών μεταξύ νεφών και ιονόσφαιρας με την χρήση δορυφόρων και επίγειων δικτύων (Siingh, 2007).

Τα ηλεκτρικά φορτία της ατμόσφαιρας είναι σε μορφή μεγαλομορίων και φορτισμένων αερολυμάτων τα οποία είναι μικρά ή μεγάλα, αρνητικά ή θετικά ιόντα (Χαλδούπης, 2015; Benninghoff, 1987). Η ηλεκτρική φόρτιση αερολυμάτων παίζει σημαντικό ρόλο στις βιολογικές /ατμοσφαιρικές διεργασίες (Roos 1990). Ειδικά τα αερολύματα που βρίσκονται στο κατώτερο στρώμα της τροπόσφαιρας (ABL) και στην στρατόσφαιρα έχουν ισχυρή επίδραση στα ηλεκτρικά φαινόμενα της ατμόσφαιρας. Επίσης η ηλεκτρική φόρτιση παίζει σημαντικό ρόλο όσο αφορά την συμπεριφορά την δομή και την δράση του ίδιου του αερολύματος όπως για παράδειγμα έχει διαπιστωθεί ότι επηρεάζει το ρυθμό ανάπτυξης (κυρίως αυξητικά) της παγοπυρήνωσης με διάφορους τρόπους (Leppä, 2012).

Τέλος μέσω των ηλεκτρικών δυνάμεων της ατμόσφαιρας και πιο συγκεκριμένα, όταν η ανοδική ηλεκτρική δύναμη υπερβαίνει την πτωτική βαρυτική, τότε μπορεί να διευκολυνθεί ή ανύψωση σωματιδίων, κυρίως σκόνης ορυκτών, από την επιφάνεια της γης (Kok, 2006).