



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.) «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»

2^η ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΟΡΕΙΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ»

Μεταπτυχιακή (Διπλωματική) Εργασία

Μελέτη των επιπέδων διαφόρων τύπων γύρεως από φυτικά είδη στην Ελλάδα και την Ελβετία, με έμφαση στις ορεινές περιοχές

Σοφία Γκρέτση

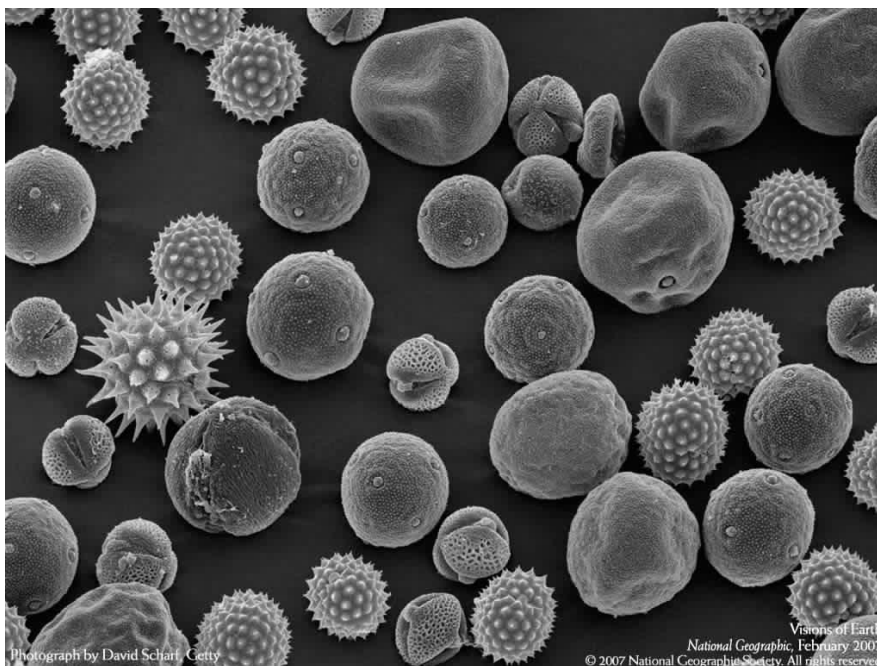
Επιβλέπων: Αλέξανδρος Παπαγιάννης, Καθηγητής, Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, Ε.Μ.Π.

Μέλη: Δημήτριος Καλιαμπάκος
Καθηγητής, Κοσμήτορας
Σχολή Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π.
Πολυχρόνης Κολοκούσης
Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό (Ε.ΔΙ.Π.)
Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών
Γεωπληροφορικής, Ε.Μ.Π.



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΠΜΣ «ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ»
2η ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΟΡΕΙΝΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Μελέτη των επιπέδων διαφόρων τύπων γύρεως από φυτικά είδη στην
Ελλάδα και την Ελβετία



Σοφία Γκρέτση

Επιβλέπων Καθηγητής: Αλέξανδρος Παπαγιάννης, Καθηγητής, ΣΕΜΦΕ,
Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούνιος 2023

Τριμελής εξεταστική επιτροπή

Άμεσος Επιβλέπων

Παπαγιάννης Αλέξανδρος

Καθηγητής

Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, Ε.Μ.Π.

Μέλη

Καλιαμπάκος Δημήτριος

Καθηγητής

Κοσμήτορας

Σχολή Μηχ. Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π.

Κολοκούσης Πολυχρόνης

Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό (Ε.ΔΙ.Π.)

Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών Γεωπληροφορικής,
Ε.Μ.Π.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Οπτοηλεκτρονικής, Lasers και Εφαρμογές τους (EOLE) του Τομέα Φυσικής, της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου με κύριο επιβλέποντα τον Καθηγητή κ. Αλέξανδρο Παπαγιάννη, τον οποίο και θα ήθελα να ευχαριστήσω για την εμπιστοσύνη, την έμπειρη καθοδήγηση και την συμπαράσταση που μου έδειξε. Με την όρεξη για το αντικείμενο, τη διάθεση και την καλοσύνη του, με ενέπνευσε να ασχοληθώ με τη Φυσική του περιβάλλοντος, συνδυάζοντάς την με τις προπτυχιακές μου γνώσεις, προωθώντας έτσι τη διεπιστημονικότητα και συμβάλλοντας στην κριτική ματιά.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή κ. Δημήτριο Καλιαμπάκο ως μέλος της εξεταστικής επιτροπής, αλλά κυρίως ως άνθρωπο που εμπνέει τους φοιτητές του και τους ωθεί στη διαρκή αναζήτηση. Η συμβολή του στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα του Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας (ΜΕ.Κ.Δ.Ε.) είναι αξιόπαινη, αναδεικνύοντας την εμπειρία φοίτησης σε αυτό το εξαιρετικό περιβάλλον σπουδών με το βιωματικό χαρακτήρα. Ευχαριστώ ακόμη ιδιαίτερα, τον κ. Πολυχρόνη Κολοκούση, για την πρόθυμη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και τον πολύτιμο χρόνο που μου αφιέρωσε, καθώς και τον υποψήφιο διδάκτορα Αναστάσιο Μπαλάσκα για την προσφορά και τη στήριξή του σε όλα τα επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη του Εργαστηρίου EOLE, και συγκεκριμένα την κα Ελένη Κράλλη για την εμπύχυσή της, τις Δρ. Μαρία Μυλωνάκη και Χριστιάννα Παπανικολάου, καθώς και τους υποψήφιους διδάκτορες Μαριλένα Γιδαράκου και Ρωμανό Φωσκίνη για την πολύτιμη βοήθεια και τις συμβουλές τους και ιδιαίτερα την υπ. Δρ. Γιδαράκου για το χρόνο που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας.

Κλείνοντας, ευχαριστώ ξεχωριστά την αδερφή μου Ζωή, τους γονείς μου και τους συμφοιτητές και φίλους από το ΜΕ.Κ.Δ.Ε. Βασιλική, Ευτυχία, Κωνσταντίνο, Λυδία, Παναγιώτη, Χριστίνα και Αντώνη για τις σκέψεις και τους προβληματισμούς που μοιραστήκαμε βοηθώντας με, με τις γνώσεις και την αγάπη τους.

Σοφία Γκρέτση

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	8
1. Εισαγωγή	9
1.1. Ατμόσφαιρα	9
1.1.1. Βιοαερολύματα - Βιοσωματίδια.....	10
1.1.2. Βιοαερολύματα και ανθρώπινη υγεία	12
1.1.3. Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή	13
1.2. Γύρη.....	13
1.2.1. Χαρακτηριστικά γυρεόκοκκων.....	15
1.3. Επίδραση περιβαλλοντικών συνθηκών στη γύρη	16
1.4. Επιπτώσεις της γύρεως.....	17
1.4.1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία.....	17
1.4.2. Επιδράσεις στο κλίμα.....	19
1.5. Οργανολογία.....	20
1.5.1. Φθορισμός.....	21
1.5.2. Τεχνικές Τηλεπισκόπησης	22
1.5.2.1. Τεχνική LIDAR.....	22
1.5.2.2. Τεχνική LIF LIDAR.....	23
1.5.3. Όργανα in situ.....	26
1.5.3.1. Σύστημα LIF in situ (Φάσμα φθορισμού δειγμάτων βιοσωματιδίων) 26	
1.5.3.2. Wide issue bioaerosol sensor (WIBS).....	27
1.5.3.3. Ογκομετρική παγίδα γύρεως (σχέδιο Hirst).....	29
1.5.3.4. Σύστημα μέτρησης σωματιδίων Swisens Poleno	30
1.6. Μοντέλα πρόγνωση γύρεως	32
1.6.1. Προγνωστικό μοντέλο SILAM.....	33
1.6.2. Προγνωστικό μοντέλο COSMO	34
1.7. Αλγόριθμος Γραμμικής Διακριτικής Ανάλυσης.....	34
1.8. Επίπεδα γύρεως σε Ελλάδα και Ελβετία	35
1.8.1. Ελλάδα.....	35

1.8.1.1.	Χλωρίδα	35
1.8.1.2.	Σταθμός Θεσσαλονίκης.....	38
1.8.1.3.	Σταθμός εργαστηρίου Ε.Μ.Π.....	39
1.8.1.4.	Σταθμός Μετσόβου (ΜΕ.Κ.Δ.Ε).....	39
1.8.2.	Ελβετία	39
1.8.2.1.	Χλωρίδα	39
1.8.2.2.	Δίκτυο παρακολούθησης γύρεως	42
1.8.2.3.	Σταθμός της Payerne (EPFL και ΕΜΠ).....	43
1.8.2.3.1.	Ερευνητικό έργο PERICLES.....	43
1.8.2.3.2.	Πειραματική διάταξη lidar ανίχνευσης βιο-σωματιδίων	44
1.8.3.	Γύρη από φυτικά είδη.....	45
1.8.3.1.	Άλνος/ Σκλήθρο (Alder).....	46
1.8.3.2.	Σημύδα (Birch).....	47
1.8.3.3.	Αγρωστώδη (Grasses)	48
2.	Επεξεργασία δεδομένων	50
2.1.	Δεδομένα από το μοντέλο SILAM	50
2.1.1.	Γύρη σκλήθρου	51
2.1.2.	Γύρη σημύδας.....	52
2.1.3.	Γύρη αγρωστωδών	53
2.1.4.	Γύρη ελιάς	54
2.2.	Ανάλυση χρονοσειρών.....	55
2.2.1.	Σταθμός Davos- Wolfgang.....	57
2.2.2.	Σταθμός La Chaux-de-Fonds.....	59
2.2.3.	Σταθμός Lausanne.....	61
2.2.4.	Σταθμός Payerne	63
3.	Αποτελέσματα.....	67
3.1.	Ημερολόγιο γύρεως	67
3.2.	Αποτελέσματα Αλγορίθμου Γραμμικής Διακριτικής Ανάλυσης	68
3.3.	Ερευνητικό έργο PERICLES στην Payerne	71
3.3.1.	Ανάλυση περίπτωσης (Case study) -24/05/2023.....	71
3.4.	Συσχέτιση γύρεως με μετεωρολογικές παραμέτρους.....	73

3.5.	Φαινολογία των φυτών.....	75
3.6.	Μέθοδοι τηλεπισκόπησης.....	76
3.6.1.	Αισθητήρας MODIS.....	76
3.6.2.	Δείκτης χλωροφύλλης.....	78
4.	Συζήτηση αποτελεσμάτων.....	80
5.	Συμπεράσματα.....	82
6.	Βιβλιογραφία.....	83
6.1.	Ξένη βιβλιογραφία.....	83
6.2.	Ελληνική βιβλιογραφία.....	92
6.3.	Ιστοσελίδες.....	93

Περίληψη

Το αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η μελέτη των επιπέδων γύρεως στην Ελλάδα και την Ελβετία μέσω στατιστικής επεξεργασίας μετρήσεων/ δεδομένων από τέσσερις (4) Μετεωρολογικούς Σταθμούς της Ελβετίας, συσχέτιση αυτών με μετεωρολογικές παραμέτρους και βιβλιογραφικών αναφορών για την Ελλάδα.

Αρχικά, παρουσιάζεται μία εισαγωγή στα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας και συγκεκριμένα στα βιολογικά (βιοσωματίδια), με έμφαση τη γύρη, καθώς, επίσης γίνεται αναφορά στα χαρακτηριστικά των γυρεόκοκκων. Στη συνέχεια, επισημαίνεται η σημαντικότητα των περιβαλλοντικών συνθηκών και της Παγκόσμιας Κλιματικής Αλλαγής (ΠΚΑ) η οποία επιδρά σημαντικά στη φαινολογία των φυτών, δηλαδή στη μελέτη του χρονοδιαγράμματος των γεγονότων του κύκλου ζωής των φυτών. Η ημερομηνία έναρξης, η διάρκεια της περιόδου και η ημερομηνία λήξης της γύρεως είναι ιδιαίτερα σημαντική, τόσο για τα φυτά και τις αποκρίσεις τους στις περιβαλλοντικές συνθήκες, όσο και για τις επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου. Αναφερόμαστε στη χλωρίδα της Ελλάδας και της Ελβετίας και επικεντρωνόμαστε στα φυτικά είδη τα οποία μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία. Παρουσιάζεται η οργανολογία για την καταμέτρηση, ανίχνευση και χαρακτηρισμό των γυρεόκοκκων της ατμόσφαιρας, η οποία μπορεί να γίνει με χρήση τεχνικών τηλεπισκόπησης (remote sensing) και με επίγειες μετρήσεις και ατμοσφαιρικές προγνώσεις σε τοπική κλίμακα.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία δεδομένων και παρουσιάζεται η στατιστική ανάλυση δεδομένων γύρεως για 4 Μετεωρολογικούς Σταθμούς της Ελβετίας, για την περίοδο 2018-2021, καθώς και για το Μάρτιο 2023 στο Μετεωρολογικό Σταθμό Payerne της Ελβετίας.

Τέλος, παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα και οι προοπτικές της έρευνας στο πλαίσιο αυτής της Διπλωματικής Εργασίας. Η μελέτη και ο προσδιορισμός των διαφόρων τύπων γύρεως μπορεί να συνεισφέρει στην έρευνα στους τομείς της πνευμονολογίας, αλλεργιολογίας, ψυχικής υγείας καθώς και για γονιδιακές μελέτες σε σχέση με την επίδραση του περιβάλλοντος στην υγεία των πολιτών.

1. Εισαγωγή

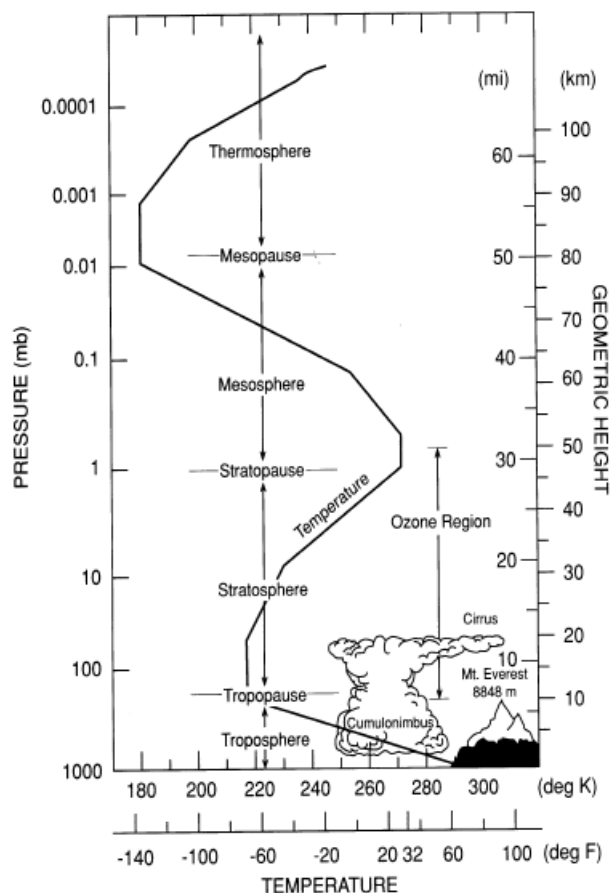
1.1. Ατμόσφαιρα

Με τον όρο ατμόσφαιρα εννοούμε το αεριώδες περίβλημα της Γης, το οποίο αποτελεί ένα σώμα με τη Γη και μετέχει σε όλες τις κινήσεις της. Μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα κέντρο πολύπλοκων θερμοδυναμικών και μηχανικών διεργασιών που είναι υπεύθυνες για τη δημιουργία διαφόρων φαινομένων. Η γήινη ατμόσφαιρα στα κατώτερα κυρίως στρώματά της, αποτελείται από ένα μίγμα αερίων ή καλύτερα από ένα μίγμα «ξηρού» αέρα, νερού και στις τρεις φάσεις του (αέρια, υγρή και στερεή), καθώς και από στερεά ή υγρά σωματίδια, τα «αερολύματα» ή «ατμοσφαιρικά αιωρήματα». Το μείγμα των αερίων που συνθέτουν τον «ξηρό» ατμοσφαιρικό αέρα δεν περιέχει υδρατμούς και πάσης φύσεως στερεά και υγρά σωματίδια (Λαζαρίδης, 2016).

Η δομή της γήινης ατμόσφαιρας συνήθως χωρίζεται σε τρία τμήματα, το κατώτερο, το μέσο και το ανώτερο βάσει των διαφόρων στρωματώσεων της κατακόρυφης κατανομής της μέσης θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας. Τα στρώματα της ατμόσφαιρας μπορούν να χωρισθούν στην τροπόσφαιρα, τη στρατόσφαιρα και τη μεσόσφαιρα. Ακολουθώς, η ετερόσφαιρα μπορεί να χωριστεί στη θερμόσφαιρα και την εξώσφαιρα. Οι επιφάνειες διαχωρισμού των περιοχών αυτών, δηλαδή οι μεταβατικές ζώνες αρκετού πάχους, είναι η τροπόπαυση, η στρατόπαυση και μεσόπαυση.

Αρχικά, η τροπόσφαιρα εκτείνεται από το έδαφος έως την τροπόπαυση η οποία βρίσκεται σε ύψος 10-18 χλμ. ³ (~200-90 hPa) ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του χρόνου. Η τροπόσφαιρα περιέχει περίπου το 85-90% της μάζας της ατμόσφαιρας και περιλαμβάνει το Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα (ΑΟΣ), που εκτείνεται από το έδαφος ως ένα ύψος 1-2 χλμ. και την ελεύθερη τροπόσφαιρα εκτεινόμενη από την κορυφή του ΑΟΣ έως την τροπόπαυση. Η τροπόπαυση σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας (WMO) ορίζεται σαν το χαμηλότερο επίπεδο της ατμόσφαιρας στον οποίο ο ρυθμός μείωσης της θερμοκρασίας με το ύψος μειώνεται σε τιμές μικρότερες των 2 K/km και επιπλέον ο μέσος όρος του ρυθμού μείωσης της θερμοκρασίας με το ύψος, μεταξύ του χαμηλότερου επιπέδου της ατμόσφαιρας και οποιουδήποτε ανώτερου επιπέδου (εντός εύρους το πολύ 2 χλμ.) δεν υπερβαίνει τα 2 K/km (Holton et al., 1995). Η στρατόσφαιρα εκτείνεται από την τροπόπαυση έως τη στρατόπαυση με ~45-55χλμ. ύψος και περιέχει περίπου το 90% του

ατμοσφαιρικού όζοντος. Η μεσόσφαιρα εκτείνεται από την στρατόπαυση έως τη μεσόπαυση με ~80-90χλμ. ύψος και η θερμόσφαιρα εκτείνεται από τη μεσόπαυση έως τα 110χλμ. Μεταξύ της μεσόσφαιρας και της θερμόσφαιρας βρίσκεται η ιονόσφαιρα, όπου παρατηρείται μερικός ιονισμός των ατμοσφαιρικών συστατικών από την ηλιακή ή σωματιδιακή ακτινοβολία και εκτείνεται από τα 80 έως τα 300 χλμ. περίπου.



Εικόνα 1.1. Τα στρώματα της ατμόσφαιρας (Brasseur et al., 1999) (mi: μίλια, km: χιλιόμετρα).

1.1.1. Βιοαερολύματα - Βιοσωματίδια

Η μελέτη των ατμοσφαιρικών ρύπων είναι ιδιαίτερης σημασίας, καθώς επιδρούν στα οικοσυστήματα, το γήινο κλίμα και καιρό, και την υγεία. Οι αέριοι ρύποι διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Οι σημαντικότεροι ρύποι της ατμόσφαιρας είναι το διοξείδιο και το μονοξείδιο του άνθρακα, οι μη μεθανικές οργανικές ενώσεις, το μεθάνιο, τα οξείδια και το υπεροξείδιο του αζώτου, η αμμωνία, το διοξείδιο του θείου, τα βαρέα μέταλλα, οι παραμένοντες οργανικοί ρύποι και τα αιωρούμενα σωματίδια. Αιωρούμενα σωματίδια ή ατμοσφαιρικά αιωρήματα (Particulate Matter, PM) είναι όλα τα σταθερά αιωρήματα στερεών ή υγρών σωματιδίων ή και των δύο στον αέρα (Λαζαρίδης, 2016).

Τα σωματίδια προέρχονται από διάφορες πηγές, τόσο φυσικές, όπως είναι η σκόνη από το έδαφος (έρημοι), ηφαιστειακή ύλη, σωματίδια χλωριούχου νατρίου (NaCl) από τις κορυφές των κυμάτων της θάλασσας (ωκεανοί) όσο και ανθρωπογενείς, όπως οι εκπομπές από τα αυτοκίνητα, σωματίδια αιθάλης και στάχτης από βιομηχανίες (καύση άνθρακα). Τα αιωρήματα που εκπέμπονται απευθείας στην ατμόσφαιρα ονομάζονται πρωτογενή (primary aerosols) και αυτά που δημιουργούνται από χημικές αντιδράσεις και διαδικασίες μετατροπής μορίων αερίων σε σωματίδια ονομάζονται δευτερογενή (secondary aerosols). Υπάρχουν τρεις κύριες πηγές αιωρούμενων σωματιδίων στη γήινη ατμόσφαιρα: τα σωματίδια με θαλάσσια προέλευση (marine), τα σωματίδια με ηπειρωτική προέλευση (continental) και, αυτά με πολική προέλευση (polar). Όσον αφορά τα σωματίδια με ηπειρωτική προέλευση διακρίνουμε άλλες τρεις κατηγορίες ανάλογα με την προέλευσή τους: την αστική προέλευση (urban aerosols), την προέλευση από απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές (rural aerosols) και την προέλευση από τις διάφορες ερήμους (desert dust aerosols).

Πίνακας 1.1. Προέλευση αιωρούμενων σωματιδίων.

Αιωρούμενα σωματίδια				
Ηπειρωτική προέλευση			Θαλάσσια προέλευση	Πολική προέλευση
Αστική προέλευση	Προέλευση από απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές	Προέλευση από τις διάφορες ερήμους		

Τα αιωρούμενα σωματίδια μπορούν να μεταβάλλουν το μέγεθος και την σύστασή τους μέσω της εξάτμισης ή της συμπύκνωσης ατμών, με συνένωση με άλλα σωματίδια, με χημικές αντιδράσεις ή με ενεργοποίηση υπό την παρουσία υπερκορεσμένου νερού έτσι ώστε να μετατραπούν σε ομίχλη και υδροσταγονίδια.

Τα αερολύματα επηρεάζουν, επίσης, το γήινο κλίμα, έμμεσα, δρώντας ως πυρήνες συμπύκνωσης νεφών (cloud condensation nuclei, CCN) ή σωματίδια πυρηνοποίησης πάγου (ice nucleating particles, INP) και κατά συνέπεια τροποποιούν τις μικροφυσικές και οπτικές ιδιότητες (Twomey, 1977) και τη διάρκεια ζωής των νεφών (Albrecht, 1989). Μετά την εκπομπή ή το σχηματισμό τους τα αιωρήματα υπόκεινται σε ποικίλες διεργασίες (πυρηνοποίηση, συσσωμάτωση) οδηγώντας σε αλλαγή του μεγέθους και του σχήματός τους. Έτσι, παρουσιάζεται κατανομή μεγεθών, που κυμαίνεται από λίγα νανόμετρα (nm) μέχρι αρκετές δεκάδες μικρόμετρα (μm).

Η καταγραφή των αερολυμάτων είναι εξαιρετικά σημαντική ώστε να εντοπιστούν οι πηγές τους, να αξιολογηθούν οι επιπτώσεις και να προταθούν κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισης.

1.1.2. Βιοαερολύματα και ανθρώπινη υγεία

Βιοαερολύματα (bioaerosols) είναι τα βιογενή σωματίδια, προέρχονται από βιολογικές πηγές (μικροβιακής, φυτικής ή ζωϊκής) και περιλαμβάνουν βακτήρια, σπόρια μυκήτων, ιούς, γυρεόκοκκους, ζωική ή φυτική ύλη, κ.λπ. (Despres et al., 2012). Τα αερομεταφερόμενα πρωτογενή βιολογικά σωματίδια αερολύματος (Airborne Primary Biological Aerosol Particles, PBAP) πανταχού παρόντα στο περιβάλλον (Jaenicke et al., 2007, Fröhlich- Nowoisky et al., 2009).

Πίνακας 1.2. Διάμετρος και συγκέντρωση βιογενών σωματιδίων.

Βιογενή Σωματίδια	Διάμετρος (μm)	Συγκέντρωση (m ⁻³)
Ιοί	0.02-0.3	-
Βακτήρια	0.3-10	0.5-1000
Σπόρια μυκήτων	1-100	0-10000
Γύρη	10-100	0-1000

Η μεταφορά βιογενών αερολυμάτων διευκολύνει τη διασπορά των γονιδίων και μπορεί να αποδειχθεί σημαντικός παράγοντας για την προσαρμογή της βλάστησης στην κλιματική αλλαγή. Η αυξανόμενη συνειδητοποίηση της σημασίας των PBAP σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις αερολύματος-νέφους, τις πτυχές της υγείας και την εξάπλωση των οργανισμών σε τοπική, ηπειρωτική ή ακόμα και διηπειρωτική κλίμακα έχει οδηγήσει σε αυξανόμενο ενδιαφέρον (Després et al., 2012, Fröhlich-Nowoisky et al., 2016, Yao, 2018).

Τα PBAP επηρεάζουν άμεσα τον άνθρωπο μέσω των αρνητικών επιπτώσεών τους στην υγεία και έχουν συνδεθεί με καταστάσεις όπως το άσθμα, ο πνεύμονας του αγρότη (farmer's lung) και η αλλεργική ρινίτιδα (hay fever) (Nunes and Ladeira, 2007- Malmberg et al., 1993- D'Amato et al., 2001). Πράγματι, το 15-20% του πληθυσμού της Δυτικής Ευρώπης παρουσιάζει αλλεργική ρινίτιδα (Van Moerbeke, 2004). Πιο πρόσφατα, η υψηλή ικανότητα πυρηνοποίησης πάγου ορισμένων βιολογικών σωματιδίων/βιοαερολυμάτων οδήγησε σε εικασίες σχετικά με τη συμμετοχή ζωντανών και νεκρών οργανισμών στο σχηματισμό πάγου και κατακρημνισμάτων στα νέφη (Von Blohn et al. 2005, Christner et al. 2008, Iannone et al. 2011, Georgakopoulos et al. 2009). Εάν οι μηχανισμοί αυτοί αποδειχθούν αληθινοί, τότε οι διάφοροι τύποι PBAP θα μπορούσαν να ασκήσουν σημαντικές, και πιθανώς αντίθετες, επιδράσεις στον καιρό και το κλίμα.

Το ενδιαφέρον για τα βιοαερολύματα προέρχεται από διάφορες κατευθύνσεις, όπως η παρακολούθηση της βιοποικιλότητας, η περιβαλλοντική επιδημιολογία και, ειδικότερα, η αλλεργιολογία, η γεωργία, το κλίμα και η συσχέτιση με την κλιματική αλλαγή (Buters et al., 2018, Guxens et al., 2016). Ο πιο μελετημένος τύπος βιοαερολυμάτων είναι η γύρη, για την οποία οι χρονοσειρές πολλών δεκαετιών είναι διαθέσιμες (Cecchi et al. 2010, D'Amato et al., 2007, Sofiev and Bergmann, 2013, Ziska et al., 2019).

1.1.3. Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή

Η Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή (ΠΚΑ) ορίζεται ως η αργή και σταθερή μεταβολή του γήινου κλίματος μέσω των φυσικών και ανθρωπογενών επιδράσεων. Οι παράγοντες που συντελούν στην ΠΚΑ είναι η αυξανόμενη συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου, η επέκταση της τρύπας του όζοντος, η συστηματική καταστροφή των τροπικών δασών, κ.ά., παράλληλα με την αύξηση της μέσης τιμής της θερμοκρασίας του πλανήτη (Houghton, 2000). Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας του ΟΗΕ, η θερμοκρασία της επιφάνειας του πλανήτη την περίοδο 2011-2022 αυξήθηκε κατά 1,1°C από την προβιομηχανική περίοδο 1850-1900. Οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που αυξήθηκαν κατά την περίοδο 2010-2019, προκύπτουν από τη μη βιώσιμη χρήση ενέργειας, τη χρήση γης και την αλλαγή της, τον τρόπο ζωής καθώς και τα πρότυπα κατανάλωσης και παραγωγής μεταξύ και εντός των χωρών αλλά και σε ατομικό επίπεδο.

Η ΠΚΑ επηρεάζει πολλές καιρικές και ακραίες κλιματικές συνθήκες σε κάθε περιοχή του πλανήτη, οδηγώντας σε επιπτώσεις στη φύση, την ανθρώπινη υγεία, την οικονομία και την κοινωνία. Οι επιπτώσεις σε ορισμένα οικοσυστήματα διαφαίνονται μη αναστρέψιμες, όπως των υδρολογικών αλλαγών που προκύπτουν από την υποχώρηση των παγετώνων (glaciers) και από την τήξη του μόνιμου παγετού (permafrost) σε ορισμένα ορεινά και αρκτικά οικοσυστήματα (IPCC, 2023). Το παγκόσμιο κλίμα αλλάζει ταχύτερα στις αλπικές και αρκτικές περιοχές από ό,τι σε άλλες περιοχές και η μέση θερμοκρασία στις αλπικές περιοχές αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται ταχύτερα από τη μέση παγκόσμια αύξηση (Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC), 2023).

1.2. Γύρη

Στον κύκλο ζωής ενός φυτού, οι όροι «απλοειδής» και «διπλοειδής» αντανακλούν τον τύπο των αναπαραγωγικών κυττάρων που κάθε φάση παράγει. Η απλοειδής φάση ονομάζεται γαμετόφυτο καθώς παράγει με μίτωση τους αρσενικούς και θηλυκούς γαμέτες (gametes). Η σύντηξη των γαμετών δημιουργεί το ζυγωτό από

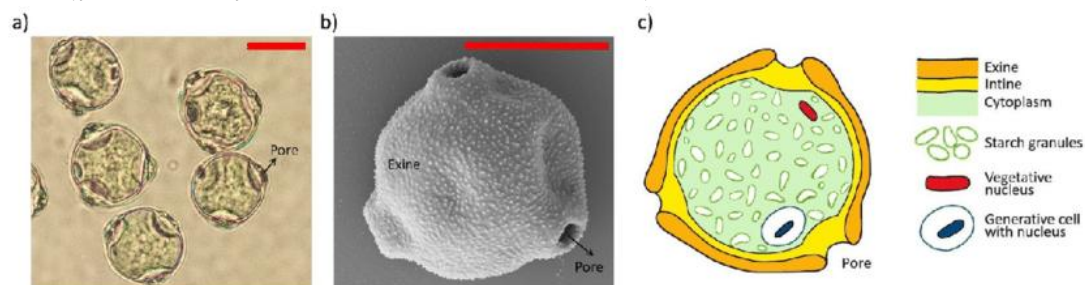
το οποίο αναπτύσσεται η διπλοειδής φάση. Αντίστοιχα, η διπλοειδής φάση ονομάζεται σποριόφυτο, καθώς παράγει τα απλοειδή σπόρια (γαμέτες) με τη διαδικασία της μείωσης, από τα οποία προκύπτει η απλοειδής φάση του φυτού. Στα φυτά που παράγουν άνθη, υπάρχουν ξεχωριστά αρσενικά και θηλυκά γαμετόφυτα, τα οποία παράγουν αντίστοιχα τους αρσενικούς (γυρεόκοκκοι) και θηλυκούς (ωάρια- ωοκύτταρα) γαμέτες (Χαραλαμπίδης, 2018).

Η γύρη (pollen) είναι το σύνολο των γυρεόκοκκων (pollen grains), που φέρει το DNA- γενετικό υλικό των αγγειόσπερμων και των γυμνόσπερμων φυτών, διαδραματίζοντας κρίσιμο ρόλο στην αναπαραγωγή των φυτών. Παράγεται στον αρσενικό κώνο των γυμνόσπερμων ή στους ανθήρες ενός άνθους αγγειόσπερμου και μεταφέρει το αρσενικό γενετικό υλικό του φυτού από τους στήμονες στον ύπερο ή από τον αρσενικό στον θηλυκό κώνο (cone). Οι γυρεόκοκκοι προέρχονται από ένα μητρικό κύτταρο και μπορούν να παραμείνουν σε επαφή μεταξύ τους σε δυάδες, τετράδες ή πολυάδες (πολλίνια, pollinia) ή συνηθέστερα να διασκορπιστούν ανά ένας (Erdtman, 1969).

Η διασπορά της γύρεως πραγματοποιείται με ζώα (zoophilous), άνεμο (anemophilous) ή νερό (hydrophilous). Τα περισσότερα αγρωστώδη (Poaceae), τα κωνοφόρα και περίπου το 10-20% των ανθοφόρων φυτών είναι ανεμόφιλα (Ackerman, 2000). Τα είδη που επικονιάζονται από τον άνεμο και το νερό παράγουν γενικά περισσότερη γύρη σε σύγκριση με τα είδη που επικονιάζονται με ζώα. Η ποσότητα της γύρεως που παράγεται σε ορισμένα είδη δένδρων που γονιμοποιούνται από τον άνεμο είναι τεράστια. Η ανεμόφιλη γύρη αποτελεί σημαντικό κίνδυνο όσον αφορά τις αλλεργίες σε αυτήν καθώς σε ευνοϊκές συνθήκες, μπορεί να ανυψωθεί στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, εκπέμπεται σε μεγάλες ποσότητες και μπορεί να ταξιδέψει σε μεγάλες αποστάσεις (χιλιάδες χιλιόμετρα) σε σχέση με τις αρχικές εκπομπές (Bousquet et al., 2008). Δείγματα γύρεως έχουν συλλεχθεί σε περιοχές της Αρκτικής και της Ανταρκτικής, πάνω από 2.000 χιλιόμετρα μακριά από τα πλησιέστερα φυτά (Linskens 1995).

Οι περισσότεροι γυρεόκοκκοι αποτελούνται από τρία διακριτά μέρη: το κεντρικό κυτταροπλασματικό μέρος με τον πυρήνα, υπεύθυνο για τη γονιμοποίηση και ένα διπλό τοίχωμα, ένα εσωτερικό και ένα εξωτερικό (Εικόνα 1.2). Το τοίχωμα των γυρεόκοκκων διακρίνεται στην επιφανειακή στιβάδα (pollenkitt), το εξωτερικό στρώμα που ονομάζεται εξίνη (exine) και το εσωτερικό στρώμα που ονομάζεται ιντίνη (pectocellulosic intine) (Kapp, 1969). Η εξίνη αποτελείται από την σποροπολλενίνη (sporopollenin), η οποία είναι ένα βιοπολυμερές-αποτέλεσμα οξειδωτικού πολυμερισμού καρωτένιων και εστέρων καρωτένιων. Η σποροπολλενίνη είναι από τα πιο ανθεκτικά οργανικά υλικά που είναι γνωστά, καθώς μπορεί να αντέξει σε υψηλές θερμοκρασίες και σε ακραία οξύτητα και αλκαλικότητα, ενώ παρουσιάζει μειωμένη ανθεκτικότητα μόνο στην οξείδωση και τη μηχανική τριβή (Γερασιμίδης, 2004). Και οι τρεις περιοχές του τοιχώματος

περιέχουν εξωκυτταρικά συστατικά, ιδιαίτερα μια σειρά πρωτεϊνών συμπεριλαμβανομένων των ενζύμων. Το τοίχωμα των γυρεόκοκκων δεν είναι απλώς ένα παθητικό προστατευτικό στρώμα αλλά ένα δυναμικό σύστημα που εκτελεί διάφορες ζωτικές λειτουργίες. Είναι ένα από τα πιο πολύπλοκα συστήματα τοιχωμάτων που συναντώνται στα φυτά.



Εικόνα 1.2. Διαφορετικές οπτικές των γυρεόκοκκων σημύδας. α) Εικόνα μικροσκοπίου φωτός (light microscope) στο νερό. β) Εικόνα με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο ενός μόνο γυρεόκοκκου. γ) Σχηματική τομή με τα κύρια συστατικά ενός κόκκου γύρεως σημύδας (Faegri & Iversen, 1992 και Palynological Database). Η κόκκινη γραμμή κλίμακας είναι 10 μm .

1.2.1. Χαρακτηριστικά γυρεόκοκκων

Οι γυρεόκοκκοι εμφανίζονται σε ένα ευρύ φάσμα μεγεθών, σχημάτων και αναγλύφου επιφάνειας, ανάλογα με τις διαφορετικές απαιτήσεις επικονίασης και τους τρόπους μεταφοράς. Τα σημαντικά χαρακτηριστικά για την αναγνώριση των τύπων γύρεως είναι το μέγεθος, το σχήμα, ο αριθμός των ανοιγμάτων (apertures) και το ανάγλυφο της επιφάνειας. Ένα από τα εμφανή δομικά χαρακτηριστικά των γυρεόκοκκων είναι η «διακόσμηση» (pollen ornamentation) του τοιχώματος που σχηματίζεται από το εξωτερικό τμήμα της εξίνης (Cresti et al. 1992). Τα ανοίγματα εμφανίζονται στο τοίχωμα των γυρεόκοκκων και από αυτά «διαφεύγουν» οι αρσενικοί γαμέτες κατά τη διάρκεια της επικονίασης. Υπάρχουν δύο παρατηρήσιμοι τύποι: οι πόροι, οι οποίοι είναι κυκλικοί στην όψη και οι κόλποι, που έχουν τη μορφή επιμήκων ανοιγμάτων. Ένας κόκκος γύρεως μπορεί να έχει πολλά ανοίγματα και μερικές φορές οι πόροι και οι κόλποι εμφανίζονται μαζί. Όσον αφορά, το σχήμα, οι περισσότεροι κόκκοι γύρεως είναι σφαιρικοί, ωοειδείς, τριγωνικοί ή δισκοειδείς. Υπάρχουν πολλές παραλλαγές σε αυτά τα βασικά γεωμετρικά θέματα, όπως επιμήκη και πεπλατυσμένα.



Εικόνα 1.3. Σχήμα γυρεόκοκκων (Charles, Craigie, 2008, Hoen, 1999, Edlund et al., 2004).

Η εξωτερική όψη των γυρεόκοκκων ποικίλλει ως προς τη μορφολογία και το μέγεθος, με διαμέτρους σωματιδίων 3–250 μm . Τα τυπικά μεγέθη των ανεμόφιλων γυρεόκοκκων κυμαίνονται από 20 έως 60 μm (Shukla et al., 1998), αλλά και μεγάλοι κόκκοι γύρεως όπως η γύρη πεύκου (*Pinus*) ή ερυθρελάτης (*Picea*) με διαμέτρους περίπου 100 μm μεταφέρονται με τον άνεμο. Το μέγεθος των γυρεοκόκκων μπορεί να παρουσιάζει διαφορές ακόμη και εντός είδους. Η γύρη είναι επομένως αρκετά μεγάλη σε σύγκριση με άλλα κοινά αερολύματα π.χ. ορυκτή σκόνη (100 nm-10 μm) ή καύσης βιομάζας (<1 μm) (Boucher, 2015).

Πίνακας 1.3. Κατηγοριοποίηση μεγέθους γυρεόκοκκων (Halbritter et al., 2018).

Κατηγοριοποίηση μεγέθους	βάσει	Διάμετρος (μm)
Πολύ μικρή		<10
Μικρή		10-25
Μεσσαίου μεγέθους		26-50
Μεγάλη		51-100
Πολύ μεγάλη		>100

1.3. Επίδραση περιβαλλοντικών συνθηκών στη γύρη

Η φαινολογία είναι η μελέτη του χρονοδιαγράμματος των γεγονότων του κύκλου ζωής όλων των ζωντανών οργανισμών. Ο κύκλος ζωής ενός οργανισμού είναι η χρονική περίοδος που περιλαμβάνει μια γενεά μέσω της αναπαραγωγής, όπως η έκπτυξη οφθαλμών, η ανθοφορία. Οι εποχιακές και κλιματικές αλλαγές είναι μερικές από τις αβιοτικές συνιστώσες του περιβάλλοντος που επηρεάζουν τους ζωντανούς ή βιοτικούς οργανισμούς. Οι τρεις κύριοι αβιοτικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη φαινολογία είναι το ηλιακό φως, η θερμοκρασία και οι

κατακρημνίσεις (βροχόπτωση, χιονόπτωση, κ.λπ.). Η θερμοκρασία επηρεάζει την αναπαραγωγική προσπάθεια των φυτών, καθώς παρατηρείται αυξημένη αναπαραγωγική απόδοση όσον αφορά την παραγωγή άνθους και γύρεως κάτω από συνθήκες υψηλότερης θερμοκρασίας. Ως εκ τούτου, μπορεί εύλογα να υποτεθεί ότι η Παγκόσμια Κλιματική Αλλαγή επηρεάζει το χρόνο και την παραγωγή γύρεως (Emberlin, 1994, Huynen, 2003).

Τόσο το κλίμα, όσο και οι μετεωρολογικές συνθήκες, επομένως, διαδραματίζουν σπουδαίο ρόλο στην παραγωγή, την απελευθέρωση και τη βιοδιαθεσιμότητα των αλλεργιογόνων ουσιών που προέρχονται από τη γύρη. Τα φυτά διακρίνουν τη μέρα από τη νύχτα μέσω φωτοϋποδοχέων, δηλαδή χρωστικών που συλλαμβάνουν διαφορετικά μήκη κύματος προάγοντας ή αναστέλλοντας την ανθοφορία. Αυτές οι χρωστικές συγχρονίζονται με τις βιολογικές δραστηριότητες στον κύκλο της ημέρας και της νύχτας. Τα φυτά ανταποκρίνονται στη διάρκεια της ημέρας υπερβαίνοντας ένα κρίσιμο όριο στα τέλη της άνοιξης ή στις αρχές του καλοκαιριού και εξασφαλίζοντας χρόνο για την ωρίμανση των σπόρων. Η αύξηση της έντασης του φωτός κατά την άνοιξη και τις αρχές του καλοκαιριού είναι πιθανό να επηρεάσει την ανθοφορία στα καλοκαιρινά ανθοφόρα φυτά και να τροποποιήσει την επίδραση της φωτοπεριόδου (Oh JW, 2022).

Οι ανθήρες ανταποκρίνονται στις καιρικές συνθήκες και όταν οι συνθήκες είναι βέλτιστες για επικονίαση, ανοίγουν και απελευθερώνουν γύρη. Εάν οι καιρικές συνθήκες είναι ευνοϊκές για πρόωμη επικονίαση, οι ώριμοι ανθήρες θα απελευθερώσουν λιγότερο ώριμες γύρες με λιγότερα αλλεργιογόνα. Διαφορετικά, όταν οι καιρικές συνθήκες καθυστερούν το άνοιγμα των ανθών, απελευθερώνονται πιο ώριμες γύρες με περισσότερα αλλεργιογόνα (Ackerman, 2000).

1.4. Επιπτώσεις της γύρεως

Η μελέτη της έναρξης, της διάρκειας και του τέλους της εποχής της γύρεως είναι σημαντική για την αξιολόγηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στα φυτά. Παράλληλα, είναι ύψιστης σημασίας για τη διαχείριση αλλεργικών ασθενειών, όπως η αλλεργική ρινίτιδα και το άσθμα, και διαδραματίζει βασικό ρόλο στην ιατρική, όπως στην περίπτωση των ρινικών αλλεργιογόνων προκλήσεων (Auge et al., 2018) και στην ανοσοθεραπεία αλλεργιογόνων (Pfaar et al., 2018).

1.4.1. Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία

Η γύρη είναι μια πρωτεϊνική ουσία του περιβάλλοντος, αβλαβής για τους μη αλλεργικούς ανθρώπους. Η ατμοσφαιρική γύρη θεωρείται αλλεργιογόνος όταν

προκαλεί μη φυσιολογική αντίδραση ποικίλης σοβαρότητας ενός ατόμου, επηρεάζοντας το αναπνευστικό σύστημα (Bousquet et al., 2008).

Οι διαστάσεις και η βιοχημική σύνθεση της γύρεως έχουν οδηγήσει σε πολλές μελέτες σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις τους στην ανθρώπινη υγεία. Ως μέρος των βιολογικών σωματιδίων αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα, η γύρη είναι από τα σημαντικότερα αλλεργιογόνα (allergens) στις αλλεργικές παθήσεις-ασθένειες. Ιδιαίτερα σημαντική είναι και η συνύπαρξη γυρεόκοκκων με άλλα σωματίδια (π.χ. σκόνη της Σαχάρας, άλας κλπ.) καθώς μπορεί να δημιουργήσει σύμπλοκα τα οποία ενισχύουν την αλλεργική αντίδραση και επομένως μπορεί να επηρεάζουν περισσότερους ανθρώπους (ακόμα και λιγότερο ευαίσθητους) ή τους ίδιους σε μεγαλύτερο βαθμό. Αν και η παγκόσμια συνεισφορά της γύρεως στις διαδικασίες νεφών θεωρείται χαμηλή, η γύρη θα μπορούσε να είναι σημαντική σε τοπική και εποχιακή κλίμακα (Hoose et al., 2010). Η διερεύνηση και η βελτίωση της κατανόησης των ετήσιων ρυθμών των φυτών και της κατανομής της ατμοσφαιρικής γύρεως είναι επομένως πολύτιμη όχι μόνο για τους πάσχοντες από αλλεργίες αλλά και για την επιστημονική κοινότητα.

Η εκδήλωση αλλεργίας στις γύρεις εξαρτάται από:

- τη συγκέντρωση της γύρεως στην ατμόσφαιρα (εποχή, ώρα, καιρικές συνθήκες),
- το μέγεθος των γυρεόκοκκων,
- το είδος του φυτού – διάρκεια ανθοφορίας,
- το βαθμό ευαισθητοποίησης του ατόμου στη συγκεκριμένη γύρη,
- τη χρονική διάρκεια ευαισθητοποίησης.

Η αλλεργία στη γύρη (επίσης γνωστή ως hay fever) είναι μια κοινή ασθένεια που προκαλείται από αντίδραση υπερευαισθησίας της αναπνευστικής οδού και των επιπεφυκότων των οφθαλμών στους γυρεόκοκκους. Οι προστατευτικοί μηχανισμοί στους ρινικούς βλεννογόνους και στις ανώτερες τραχειοβρογχικές διόδους αφαιρούν τα περισσότερα από τα μεγαλύτερα σωματίδια, και μόνο αυτά με μέγεθος 5 μm ή μικρότερο φτάνουν στις κυψελίδες των πνευμόνων. Τα αλλεργιογόνα μπορούν να παγιδευτούν στο ρινοφάρυγγα (nasopharynx) και την τραχεία οδηγώντας σε ανεπιθύμητες αντιδράσεις, όπως οι αλλεργική ρινίτιδα, αλλεργική επιπεφυκίτιδα, αλλεργικό βρογχικό άσθμα και σπανιότερα κνίδωση.

Τα αλλεργικά άτομα, σε κάποια χρονική φάση της ζωής τους εκτίθενται σε ορισμένα αλλεργιογόνα και ευαισθητοποιούνται προς αυτά, με αποτέλεσμα να παράγονται ειδικά αντισώματα, οι ανοσοσφαιρίνες IgE, από το ανοσοποιητικό σύστημα. Σε μια επόμενη έκθεση του ευαισθητοποιημένου ατόμου στα ίδια αλλεργιογόνα, τα αλλεργιογόνα ενώνονται με τις ειδικές για αυτά ανοσοσφαιρίνες πάνω σε μια ομάδα κυττάρων των ιστών, τα μαστοκύτταρα

(Γκέλης, 1988). Συγκεντρώσεις γύρεως τόσο χαμηλές όσο 5-20 γυρεόκοκκοι ανά κυβικό μέτρο (m³) είναι δυνατόν να επηρεάσουν τους ασθενείς, οι οποίοι είναι ευαίσθητοι σε αλλεργίες και να εμφανίσουν συμπτώματα (Oswalt, Marshall, 2008). Επιπλέον, υπάρχουν ενδείξεις ότι κάτω από υψηλές συνθήκες υγρασίας ή κατά τη διάρκεια υψηλών βροχοπτώσεων, οι γυρεόκοκκοι μπορούν να απελευθερώσουν μέρος του περιεχομένου τους προκαλώντας έτσι ασθματικές αντιδράσεις. Τις τελευταίες δεκαετίες, η αύξηση του επιπολασμού των ασθενειών και αλλεργιών μπορεί να σχετίζεται με γενετικούς παράγοντες και τις συνθήκες υγείας ενός πληθυσμού, αλλά και στην αυξημένη χρήση αντιβιοτικών και τον εμβολιασμό και τις αλλαγές στον τρόπο ζωής, τις διατροφικές συνήθειες και την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Η αλλεργία στη γύρη δεν μπορεί να θεραπευτεί πλήρως. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετές θεραπείες για την ανακούφιση των συμπτωμάτων. Υπολογίζεται ότι ο συνολικός επιπολασμός (prevalence) της αλλεργίας στη γύρη μεταξύ των ευρωπαίων πολιτών είναι περίπου 15-20% (Huynen et al., 2003). Οι Gilles et al. (2020) δηλώνουν ότι η έκθεση στη γύρη αποδυναμώνει την ανοσία έναντι ορισμένων ιών που σχετίζονται με το αναπνευστικό σύστημα, όπως είναι ο κορωνοϊός (COVID-19), μειώνοντας την αντική απόκριση της ιντερφερόνης.

1.4.2. Επιδράσεις στο κλίμα

Ως ένας σημαντικός τύπος βιογενών σωματιδίων, η γύρη έχει διάφορες κλιματικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις (IPCC, 2013). Πέρα από το ζήτημα της δημόσιας υγείας, η μεταφορά γύρεως μέσω του αέρα διαδραματίζει βασικό ρόλο στη δυναμική των οικοσυστημάτων με σημαντικές επιπτώσεις στη γεωργία, τη δασοκομία (forestry) και τη γεωγραφική διασπορά (dispersion) των φυτών (Garzia-Mozo, 2011, Oteros et al., 2014).

Εκτός από τις γνωστές αλλεργιογόνες επιπτώσεις, η γύρη επηρεάζει επίσης το κλίμα (IPCC, 2013, WHO, 2003). Οι Steiner et al. (2015) πρότειναν ότι «θραύσματα» γύρεως δρουν ως πυρήνες συμπύκνωσης νέφους (CCN) και επομένως επηρεάζουν τις οπτικές ιδιότητες και τη διάρκεια ζωής του νέφους. Η γύρη μπορεί επιπλέον να αλλάξει τις διαδικασίες σχηματισμού νεφών πάγου ενεργώντας ως πυρήνες συμπύκνωσης πάγου (IN) (von Blohn et al., 2005; Diehl et al., 2001, 2002). Ο αριθμός των ανθρώπων που υποφέρουν από ασθένειες που προκαλούνται από τη γύρη αυξάνεται (Schmidt, 2016) και ο επιπολασμός των αλλεργιών στη γύρη είναι πιθανό να αυξηθεί περαιτέρω λόγω της κλιματικής αλλαγής καθώς η περίοδος επικονίασης γίνεται μεγαλύτερη και η παραγωγή γύρεως αυξάνεται (Lake et al., 2018).

Η παραγωγή γύρεως εξαρτάται από το μέγεθος του φυτού στην αρχή της ανθοφορίας (Basky and Magyar, 2008, Fumanal et al., 2007), το οποίο εξαρτάται

από τους διαθέσιμους πόρους κατά την περίοδο ανάπτυξης (ηλιακή ακτινοβολία, CO₂, νερό και θρεπτικές ουσίες). Οποιαδήποτε καταπόνηση λόγω χαμηλής θερμοκρασίας ή ξηρασίας περιορίζει το μέγεθος των φυτών και συνεπώς και την παραγωγή γύρεως τους (Deen et al., 1998).

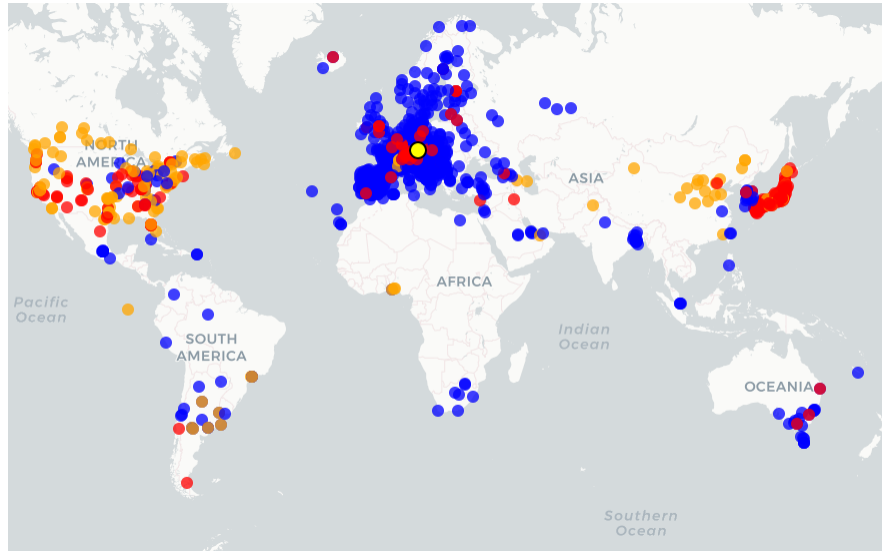
Η αύξηση της θερμοκρασίας και οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του CO₂ ευνοούν την ανάπτυξη των φυτών και την παραγωγή γύρεως. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες μπορούν να επηρεάσουν τη διάρκεια της περιόδου γύρεως με ανάλογες αλλαγές στη διάρκεια της ανθρώπινης έκθεσης σε αερομεταφερόμενα αλλεργιογόνα (αεροαλλεργιογόνα, aeroallergens) και στην κατανομή των φυτών. Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα και το κλίμα ενδέχεται να αυξήσουν την εποχιακή ένταση του φορτίου γύρεως (τη συγκέντρωση της αλλεργιογόνου γύρεως που παράγεται) (Ziska et al, 2019).

1.5. Οργανολογία

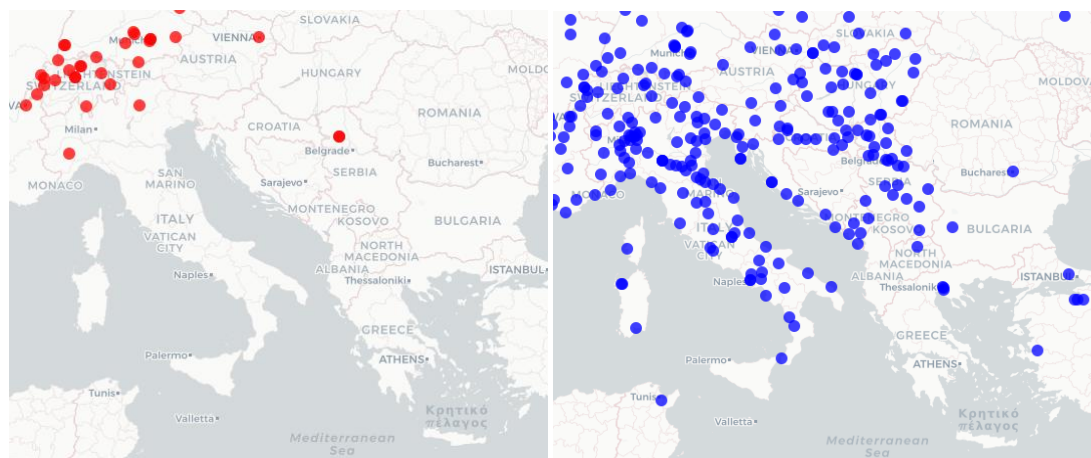
Η διάκριση μεταξύ διαφορετικών τύπων αιωρούμενων βιολογικών σωματιδίων είναι δυνατή με διάφορες μεθόδους, όπως για παράδειγμα η διαφορική σκέδαση φωτός (differential light scattering) (Wyatt, 1968), η φασματοσκοπία διάσπασης που προκαλείται από δέσμη laser (laser-induced breakdown spectroscopy) (Samuels et al., 2003), η φωτοακουστική φασματοσκοπία υπέρυθρου μετασχηματισμού Fourier (Fourier transform infrared photoacoustic spectroscopy) (Thompson et al., 2003), και τέλος, η φασματοσκοπία Raman (Raman spectroscopy) (Laucks et al., 2000) και LIDAR επαγόμενου φθορισμού (Laser induced Fluorescence, LIF) (§1.5.2.2.), (Manninen et al., 2008). Η παρακολούθηση της γύρεως στην ατμόσφαιρα βασίζεται σε μετρήσεις οι οποίες γίνονται με τεχνικές τηλεπισκόπησης (§1.5.2.) ή όργανα επιτόπιων μετρήσεων (in situ) (§1.5.3.). Η κατακόρυφη κατανομή της γύρεως στην ατμόσφαιρα είναι δυνατόν να ανιχνευθεί με την τεχνική LIDAR (LIght Detection And Ranging) (§1.5.2.1.) (Bohlmann et al., 2019, 2021). Τα φάσματα φθορισμού της γύρεως στην ατμόσφαιρα έχουν ανιχνευθεί με μετρήσεις από LIF LIDAR (Saito et al., 2018, Richardson et al., 2019).

Το 2021, υπήρχαν περισσότεροι από 1000 ενεργοί σταθμοί παρακολούθησης γύρεως παγκοσμίως (Buters et al., 2018). Οι περισσότεροι σταθμοί παρακολούθησης γύρεως λειτουργούν με τη χρήση συσκευών χειροκίνητης μικροσκοπίας που βασίζονται στην αρχή του Hirst (Hirst, 1952), (§1.5.3.3.). Διατίθενται επίσης αυτόματες συσκευές μέτρησης γύρεως, με δυνατότητα online παρακολούθησης της γύρεως. Αυτές οι τεχνικές βασίζονται στην αναγνώριση της εικόνας (pollen monitor BAA500, Oteros et al., 2015), τα φάσματα φθορισμού (Wideband Integrated Bioaerosol Sensor, WIBS, Gabey et al., 2010, Savage et al., 2017, και το σύστημα Plair Rapid-E, Šauliene et al., 2019), στην ψηφιακή ολογραφία

(digital holography) (Swisens Poleno, Sauvageat et al., 2020), ή στη σκέδαση φωτός (pollen monitor KH-3000-01, Miki and Kawashima, 2021). Αυτά τα όργανα ανίχνευσης γύρεως συνήθως είναι στο έδαφος ή/και στο επίπεδο της οροφής ενός σταθμού.



Εικόνα 1.4. Διαδραστικός Παγκόσμιος Χάρτης Σταθμών Παρακολούθησης Γύρεως, https://oteros.shinyapps.io/pollen_map.

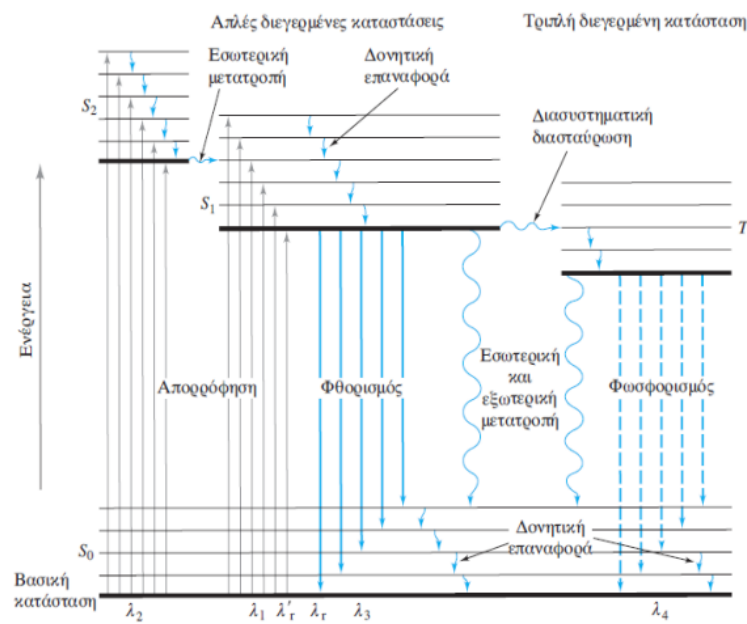


Εικόνα 1.5. Χάρτης σταθμών παρακολούθησης γύρεως στην Ελλάδα και την Ελβετία. Αριστερά: Οι αυτοματοποιημένοι σταθμοί μέτρησης της γύρεως (κόκκινο), Δεξιά: Οι σταθμοί μέτρησης γύρεως με το όργανο Hirst (Lanzoni-Burkard) (μπλε) (Πηγή: EAACI).

1.5.1. Φθορισμός

Ιδιαίτερα σημαντική για την κατανόηση των οργάνων όπως περιγράφονται παρακάτω είναι η αναφορά στο φαινόμενο του φθορισμού. Φθορισμός είναι η εκπομπή φωτός από ένα σώμα που έχει απορροφήσει ηλεκτρομαγνητική

ακτινοβολία μικρότερου μήκους κύματος, δηλαδή μεγαλύτερης ενέργειας, βασίζεται στην ύπαρξη χρωμοφόρων ομάδων μέσα στο μόριο (van Holde et al., 2010, Βιοφυσική, Εκδόσεις Έμβρυο) και προκαλείται από ισχυρή UV ακτινοβολία laser. Η ακτινοβολία φθορισμού συνήθως ανιχνεύεται σε γωνία 90° ως προς την προσπίπτουσα δέσμη, με τη βοήθεια χρωματικών φίλτρων που βοηθούν να ανιχνευτούν μόνο τα φωτόνια που προκύπτουν από το φαινόμενο του φθορισμού (Newman, 2013).



Εικόνα 1.6. Ενεργειακό διάγραμμα τυπικού φωτοφωταυγάζοντος μορίου (διάγραμμα Jablonski).

1.5.2. Τεχνικές Τηλεπισκόπησης

1.5.2.1. Τεχνική LIDAR

Η τεχνική LIDAR (Light Detection And Ranging), ως ισχυρό εργαλείο στην τεχνολογία τηλεπισκόπησης LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) έχει εφαρμοσθεί ευρέως στην παρακολούθηση παραμέτρων του περιβάλλοντος, καθώς και χαρακτηριστικών της ατμόσφαιρας, όπως είναι οι αέριοι ρύποι, η υγρασία, ο άνεμος και τα βιοσωματίδια. Η μέθοδος αυτή έχει υψηλή χρονική και χωρική ανάλυση και ακρίβεια μετρήσεων από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι περίπου 10 έως 20 χιλιόμετρα (Wan et al., 2015, Joshi et al., 2013, Wojtanowski et al., 2015).

Η τεχνική LIDAR συνήθως χρησιμοποιεί τρεις διαφορετικές οπτικές αλληλεπιδράσεις, τη σκέδαση (scattering), την απορρόφηση (absorption) και την εκπομπή (emission). Η παρουσία γύρεως στην ατμόσφαιρα έχει συσχετιστεί με δεδομένα ελαστικής οπισθοσκέδασης (elastic backscattering) (αποπόλωση, depolarization) ή/και δεδομένα Raman των παρατηρήσεων LIDAR (Cao et al.,

2010). Είναι ευρέως γνωστό ότι οργανικά μόρια όπως η γύρη είναι δυνατόν να εκπέμπουν το δικό τους χαρακτηριστικό σήμα (φθορισμός) (Wolfbeis, 1985).

Η ανάκτηση των οπτικών ιδιοτήτων των αιωρούμενων σωματιδίων υπολογίζεται με τις παρακάτω εξισώσεις αναλόγως εάν πρόκειται για ελαστική οπισθοσκέδαση (μέθοδος Klett) ή ανελαστική οπισθοσκέδασης (μέθοδος Raman).

Η εξίσωση ελαστικής οπισθοσκέδασης (μέθοδος Klett) δίνεται από τη σχέση (Klett, 1981):

$$S(R) = P(R, \lambda) R^2 = E \cdot n \cdot O(R) \beta(R) [\beta_{\text{par}}(R) + \beta_{\text{mol}}(R)] \cdot \exp[-2 \int_0^R (\alpha_{\text{aer}}(r) + \alpha_{\text{mol}}(r)) dr]$$

Αντίστοιχα, η εξίσωση ανελαστικής οπισθοσκέδασης (Raman), κατά την οποία η ακτινοβολία laser σκεδάζεται ανελαστικά από τα μόρια με μετατόπιση στο μήκος κύματος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας, δίνεται από τη σχέση (Papayannis et al., 1990, Ansmann et al., 1992):

$$P(z, \lambda) = \frac{E \cdot n(\lambda)}{z^2} \cdot O(z, \lambda) \cdot \beta(z, \lambda) \cdot \exp[-2 \int_0^z \alpha(z, \lambda) dz]$$

Οι οπτικές ιδιότητες οι οποίες μπορούν να μετρηθούν με την τεχνική LIDAR αναγράφονται στον Πίνακα 1.4.

Πίνακας 1.4. Οπτικές ιδιότητες αερολυμάτων.

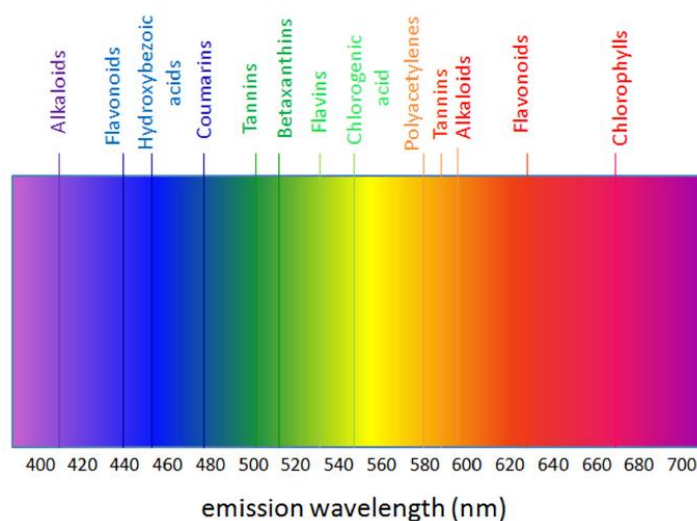
Οπτικές ιδιότητες αερολυμάτων από LIDAR			Δίνει πληροφορίες για
Συντελεστής οπισθοσκέδασης	Backscatter coefficient	b_{aer}	Ένταση οπισθοσκεδαζόμενου σήματος
Συντελεστής εξασθένησης	Extinction coefficient	a_{aer}	Εξασθένηση της ακτινοβολίας του laser
Λόγος Lidar	Lidar ratio (LR)	$a_{\text{aer}} / b_{\text{aer}}$	Τύπος του αερολύματος (σχήμα, μέγεθος, σύσταση)
Εκθέτης Ångström	Ångström exponent	$\mathring{A}_{b,a}$	Μέγεθος αερολύματος
Οπτικό βάθος αερολύματος	Aerosol optical depth	AOD	Φορτίο αερολύματος στην ατμόσφαιρα
Λόγος Γραμμικής Αποπόλωσης Σωματιδίων	Particle Linear Depolarization ratio	PLDR	Σχήμα αερολύματος

Ο λόγος Lidar υπολογίζεται ως $LR = \frac{a_{\text{aer}}}{b_{\text{aer}}}$ και ο λόγος PLDR υπολογίζεται ως $\delta = \frac{P_{\perp}}{P_{\parallel}}$, όπου P_{\perp} και P_{\parallel} είναι η ένταση του οπισθοσκεδαζόμενου φωτός στις κάθετες και παράλληλες πολώσεις που είναι κάθετες μεταξύ τους (van de Hulst, 1981).

1.5.2.2. Τεχνική LIF LIDAR

Ως σημαντικό μέρος των τεχνικών οπτικής ανάλυσης, η τεχνική laser επαγόμενου φθορισμού LIF (Laser induced Fluorescence) LIDAR, δηλαδή ο συνδυασμός LIDAR και επαγόμενου φθορισμού με υπεριώδες laser, μπορεί να ανιχνεύσει αποτελεσματικά τη συγκέντρωση βιολογικών αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα (Piovesana et al., 2015, Gupta et al., 2012, Kumar et al., 2013).

Καθώς οι διάφοροι τύποι γύρεως παρουσιάζουν διαφορετικά φάσματα (Εικόνα 1.7) φθορισμού, είναι δυνατή η ανίχνευση και διάκριση των συγκεντρώσεων και των τύπων των γυρεόκοκκων στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα 1.7. Εκπομπή φθορισμού που αποδίδεται σε διαφορετικές κατηγορίες φθοροφόρων σύμφωνα με τους García-Plazaola et al. (2015).

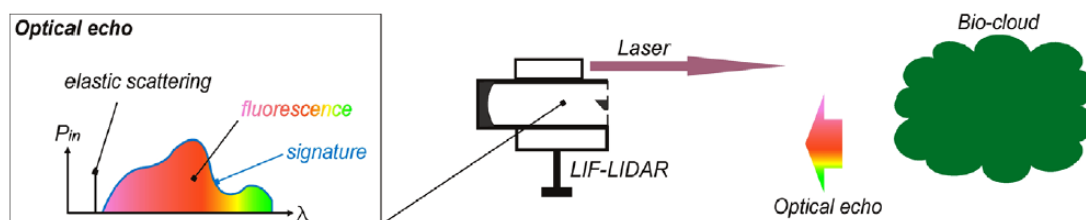
Μεταξύ των 20 αμινοξέων, η τρυπτοφάνη, η φαινυλαλανίνη και η τυροσίνη είναι τα μόνα που μπορούν να φθορίζουν αρκετά, αφότου υποβληθούν σε επεξεργασία με υπεριώδη ακτινοβολία. Η τρυπτοφάνη είναι το μόνο αμινοξύ που δείχνει εκπομπή φθορισμού μεταξύ 300-450 nm (διέγερση στα 280 nm) (Toprak and Schnaiter, 2013).

Πίνακας 1.5. Κατηγορίες φθοροφόρων με την αντίστοιχη περιοχή φθορισμού (O'Connor et al., 2011).

Περιοχή φθορισμού (nm)	Κατηγορίες φθοροφόρων
415-420	DNA, φαινόλες, τερπενοειδή
450-500	NADH/NADPH, κυτταρίνη, φυλλικό οξύ, αραχιδονικό, τερπενοειδή, φλαβονοειδή
500-600	Καροτενοειδή, λιποχρωστικές, φλαβίνες
620-640	Αζουλένιο
675-680	Χλωροφύλλη-α

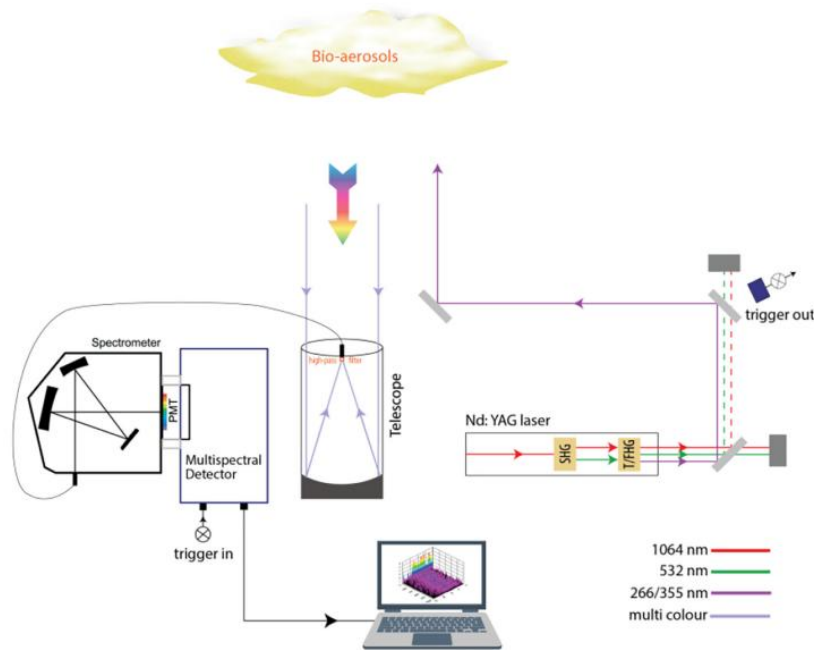
Οι Veselovskii et al. (2021) απέδειξαν ότι η παρουσία γύρεως σε μείγματα αερολυμάτων οδηγεί στην ενίσχυση της οπισθοσκέδασης του φθορισμού, η οποία βοηθάει στη διάκριση της γύρεως από τα σωματίδια σκόνης.

Σύμφωνα με πειραματικές μελέτες, οι γυρεόκοκκοι παρουσιάζουν διέγερση στο υπεριώδες της φασματικής περιοχής 260-370 nm, με αποτέλεσμα τα φάσματα φθορισμού να κυμαίνονται από 280 nm έως 700 nm (Southworth et al., 1969, Melnikova et al., 1997).



Εικόνα 1.8. Αρχή της τεχνικής LIF LIDAR (Wojtanowski et al., 2015).

Στην περίπτωση της τεχνικής LIF LIDAR, οι παλμοί του laser κατευθύνονται στο νέφος γύρεως στην ατμόσφαιρα που ρυθμίζεται από κάτοπτρα, και εάν υπάρχουν πολλοί τύποι γύρεως στο νέφος, θα εκπέμψει φθορισμό σε διάφορα μήκη κύματος (Εικόνα 1.9). Το οπισθοσκεδαζόμενο σήμα φθορισμού συλλέγεται από ένα τηλεσκόπιο, εστιάζεται από έναν φακό και η κατεύθυνση λήψης ρυθμίζεται από κάτοπτρα. Καθώς τα οπισθοσκεδαζόμενα σήματα LIDAR περιέχουν τα φθορίζοντα και ελαστικά σήματα, χρησιμοποιείται ένας διαχωριστής δέσμης ώστε να διαχωριστούν τα σήματα σε δύο κανάλια. Στη συνέχεια, χρησιμοποιείται ένα φασματόμετρο για το διαχωρισμό των σημάτων του φάσματος που οδηγούνται σε ένα πολυκαναλικό ανιχνευτή συστοιχίας φωτοπολλαπλασιαστών (multichannel photomultiplier tube, PMT). Στο τέλος, τα σχήματα των σωματιδίων γύρεως μπορούν να αξιολογηθούν μέσω του φαινομένου της αποπόλωσης του προσπίπτοντος laser (Rao et al., 2017).

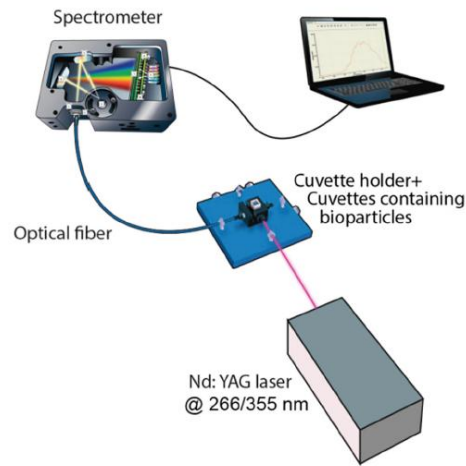


Εικόνα 1.9. Απεικόνιση του συστήματος laser επαγόμενου φθορισμού LiF LIDAR (Richardson et al., 2019).

1.5.3. Όργανα *in situ*

1.5.3.1. Σύστημα LIF *in situ* (Φάσμα φθορισμού δειγμάτων βιοσωματιδίων)

Για την καταγραφή των φασμάτων φθορισμού δειγμάτων βιοσωματιδίων, χρησιμοποιείται το σύστημα Laser-Induced Fluorescence *in situ*, όπου μια δέσμη laser Nd:YAG, μήκους κύματος εκπομπής 355 ή 266 nm αλληλεπιδρά με τα δείγματα βιοσωματιδίων (π.χ. γύρεως, βακτηρίων, μύκητες, κλπ.), αναμιγμένα με απεσταγμένο νερό, τοποθετούνται σε μια κυψελίδα. Τα φάσματα φθορισμού των βιοσωματιδίων συλλέγονται σε γωνία 90° (ως προς τη διεύθυνση εκπομπής της δέσμης laser) από μια οπτική ίνα και τροφοδοτούν ένα φασματόμετρο και καταγράφονται από ένα CCD (Charge-Coupled Device). Τα φάσματα αυτά αφού καταγραφούν, ψηφιοποιούνται και οδηγούνται σε έναν υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία (Εικόνα 1.10) (Richardson et al., 2019).



Εικόνα 1.10. Σύστημα LIF in situ (Richardson et al., 2019).

1.5.3.2. Wide issue bioaerosol sensor (WIBS)

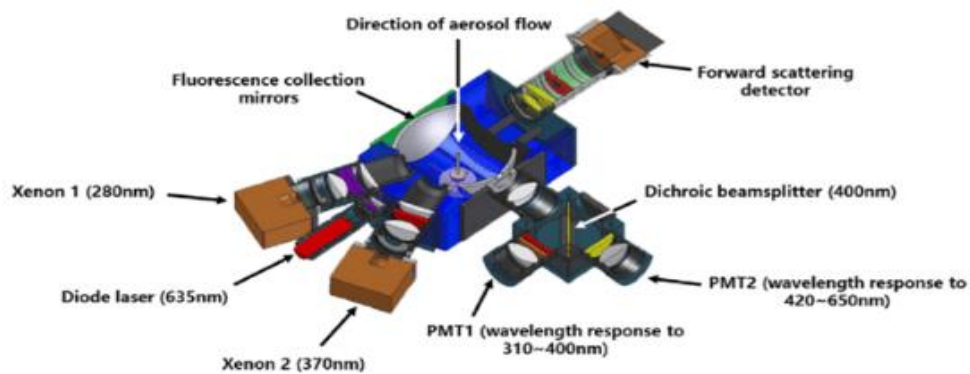
Ένα ακόμη όργανο για την ανίχνευση και τον χαρακτηρισμό βιολογικών αερολυμάτων, όπως τα βακτήρια, οι μύκητες και η γύρη, είναι το όργανο WIBS (Wideband Integrated Bioaerosol Sensor) που βασίζεται στη φασματοσκοπία σκέδασης φωτός και τη μέθοδο του φθορισμού που προκαλείται από την υπεριώδη ακτινοβολία (UV-LIF). Ο αρχικός ανιχνευτής WIBS αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο του Hertfordshire. Το όργανο αυτό μετρά τα βιοσωματίδια της ατμόσφαιρας τα οποία φθορίζουν σε πραγματικό χρόνο, έχει διαφορετικά κανάλια φθορισμού διέγερσης και ανίχνευσης και παρέχει πληροφορίες για τις ιδιότητες του φθορισμού (φάσματα), το μέγεθος και το συντελεστή του σχήματος των σωματιδίων (Savage et al., 2017).



Εικόνα 1.11. Η τελευταία έκδοση του ανιχνευτή WIBS (WIBS-5), όπως κατασκευάζεται από την Droplet Measurement Technologies (DMT).

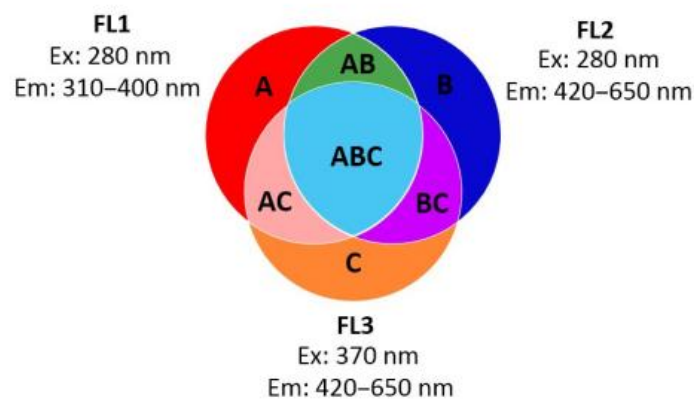
Τα σωματίδια διεγείρονται σε μήκος κύματος 280 nm και 370 nm. Το σκεδαζόμενο φως από το laser (διοδικό) 635 nm καθορίζει το μέγεθος και την ασφαριτικότητα

των σωματιδίων. Δύο φάσματα εκπομπής δίνουν μια λεπτομερή μήτρα διέγερσης-εκπομπής που είναι εξαιρετικά ευαίσθητη σε κοινά φθοροφόρα όπως η τρυπτοφάνη και το NADH (nicotinamide adenine di-nucleotide).



Εικόνα 1.12. Η δομή του οργάνου WIBS (Li et al., 2019).

Το δείγμα αερολυμάτων εισέρχεται στο όργανο και κατευθύνεται μέσω ενός διοδικού laser 635 nm. Τα σωματίδια μεγέθους από περίπου 0,5 έως 20 μm ανιχνεύονται από τον ηλεκτρικό παλμό ενός φωτοπολλαπλασιαστή (photomultiplier tube, PMT), τοποθετημένος 90° από τη δέσμη laser. Η μετρηθείσα ένταση laser (μέγεθος σωματιδίων) ενεργοποιεί δύο λαμπτήρες xenon (Xe1 και Xe2). Οι δύο παλμοί φιλτράρονται οπτικά ώστε να εκπέμπουν στα 280 και 370 nm, αντίστοιχα. Ο φθορισμός που εκπέμπεται από ένα σωματίδιο μετά από κάθε παλμό διέγερσης ανιχνεύεται ταυτόχρονα χρησιμοποιώντας δύο ανιχνευτές PMT. Ο πρώτος PMT φιλτράρεται οπτικά για να ανιχνεύσει τη συνολική ένταση φθορισμού στην περιοχή 310–400 nm και ο δεύτερος PMT στην περιοχή 420–650 nm. Έτσι, ο λαμπτήρας Xe1 παράγει ένα σήμα στα κανάλια FL1 (310–400 nm) και FL2 (420–650 nm), ενώ ο Xe2 παράγει μόνο ένα σήμα στο κανάλι FL3 (420–650 nm) (Gabey et al., 2010).



Εικόνα 1.13. Ταξινόμηση τύπου σωματιδίων (Perring et al., 2015). Ο κάθε μεγάλος κύκλος αντιπροσωπεύει ένα κανάλι φθορισμού (FL1, FL2, FL3). Οι έγχρωμες ζώνες αντιπροσωπεύουν τύπους σωματιδίων που ο καθένας εμφανίζει φθορισμό σε ένα, δύο ή τρία κανάλια.

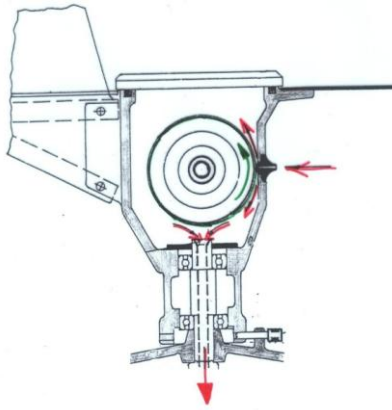
1.5.3.3. Ογκομετρική παγίδα γύρεως (σχέδιο Hirst)

Ένα βασικό όργανο είναι η ογκομετρική γυροπαγίδα τύπου Hirst, η οποία συλλέγει συνεχώς αιωρούμενα σωματίδια σε μια περιστρεφόμενη ταινία κυλίνδρου. Στη συνέχεια, η ταινία συλλέγεται και τα σωματίδια γύρεως αναγνωρίζονται χειροκίνητα και μετρώνται χρησιμοποιώντας οπτικό μικροσκόπιο, συνήθως σε εβδομαδιαία βάση.



Εικόνα 1.14. Ογκομετρική παγίδα γύρεως τύπου Hirst (Πηγή MeteoSwiss).

Πιο συγκεκριμένα, αυτή η παγίδα γύρεως με τη βοήθεια μιας αντλίας, απορροφά δέκα λίτρα αέρα ανά λεπτό μέσω ενός ανοίγματος 14 x 2 mm. Πίσω από αυτή την υποδοχή εισόδου υπάρχει ένα περιστρεφόμενο τύμπανο στο οποίο υπάρχει μια πλαστική ταινία με επίστρωση πυριτίου. Η γύρη και άλλα οργανικά και ανόργανα σωματίδια που απορροφώνται με τον αέρα κολλάνε σε αυτή τη λωρίδα. Το τύμπανο αλλάζει μία φορά την εβδομάδα και στη συνέχεια αποστέλλεται στο κέντρο ανάλυσης όπου παρασκευάζονται καθημερινά δείγματα χρησιμοποιώντας την ταινία. Τα είδη της γύρεως αναγνωρίζονται και μετρώνται στο μικροσκόπιο και υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις ανά κυβικό μέτρο αέρα. Εκτός από τη γύρη, άλλα οργανικά σωματίδια, όπως σπόρια μυκήτων, βρίσκονται επίσης στη διαφάνεια του δείγματος, καθώς και διάφορα ανόργανα σωματίδια, όπως άμμος από την έρημο Σαχάρα ή κηλίδες αιθάλης.



Εικόνα 1.15. Διατομή μέσω ογκομετρικής παγίδας γύρεως. Τα κόκκινα βέλη αντιπροσωπεύουν τη ροή αέρα και το πράσινο βέλος την περιστροφή του τυμπάνου (Πηγή MeteoSwiss).

Οι περισσότερες παγίδες γύρεως τύπου Hirst είναι τοποθετημένες στο επίπεδο της οροφής και θεωρείται ότι είναι αντιπροσωπευτικές για μια δεδομένη περιοχή, όπως για παράδειγμα σε ακτίνα 30 km (Katelaris et al., 2004).

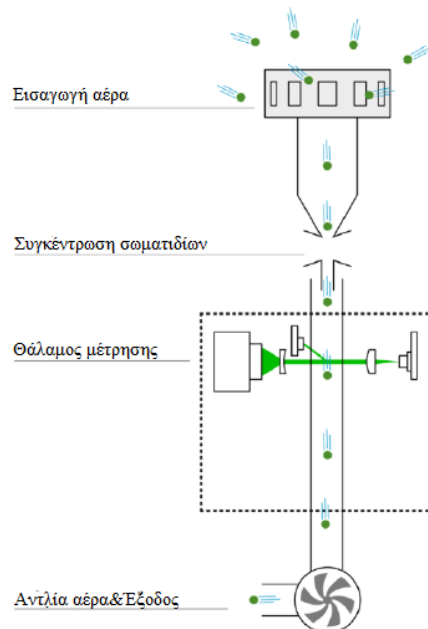
1.5.3.4. Σύστημα μέτρησης σωματιδίων Swisens Poleno

Το Swisens Poleno είναι ένα σύστημα μέτρησης σωματιδίων αερολύματος υψηλής τεχνολογίας που αναπτύχθηκε και παράγεται στην Ελβετία. Είναι ένα ευαίσθητο σύστημα, το οποίο μετρά και ταυτοποιεί τα βιοσωματίδια για εφαρμογές όπως η αυτόματη μέτρηση γύρεως σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα μέτρησης επιτρέπουν την ταξινόμηση των σωματιδίων και τη μακροπρόθεσμη παρακολούθηση των βιοσωματιδίων στον αέρα του περιβάλλοντος.



Εικόνα 1.16. Το αυτοματοποιημένο σύστημα μέτρησης γύρεως Swisens Poleno από την Payerne (Πηγή: <https://swisens.ch/swisenspoleno-jupiter/?lang=en>).

Ο ατμοσφαιρικός αέρας και η γύρη που αυτός περιέχει περιέχει οδηγούνται μέσω μιας αντλίας προς το σύστημα. Οι γυρεόκοκκοι συγκεντρώνονται ανάλογα με το μέγεθός τους και εισάγονται στο θάλαμο μέτρησης και καταμετρώνται καθώς διέρχονται μέσω μιας λεπτής δέσμης Laser. Με αυτόν τον τρόπο, ακόμα και μικρές συγκεντρώσεις υψηλής αλλεργιογόνου δράσης της γύρεως μπορούν να καταμετρηθούν (Εικόνα 1.16).



Εικόνα 1.17. Σχηματική απεικόνιση Swisens Poleno (Πηγή: <https://swisens.ch/swisenspoleno-jupiter/?lang=en>).

Στο θάλαμο μέτρησης, το σκεδαζόμενο φως laser από τα εισερχόμενα βιοσωματίδια ενεργοποιεί τη μέτρηση, μαζί με την παροχή μιας πρώτης εκτίμησης του μεγέθους, της ταχύτητας και της ευθυγράμμισης των σωματιδίων, συνδυάζοντας πληροφορίες από δύο πηγές laser. Στη συνέχεια, δύο εστιασμένες εικόνες (στις 90° η μία από την άλλη) ανακατασκευάζονται χρησιμοποιώντας ψηφιακή ολογραφία (Berg and Videen, 2011) και ο φθορισμός που προκαλείται από την προσπίπτουσα υπεριώδη ακτινοβολία παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση των σωματιδίων. Οι ιδιότητες των σωματιδίων προσδιορίζονται με βάση τις εικόνες αυτές. Τα φάσματα φθορισμού από την υπεριώδη ακτινοβολία μετρώνται σε τρία διαφορετικά μήκη κύματος διέγερσης 280, 365 και 405 nm, και ανιχνεύονται σε πέντε κανάλια 320-380, 400-440, 450-520, 530-600 και 650-750 nm (Sauvageat et al., 2020).

Για την ταυτοποίηση των διαφορετικών τύπων γύρεως, χρησιμοποιείται αλγόριθμος, ο οποίος εκπαιδεύεται με ένα σύνολο δεδομένων που αποτελείται αποκλειστικά από σωματίδια συγκεκριμένου τύπου γύρεως (π.χ. σημύδα). Για τη δημιουργία του συνόλου των δεδομένων εκπαίδευσης συλλέγεται φρέσκια γύρη σημύδας, μετράται με το σύστημα και ο αλγόριθμος μαθαίνει να αναγνωρίζει σωστά τον συγκεκριμένο τύπο γύρεως. Ακριβώς η ίδια διαδικασία πραγματοποιείται και για άλλους τύπους γύρεως. Στο τέλος της εκπαίδευσης, η τεχνητή νοημοσύνη του SwisensPoleno είναι έτοιμη να αναγνωρίσει και να παρακολουθήσει τις «εκπαιδευμένες» ποικιλίες γύρεως αυτόματα και σε πραγματικό χρόνο. Το σύστημα λειτουργεί κυρίως για την κεντρική Ευρώπη, ο αλγόριθμος έχει προσαρμοστεί για την τοπική χλωρίδα και μπορεί να μεταφερθεί και στο υπόλοιπο δίκτυο. Για καλύτερα αποτελέσματα, το δείγμα πρέπει προηγουμένως να έχει καθαριστεί (Πηγή: swisens.ch).

1.6. Μοντέλα πρόγνωσης γύρεως

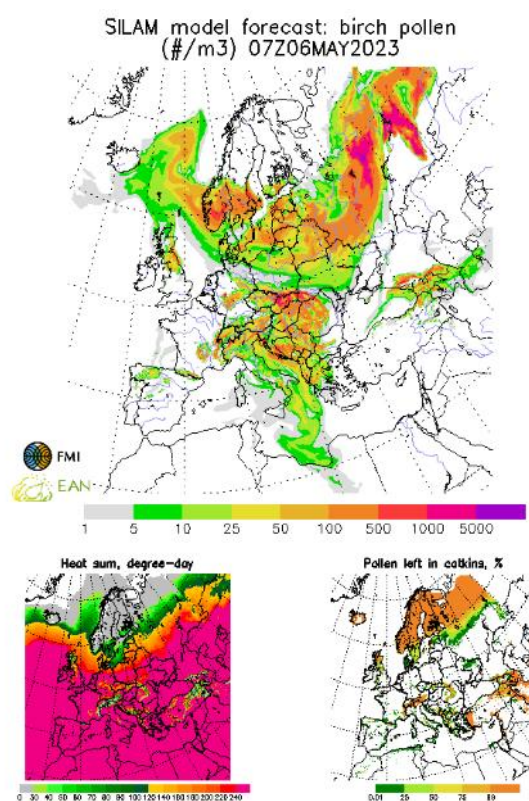
Αν και η ποιότητα των μετεωρολογικών προβλέψεων έχει βελτιωθεί σημαντικά την τελευταία δεκαετία, οι επιπτώσεις των καιρικών μεταβλητών στο φορτίο των αεροαλλεργιογόνων ουσιών δεν είναι πλήρως κατανοητές. Οι καιρικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων των βροχοπτώσεων, της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, της υγρασίας, της ηλιοφάνειας, της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου, μπορεί να αλλάξουν τις συγκεντρώσεις της γύρεως των φυτών και άλλων αλλεργιογόνων, αποτελώντας σημαντικούς μετεωρολογικούς παράγοντες για τη βελτίωση της ακρίβειας μοντέλων πρόβλεψης γύρεως.

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να παρέχεται μια αξιόπιστη αεροβιολογική πρόβλεψη σε ασθενείς με αλλεργίες στη γύρη, ώστε να περιοριστεί η έκθεση σε αυτή. Με αυτόν τον τρόπο, είναι δυνατόν να λαμβάνονται προληπτικά μέτρα ή θεραπείες

που συνιστώνται με πιο έγκαιρο τρόπο ώστε να αποφεύγονται ή να μειώνονται τα συμπτώματα των πασχόντων από αλλεργίες. Η αναγνώριση των διαφόρων τύπων σωματιδίων αναπτύσσεται εκτός από τη μέτρηση των κύριων αλλεργιογόνων, και στην παρακολούθηση άλλων αερολυμάτων, όπως τα σπόρια μυκήτων που είναι υπεύθυνα για αλλεργίες ή ασθένειες των καλλιεργειών.

1.6.1. Προγνωστικό μοντέλο SILAM

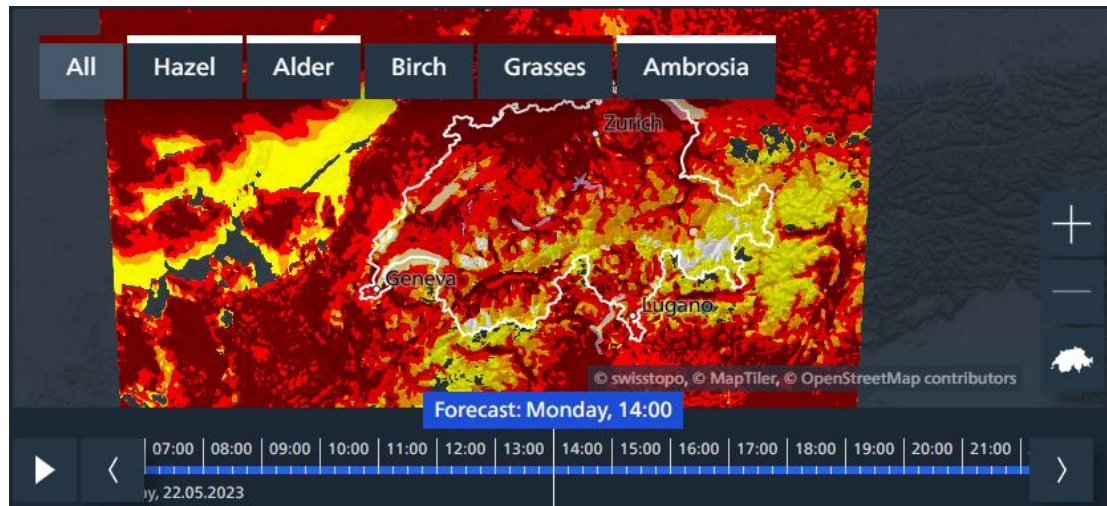
Το σύστημα SILAM (System for Integrated modeLLing of Atmospheric composition, <http://silam.fmi.fi>) μοντελοποιεί την χωρό-χρονική κατανομή των βιοσωματιδίων της ατμόσφαιρας. Το προγνωστικό μοντέλο SILAM αναπτύχθηκε για την αξιολόγηση της ατμοσφαιρικής σύνθεσης και της ποιότητας του αέρα (Sofiev et al., 2015), και υποστηρίζει θέματα εκτάκτου ανάγκης (Sofiev et al., 2006), καθώς και ερευνητικές μελέτες. Χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της εποχής επικονίασης για 6 ευρωπαϊκές οικογένειες φυτών: *Alnus*, *Betula*, *Poaceae*, *Artemisia*, *Olea* και *Ambrosia* (Prank et al., 2013; Sofiev, 2016; Sofiev et al., 2012, 2015).



Εικόνα 1.18. Προγνωστικό μοντέλο SILAM, όπως απεικονίζεται στην ιστοσελίδα <https://silam.fmi.fi/>.

1.6.2. Προγνωστικό μοντέλο COSMO

Το μοντέλο πρόγνωσης καιρού COSMO (Consortium for Small-scale Modelling), το οποίο χρησιμοποιείται από την MeteoSwiss, ενσωματώνει δεδομένα γύρεως σε πραγματικό χρόνο και μοντελοποιεί τον αριθμό γυρεόκοκκων, αποτελώντας ένα βασικό βήμα για τη βελτίωση των πληροφοριών που είναι διαθέσιμες στο κοινό.



Εικόνα 1.19. Προγνωστικό μοντέλο COSMO (Πηγή: MeteoSwiss).

Το μοντέλο COSMO συνδέεται με τη μονάδα γύρεως ART (Aerosol and Reactive Trace Gases) και, ως εκ τούτου υπολογίζονται οι αναμενόμενες συγκεντρώσεις γύρεως διαφόρων φυτών και δένδρων, όπως της σκλήθρας, σημύδας, αμβροσίας και αγρωστωδών, τα κύρια είδη γύρεως που υπάρχουν κατά την περίοδο γύρεως και παρέχονται προβλέψεις σχετικά με τον πιο σημαντικό τύπο κάθε φορά κατά τη διάρκεια ολόκληρης της περιόδου (MeteoSwiss).

1.7. Αλγόριθμος Γραμμικής Διακριτικής Ανάλυσης

Στην συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία, χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Γραμμικής Διακριτικής Ανάλυσης (Linear Discriminant Analysis, LDA), όπου αποτελεί μια επιβλεπόμενη (supervised) μέθοδο ταξινόμησης των δεδομένων βιοσωματιδίων σε συγκεκριμένες κλάσεις. Ο αλγόριθμος αυτός αναπτύχθηκε από τη Χριστίνα Γιαννακουδάκη κατά τη Διπλωματική της Εργασία, στη ΣΕΜΦΕ, ΕΜΠ (Γιαννακουδάκη, 2021).

Σύμφωνα, με το συγκεκριμένο αλγόριθμο, οι κλάσεις των βιοσωματιδίων προσδιορίζονται από τα δεδομένα εκπαίδευσης - training set, για τα οποία η πληροφορία της κλάσης που ανήκουν είναι εκ των προτέρων γνωστή. Συνήθως, οι κλάσεις του σετ εκπαίδευσης είναι γνωστές και συνεπώς είναι δυνατή η σύγκριση μεταξύ της πραγματικής και της προβλεπόμενης κλάσης. Για κάθε κλάση που δημιουργείται, ορίζονται τα στατιστικά μεγέθη των παρατηρήσεων

της, όπως ο δειγματικός μέσος μ και η διακύμανση σ . Με βάση αυτά τα μεγέθη μπορεί να οριστεί και κατάλληλη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για κάθε κλάση. Μια παρατήρηση μπορεί να ταξινομηθεί σε μία από τις κλάσεις του σετ εκπαίδευσης με χρήση του Θεωρήματος Ταξινόμησης του Bayes, όταν αυτό εφαρμοσθεί στην προαναφερόμενη συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας. Επιπλέον, η εξαγωγή κατάλληλων δεικτών όπως η Ακρίβεια-Accuracy, η Ευαισθησία-Sensitivity και η Ανάκληση-Recall, προσδίδουν τον κατάλληλο ποσοτικό χαρακτήρα στην αξιολόγηση της ταξινόμησης. Γεωμετρικά, η LDA αναζητεί την εκείνη την κατεύθυνση επί της οποίας θα προβληθούν τα δεδομένα και θα εμφανίζουν τον αποτελεσματικότερο διαχωρισμό μεταξύ των κλάσεων τους.

1.8. Επίπεδα γύρεως σε Ελλάδα και Ελβετία

Στη συνέχεια, γίνεται αναφορά στη χλωρίδα της Ελλάδας και της Ελβετίας, στις χώρες των οποίων μελετήθηκαν τα επίπεδα γύρεως των διάφορων φυτικών ειδών σε περιοχές, τόσο κοντά στο επίπεδο της θάλασσας, όσο και σε ορεινές περιοχές όπου επικεντρώθηκε η συγκεκριμένη εργασία.

1.8.1. Ελλάδα

1.8.1.1. Χλωρίδα

Η Ελλάδα, γενικά, είναι μια ορεινή χώρα με ποικίλη γεωμορφολογία (ψηλά βουνά, κοιλάδες, πεδιάδες, λίμνες, ποτάμια κ.λπ.). Αυτή η γεωμορφολογία, σε συνδυασμό με τη γεωλογία και την εδαφολογία, τις υδρολογικές λεκάνες και το πυκνό υδρογραφικό δίκτυο, καθώς και μια σειρά από τοπικά μικροκλίματα (βιοκλιματικοί σχηματισμοί), δημιουργούν ενδιαιτήματα για διαφορετικά δασικά είδη δένδρων (Spanos et al., 2021). Για να χαρακτηριστεί μία περιοχή ως ορεινή θα πρέπει να παρατηρείται υψομετρική διαφορά τουλάχιστον 300 μ. σε οριζόντια απόσταση 7km (ΟΗΕ 2000).

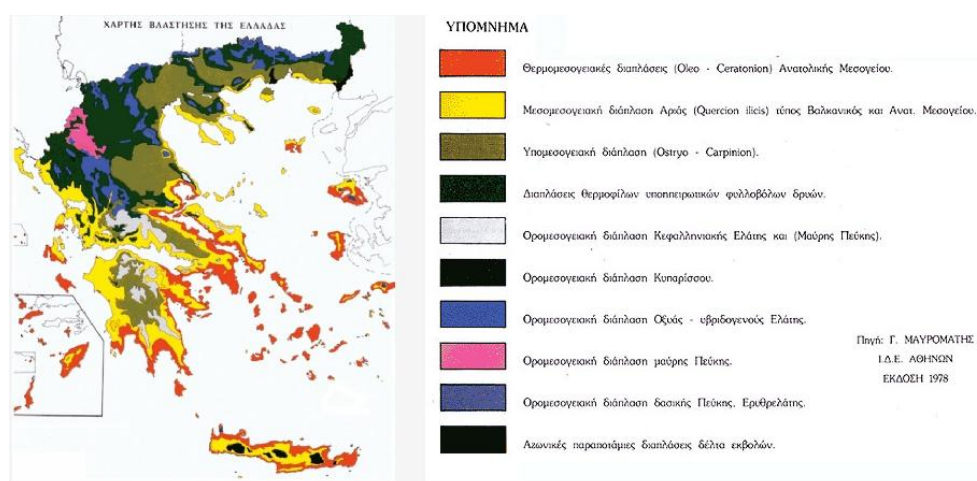
Στην Ελλάδα, σύμφωνα με το Υπουργείο Γεωργίας, ένας Δήμος χαρακτηρίζεται ορεινός στις ακόλουθες περιπτώσεις, αν:

- Το 80% της έκτασής του βρίσκεται πάνω από τα 800 μέτρα.
- Ο Δήμος βρίσκεται μεταξύ 600 και 800 μέτρων, αλλά τα εδάφη έχουν κλίση 16%.
- Ο Δήμος βρίσκεται κάτω από τα 600 μέτρα, αλλά τα εδάφη παρουσιάζουν κλίση 20%.

Οι κατακόρυφες διαφοροποιήσεις, όσον αφορά στη βλάστηση, είναι ιδιαίτερα εμφανείς και έντονες στα ελληνικά βουνά, λόγω του ότι πολλά από αυτά υψώνονται σχεδόν από το επίπεδο της θάλασσας, ενώ οι κορυφές τους

ξεπερνούν τα 2000 μ. (όρος «verticality»). Τα μεγάλα ορεινά συγκροτήματα συνήθως συγκεντρώνουν τουλάχιστον 1.000 είδη φυτών.

Η φυσική κατανομή των κύριων δασικών ειδών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από γεωγραφικούς (γεωγραφικό πλάτος, μήκος, υψόμετρο), κλιματικούς, υδρολογικούς, γεωλογικούς και εδαφολογικούς παράγοντες (Maniatis, 1980, Dafis et al., 1997, 1973). Για παράδειγμα, είδη προσαρμοσμένα στο κρύο, όπως είναι η οξιά (beech), η ερυθρελάτη (spruce), η πεύκη (scotch pine) και το υβριδικό έλατο (hybrid fir), βρίσκονται γενικά στα ψηλά βουνά της Βόρειας και Κεντρικής Ελλάδας, ενώ είδη προσαρμοσμένα σε ζεστά και ξηρά περιβάλλοντα, όπως η πεύκη (*Pinus halepensis*, *P. Brutia*) και τα περισσότερα από τα αείφυλλα πλατύφυλλα (evergreen broadleaves), αναπτύσσονται κυρίως στα πεδινά της νοτιοανατολικής πλευράς και σε ορισμένα νησιά όπου τα καλοκαίρια είναι συνήθως ζεστά και ξηρά. Ένα πολύ χαρακτηριστικό παράδειγμα προσαρμογής είναι η μαύρη πεύκη (*Pinus nigra*) που σχηματίζει τις καλύτερες και πιο παραγωγικές συστάδες (stands) σε εδάφη που προέρχονται από φλύσχη (Όρος Πίνδου) (Spanos et al., 2021).



Εικόνα 1.20. Χάρτης βλάστησης της Ελλάδας.

Η χλωρίδα της Ελλάδας είναι πολύ πλούσια, περιλαμβάνοντας περίπου 5.700 είδη φυτών, εκ των οποίων περίπου 1.150 ενδημικά. Η γεωγραφική θέση, το κλίμα, η ποικιλομορφία των γεωλογικών δομών και η εγγύτητα προς τη θάλασσα αποτελούν βασικούς παράγοντες για την ύπαρξη πολλών ειδών φυτών. Στον ελληνικό χώρο, η τυπική ζώνωση της βλάστησης στα βουνά περιλαμβάνει μεσογειακά είδη στους πρόποδες, υπομεσογειακά δάση φυλλοβόλων στα μεσαία υψόμετρα, δάση κωνοφόρων ή ψυχρόβιων φυλλοβόλων στην ορεινή ζώνη και αλπικά λιβάδια πάνω από το δασόριο.

Στην Ελλάδα έχουν οριστεί τέσσερις κύριες ζώνες βλάστησης (Dafis, 1973):

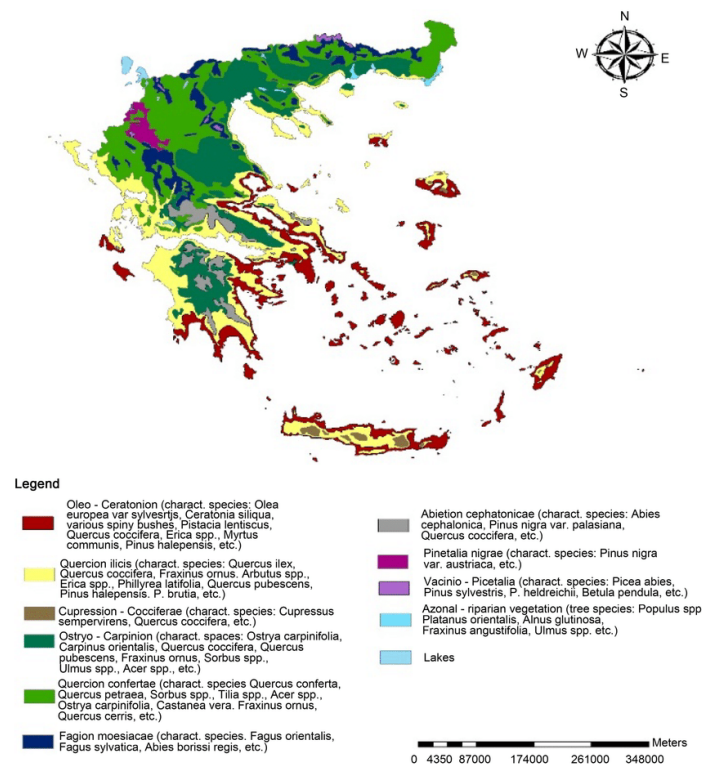
1) Η ζώνη μακίας (ή η ζώνη των αιθαλών πλατύφυλλων), η οποία βρίσκεται σε υψόμετρο 0 - 1300 μ. Η κύρια βλάστηση αποτελείται από τη χαλέπια πεύκη

(*Pinus halepensis*), την πεύκη *Pinus brutia* και τα αειθαλή πλατύφυλλα (*Quercus coccifera*, *Pistacia* spp., *Olea oleaster* *Arbutus* spp., κ.λπ.). Καταλαμβάνει το 47,5% της έκτασης της χώρας. Φράξος - *Fraxinus ornus*

2) Η ζώνη των φυλλοβόλων βελανιδιών (oaks) σε υψόμετρο 200 - 300 μ. και μπορεί να φτάσει τα 1000 - 1300 μ. Τα είδη είναι *Quercus frainetto*, *Quercus ithaburensis*, *Quercus cerris*, *Quercus pubescens*, *Quercus robur* και άλλα και καταλαμβάνει το 39,2% της έκτασης της χώρας.

3) Η ζώνη ελάτης (fir) (*Abies*) με τις υποζώνες της οξιάς (*Fagus* spp.), της πεύκης (*Pinus sylvestris*) και της μαύρης πεύκης (*Pinus nigra*). Το υψόμετρο της κυμαίνεται μεταξύ 700 και 1800 μ. Είναι η σημαντικότερη δασική ζώνη και καλύπτει το 11,8% της έκτασης της χώρας.

4) Ψευδοαλπική ζώνη. Βρίσκεται σε υψόμετρο άνω των 1600 μ. και καταλαμβάνει το 1,5% της έκτασης της χώρας. Στη ζώνη αυτή, μπορούν να βρεθούν τα είδη *Juniperus nana*, *Juniperus foetidissima*, *Festuca* sp. *Astragalus* sp. *Sesleria* sp. καθώς και άλλα είδη προσαρμοσμένα σε αυτή τη ζώνη.



Εικόνα 1.21. Χάρτης των ζωνών δασικής βλάστησης της Ελλάδας (πηγή Dafis, 1973, Manromatis, 1980, τροποποιημένος από K. Spanos, 2018).

Ως αζωνική χαρακτηρίζεται η βλάστηση, η οποία δε συνδέεται με τις επικρατούσες ζώνες βλάστησης και δεν είναι κλιματικά εξαρτώμενη και η οποία αναπτύσσεται υπό ειδικές συνθήκες (π.χ. υπερβολική υγρασία). Το πιο

χαρακτηριστικό παράδειγμα αζωνικής βλάστησης είναι η βλάστηση που παρατηρείται στις όχθες και τις κοιλάδες των ποταμών, καθώς και σε ρεματιές σε διάφορα υψόμετρα. Σε μέρη, όπου η στάθμη του υπόγειου νερού είναι υψηλή ή και σε περιοχές με υψηλή εποχιακή κατάκλυση από νερά, ευδοκιμούν οι ιτιές. Το χαρακτηριστικότερο όμως δέντρο σε περιοχές με υψηλή υγρασία – το οποίο διαθέτει και σημαντικό πολιτισμικό συμβολισμό είναι ο πλατάνος. Τα πλατάνια απαιτούν χαλαρά εδάφη με καλό αερισμό των ριζών τους. Επίσης, ένα χαρακτηριστικό δέντρο των υγρών περιοχών είναι η λεύκα.

1.8.1.2. Σταθμός Θεσσαλονίκης

Η Θεσσαλονίκη, η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδας, βρίσκεται στην περιοχή της κεντρικής Μακεδονίας, βόρεια του Θερμαϊκού Κόλπου, στο Αιγαίο Πέλαγος. Το κλίμα της είναι μεσογειακό, με ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες. Κοντά αναπτύσσονται αρκετά δάση, όπως το δάσος του Σείχ Σου, ανατολικά-βορειοανατολικά της πόλης που αποτελείται κυρίως από πεύκα (pines), κυπαρίσσια (cypresses) και αιθαλή βελανιδιές (evergreen Oaks), και τα δάση Κουρί στα βορειοανατολικά και Χορτιάτη στα νοτιοανατολικά που είναι μικτά δάση φυλλοβόλων, ως επί το πλείστον δρυς (oak), γάβρος (hornbeam) και φουντουκιά (hazel). Τα πλατάνια φυτρώνουν στις χαράδρες των γύρω βουνών, σε πάρκα και άλλους χώρους αναψυχής της πόλης ως καλλωπιστικά, μαζί με λεύκες και κυπαρίσσια. Στην περιφέρεια της πόλης αφθονούν πολλά αγρωστώδη, αμάραντοι, κ.ά. (Damialis et al., 2005).

Η αερομεταφερόμενη γύρη στη Θεσσαλονίκη έχει μελετηθεί και συλλεχθεί με τη χρήση ογκομετρικής παγίδας τύπου Hirst (Burkard) κατά την περίοδο 1987-2005, όπως περιγράφεται από τους Damialis et al. (2005) και Gioulekas et al. (2004) από 16 διαφορετικά είδη, τα οποία συνεισέφεραν $\geq 0,5\%$ στο συνολικό φορτίο γύρεως. Συγκεκριμένα, ήταν *Alnus* spp., *Ambrosia* spp., *Artemisia* spp., *Carpinus* spp., *Chenopodiaceae*, *Corylus* spp., *Cupressaceae*, *Oleaceae*, *Pinaceae*, *Plantago* spp., *Platanus* spp., *Poaceae*, *Populus* spp., *Quercus* spp., *Rumex*, και *Urticaceae*, που μαζί αντιπροσώπευαν το 95,6% του συνόλου της καταγεγραμμένης γύρεως. Τα είδη με τα πιο άφθονα ατμοσφαιρικά επίπεδα γύρεως ήταν αυτά των *Cupressaceae*, *Quercus*, *Urticaceae*, *Pinaceae* και *Oleaceae*. Αυτά αποτελούσαν το 72,5% της συνολικής γονιδιακής χλωρίδας της Θεσσαλονίκης.

Η παγίδα τοποθετήθηκε σε ταράτσα κτιρίου στο κέντρο της Θεσσαλονίκης, περίπου 30 μέτρα πάνω από το επίπεδο του εδάφους. Η παγίδα είναι εξοπλισμένη με μια αντλία κενού που αντλεί 10 λίτρα αέρα ανά λεπτό μέσω ενός λεπτού ανοίγματος. Τα σωματίδια αέρα παγιδεύονται σε μια διαφανή πλαστική ταινία (Melinex) επικαλυμμένη με κόλλα (Burkard gelvatol), που

στηρίζεται σε ένα ρολόι, το οποίο κινείται με ταχύτητα 2 mmh 1 κάνοντας μια πλήρη περιστροφή σε μια εβδομάδα.

Η γύρη των Cupressaceae κατέχει την πρώτη θέση στα επίπεδα της γύρεως της Θεσσαλονίκης μεταξύ των ξυλωδών ταξινομικών κατηγοριών (woody taxa) και συνολικά, τα αγρωστώδη κατέχουν τη δεύτερη θέση μεταξύ των ποωδών κατηγοριών (herbaceous taxa) (μετά τα Urticaceae), ενώ η γύρη της ελιάς κατατάσσεται πέμπτη μεταξύ των ξυλωδών ταξινομικών κατηγοριών (Charalampopoulos et al. 2018, Damialis et al. 2007). Επειδή δεν είναι εφικτή η διάκριση των διαφόρων γενών στην οικογένεια των Cupressaceae, μελετήθηκε το κυρίαρχο εκπρόσωπος στη Θεσσαλονίκη με την κοινή ονομασία κυπαρίσι.

1.8.1.3. Σταθμός εργαστηρίου Ε.Μ.Π.

Στο Εργαστήριο Οπτοηλεκτρονικής, Lasers και Εφαρμογές τους του Τομέα Φυσικής, της Σχολής Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών του Εθνικού Μετσόβιο Πολυτεχνείου μελετήθηκε η ανίχνευση των γυρεόκοκκων από τα φυτικά είδη που περιγράφονται παρακάτω μέσω της τεχνικής LIF-LIDAR με σημείο αναφοράς το αντίστοιχο πείραμα που διεξήχθη στην ταράτσα του κτηρίου Φυσικής στην Πολυτεχνειούπολη της Αθήνας τους εαρινούς μήνες του 2018: Καλλιστήμονα (Callistemon, Οικ. Myrtaceae), Ελιά (Olea Οικ. Oleaceae), Κυπαρίσι (Cypress, Οικ. Cupressaceae), Φιστικιά (Pistacia Οικ. Anacardiaceae), Λεύκα (Populus, Οικ. Salicaceae), Ακακία μιμόζα (Acacia dealbata Οικ. Fabaceae) (Βασιλείου, 2023) και Χαλέπιος πεύκη (Pinus halepensis Οικ. Pinaceae) (Ρίτσαρτσον, 2018).

1.8.1.4. Σταθμός Μετσόβου (ΜΕ.Κ.Δ.Ε)

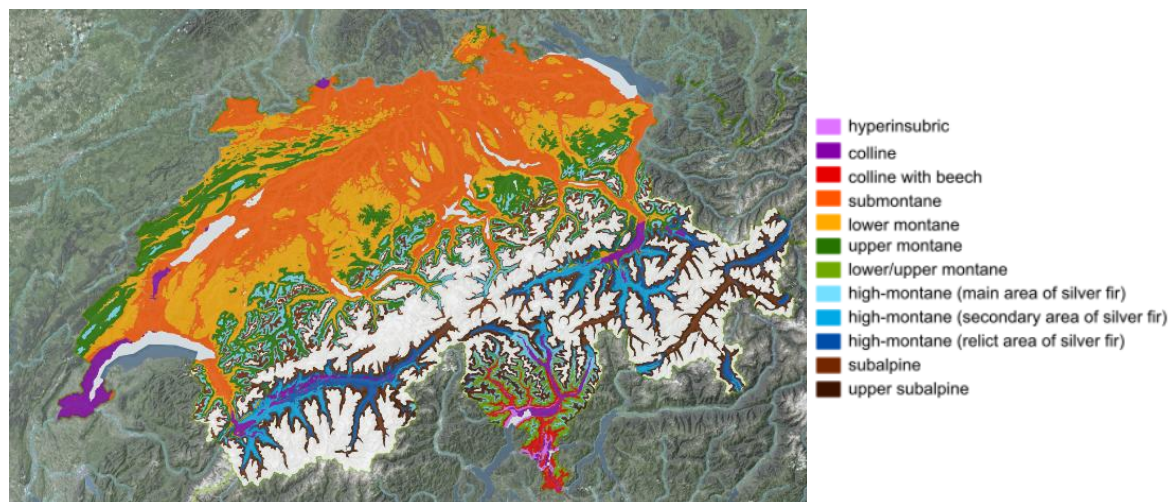
Στις εγκαταστάσεις του Μετσόβιου Κέντρου Διεπιστημονικής Έρευνας (ΜΕ.Κ.Δ.Ε) του Εθνικού Μετσόβιο Πολυτεχνείου στο Μέτσοβο σε υψόμετρο 1400μ. από την επιφάνεια της θάλασσας, τοποθετήθηκε το 2021 από τον Καθηγητή Αλεξάνδρο Παπαγιάννη, σταθμός ο οποίος μετρά τα σωματίδια που βρίσκονται στον ατμοσφαιρικό αέρα.

1.8.2. Ελβετία

1.8.2.1. Χλωρίδα

Η βλάστηση στην Ελβετία προέρχεται από αυτή των τεσσάρων ευρωπαϊκών κλιματικών περιοχών που συγκλίνουν στη χώρα και έχει επηρεαστεί από το ποικίλο ανάγλυφο. Στην Ελβετία, το 31% της γης καλύπτεται από δάση. Το ελβετικό δάσος χρησιμεύει ως βιότοπος για αμέτρητα είδη ζώων και φυτών. Περιλαμβάνει οξιές (beeches), βελανιδιές (oaks), γάβρους (hornbeam) και πεύκες (larch trees) στις πιο ηπειρωτικές περιοχές ανατολικά, κυρίως στις περιοχές

Engadin και Valais, καθώς επίσης εκτεταμένα δάση ελάτης (spruce) στη βόρεια υποαλπική περιοχή και καστανιές (chestnut) στα νότια. Οι διαφορές και τα όρια στη βλάστηση είναι εμφανείς στις κοιλάδες των Άλπεων λόγω της έκθεσης στον ήλιο. Η αλπική βλάστηση που επικρατεί είναι παρόμοια με αυτή της αρκτικής τούνδρας.



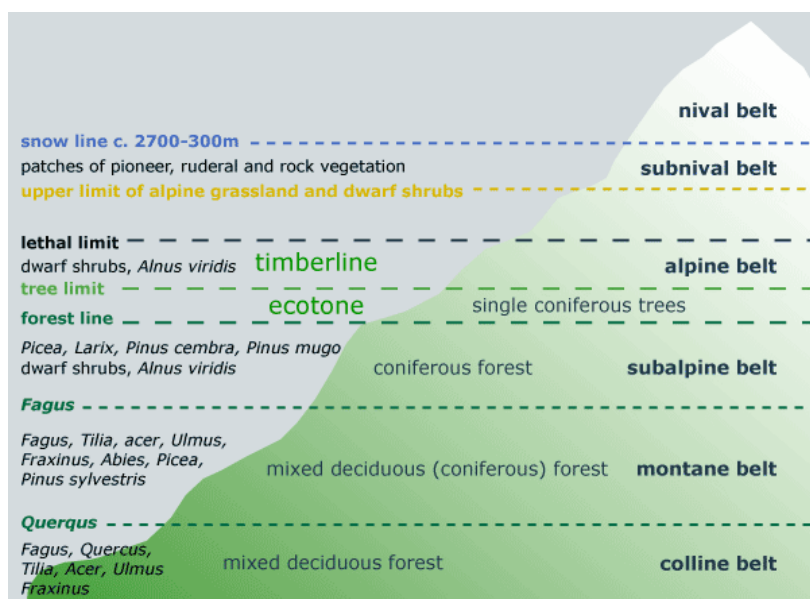
Εικόνα 1.22. Μοντελοποιημένες υψομετρικές ζώνες βλάστησης (Federal Office for the Environment FOEN).

Η οροσειρά των Άλπεων εκτείνεται από την Αυστρία και τη Σλοβενία στα ανατολικά, μέσω της Ιταλίας, της Ελβετίας, του Λίχτενσταϊν και της Γερμανίας έως τη Γαλλία στα δυτικά. Η περιοχή των Άλπεων που βρίσκεται στην Ελβετία καλύπτει το 60% της χώρας, αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό φυσικό χαρακτηριστικό της χώρας και είναι μία από τις τρεις κύριες φυσιογραφικές περιοχές του μαζί με το ελβετικό οροπέδιο (Swiss Plateau) -μακράν την πιο πυκνοκατοικημένη περιοχή της Ελβετίας (πάνω από τα δύο τρίτα του ελβετικού πληθυσμού), και το ελβετικό τμήμα των βουνών Jura. Αν και η φυσική βλάστηση στις 47 μοίρες βόρεια θα ήταν δάση, η μείωση της θερμοκρασίας σε μεγαλύτερα υψόμετρα περιορίζει σημαντικά την ανάπτυξη των φυτών. Σε υψόμετρο μεγαλύτερο των 2.300 μέτρων, υπάρχει κυρίως γρασίδι και μια μεγάλη ποικιλία αλπικών λουλουδιών ενώ πάνω από τα 3.200 μέτρα μπορούν να επιβιώσουν μόνο βρύα και λειχήνες.

Στο ψυχρότερο κλίμα βόρεια των Άλπεων μπορεί να βρεθεί ένα μείγμα από φυλλοβόλα και κωνοφόρα δένδρα. Στις περιοχές όπου τα δάση έχουν παραμείνει φυσικά, κυριαρχούν φυλλοβόλα δένδρα όπως η βελανιδιά, η οξιά και ο σφένδαμος σε υψόμετρα κάτω από περίπου 1.400 μέτρα. Τα ταχέως αναπτυσσόμενα κωνοφόρα δένδρα όπως η ερυθρελάτη, το πεύκο και το έλατο είναι αποτέλεσμα της ανθρώπινης επίδρασης, αλλά κυριαρχούν φυσικά σε μεγαλύτερα υψόμετρα.

Η νότια Ελβετία έχει σχεδόν μεσογειακή βλάστηση με θάμνους, πεύκα και καστανιές. Το απότομο έδαφος με προσανατολισμό προς το νότο αυξάνει τις θερμοκρασίες, αλλά συνήθως η άρδευση είναι βασικός παράγοντας. Χωρίς άρδευση και λίπανση, κυριαρχεί ένας εντελώς διαφορετικός πληθυσμός φυτών που περιέχουν λίγο νερό και μέταλλα.

Η δασώδης έκταση καλύπτει περίπου το ένα τρίτο της έκτασης της Ελβετίας. Οι περιοχές με τη μεγαλύτερη πυκνότητα δασών βρίσκονται στις νότιες Άλπεις (52% της δασικής κάλυψης) και στην περιοχή Jura (41%), ενώ οι Άλπεις (27%) και το Κεντρικό Οροπέδιο (Central Plateau) (25 %) έχουν τη λιγότερη δασική κάλυψη. Οι Pre-Alps Άλπεις βρίσκονται στο μεσαίο εύρος στο 35%.



Εικόνα 1.23. Υψομετρικές ζώνες δασικής βλάστησης της Ελβετίας (Burga, Perret, 2001).

Το μεγαλύτερο μέρος της δασικής έκτασης αποτελείται από δάση κωνοφόρων σε ποσοστό 62%, σε σύγκριση με τα φυλλοβόλα με 38 %. Οι αντίστοιχες αναλογίες κωνοφόρων και φυλλοβόλων δάσους διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με το υψόμετρο: οι πεδινές περιοχές χαρακτηρίζονται από φυλλοβόλα δάση που απαντώνται στη φύση και κυριαρχούν η οξιά, στη νότια Ελβετία επίσης με καστανιές (sweet chestnut). Συχνά εμφανίζονται επίσης σφένδαμοι (maple), πλάτα (sycamore), φράξος (ash) και βελανιδιές (oaks) και κυριαρχούν περισσότερο από την οξιά σε ξηρές ή υγρές τοποθεσίες. Μικτές συστάδες με διαφορετικά είδη ελάτων (spruce, fir) εμφανίζονται επίσης στα πεδινά, καθώς και αμιγείς συστάδες κωνοφόρων που δεν είναι καλά προσαρμοσμένες σε αυτόν τον τύπο τοποθεσίας. Οι συστάδες κωνοφόρων αντιπροσωπεύουν περίπου το 20 % της έκτασης που φυσικά θα καλύπτονταν με φυλλοβόλα δένδρα. Η αναλογία των κωνοφόρων μεγαλώνει με την αύξηση του υψομέτρου και τα φυλλοβόλα

δένδρα γίνονται πιο σπάνια. Τα δάση οξιιάς είναι ο κανόνας και ακολουθούν τα ελατοδάση ψηλότερα. Στα μεγάλα υψόμετρα κυριαρχούν φυσικά καθαρά δάση κωνοφόρων, που αποτελούνται κυρίως από ερυθρελάτης, με λίγο πεύκο (larch και stone pine), και μεταβαίνοντας σε πολύ ανοιχτό δάσος ή θαμνόδασος κοντά στη γραμμή των δένδρων, με θαμνοειδή πράσινη σκλήθρα (green alder) και δασική πεύκη (mountain pine).

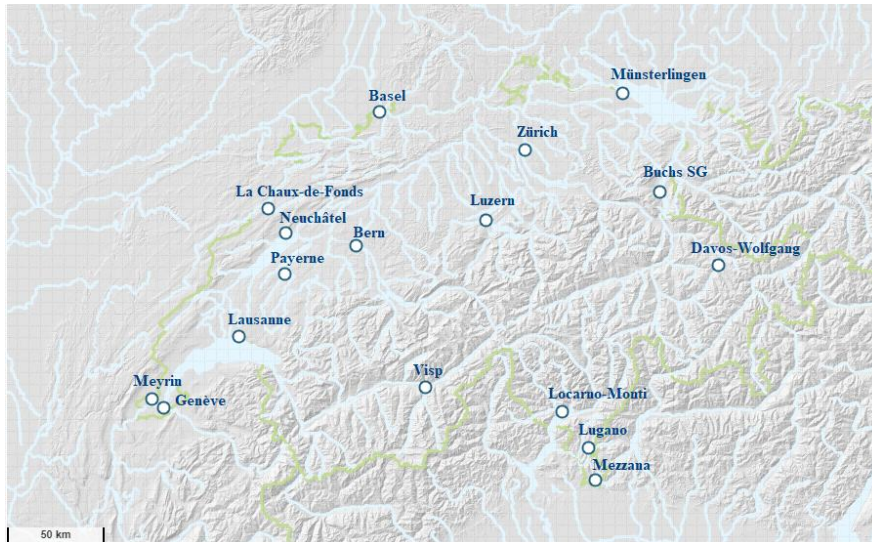
1.8.2.2. Δίκτυο παρακολούθησης γύρεως

Στην Ελβετία, η MeteoSwiss λειτουργεί το εθνικό δίκτυο παρακολούθησης της γύρεως (Pollen monitoring network). Αποτελείται από 14 σταθμούς παρακολούθησης που καλύπτουν τις σημαντικότερες περιοχές σχετικά με το κλίμα και τη βλάστηση της Ελβετίας. Οι αερομεταφερόμενες συγκεντρώσεις 48 διαφορετικών τύπων γύρεως μετρώνται σε καθέναν από τους 14 σταθμούς παρακολούθησης (Εικόνα 1.24).

Πίνακας 1.6. Οι σταθμοί παρακολούθησης γύρεως της Ελβετίας, ταξινομημένοι βάσει υψόμετρου (Πηγή: MeteoSwiss).

	Σταθμός γύρεως	Υψόμετρο (m)
1	Davos-Wolfgang	1604
2	La Chaux-de-Fonds	1062
3	Lausanne	621
4	Zürich	575
5	Bern	571
6	Neuchâtel	509
7	Luzern	499
8	Payerne	498
9	Buchs SG	460
10	Münsterlingen	429
11	Genève	424
12	Locarno-Monti	394
13	Lugano	299
14	Basel	288

Για την παρακολούθηση των επιπέδων γύρεως αμβροσίας (ragweed pollen) λειτουργούν επιπρόσθετοι σταθμοί στην περιοχή Ticino, καθώς και κοντά στην περιοχή Geneve, όπου μερικές φορές καταγράφονται υψηλές συγκεντρώσεις γύρεως αμβροσίας. Οι μετρήσεις που καταγράφονται από τις αντίστοιχες παγίδες γύρεως (pollen traps) παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τους ανθρώπους με σχετικές αλλεργίες.



Εικόνα 1.24. Σταθμοί εθνικού δικτύου παρακολούθησης γύρεως στην Ελβετία (Πηγή: MeteoSwiss).

Οι συγκεντρώσεις γύρεως στον αέρα εκφράζονται με τον αριθμό N_{10} των γυρεόκοκκων ανά κυβικό μέτρο αέρα (N_{10}/m^3), μετρώνται σε πραγματικό χρόνο με ωριαία ανάλυση. Οι ημερήσιες μέσες τιμές ενημερώνονται μία φορά την εβδομάδα και λαμβάνονται από μη αυτόματες μετρήσεις αναφοράς.

Πίνακας 1.7. Πληροφορίες σταθμών παρακολούθησης γύρεως που μελετήθηκαν.

	Lausanne	Payerne	Davos-Wolfgang	La Chaux-de-Fonds
Κωδικός αναφοράς <i>Coordinates, CH</i>	2538971/ 1152887	2562173/ 1184820	2784288/ 1189158	2553958/ 1218232
Γεωγραφικό πλάτος/ μήκος <i>Latitude/Longitude</i>	46.5245/ 6.64325	46.813461/ 6.943003	46.828036/ 9.854311	47.113475/ 6.831986
Δεδομένα από	01.03.1997	01.02.2018	01.05.1983	01.07.1986
Υψόμετρο (m) από το επίπεδο της θάλασσας	569	490	1587	1037

1.8.2.3. Σταθμός της Payerne (EPFL και ΕΜΠ)

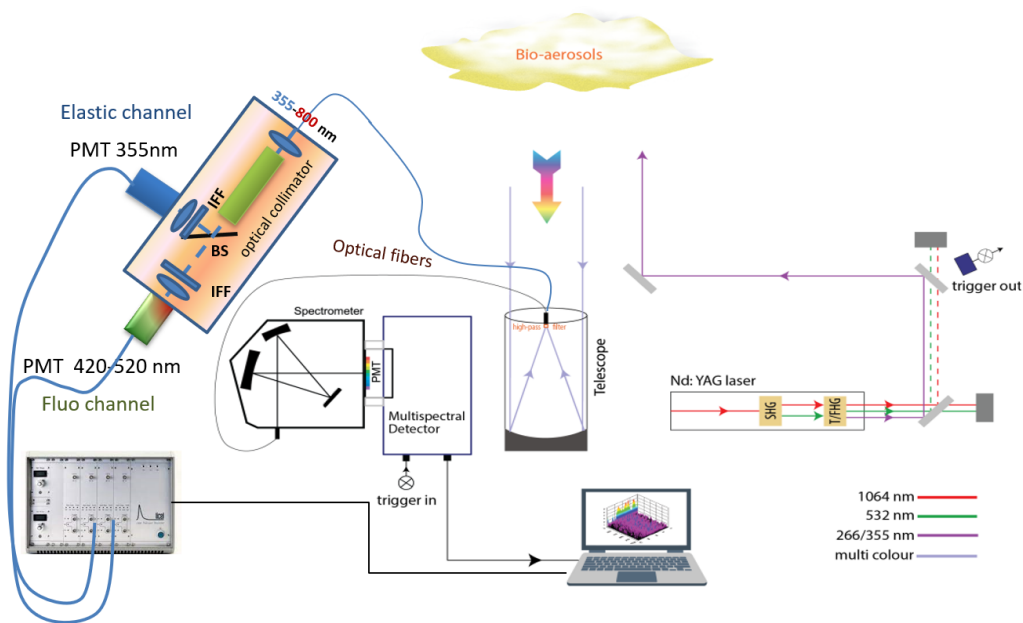
1.8.2.3.1. Ερευνητικό έργο PERICLES

Το ερευνητικό έργο Payerne lidar and Insitu detection of fluorescent biomass burning, bioaerosol and dust particles and their cloud impacts (PÉRICLÈS) που πραγματοποιείται στην Payerne, Ελβετία είναι μια συνεργασία μεταξύ του École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) και του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ). Ο κύριος στόχος του έργου είναι η κατανόηση της χωρο-

χρονικής μεταβλητότητας διάφορων τύπων βιο-σωματιδίων (καύση βιομάζας, γύρη, σκόνη, μύκητες κ.λπ.) στο Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα (ΑΟΣ) και στην ελεύθερη τροπόσφαιρα (έως τα 6-8 km από την επιφάνεια της θάλασσας) με τη συνέργεια διαφόρων τεχνικών τηλεπισκόπησης (συστήματα Lidar για τη μέτρηση βιο-αερολυμάτων), υγρασίας, θερμοκρασίας και πεδίου ανέμων, ραδιόμετρα μικροκυμάτων, καθώς και ηλιακά φωτόμετρα), παράλληλα με επιτόπιες μετρήσεις). Επιπλέον στόχοι του έργου είναι ο καθορισμός των ποσοτικών και ποιοτικών συγκεντρώσεων διαφόρων τύπων βιοαερολυμάτων (καύση βιομάζας, γύρη, σκόνη, μύκητες κ.λπ.) κοντά στο έδαφος και σε υψόμετρο, σε μια ημιαγροτική περιοχή, υπό διάφορες μετεωρολογικές συνθήκες (ηλιακή ακτινοβολία, θερμοκρασία, υγρασία), καθώς και η σύγκριση των δεδομένων lidar με όργανα επιτόπιας ανίχνευσης της γύρης (π.χ. SwissPolleno, WIBS, γυρεοπαγίδες, κ.λπ.). Επιπλέον, θα πραγματοποιηθεί χαρτογράφηση των πηγών των βιο-αερολυμάτων στην κατώτερη ατμόσφαιρα για να διευκρινισθούν οι μηχανισμοί που ελέγχουν τη συγκέντρωσή τους κοντά στο έδαφος. Τέλος, σημαντική κρίνεται η επιβεβαίωση των υπαρχόντων μοντέλων πρόγνωσης της γύρης (μοντέλο ICON) σε ημιαγροτική περιοχή καθώς, επίσης, και η διευκρίνιση του ρόλου των βιογενών αερολυμάτων στη δυνατότητα δημιουργίας νεφών μέσω μετρήσεων των πυρήνων πάγου.

1.8.2.3.2. Πειραματική διάταξη lidar ανίχνευσης βιο-σωματιδίων

Για τις ανάγκες του παραπάνω έργου και για την ανάκτηση δεδομένων από την ατμόσφαιρα σε πραγματικό χρόνο, σχεδιάστηκε η πειραματική διάταξη PERICLES lidar (Εικόνα 3.2). Χρησιμοποιήθηκε η εκπομπή μιας υπεριώδους δέσμης παλμικού Nd:YAG laser (Q-Smart 450, Lumibird SA) στα 355 nm. Η εκπομπή στην ατμόσφαιρα έγινε υπό γωνία 30ο (ως προς το έδαφος) με τη χρήση διχρωϊκού κάτοπτρου και ενός πρίσματος Pelin-Broca. Ένα τηλεσκόπιο διαμέτρου 15 cm συλλέγει το σήμα που ανακλάται ελαστικά στα 355 nm, καθώς και το σήμα φθορισμού από τα βιοσωματίδια. Η οπισθοσκεδαζόμενη ακτινοβολία στα 355 nm και το σήμα φθορισμού (στο οπτικό φάσμα 420-520 nm) ανιχνεύονται από φωτοπολλαπλασιαστές. Παράλληλα, το σύστημα Lidar φθορισμού είναι εξοπλισμένο με ένα φασματόμετρο καταγραφής 32 καναλιών, δηλαδή χρησιμοποιεί 32 φωτοπολλαπλασιαστές με αποτέλεσμα να παρέχει φασματικά δεδομένα φθορισμού σε αποστάσεις που κυμαίνονται από 50-2000 m συνήθως. Η παραπάνω τεχνική είναι ικανή να διαχωρίσει τον τύπο των βιο-σωματιδίων (Richardson et al., 2019).



Εικόνα 3.2. Πειραματική διάταξη PERICLES lidar του École Polytechnique de Lausanne (EPFL) (Richardson, et al., S2019).

1.8.3. Γύρη από φυτικά είδη

Η πιο αλλεργιογόνος γύρη από δένδρα παράγεται από τη σημύδα (*Betula*) στη βόρεια, κεντρική και ανατολική Ευρώπη και αποτελεί σημαντική αιτία αλλεργικής ρινίτιδας, ιδίως στη βόρεια Ευρώπη, από την ελιά (*Olea europaea*) καθώς και από το κυπαρίσσι (*Cupressus*) στις περιοχές της Μεσογείου (D'Amato et al., 2007).

Οι τρεις κύριες ομάδες φυτών που προκαλούν αλλεργία στη γύρη είναι:

1. Δένδρα: Άλνος- Σκλήθρο (*Alder*, Οικ. *Betulaceae*), Φράξος (*Ash*- *F. Excelsior*, Οικ. *Oleaceae*), Οξιά (*Beech*, Οικ. *Fagaceae*), Σημύδα (*Birch*, Οικ. *Betulaceae*), Φουντουκιά (*Hazel*, Οικ. *Betulaceae*), Γάβρος (*Hornbeam*, Οικ. *Betulaceae*), Δρυς-Βελανιδιά (*Oak*, Οικ. *Fagaceae*),
2. Αγρωστώδη (*Grasses*)
3. Ζιζάνια (*Weeds*): Αρτεμισία (*Mugwort*, Οικ. *Asteraceae*) και Αμβροσία (*Ragweed*, Οικ. *Asteraceae*).

Η τάξη *Fagales* περιλαμβάνει τρεις οικογένειες: *Betulaceae*, συμπεριλαμβανομένων των γενών *Betula* (σημύδα, birch) και *Alnus* (σκλήθρο, alder), *Corylaceae*, που περιλαμβάνει τα γένη *Corylus* (φουντουκιά, hazel), *Carpinus* (γάβρος, hornbeam) και *Ostrya* (λυγαριά, horbeam), και *Fagaceae*, που

περιλαμβάνει τα γένη *Quercus* (δρυς, oak), *Fagus* (οξιά, beech) και *Castanea* (κάστανο, sweet chestnut).

Στη συγκεκριμένη εργασία δόθηκε έμφαση σε 14 φυτικά είδη: Άλνος- Σκλήθρο (Alder, Οικ. Betulaceae), Φράξος (Ash- *F. Excelsior*, Οικ. Oleaceae), Οξιά (Beech, Οικ. Fagaceae), Σημύδα (Birch, Οικ. Betulaceae), Φουντουκιά (Hazel, Οικ. Betulaceae), Γάβρος (Hornbeam, Οικ. Betulaceae), Αρτεμισία (Mugwort, Οικ. Asteraceae), Δρυς-Βελανιδιά (Oak, Οικ. Fagaceae), Πλάτανος (Plane, Οικ. Platanaceae), ανθοφόρο φυτό Plantain (Οικ. Plantaginaceae), Αμβροσία (Ragweed, Οικ. Asteraceae), Sorrel, dock (Οικ. Polugohaceae) και Καστανιά (Sweet chestnut, Οικ. Fagaceae).

1.8.3.1. Άλνος/ Σκλήθρο (Alder)

Η σκλήθρα ή σκλήθρο (*Alnus glutinosa*) ευδοκμεί κυρίως σε υγρά περιβάλλοντα, όπως οι όχθες ποταμών. Ο αρσενικός ίουλος (ταξιανθίες) έχει σκούρο καφέ-κόκκινο χρώμα, που μετατρέπεται σε κιτρινωπό-κόκκινο καθώς αναπτύσσεται. Η γύρη του έχει μέτρια έως υψηλή αλλεργιογόνο επίδραση και απελευθερώνεται από τα τέλη Ιανουαρίου, με περίοδο αιχμής στη διάρκεια του Μαρτίου. Η γύρη της σημύδας και της φουντουκιάς είναι παρόμοια με τη γύρη του σκλήθρου. Η γύρη σημύδας και σκλήθρου ανήκουν και οι δύο στην ίδια οικογένεια, Betulaceae και μοιράζονται παρόμοια αλλεργιογόνα και μορφολογικά χαρακτηριστικά (Niederberger et al., 1998). Επιπλέον, είναι γνωστό ότι η γύρη του σκλήθρου αντιδρά διασταυρούμενα με τη γύρη της σημύδας προκαλώντας συμπτώματα στα άτομα που είναι ευαίσθητα στη σημύδα. Τα άτομα που παρουσιάζουν ευαισθησία στη γύρη αυτή μπορεί να υποφέρουν επίσης και από την παρουσία γύρεως που προέρχεται από τη σημύδα ή τη φουντουκιά. Το σκλήθρο φύτεται στις όχθες των ελληνικών ποταμών, με περίοδο ανθοφορίας από Φεβρουάριο έως και Μάρτιο.



Εικόνα 1.25. Άλνος/ Σκλήθρα ή σκλήθρο (*Alnus acuminata*) (Figuroa-Rangel, 2018).

1.8.3.2. Σημύδα (Birch)

Η οικογένεια Betulaceae έχει μεγάλη αλλεργιογόνο σημασία για τις βόρειες χώρες. Ο κύριος εκπρόσωπος είναι η σημύδα (Betula), το κύριο δασικό δέντρο των βόρειων χωρών, με ελληνική παρουσία στην περιοχή της Ροδόπης. Καθώς τα δένδρα (εύκολα αναγνωρίσιμα από το λευκό φλοιό τους) ανθίζουν, απελευθερώνουν μικροσκοπικούς γυρεόκοκκους που διασκορπίζονται με τον άνεμο. Ένα μόνο δέντρο σημύδας μπορεί να παράγει έως και πέντε εκατομμύρια γυρεόκοκκους.



Εικόνα 1.26. Δέντρο σημύδας (Morris, 2022).

Η σημύδα αναπτύσσεται σε σχετικά δασώδεις εκτάσεις ή χέρσα εδάφη, ενώ είναι μάλλον απίθανο να βρεθεί σε πυκνά δάση. Ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες, η ανθοφορία της ξεκινάει περίπου στα μέσα Μαρτίου. Η γύρη σημύδας είναι από τα πιο κοινά αερομεταφερόμενα αλλεργιογόνα κατά την άνοιξη ή αργότερα μέσα στο έτος σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και αποτελεί σημαντική αιτία αλλεργικής ρινίτιδας, ιδίως στη βόρεια Ευρώπη (D'Amato et al., 2007).

Συγκεκριμένα, στη δυτική Ευρώπη, η κύρια περίοδος ανθοφορίας αρχίζει συνήθως στα τέλη Μαρτίου, ενώ στην κεντρική και ανατολική Ευρώπη από τις αρχές έως τα μέσα Απριλίου και από τα τέλη Απριλίου έως τα τέλη Μαΐου στη βόρεια Ευρώπη (EAACI). Οι τιμές γύρεως κορυφώνονται 1-3 εβδομάδες μετά την έναρξη της περιόδου. Η διάρκεια της κύριας εποχής εξαρτάται σημαντικά από τη θερμοκρασία και έτσι κυμαίνεται από 2 έως και 8 εβδομάδες. Ο γυρεόκοκκος έχει διάμετρο περίπου 20–30 μm και σχεδόν σφαιρικό σχήμα με τρεις πόρους στην άκρη.



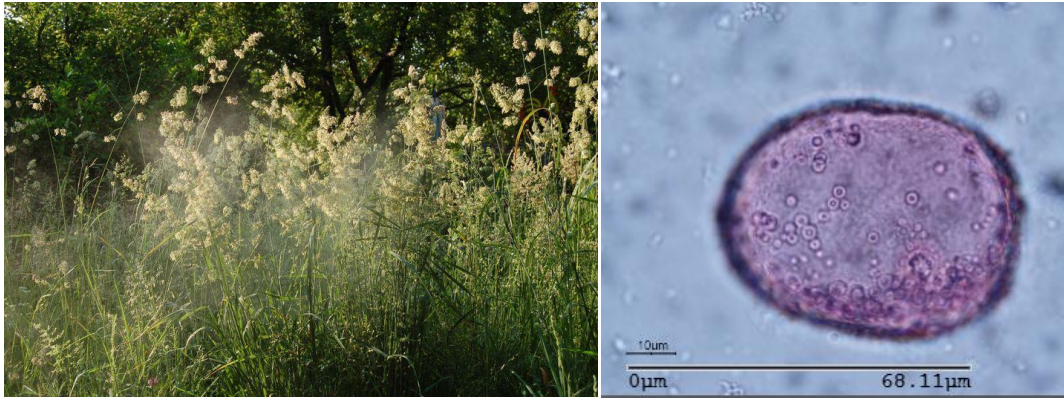
Εικόνα 1.27. Γύρη σημύδας (*Betula pubescens*, Ehrh.) (Willis, 2019).

1.8.3.3. Αγρωστώδη (Grasses)

Η οικογένεια Poaceae, γνωστή ως αγρωστώδη, περιλαμβάνει πάνω από 12.000 είδη ταξινομημένα σε 771 γένη (Soreng et al., 2015). Οι γυρεόκοκκοι έχουν σχήμα σφαιροειδές έως (spheroidal to sub-oblate) με έναν μόνο κυκλικό πόρο, και το μέγεθός τους διαφέρει αρκετά (García-Mozo, 2017, Joly et al., 2007, Salgado-Labouriau and Rinaldi, 2009).

Πολυάριθμα είδη αγρωστωδών αναπτύσσονται σε υψόμετρο, απελευθερώνοντας γύρη από τον Μάιο έως τον Σεπτέμβριο, με ιδιαίτερη έξαρση τον Ιούνιο και τον Ιούλιο. Στις βόρειες, κεντρικές και ανατολικές περιοχές, η κύρια περίοδος ανθοφορίας αγρωστωδών ξεκινά αρχές Μαΐου και τελειώνει στα τέλη Ιουλίου. Στην περιοχή της Μεσογείου η ανθοφορία συνήθως αρχίζει και τελειώνει ένα μήνα νωρίτερα. **Η επικονίαση συμβαίνει περίπου 2-3 εβδομάδες νωρίτερα στο επίπεδο της θάλασσας από ότι στις ορεινές περιοχές.** Συνολικά, στην Ευρώπη, η ανθοφορία αγρωστωδών κορυφώνεται έντονα τον Ιούνιο.

Η γύρη των αγρωστωδών είναι ο κύριος παράγοντας πρόκλησης αλλεργιών κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Προκαλούν μερικά από τα πιο σοβαρά συμπτώματα, καθώς η θεραπεία είναι δύσκολη. Τα είδη με την υψηλότερη αλλεργιογόνο δράση είναι εκείνα που αναπτύσσονται σε υψόμετρο σε βοσκοτόπους, π.χ. τριφύλλι, βρώμη, κ.ά. Όλα έχουν υψηλή αλλεργιογόνο δράση, με την καλλιιεργούμενη σίκαλη να παρουσιάζει ίσως την ισχυρότερη.



Εικόνα 1.28. Φωτογραφία από αγρωστώδη με το νέφος γύρεως (Image rights: Helmut Zwander) αριστερά και γύρη σίκαλης (*Secale cereale*) δεξιά (Bennett, 2017).

2. Επεξεργασία δεδομένων

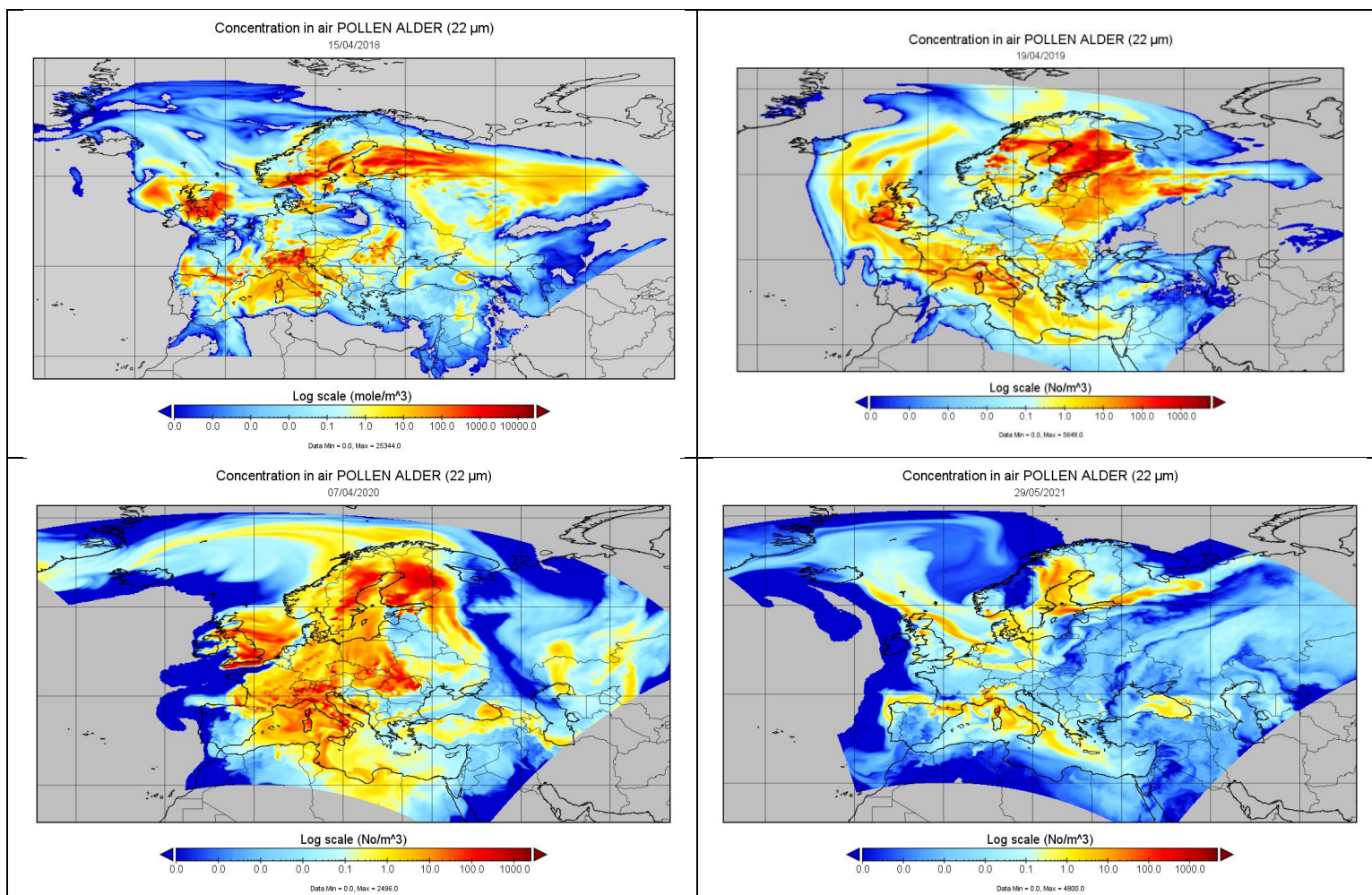
Οι ημερήσιες μετρήσεις της αερομεταφερόμενης γύρεως εκφράζονται ως μέσες ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις ως αριθμός γυρεόκοκκων ανά κυβικό μέτρο. Η παρατηρούμενη ημερήσια θερμοκρασία και η σχετική υγρασία ελήφθησαν από τους μετεωρολογικούς σταθμούς του MeteoSwiss.

Στη συνέχεια, μέσω της γλώσσας προγραμματισμού MATLAB, σχεδιάστηκαν οι πίνακες για τη σχετική θερμοκρασία, την σχετική υγρασία και τη συγκέντρωση γύρεως 14 διαφορετικών ειδών φυτικής γύρεως για καθέναν από τους τέσσερις σταθμούς, τα έτη 2018-2021 και πιο συγκεκριμένα από 01/01/2018 μέχρι 31/12/2021.

2.1. Δεδομένα από το μοντέλο SILAM

Παρακάτω παρατίθενται εικόνες που προέρχονται από δεδομένα του μοντέλου SILAM (<https://silam.fmi.fi/pollen.html>), επεξεργασμένα στο Πρόγραμμα Raporly, σε ημερομηνίες που οι συγκεντρώσεις της γύρεως Σκλήθρου, Σημύδας, Αγρωστωδών και Ελιάς (Alder, Birch, Grass και Olive αντίστοιχα) ήταν πολύ υψηλές για την περίοδο μελέτης μας στην Ευρώπη.

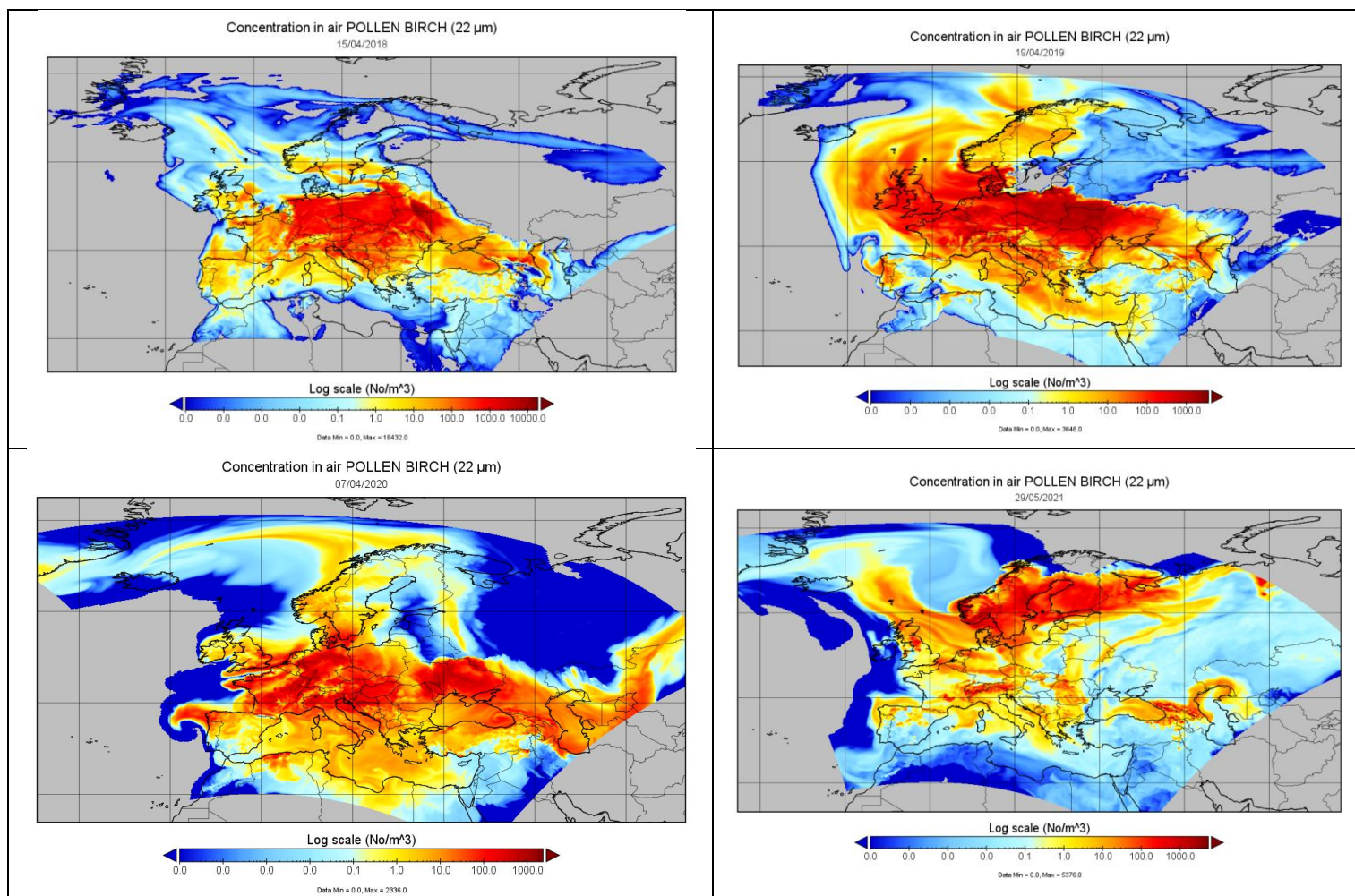
2.1.1. Γύρη σκλήθρου



Σχήμα 2.1. Δεδομένα SILAM επεξεργασμένα στο Πρόγραμμα Panoply, για τις συγκεντρώσεις της γύρεως σκλήθρου τις ημερομηνίες: 15/04/2018, 19/04/2019, 07/04/2020, 29/05/2021. Η κλίμακα είναι λογαριθμική και η συγκέντρωση μετράται είτε σε mole ή σε αριθμό, ανά κυβικό μέτρο. Η διάμετρος του γυρεόκοκκου του σκλήθρου είναι 22 μm .

Από τις παραπάνω εικόνες, συμπεραίνουμε ότι η συγκέντρωση της γύρεως σκλήθρου είναι υψηλή στις χώρες της Βόρειας Ευρώπης τα έτη 2018, 2019, 2020, 2021 κατά τους εαρινούς μήνες (Απρίλιος - Μάιος), καθώς εμφανίζεται και σε μεγάλη συγκέντρωση και στην περιοχή της Μεσογείου. Σε αντίθεση, παρατηρούμε ότι στα τέλη του Μαΐου διαφαίνεται μείωση της συγκέντρωσης της γύρεως.

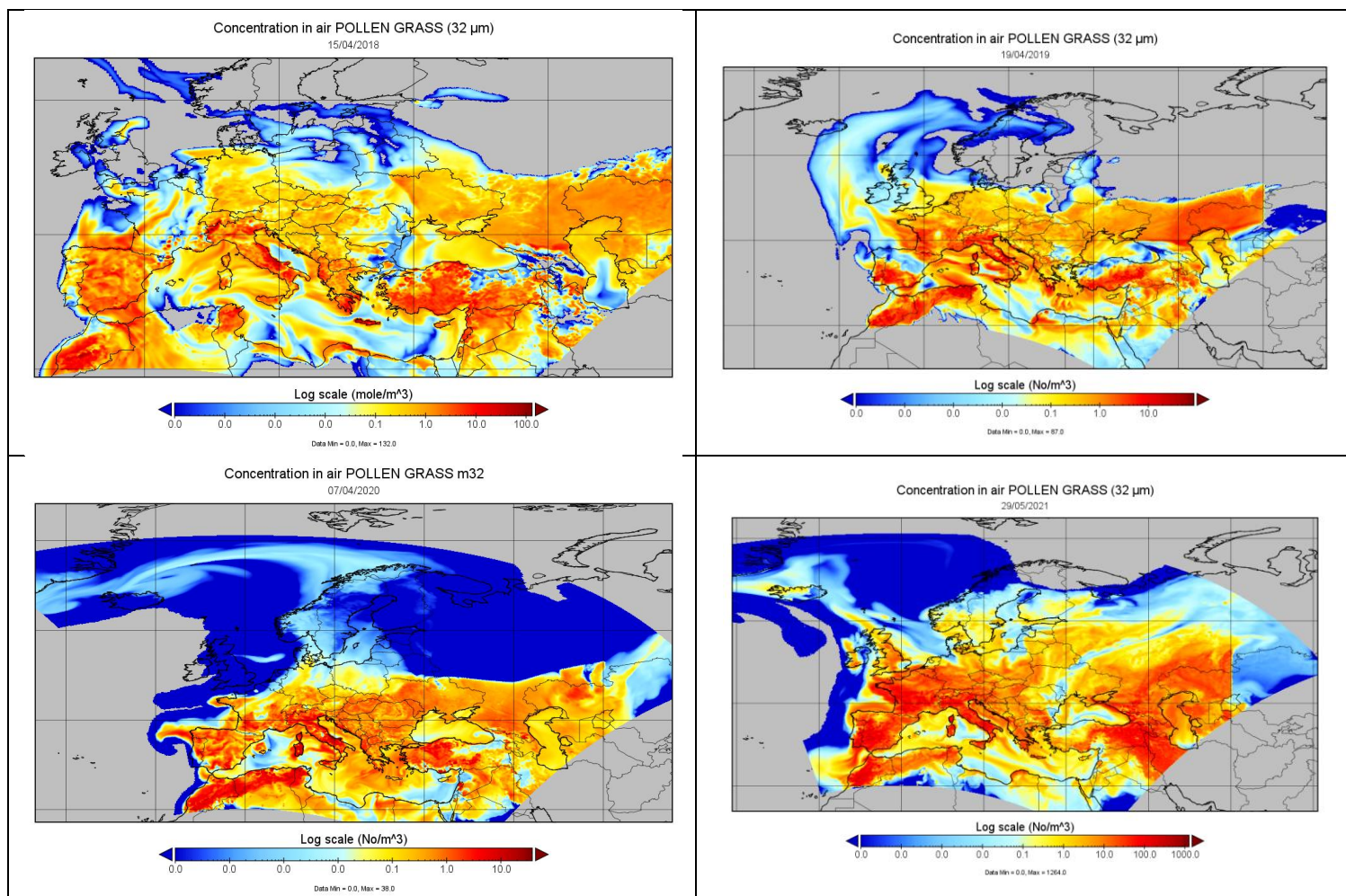
2.1.2. Γύρη σημύδας



Σχήμα 2.2. Δεδομένα SILAM επεξεργασμένα στο Πρόγραμμα Panoply, για τις συγκεντρώσεις της γύρης σημύδας τις ημερομηνίες: 15/04/2018, 19/04/2019, 07/04/2020, 29/05/2021. Η κλίμακα είναι λογαριθμική και η συγκέντρωση μετράται σε αριθμό ανά κυβικό μέτρο. Η διάμετρος του γυρεόκοκκου της σημύδας είναι 22 μm.

Από τις παραπάνω εικόνες, συμπεραίνουμε ότι η συγκέντρωση της γύρης σημύδας είναι υψηλή στην κεντρική Ευρώπη τα έτη 2018, 2019, 2020 κατά τις αρχές και τα μέσα Απριλίου και πιο έντονα το έτος 2019. Το έτος 2021 (τέλος του Μαΐου) εμφανίζεται κυρίως βορειότερα και συγκεκριμένα στις χώρες της Σκανδιναβικής Χερσονήσου.

2.1.3. Γύρη αγρωστωδών

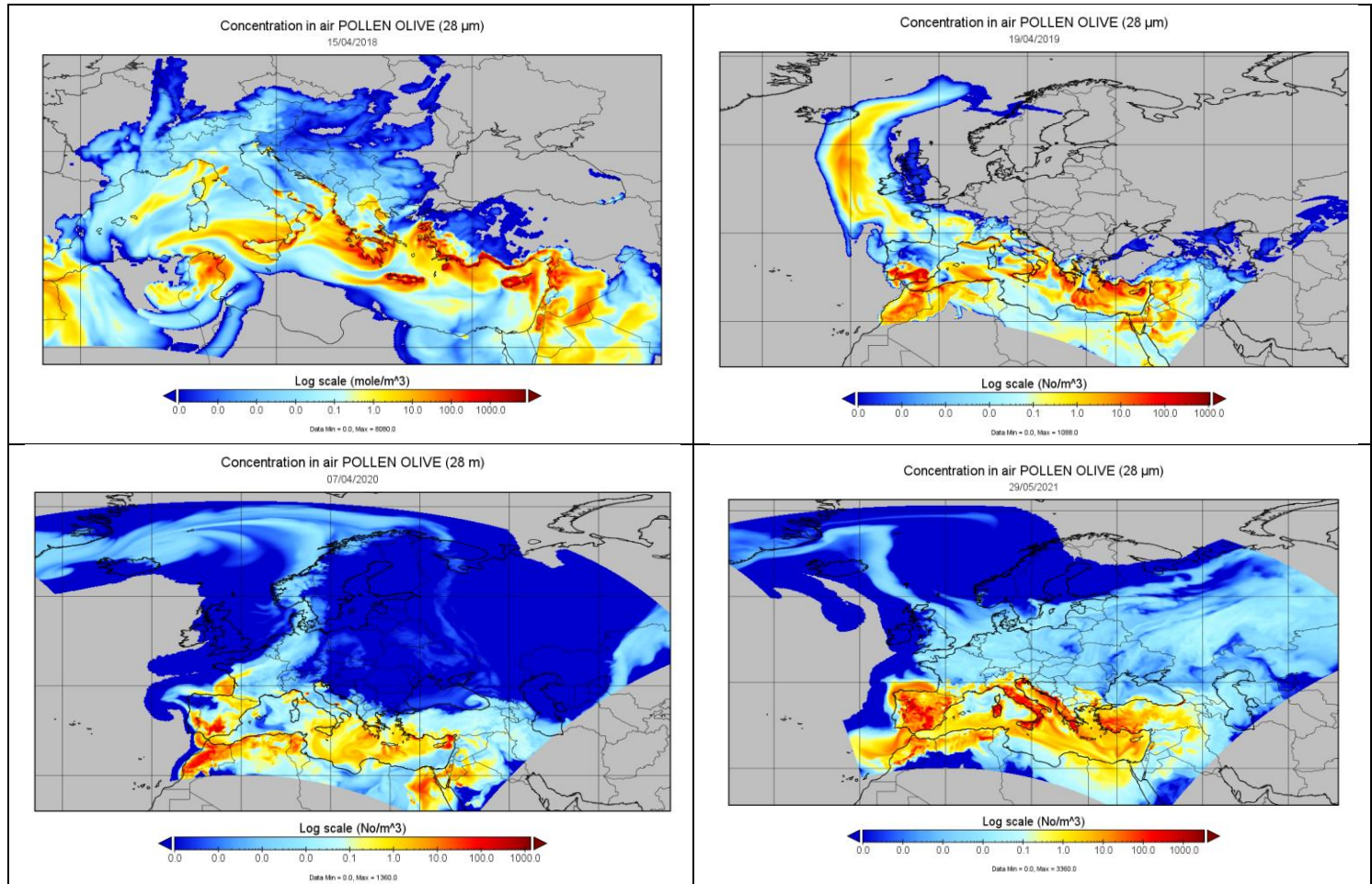


Σχήμα 2.3. Δεδομένα SILAM επεξεργασμένα στο Πρόγραμμα Panoply, για τις συγκεντρώσεις της γύρεως αγρωστωδών τις ημερομηνίες: 15/04/2018, 19/04/2019, 07/04/2020, 29/05/2021. Η κλίμακα είναι λογαριθμική και η συγκέντρωση μετράται είτε σε mole ή σε αριθμό, ανά κυβικό μέτρο. Η διάμετρος του γυρεόκοκκου των αγρωστωδών είναι 32 μm.

Από τις παραπάνω εικόνες, συμπεραίνουμε ότι η συγκέντρωση της γύρεως αγρωστωδών εμφανίζεται στην κεντρική και νότια Ευρώπη, πιο διασκορπισμένη με εναλλαγές κατά τόπους. Αυτό είναι λογικό, διότι η οικογένεια Poaceae περιλαμβάνεται πληθώρα ειδών, τα οποία έχουν διαφορετική περίοδο έναρξης, διάρκειας και τερματισμού της γύρεώς τους. Οι συγκεντρώσεις τους γίνονται ακόμα εντονότερες τους καλοκαιρινούς μήνες, δηλαδή τον Ιούνιο και τον Ιούλιο. Σε υγρά κλίματα, η περίοδος γύρεως αγρωστωδών διαρκεί αρκετούς μήνες. Σε πιο ξηρά κλίματα, είναι σημαντικά μικρότερη, όπως και η εποχή της γύρεως της σημύδας και της ελιάς. Η βροχόπτωση μπορεί να καθαρίσει τον αέρα από τη

γύρη, αλλά αν σχετίζεται με καταιγίδες, οι ισχυροί άνεμοι αρχικά αυξάνουν τη συγκέντρωση της γύρεως.

2.1.4. Γύρη ελιάς



Σχήμα 2.4. Δεδομένα SILAM επεξεργασμένα στο Πρόγραμμα Panoply, για τις συγκεντρώσεις της γύρεως ελιάς τις ημερομηνίες: 15/04/2018, 19/04/2019, 07/04/2020, 29/05/2021. Η κλίμακα είναι λογαριθμική και η συγκέντρωση μετράται είτε σε mole ή σε αριθμό, ανά κυβικό μέτρο. Η διάμετρος του γυρεόκοκκου της ελιάς είναι 28 μm.

Τέλος, λαμβάνουμε εικόνες από γύρη ελιάς. Η γύρη της ελιάς εμφανίζεται κυρίως στις περιοχές της Μεσογείου από Απρίλιο έως Ιούνιο. Παρατηρούμε πως η συγκέντρωσή της είναι σχετικά σταθερή ανά τα τέσσερα έτη.

2.2. Ανάλυση χρονοσειρών

Μέσω του προγράμματος MATLAB, πραγματοποιήθηκε συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης της γύρεως, της θερμοκρασίας, και της σχετικής υγρασίας ανά οικογένεια φυτικών ειδών τα έτη 2018 έως 2021.

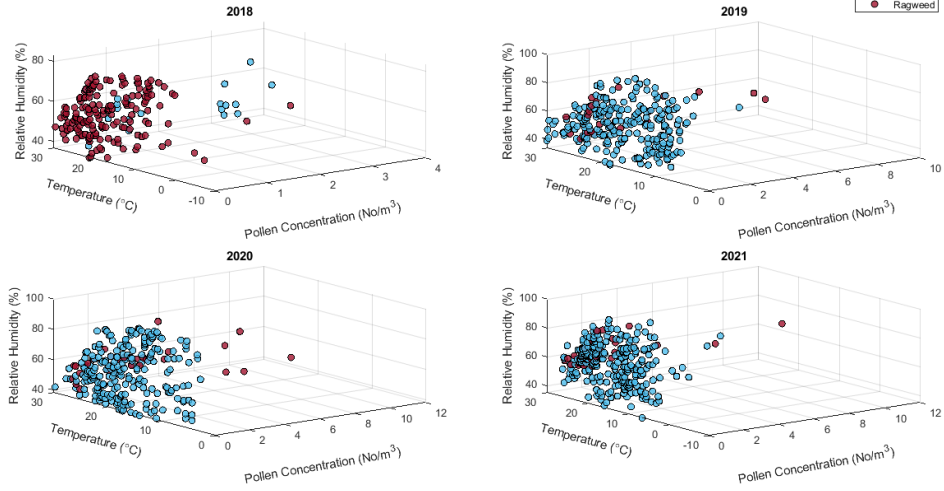
Πίνακας 2.1. Τα φυτικά είδη που μελετήθηκαν και η οικογένεια στην οποία ανήκουν.

	Φυτικό είδος	Ελληνική ονομασία	Οικογένεια
1	Alder	Σκλήθρα	Betulaceae
2	Ash (F. excelsior)	Φράξος	Oleaceae
3	Beech	Οξιά	Fagaceae
4	Birch	Σημύδα	Betulaceae
5	Grasses	Αγρωστώδη	Poaceae/ Gramineae
6	Hazel	Φουντουκιά	Betulaceae
7	Hornbeam	Γάβρος	Betulaceae
8	Mugwort	Αρτεμισία	Asteraceae
9	Oak	Δρυς/ βελανιδιά	Fagaceae
10	Plane	Πλάτανος	Platanaceae
11	Plantain	Ανθοφόρο φυτό	Plantaginaceae
12	Ragweed	Αμβροσία	Asteraceae
13	Sorrel, dock	Rumex acetosa/obtusifolius	Polygohaceae
14	Sweet chestnut	Καστανιά	Fagaceae

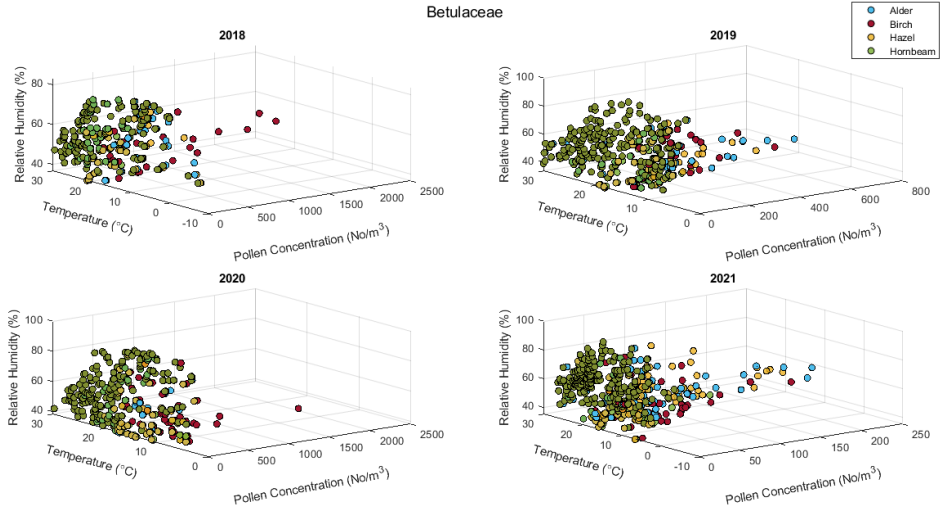
Πίνακας 2.2. Τα φυτικά είδη που μελετήθηκαν χωρισμένα ανά οικογένεια.

Οικογένεια	Asteraceae	Betulaceae	Fagaceae	Grasses	Oleaceae
Φυτικά είδη	Mugwort	Alder	Beech		Ash (F. excelsior)
		Birch	Oak		
	Ragweed	Hazel	Sweet chestnut		
		Hornbeam			

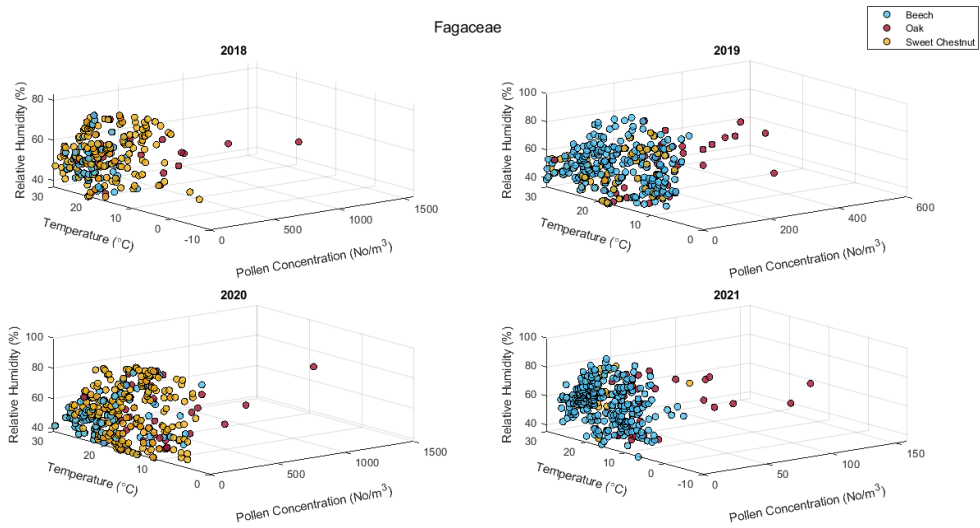
Asteraceae

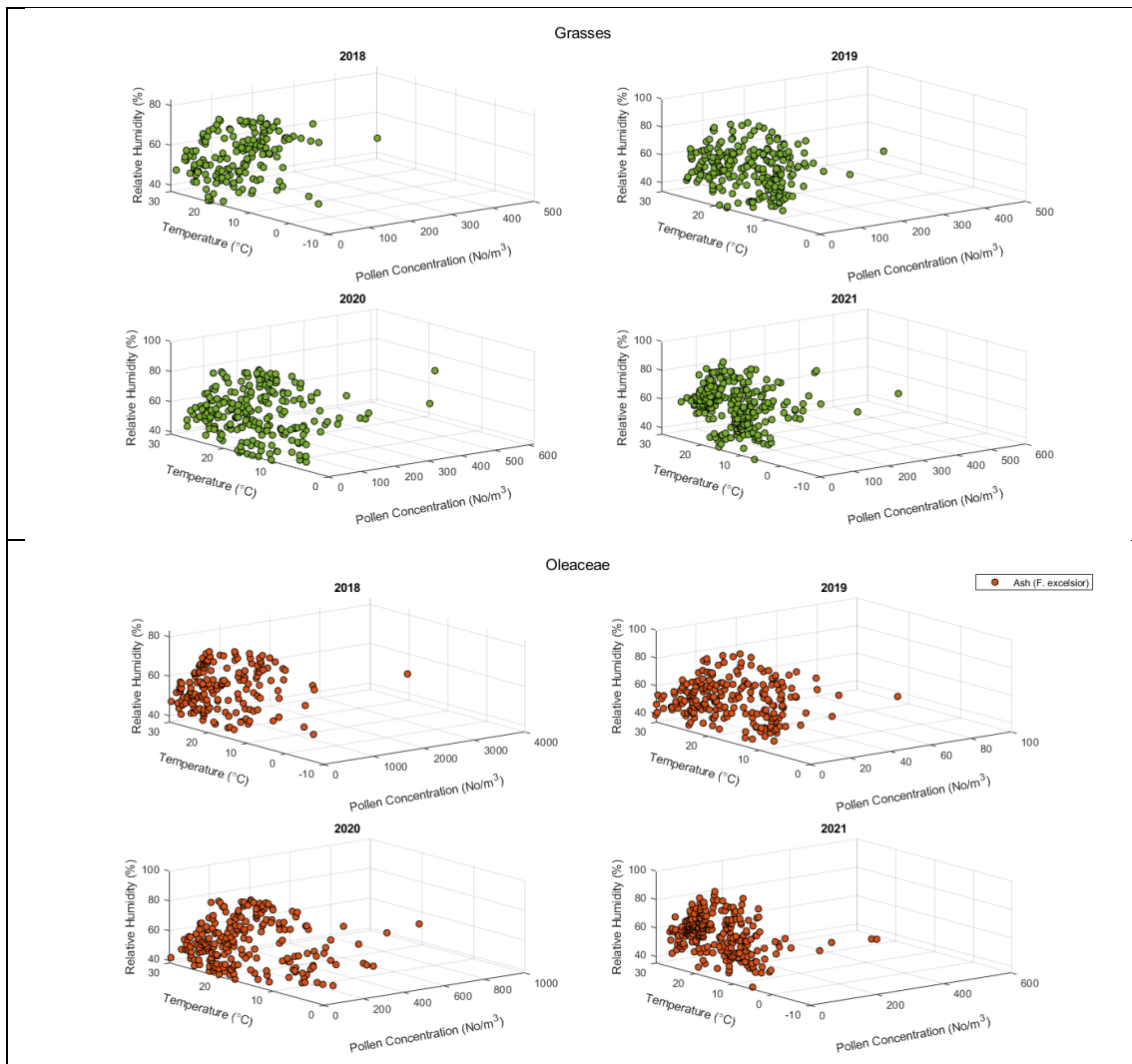


Betulaceae



Fagaceae

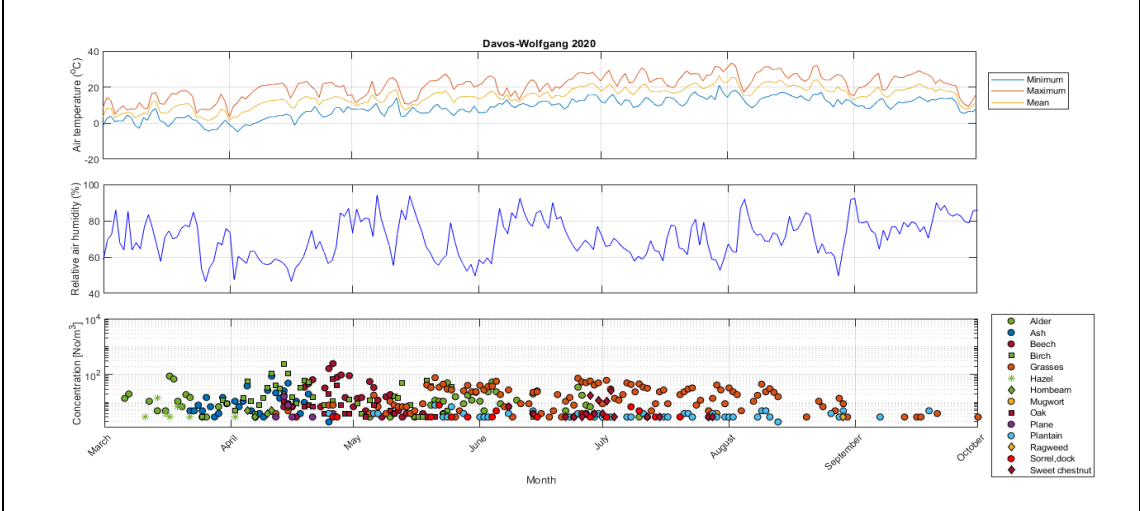
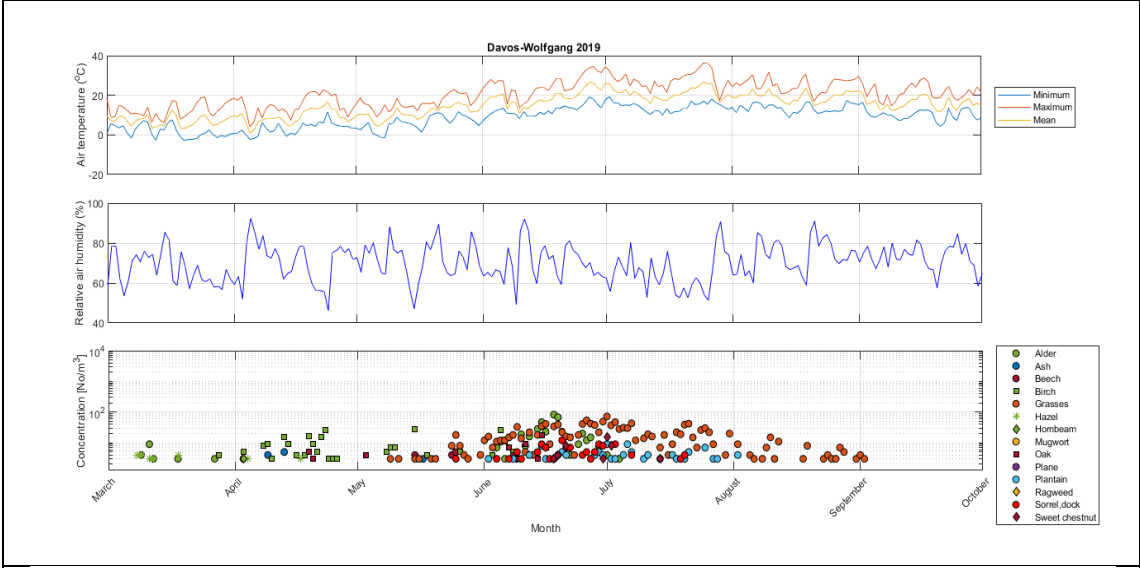
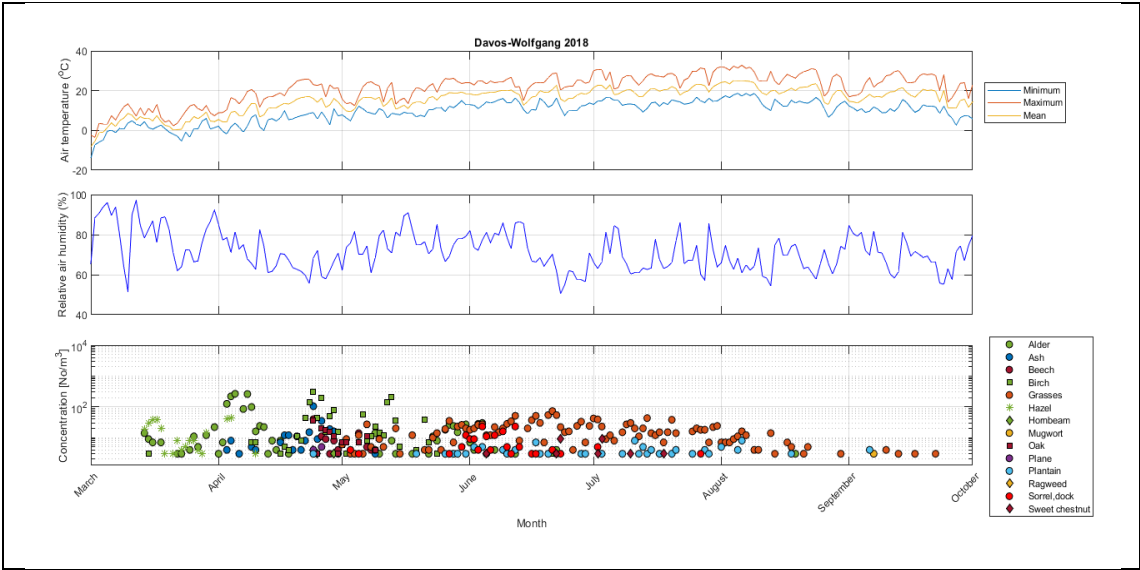




Σχήμα 2.5. Συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης της γύρεως, της θερμοκρασίας, και της σχετικής υγρασίας στους ανά οικογένεια φυτικών ειδών τα έτη 2018 έως 2021.

2.2.1. Σταθμός Davos- Wolfgang

Ο σταθμός Davos Wolfgang της Ελβετίας βρίσκεται σε υψόμετρο 1587 μέτρα. Μέσω του προγράμματος MATLAB, δημιουργήθηκαν διαγράμματα στα οποία απεικονίζονται μετεωρολογικοί παράμετροι όπως η θερμοκρασία (ελάχιστη, μέγιστη και μέση) σε βαθμούς Κελσίου (°C), η σχετική υγρασία (%) και οι συγκεντρώσεις των γύρεων σε αριθμό ανά κυβικό μέτρο (No/m³) των 14 φυτικών ειδών από δεδομένα από το 2018 έως το 2021 τα οποία προέρχονται από το MeteoSwiss.



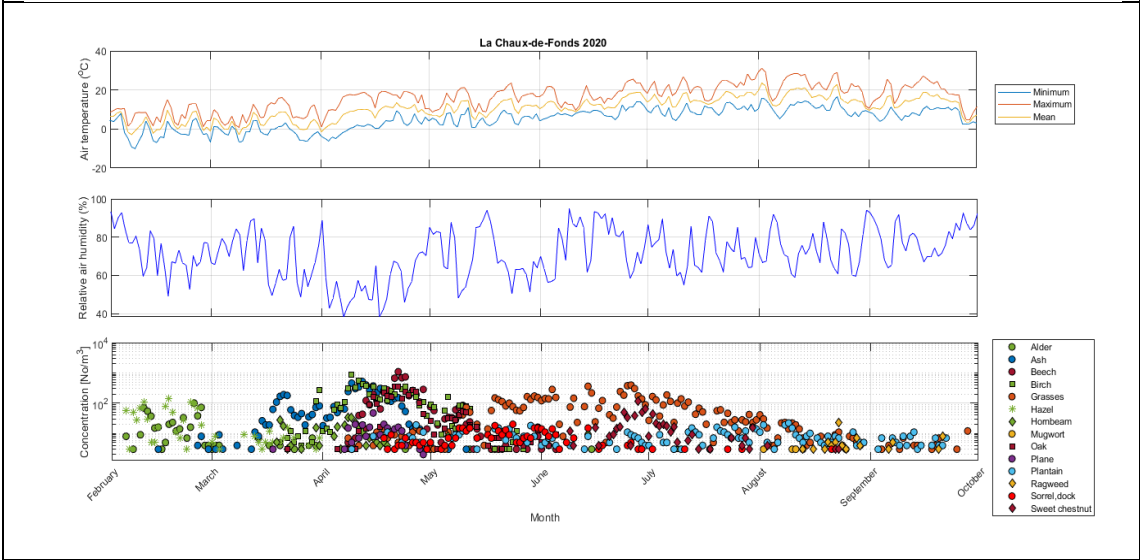
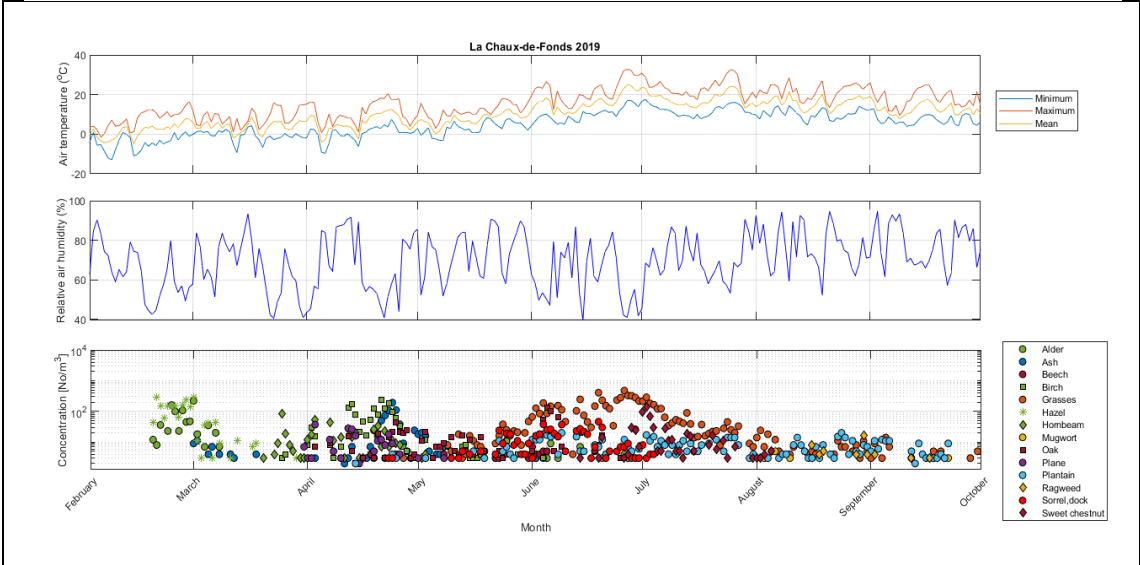
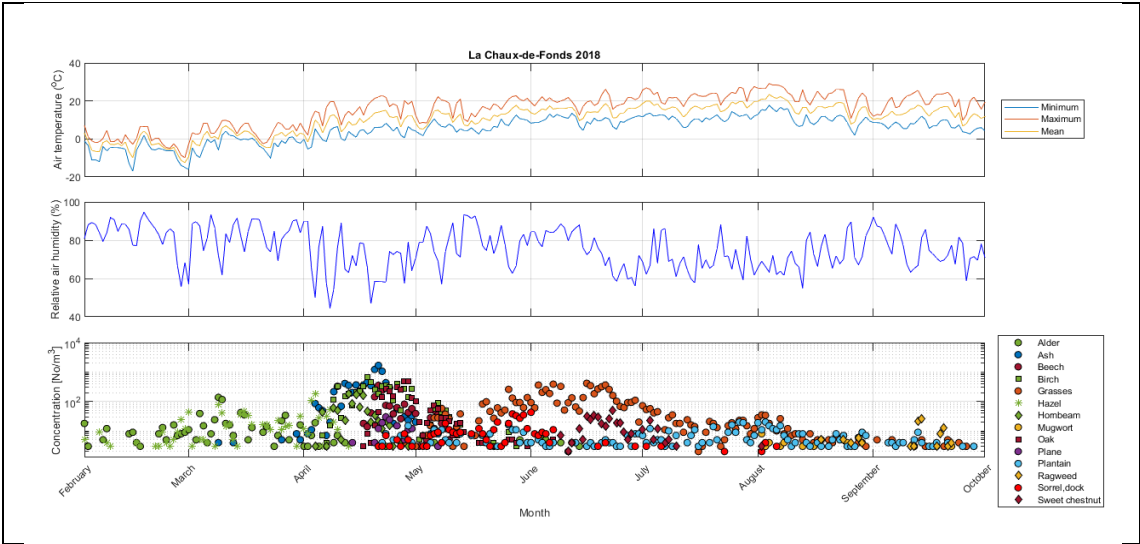


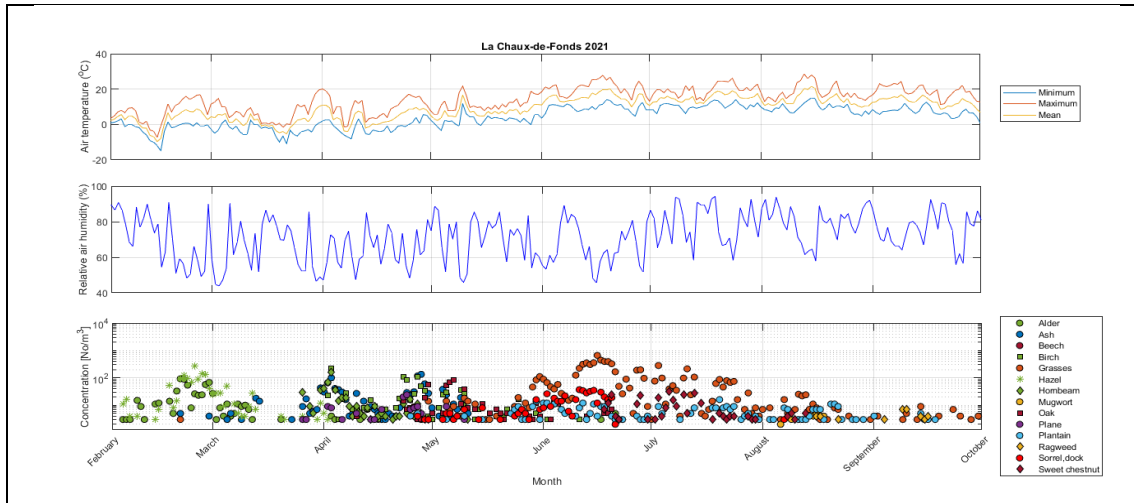
Σχήμα 2.6. Απεικόνιση των συγκεντρώσεων της γύρεως των 14 φυτικών ειδών, της θερμοκρασίας (μέγιστης, ελάχιστης και μέσης), και της σχετικής υγρασίας στο σταθμό Davos-Wolfgang για τα έτη 2018, 2019, 2020, 2021.

Από τα παραπάνω διαγράμματα για το σταθμό Davos-Wolfgang για τα έτη 2018 – 2021, παρατηρούμε ότι το 2018 η περίοδος της γύρεως ξεκινά πρώτη για την οικογένεια Betulaceae και για τα υπόλοιπα φυτικά είδη στα μέσα του Μαρτίου μέχρι τα τέλη του Αυγούστου, ενώ το Σεπτέμβριο εμφανίζεται κυρίως γύρη αγρωστωδών. Οι συγκεντρώσεις γύρεως των διάφορων φυτικών ειδών παρατηρούνται διασκορπισμένες και σχετικά χαμηλές. Το έτος 2019, παρατηρούμε υψηλή συγκέντρωση γύρεως κυρίως τον Ιούνιο, όπως και το έτος 2021. Το έτος 2020 η περίοδος της γύρεως ξεκινά στις αρχές Απριλίου με έντονη συγκέντρωση το μήνα αυτό. Γενικότερα, παρατηρούμε ότι η σχετική υγρασία δε συσχετίζεται άμεσα με τη γύρη, αλλά συνήθως όταν μειώνεται, ακολουθεί αύξηση της θερμοκρασίας και επομένως αύξηση της συγκέντρωσης της γύρεως.

2.2.2. Σταθμός La Chaux-de-Fonds

Ο σταθμός La Chaux-de-Fonds της Ελβετίας βρίσκεται σε υψόμετρο 1037 μέτρα. Μέσω του προγράμματος MATLAB, δημιουργήθηκαν διαγράμματα στα οποία απεικονίζονται μετεωρολογικοί παράμετροι όπως η θερμοκρασία (ελάχιστη, μέγιστη και μέση) σε βαθμούς Κελσίου (°C), η σχετική υγρασία (%) και οι συγκεντρώσεις των γύρεων σε αριθμό ανά κυβικό μέτρο (No/m³) των 14 φυτικών ειδών από δεδομένα από το 2018 έως το 2021 τα οποία προέρχονται από το MeteoSwiss.



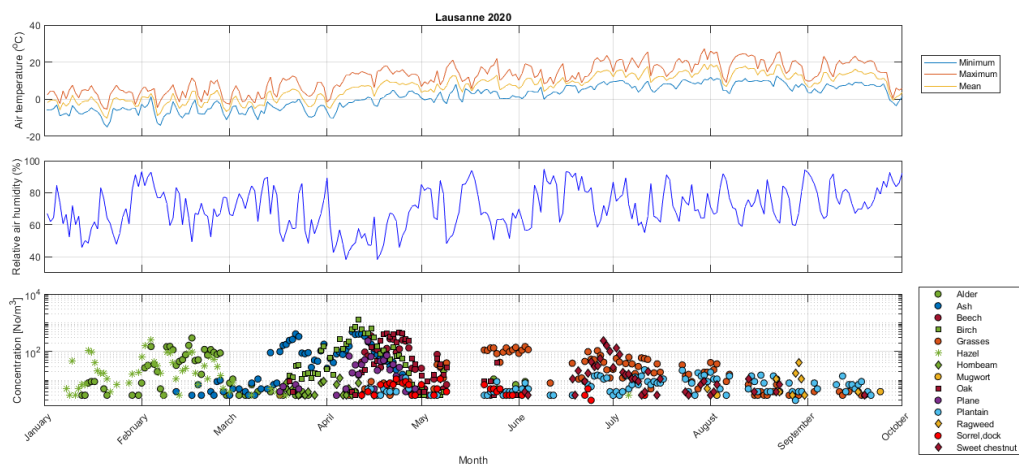
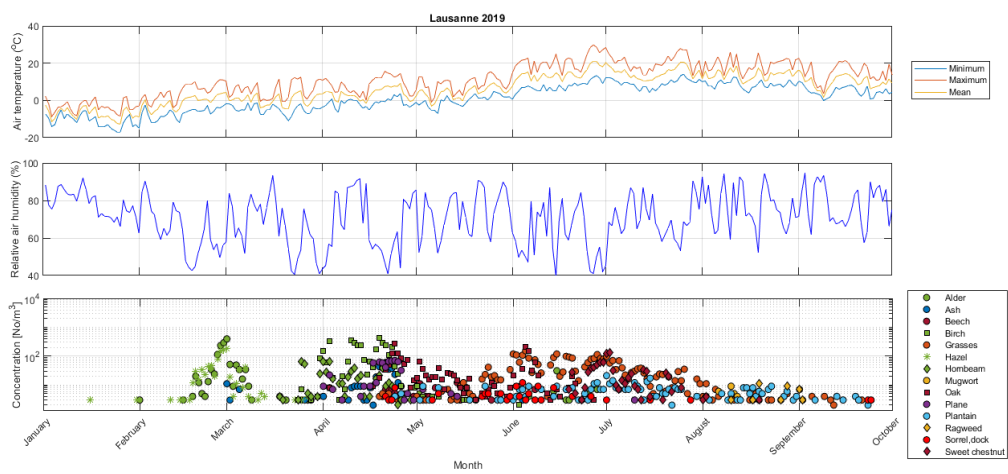
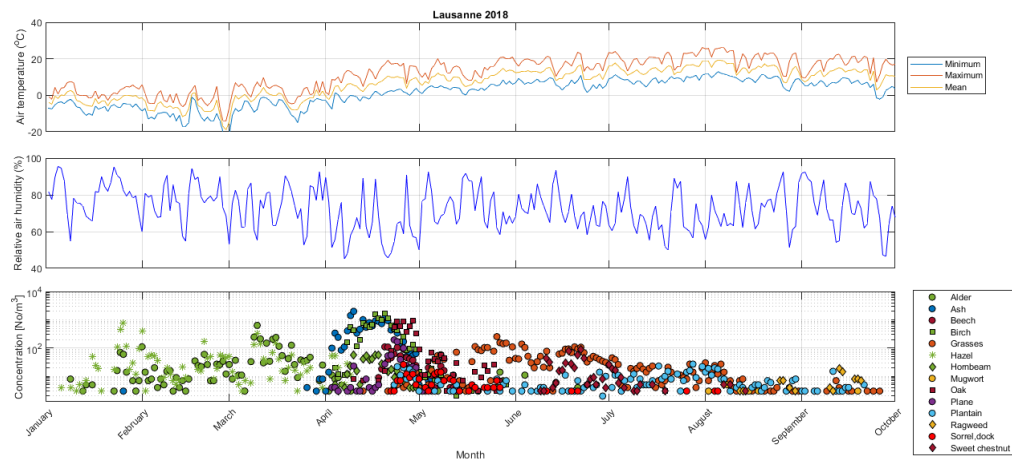


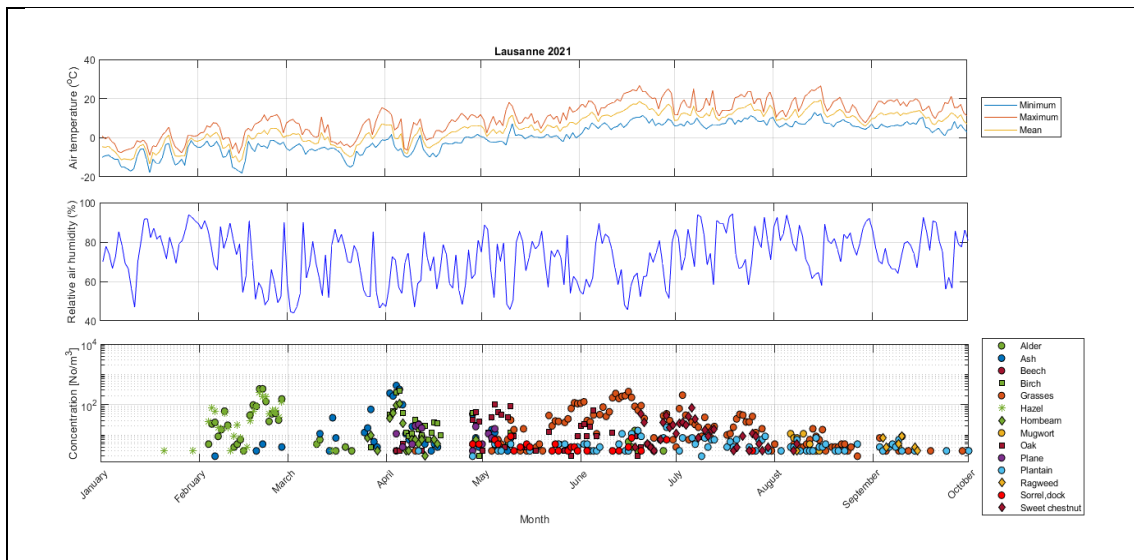
Σχήμα 2.7. Απεικόνιση των συγκεντρώσεων της γύρεως των 14 φυτικών ειδών, της θερμοκρασίας (μέγιστης, ελάχιστης και μέσης), και της σχετικής υγρασίας στο σταθμό La Chaux-de-Fonds για τα έτη 2018, 2019, 2020, 2021.

Από τα διαγράμματα για το σταθμό La Chaux-de-Fonds για τα έτη 2018 και 2019, παρατηρούμε υψηλές συγκεντρώσεις τον Απρίλιο, το Μάιο (τα περισσότερα είδη) και τον Ιούνιο μέχρι και το Σεπτέμβριο. Τα έτη 2020 και 2021 παρατηρούμε από το Φεβρουάριο λίγο πιο έντονες συγκεντρώσεις της γύρεως κυρίως της οικογένειας Betulaceae και του φράξου, με αρκετά υψηλές από τον Απρίλιο μέχρι και το τέλος του Ιουλίου, καθώς πιο χαμηλές υπάρχουν μέχρι και το τέλος του Σεπτεμβρίου. Η αύξηση της θερμοκρασίας επηρεάζει τη συγκέντρωση της γύρης, χωρίς όμως να υπάρχει κάποια άμεση συσχέτιση με τη σχετική υγρασία.

2.2.3. Σταθμός Lausanne

Ο σταθμός Lausanne της Ελβετίας βρίσκεται σε υψόμετρο 569 μέτρα. Μέσω του προγράμματος MATLAB, δημιουργήθηκαν διαγράμματα στα οποία απεικονίζονται μετεωρολογικοί παράμετροι όπως η θερμοκρασία (ελάχιστη, μέγιστη και μέση) σε βαθμούς Κελσίου (°C), η σχετική υγρασία (%) και οι συγκεντρώσεις των γύρεων σε αριθμό ανά κυβικό μέτρο (No/m³) των 14 φυτικών ειδών από δεδομένα από το 2018 έως το 2021 τα οποία προέρχονται από το MeteoSwiss.





Σχήμα 2.8. Απεικόνιση των συγκεντρώσεων της γύρεως των 14 φυτικών ειδών, της θερμοκρασίας (μέγιστης, ελάχιστης και μέσης), και της σχετικής υγρασίας στο σταθμό Lausanne για τα έτη 2018, 2019, 2020, 2021.

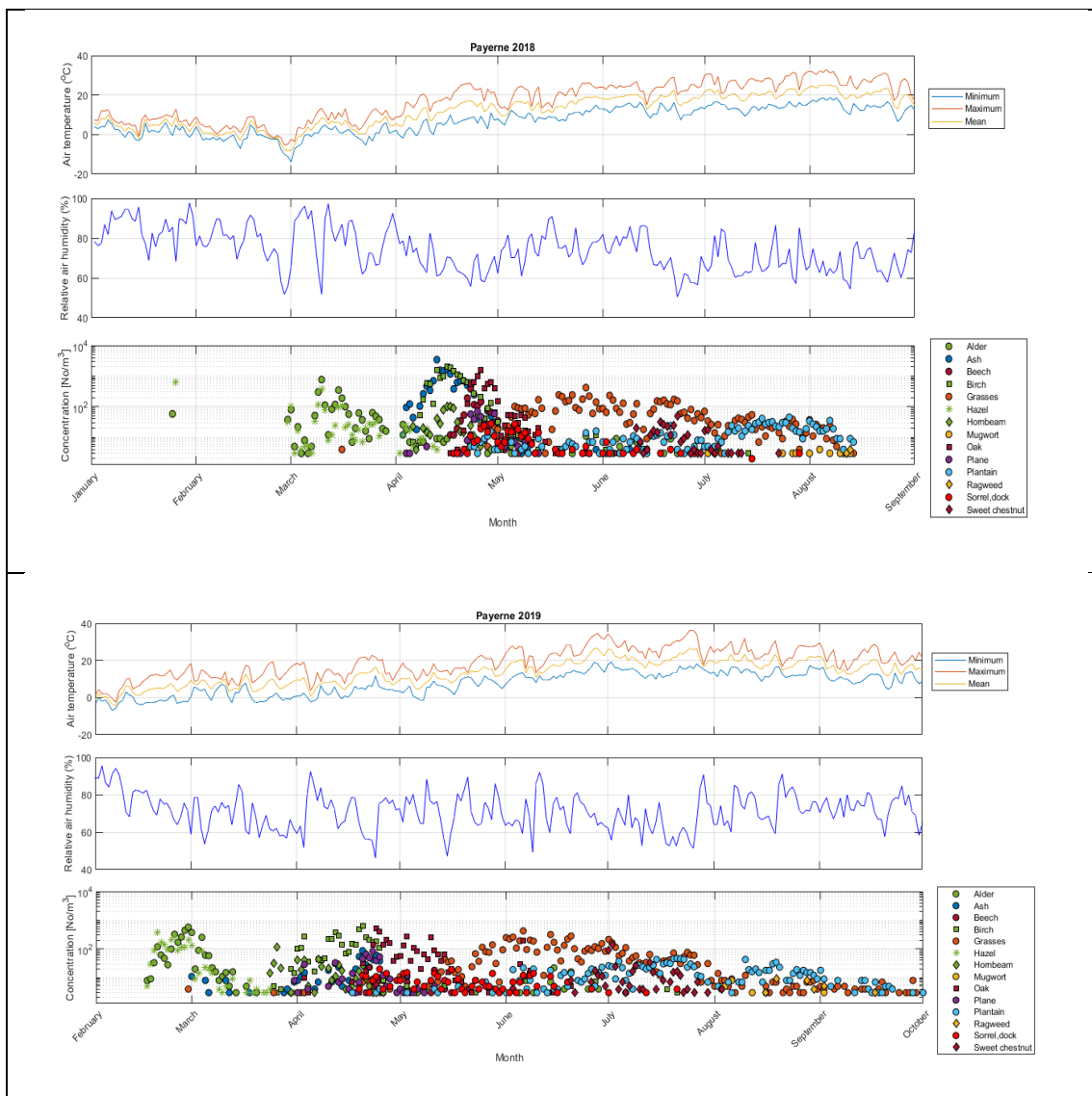
Από τα διαγράμματα στο σταθμό Lausanne, παρατηρούμε ότι το έτος 2018, η περίοδος της γύρεως ξεκινά τον Ιανουάριο, παρά τις χαμηλές θερμοκρασίες κυρίως της οικογένειας Betulaceae μέχρι και το τέλος του Μαρτίου, τον Απρίλιο παρατηρούμε υψηλές συγκεντρώσεις, ενώ το Μάιο και τον Ιούνιο λιγότερες. Το έτος 2019 η συκέντρωση της γύρεως αυξάνεται προς τα τέλη του Φεβρουαρίου και οι πιο έντονες συγκεντρώσεις διαφαίνονται τον Απρίλιο και το Μάιο. Τον Ιανουάριο του 2020 παρατηρούμε συγκεντρώσεις γύρεως της οικογένειας Betulaceae, καθώς και συγκεντρώσεις φράξου το Φεβρουάριο, ενώ υψηλές είναι και από τα υπόλοιπα φυτικά είδη τον Απρίλιο. Μέσα στο Μάιο παρατηρούμε αυξημένη σχετική υγρασία και ένα κενό στη συγκέντρωση της γύρεως που πιθανότατα οφείλεται σε βροχόπτωση. Τέλος, το έτος 2021 η περίοδος γύρης ξεκινά το Φεβρουάριο, κάποιες ημέρες του Απριλίου εμφανίζονται υψηλές συγκεντρώσεις από το Μάιο μέχρι τον Ιούλιο.

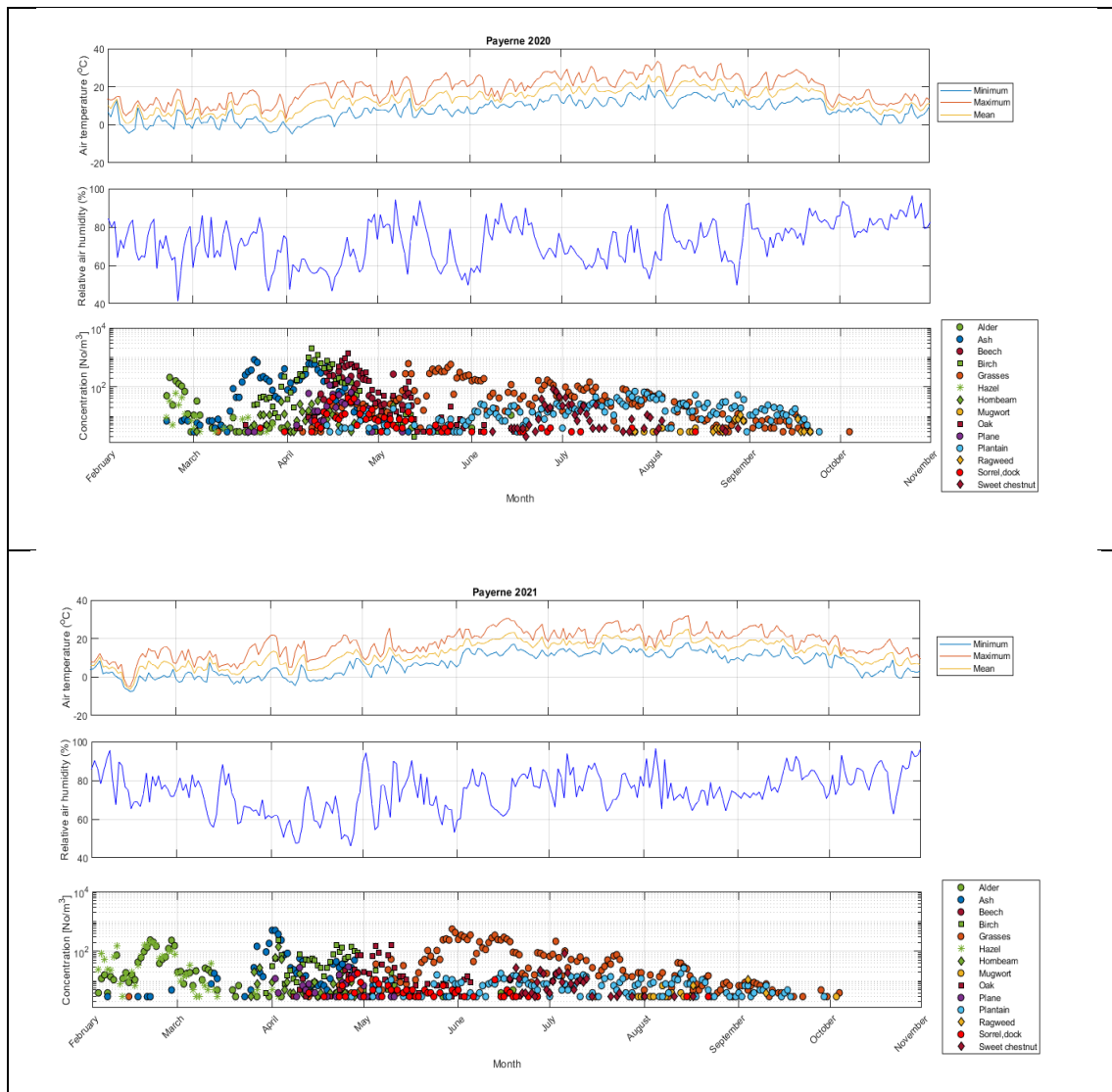
2.2.4. Σταθμός Payerne

Ο σταθμός Payerne της Ελβετίας βρίσκεται σε υψόμετρο 490 μέτρα. Μέσω του προγράμματος MATLAB, δημιουργήθηκαν διαγράμματα στα οποία απεικονίζονται μετεωρολογικοί παράμετροι όπως η θερμοκρασία (ελάχιστη, μέγιστη και μέση) σε βαθμούς Κελσίου (°C), η σχετική υγρασία (%) και οι συγκεντρώσεις των γύρεων σε αριθμό ανά κυβικό μέτρο (No/m³) των 14 φυτικών ειδών από δεδομένα από το 2018 έως το 2021 τα οποία προέρχονται από το MeteoSwiss.

Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις γύρεως στο σταθμό Payerne για:

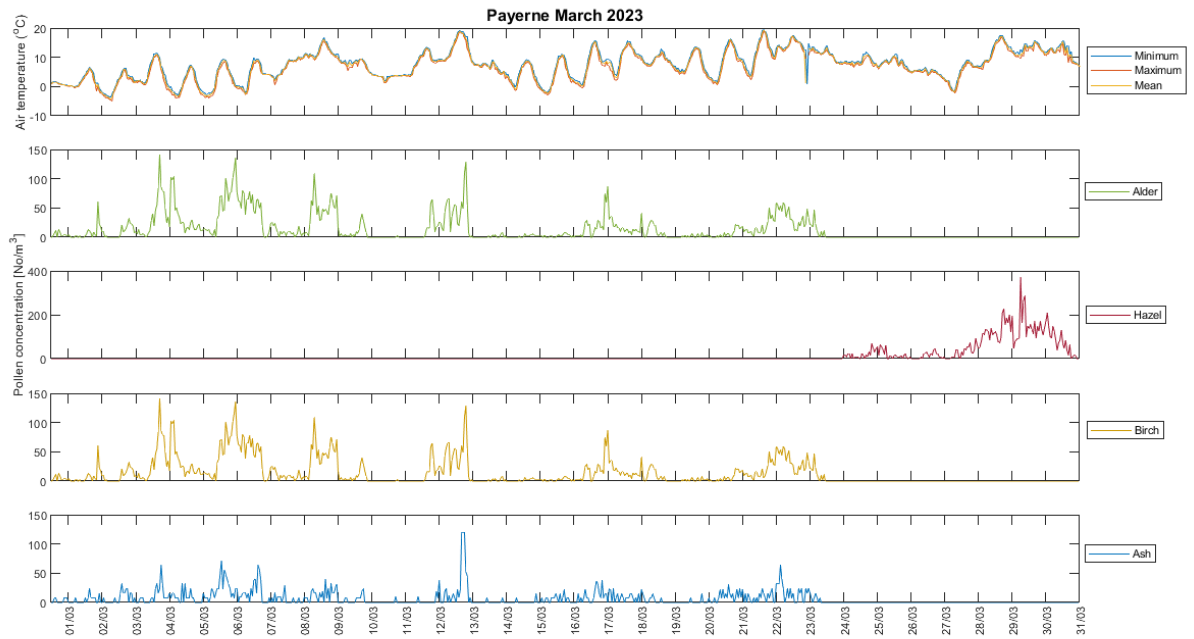
- το 2018 είναι 12/4/2018 (3422 No/m³) και 15/4/2018 (2037 No/m³)
- το 2019 είναι 19/4/2019 (646 No/m³) και 23/4/2019 (504 No/m³)
- το 2020 είναι 7/4/2020 (2052 No/m³) και 9/4/2020 (1239 No/m³)
- το 2021 είναι 29/5/2021 (555 No/m³) και 30/5/2021 (423 No/m³)





Σχήμα 2.9. Απεικόνιση των συγκεντρώσεων της γύρεως των 14 φυτικών ειδών, της θερμοκρασίας (μέγιστης, ελάχιστης και μέσης), και της σχετικής υγρασίας στο σταθμό Payerne για τα έτη 2018, 2019, 2020, 2021.

Από τα διαγράμματα στο σταθμό Payerne για το έτος 2018, η περίοδος της γύρεως ξεκινά το Μάρτιο, με υψηλές συγκεντρώσεις τον Απρίλιο μέχρι και τα μέσα Αυγούστου. Το έτος 2019, η περίοδος ξεκινά μέσα Φεβρουαρίου και πάλι οι πιο υψηλές συγκεντρώσεις διαφαίνονται τον Απρίλιο μέχρι το τέλος Σεπτεμβρίου. Για το έτος 2020, η περίοδος γύρεως ξεκινά στα μέσα του Μαρτίου με αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις μέχρι και το τέλος του Σεπτεμβρίου και το έτος 2021, ξεκινά, αρχές Φεβρουαρίου και τελειώνει αρχές Οκτωβρίου παρά τις σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες με συγκεντρώσεις γύρεως χαμηλές κυρίως αγρωστωδών και αρτεμισίας (ζιζανίου). Αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις παρατηρούνται και πάλι το μήνα Απρίλιο.



Σχήμα 2.10. Απεικόνιση της θερμοκρασίας (μέγιστης, ελάχιστης και μέσης) και των συγκεντρώσεων της γύρεως των φυτικών ειδών: Σκλήθρο, Φουντουκιά, Σημύδα και Φράξο (Alder, Hazel, Birch και Ash αντίστοιχα) στο σταθμό Payerne για το Μάρτιο του 2023 (03/2023).

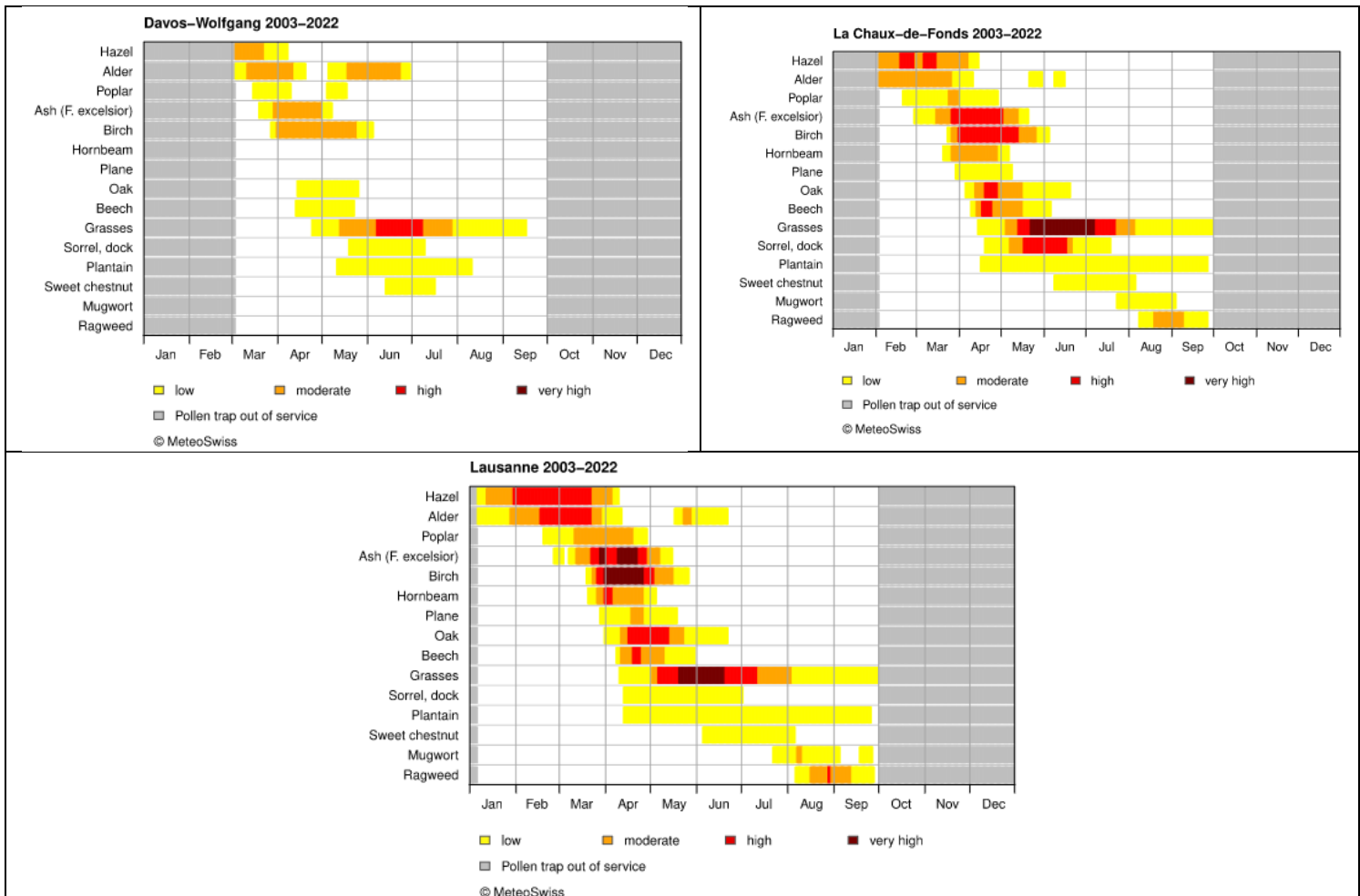
Σημείωση: Τα δεδομένα της θερμοκρασίας προέρχονται από το MeteoSwiss και τα δεδομένα της γύρεως παραχωρήθηκαν ευγενικά από τον Dr. Benoît Crouzy, Ερευνητή στο σταθμό της MeteoSuisse στην Payerne.

Από το παραπάνω διάγραμμα για το Μάρτιο του 2023 στο σταθμό Payerne, διαφαίνεται πως υπάρχει έκπτυξη γύρεως για το σκλήθρο, τη σημύδα, τον φράξο και προς το τέλος του μηνός ξεκινά και η περίοδος της φουντουκιάς, τα περισσότερα της οικογένειας Betulaceae.

3. Αποτελέσματα

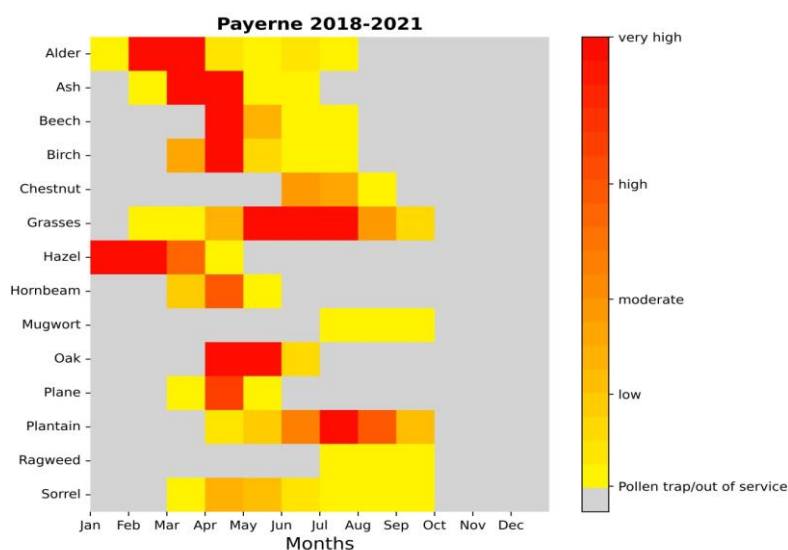
3.1. Ημερολόγιο γύρεως

Τα ημερολόγια γύρεως δείχνουν το μέσο προφίλ της εποχής γύρεως κατά τη διάρκεια του έτους για τους κύριους αλλεργιογόνους τύπους και βοηθούν στη διάγνωση και την πρόληψη των αλλεργιών. Στην Ελβετία, η εποχή της γύρεως ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή. Παρακάτω, απεικονίζονται ημερολόγια για τη γύρη για τους σταθμούς Davos-Wolfgang, La Chaux-de-Fonds, Lausanne για τα έτη 2003-2022 (Πηγή: MeteoSwiss) και για τον σταθμό Payerne για τα έτη 2018, 2019, 2020, 2021, με το πρόγραμμα Pylhon (Γιδαράκου, 2023).



Σχήμα 3.1. Ημερολόγιο γύρεως για τους σταθμούς Davos-Wolfgang, La Chaux-de-Fonds, Lausanne για τα έτη 2003-2022 (Πηγή: MeteoSwiss).

Σύμφωνα με το ημερολόγιο γύρεως στο σταθμό Davos-Wolfgang (1587 μ.) που είναι και ο πιο ορεινός, παρατηρούμε ότι τα περισσότερα έτη η περίοδος γύρεως ξεκινά από το Μάρτιο μέχρι τα τέλη του Ιουλίου με σχετικά υψηλή συγκέντρωση τον Ιούνιο, όταν η θερμοκρασία αρχίζει να αυξάνεται. Στο σταθμό La Chaux-de-Fonds (1037 μ.), αμέσως επόμενος πιο ορεινός σταθμός, η περίοδος γύρεως ξεκινάει από Φεβρουάριο μέχρι αρχές Σεπτεμβρίου με πιο έντονες συγκεντρώσεις τους καλοκαιρινούς μήνες. Στο σταθμό της Lausanne που βρίσκεται σε υψόμετρο 569 μ. η περίοδος γύρεως ξεκινάει από Ιανουάριο μέχρι αρχές Σεπτεμβρίου με την υψηλότερη συγκέντρωση τον Απρίλιο, Μάιο και Ιούνιο, που συσχετίζεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και του υψομέτρου.



Σχήμα 3.2. Ημερολόγιο γύρεως για τον σταθμό Payerne για τα έτη 2018, 2019, 2020, 2021 (Γιδαράκου, 2023).

Στο σταθμό Payerne, με 490 μ. υψόμετρο, οι υψηλές συγκεντρώσεις ξεκινούν μόλις από τον Ιανουάριο, καθώς βρίσκεται αρκετά κοντά στο επίπεδο της θάλασσας και η εποχή της γύρεως διαρκεί μέχρι και το τέλος του Σεπτεμβρίου σε αντίθεση δηλαδή με τον πιο ορεινό σταθμό.

3.2. Αποτελέσματα Αλγορίθμου Γραμμικής Διακριτικής Ανάλυσης

Όπως αναφέρθηκε, στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, χρησιμοποιήθηκε ο αλγόριθμος Γραμμικής Διακριτικής Ανάλυσης (LDA), όπου αποτελεί μια επιβλεπόμενη μέθοδο ταξινόμησης των δεδομένων σε συγκεκριμένες κλάσεις (Γιαννακουδάκη, 2021). Για την καλύτερη ταξινόμηση, έγιναν δοκιμές με διάφορους αλγόριθμους, σύμφωνα με συγκεκριμένα μέτρα αξιολόγησης (Πίνακας 1). Από τους αλγόριθμους αυτούς επιλέχθηκε ο Random Forest.

Πίνακας 3.1. Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης με τα μέτρα αξιολόγησης.

Αλγόριθμοι ταξινόμησης	Μέτρα αξιολόγησης
XG Boost Classifier	Accuracy = $\frac{True\ Positive + True\ Negative}{Total\ Sample}$
Decision Tree	
Random Forest	Precision = $\frac{True\ Positives}{True\ Positives + False\ Positives}$
Support Vector Machine	
K nearest neighbors	Recall = $\frac{True\ Positives}{True\ Positives + False\ Negatives}$
AdaBoost Classifier	
Linear Discriminant Analysis	F1 = $2 * \frac{1}{(\frac{1}{precision}) + (\frac{1}{recall})}$

Στη συνέχεια, προσδιορίστηκαν οι κλάσεις από τα δεδομένα εκπαίδευσης - training set, για τα οποία η πληροφορία της κλάσης που ανήκουν είναι εκ των προτέρων γνωστή (Πίνακας 2), ώστε να γίνει η σύγκριση μεταξύ της πραγματικής και της προβλεπόμενης κλάσης.

Πίνακας 3.2. Κλάσεις του σετ εκπαίδευσης.

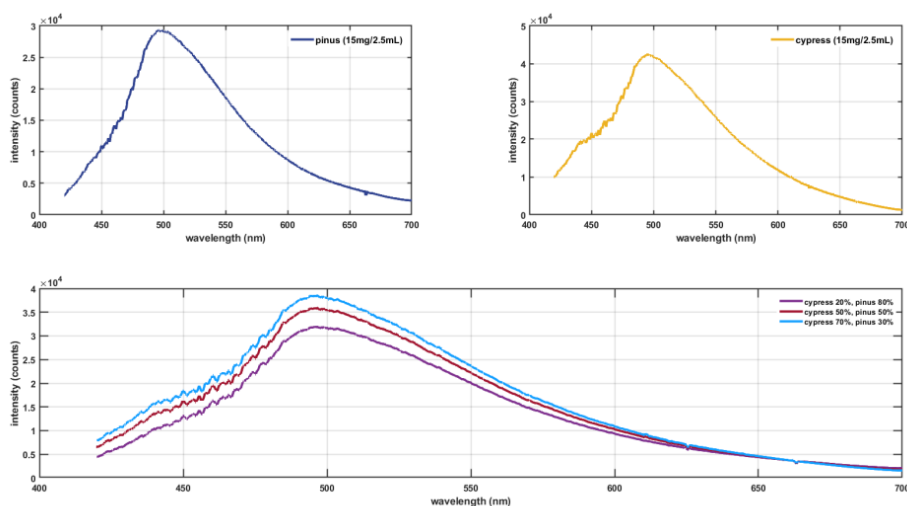
Κλάσεις	Labels
Καλλιστήμονας (Callistemon)	3
Κυπαρίσσι (Cypress)	5
Ελιά (Olea)	8
Πεύκο (Pinus)	10
Φυστικιά (Pistacia)	11

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 3.3. όπου χρησιμοποιήθηκαν κάποια από τα δεδομένα, παρατηρείται αποτελεσματικός διαχωρισμός μεταξύ των κλάσεων σύμφωνα με την πρόβλεψη που έκανε ο αλγόριθμος όσον αφορά τα φυτικά είδη με διαφορετικά ποσοστά (Γιδαράκου, 2023).

Πίνακας 3.3. Αποτελέσματα του Αλγορίθμου LDA.

Πραγματικές κλάσεις (Test)			Προβλεπόμενες κλάσεις (Prediction)		
	class1	class2		class1	class2
cypress_pinus_2mg_50_50	5.0	10.0	cypress_pinus_2mg_50_50	5.0	8.0
olea_pinus_3mg_50_50	8.0	10.0	olea_pinus_3mg_50_50	8.0	10.0
cypress_callistemon_3mg_50_50	5.0	3.0	cypress_callistemon_3mg_50_50	5.0	3.0
cypress_olea_3mg_90_10	5.0	8.0	cypress_olea_3mg_90_10	5.0	8.0
cypress_pistacia_2mg_10_90	5.0	11.0	cypress_pistacia_2mg_10_90	5.0	11.0
olea_callistemon_40mg_50_50	8.0	3.0	olea_callistemon_40mg_50_50	8.0	3.0
cypress_callistemon_2mg_70_30	5.0	3.0	cypress_callistemon_2mg_70_30	5.0	3.0
olea_pinus_30mg_20_80	8.0	10.0	olea_pinus_30mg_20_80	8.0	10.0
olea_pistacia_10mg_40_60	8.0	11.0	olea_pistacia_10mg_40_60	8.0	11.0
olea_callistemon_10mg_60_40	8.0	3.0	olea_callistemon_10mg_60_40	8.0	3.0
cypress_pinus_4mg_30_70	5.0	10.0	cypress_pinus_4mg_30_70	5.0	10.0

Στην Εικόνα 3.1. παρουσιάζεται το φάσμα δείγματος 15 mg πεύκου και κυπαρισσιού σε 2,5 mL απιονισμένου νερού το καθένα (πάνω αριστερά και πάνω δεξιά, αντίστοιχα). Στο κάτω γράφημα (Εικόνα 3.1.), διαφάνεται η μίξη της γύρεως του κυπαρισσιού – πεύκου σε ποσοστά 20% -80%, 50% -50%, 70%-30%, αντίστοιχα.

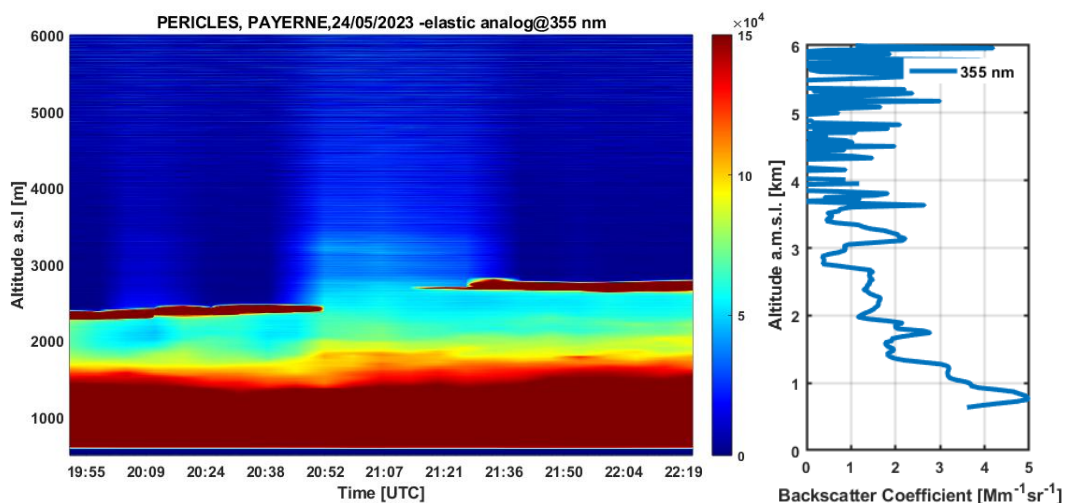


Εικόνα 3.1. Φάσματα γύρεως κυπαρισσιού και πεύκου και μίξη σε διαφορετικά ποσοστά με τον αλγόριθμο LDA (Γιδαράκου, 2023).

3.3. Ερευνητικό έργο PERICLES στην Payerne

3.3.1. Ανάλυση περίπτωσης (Case study) -24/05/2023

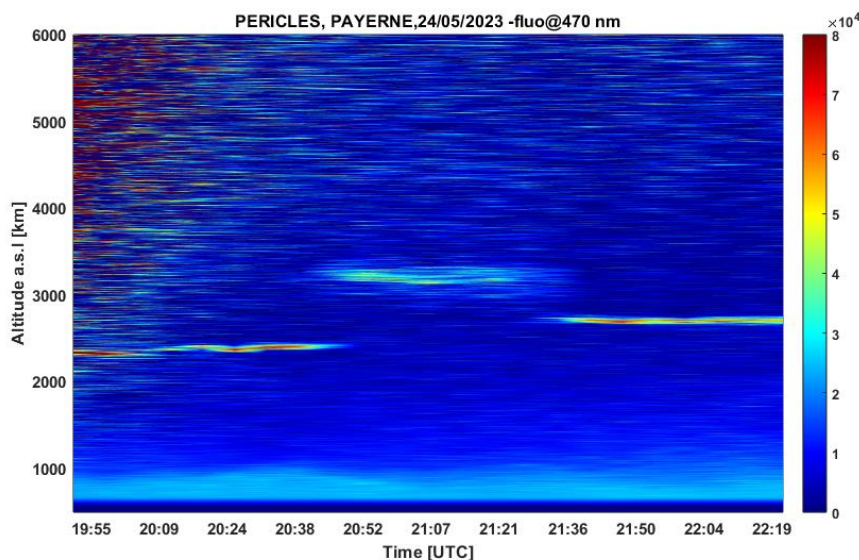
Στη συνέχεια, θα παρουσιάσουμε μια αναλυτική περιγραφή της περίπτωσης μεταφορά αιωρούμενων βιο-σωματιδίων που προέρχονται από την Β. Αμερική στην Payerne, Ελβετία (24 Μαΐου 2023) του ερευνητικού προγράμματος PERICLES (§1.8.2.3). Η χωροχρονική μεταβολή του σήματος lidar στα 355 nm (24 Μαΐου 2023, 19:50-22:20 UTC), όπως καταγράφηκε από το σύστημα PERICLES του EPFL, καθώς, επίσης, και η κατακόρυφη κατανομή του συντελεστή οπισθοσκέδασης στα 355 nm (b355), παρουσιάζονται στην Εικόνα 3.2. Σε αυτήν την περίπτωση παρατηρήθηκαν στρωματώσεις αερολυμάτων στην περιοχή ύψους 1.8-2.3 km, καθώς επίσης παρατηρήθηκαν νέφη στα 2.4 km και πιο συγκεκριμένα από τις 19:50-20:50 UTC. Ακολούθως, μεταξύ 20:52-21:20 UTC παρατηρήθηκαν στρωματώσεις αερολυμάτων στην περιοχή ύψους 2.5-3.8 km κάτι το οποίο αποτυπώνεται και στην κατακόρυφη κατανομή του b355 για εκείνη την ώρα. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρήθηκαν 3 στρωματώσεις αερολυμάτων, στα 1.5-1.8 km, στα 2.0-2.5 km και στα 3.2-3.8 km. Τέλος, από τις 21:22-22:20 UTC, παρατηρήθηκαν παρόμοιες στρωματώσεις αερολυμάτων, όπως και στην αρχή της μέτρησης.



Εικόνα 3.2. (Αριστερά) Χωροχρονική εξέλιξη του διορθωμένου σήματος lidar που λαμβάνεται από το σύστημα lidar PERICLES στα 355 nm σε αυθαίρετες μονάδες. (Δεξιά) Κατακόρυφη κατανομή του συντελεστή οπισθοσκέδασης (b355) από το σύστημα PERICLES (20:52-21:20 UTC) στις 24 Μαΐου 2023 πάνω από τον σταθμό της Payerne.

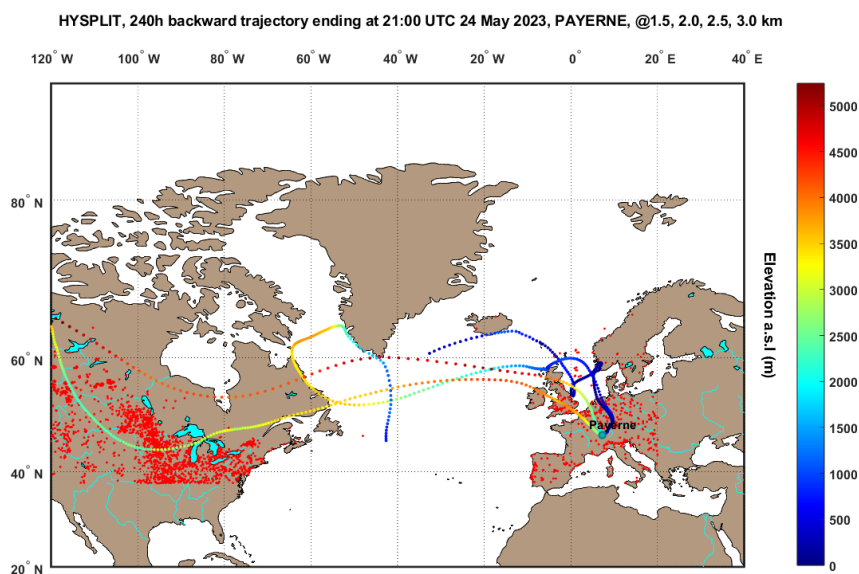
Στην Εικόνα 3.3, παρουσιάζεται η χωροχρονική εξέλιξη του διορθωμένου σήματος lidar που λαμβάνεται από το lidar PERICLES στα 420-520 nm για τις 24 Μαΐου 2023 (19:50-22:20 UTC). Παρατηρούμε ότι υπάρχει άμεση σύνδεση ανάμεσα στα λαμβανόμενα σήματα lidar στα 355 και 420-470 nm. Πιο

συγκεκριμένα, από την Εικόνα 3.4, παρατηρούμε την ύπαρξη βιο-σωματιδίων σε χαμηλά ύψη (<1 km) καθώς επίσης και στα 2.1-2.4 km (19:50-20:50 UTC), στα 3.1-3.3 km (20:52-21:20 UTC) και στα 2.4-2.7 km (21:22-22:20 UTC). Συνεπώς, με τη χρήση του καναλιού φθορισμού στα 420-520 nm μπορούμε να ταυτοποιήσουμε την ύπαρξη βιο-σωματιδίων στην ατμόσφαιρα.



Εικόνα 3.3. (Αριστερά) Χωροχρονική εξέλιξη του διορθωμένου σήματος lidar που λαμβάνεται από το lidar PERICLES στα 420-520 nm σε αυθαίρετες μονάδες στις 24 Μαΐου 2023 πάνω από τον σταθμό της Payerne.

Στην Εικόνα 3.4 παρουσιάζουμε την καταγραφή δασικών πυρκαγιών από τον δορυφόρο VIIRS της NASA για την περίοδο από 14 έως 24 Μαΐου 2023 (με κόκκινες κουκίδες αναπαριστώνται οι εστίες των πυρκαγιών), καθώς επίσης και οι οπισθοτροχιές των αερίων μαζών (διάρκειας 240 ωρών) που καταφθάνουν στην Payerne, σύμφωνα με το μοντέλο HYSPLIT NOAA (μετεωρολογικά δεδομένα GDAS1), στις 24 Μαΐου 2023 (21:00 UTC) σε 4 διαφορετικά υψόμετρα (1.5, 2.0, 2.5, 3.0 km). Πιο συγκεκριμένα, οι αέριες μάζες που καταφθάνουν στην Payerne, προέρχονται από την Β. Αμερική και τον Καναδά, περιοχές όπου υπήρχαν ενεργές πυρκαγιές εκείνη την χρονική περίοδο.



Εικόνα 3.4. Οπισθοτροχιές των αερίων μαζών χρονικής διάρκειας 240 ωρών οι οποίες καταφθάνουν στην Payerne στα 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 km στις 24 Μαΐου 2023. Οι κόκκινες κουκίδες αντιπροσωπεύουν ενεργές πυρκαγιές και ανακτήθηκαν από τον αισθητήρα NOAA-20 (JPSS-1)/VIIRS.

Συμπερασματικά, λοιπόν, αναδείξαμε τη δυνατότητα του συστήματος lidar PERICLES να αποτυπώνει την ύπαρξη βιοσωματιδίων στην ατμόσφαιρα, με βάση την τεχνική lidar φθορισμού, τόσο κοντά στο έδαφος (όπως επιβεβαιώνεται και από τις επιτόπιες μετρήσεις) όσο και στην ελεύθερη τροπόσφαιρα (ύπαρξη σωματιδίων από καύση βιομάζας).

3.4. Συσχέτιση γύρεως με μετεωρολογικές παραμέτρους

Υπάρχει μια καλά εδραιωμένη συσχέτιση μεταξύ των μετεωρολογικών παραμέτρων και της συγκέντρωσης γύρεως στην ατμόσφαιρα. Η συσχέτιση αυτή βέβαια, είναι πολύπλοκη και μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με το φυτικό είδος και τη γεωγραφική θέση. Μερικές από τις μετεωρολογικές παραμέτρους που είναι γνωστό ότι επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις γύρεως είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου και η βροχόπτωση.

- Η **θερμοκρασία** είναι ένας σημαντικός παράγοντας γιατί επηρεάζει την περίοδο έναρξης της εποχής της γύρεως και τον ρυθμό απελευθέρωσης της. Οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να προκαλέσουν απελευθέρωση γύρεως χρονικά νωρίτερα και πιο έντονα, ενώ οι χαμηλότερες θερμοκρασίες είναι δυνατόν να καθυστερήσουν την έναρξη της εποχής της γύρεως και να μειώσουν την ποσότητα που απελευθερώνεται.
- Η **υγρασία** επηρεάζει τις συγκεντρώσεις γύρεως, είτε προκαλώντας συσσώρευση γυρεόκοκκων και καθίζησή τους στο έδαφος (υψηλά

ποσοστά υγρασίας) με πιθανή ταυτόχρονη ανάπτυξη μυκήτων γεγονός που μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο αλλεργικών αντιδράσεων σε μερικούς ανθρώπους, ή διατηρώντας τη γύρη στον αέρα για μεγαλύτερες περιόδους (χαμηλά ποσοστά υγρασίας), μειώνοντας τη βιωσιμότητά τους και αφυδατώνοντας τους γυρεόκοκκους.

- Η **ταχύτητα** και η **κατεύθυνση του ανέμου** μπορούν να επηρεάσουν την κατανομή της γύρεως. Η γύρη μπορεί να διασκορπιστεί σε μεγάλες αποστάσεις μέσω ισχυρών ανέμων, ενώ οι χαμηλοί άνεμοι μπορούν να διατηρήσουν υψηλότερες συγκεντρώσεις γύρεως σε μια συγκεκριμένη περιοχή.
- Οι **κατακρημνίσεις** (precipitation) μπορούν επίσης να επηρεάσουν τις συγκεντρώσεις γύρεως με το «πλύσιμο» της γύρεως από τον αέρα στο έδαφος. Ωστόσο, η βροχόπτωση είναι δυνατόν να προωθήσει την ανάπτυξη των φυτών και την αύξηση την παραγωγή γύρεως, με αποτέλεσμα τις υψηλότερες συγκεντρώσεις γύρεως στον αέρα μετά από μια βροχόπτωση.

Αναλύοντας τη σχέση μεταξύ αυτών των μετεωρολογικών παραμέτρων και της συγκέντρωσης γύρεως, είναι δυνατό να αναπτυχθούν πιο ακριβή μοντέλα για την πρόβλεψη των επιπέδων γύρεως και τον εντοπισμό πιθανών κινδύνων για την υγεία για τους πάσχοντες από αλλεργίες.

Η συγκέντρωση και η εποχή της γύρεως γενικά συσχετίζονται με τη φαινολογία των φυτών (άνθηση, καρποφορία και διασπορά σπόρων). Η φαινολογία των φυτών επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες, ιδιαίτερα τις βροχοπτώσεις την άνοιξη του προηγούμενου έτους και τη θερμοκρασία την άνοιξη του τρέχοντος έτους.

Όσον αφορά τον άνεμο, θα πρέπει να αναφερθεί ότι, αν και η διεύθυνση του ανέμου αποτελεί αναμφίβολα μια πολύ σημαντική μετεωρολογική παράμετρο για τη μελέτη της μεταφοράς γύρεως στον ατμοσφαιρικό αέρα, στην παρούσα μελέτη δεν έχει διερευνηθεί διεξοδικά η επίδρασή του στην παρουσία ατμοσφαιρικής γύρεως. Αυτό οφείλεται στην πολυπλοκότητα και τις δυσκολίες στον εντοπισμό και την ερμηνεία των ακριβών σχέσεων μεταξύ της συγκέντρωσης κάθε τύπου γύρεως και των λεπτομερών δεδομένων κατεύθυνσης ανέμου.

Από τα παραπάνω διαγράμματα, διαφαίνεται ότι δεν υπάρχει έντονη συσχέτιση, αρνητική ή θετική, μεταξύ της συγκέντρωσης, της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας.

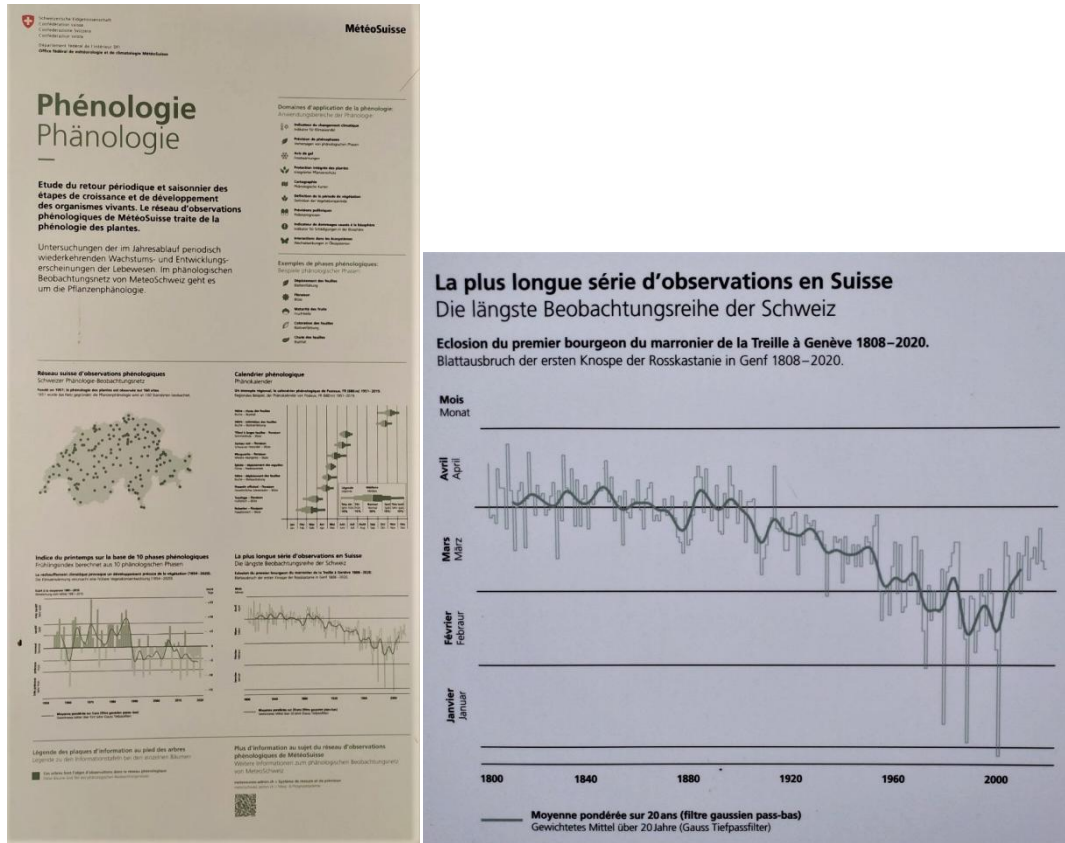
Οι εποχές γύρεως και οι περίοδοι ανθοφορίας δεν συμπίπτουν πλήρως λόγω των επιπτώσεων της μεταφοράς μεσαίας και/ή μεγάλης εμβέλειας. Στις εύκρατες

περιοχές, η κύρια περίοδος επικονίασης καλύπτει περίπου το μισό έτος, από την άνοιξη έως το φθινόπωρο. Η επίδραση της θερμοκρασίας στην επικονίαση είναι μεγαλύτερη στα φυτά που ανθίζουν την άνοιξη και στις αρχές του καλοκαιριού, ενώ η επικονίαση των φυτών που ανθίζουν στα τέλη του καλοκαιριού και το φθινόπωρο συσχετίζεται γενικά με τη φωτοπερίοδό τους. Η πολύπλοκη σχέση μεταξύ καιρού και συγκέντρωσης γύρεως στην ατμόσφαιρα παίζει καθοριστικό ρόλο στη ρύθμιση των επιπέδων αλλεργιογόνων.

Οι καιρικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένων των βροχοπτώσεων, της υγρασίας, της ταχύτητας του ανέμου και της θερμοκρασίας του αέρα, μπορεί να αλλάξουν τις συγκεντρώσεις γύρεως. Η **αυξημένη θερμοκρασία** μπορεί να οδηγήσει σε **πρώιμη επικονίαση (pollination) πολλών φυτών και μεγαλύτερη διάρκεια επικονίασης**. Επιπλέον, η ΠΚΑ θεωρείται ότι αυξάνει την ποσότητα της αλλεργιογόνου πρωτεΐνης σε μεμονωμένους κόκκους γύρεως (Franguelli et al., 2010, Beggs, 2004). Οι μεγαλύτερες περιόδους γύρεως έχουν επίσης ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες περιόδους συμπτωμάτων σε ασθενείς με αλλεργία και υψηλότερες συγκεντρώσεις γύρεως μπορεί να προκαλέσουν πιο σοβαρά συμπτώματα. Σε περίπτωση πρώιμης έναρξης, η διάρκεια της γύρεως μεταβάλλεται συχνότερα από τις καιρικές συνθήκες στα τέλη του φθινοπώρου ή στις αρχές της άνοιξης (Ziska et al., 2003, Emberlin et al., 1999). Οι Ziska et al. (2019) έχουν συσχετίσει την υπερθέρμανση του πλανήτη με την αύξηση της εποχικής διάρκειας/συγκεντρώσεων γύρεως για διάφορα αλλεργιογόνα φυτικά είδη σε δεκαετή βάση στο βόρειο ημισφαίριο.

3.5. Φαινολογία των φυτών

Η φαινολογία των φυτών, δηλαδή η επαναλαμβανόμενη ακολουθία σταδίων ανάπτυξης των φυτών ετησίως που περιλαμβάνει διεργασίες όπως η έκπτυξη των φύλλων, η ανθοφορία, η καρποφορία, η γήρανση των φύλλων, κ.λπ., είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στην ΠΚΑ. Η αύξηση της θερμοκρασίας και οι περιβαλλοντικές αλλαγές μπορεί να έχουν επιπτώσεις στους βιογεωχημικούς κύκλους, τη δυναμική του πληθυσμού των ειδών και τη λειτουργία των οικοσυστημάτων. Για αυτό, είναι σημαντικό οι παρατηρήσεις να καταγράφονται σε βάθος ετών.



Εικόνα 3.5. Η μεγαλύτερη σειρά παρατηρήσεων στη φαινολογία, συγκεκριμένα από το έτος 1880 μέχρι το 2000, στην Ελβετία (Πηγή: MeteoSwiss).

Στην Εικόνα 3.5, απεικονίζονται δεδομένα από την Ελβετία από το έτος 1880 μέχρι το έτος 2000 όπου παρατηρούμε έντονη μετατόπιση από τον Απρίλιο προς τους μήνες Ιανουάριο – Φεβρουάριο μεταξύ των δεκαετιών σύμφωνα με την κατανομή Gauss, έχοντας άμεση συσχέτιση με την αύξηση της θερμοκρασίας. Η παρακολούθηση των αλλαγών σε μία περιοχή, συμπεριλαμβανομένης και της φαινολογίας, μπορεί να επιτευχθεί με μεθόδους τηλεπισκόπησης και με την ανάλυση δεδομένων από τον αισθητήρα MODIS (§ 3.6.1.) και δορυφόρους όπως ο Landsat. Να σημειωθεί ότι αναπτύσσονται και νέα μοριακά εργαλεία και τεχνικές για την παρακολούθηση της φαινολογίας σε μοριακό επίπεδο, μέσω της ποσοτικοποίησης της γονιδιακής έκφρασης από φυτικά δείγματα χρησιμοποιώντας μεθόδους PCR, μικροσυστοιχιών και RNA-sequencing (Gray and Ewers, 2021). Επομένως, η φαινολογία των φυτών μπορεί να θεωρηθεί δείκτης για την ΠΚΑ και η παρακολούθησή της είναι ιδιαίτερα σημαντική.

3.6. Μέθοδοι τηλεπισκόπησης

3.6.1. Αισθητήρας MODIS

Στο πλαίσιο αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, μελετήθηκαν δεδομένα από τον αισθητήρα MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), ή το

φασματοραδιόμετρο απεικόνισης μέτριας ανάλυσης, σχετικά με τη γύρη. Ο MODIS είναι ένας δορυφορικός αισθητήρας που βρίσκεται σε δύο δορυφόρους της NASA: Terra και Aqua, και αντιλαμβάνεται τα στάδια ανάπτυξης διαφορετικών φυτικών ειδών μέσω των διαφοροποιήσεων του χρώματος. Ορισμένες αλλαγές χρώματος αποκαλύπτουν πότε τα φυτά πρόκειται να απελευθερώσουν τη γύρη.

Ο MODIS παρέχει ένα ευρύ φάσμα δεδομένων για χαρακτηριστικά της επιφάνειας της γης, συμπεριλαμβανομένων δεικτών βλάστησης όπως ο Δείκτης Βλάστησης Κανονικής Διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI). Ενώ ο NDVI δεν σχετίζεται άμεσα με τη συγκέντρωση γύρεως, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης παραγωγικότητας και υγείας της βλάστησης. Υπήρξαν μελέτες που προσπάθησαν να συσχετίσουν τα δεδομένα MODIS με τη συγκέντρωση της γύρεως προκειμένου να προβλέψουν τα επίπεδα της γύρεως σε ορισμένες περιοχές. Ωστόσο, η σχέση μεταξύ NDVI και γύρεως είναι πολύπλοκη και μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των τοπικών καιρικών συνθηκών, της σύνθεσης των φυτικών ειδών και των προτύπων χρήσης γης. Ενώ τα δεδομένα MODIS μπορούν να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τη βλάστηση και τη δυναμική του οικοσυστήματος, δεν είναι μια αξιόπιστη μέθοδος για την πρόβλεψη των συγκεντρώσεων γύρεως από μόνη της.



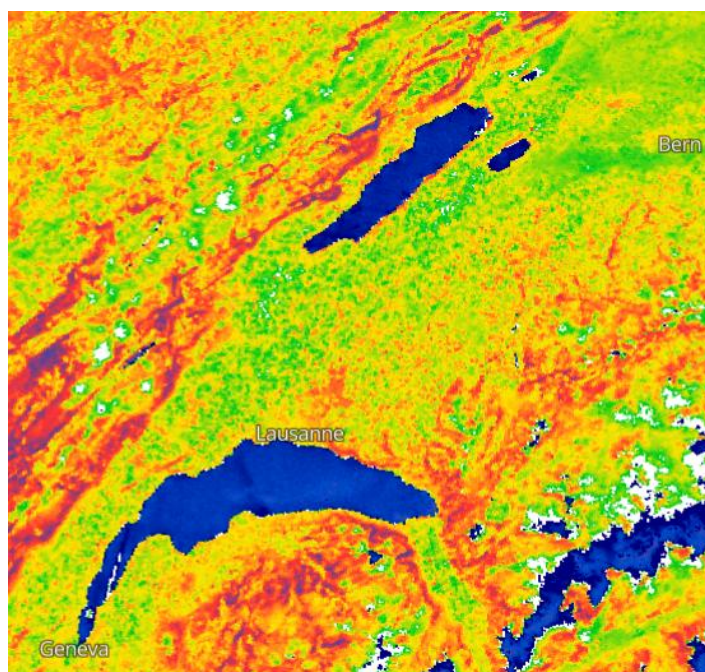
Εικόνα 3.6. Απεικόνιση του Δείκτη Βλάστησης Κανονικής Διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) του αισθητήρα MODIS από την ιστοσελίδα EO Browser στις περιοχές Lausanne και Payerne στις 29/05/2021.

Συνοπτικά, ενώ έχουν γίνει προσπάθειες χρήσης δεδομένων MODIS για συσχέτιση με τις συγκεντρώσεις γύρεως, χρειάζεται περισσότερη έρευνα για την πλήρη κατανόηση της σχέσης μεταξύ αυτών των μεταβλητών και για την ανάπτυξη ακριβών μοντέλων πρόβλεψης γύρεως.

3.6.2. Δείκτης χλωροφύλλης

Από πλευράς τηλεπισκόπησης μελετήθηκε ο Επίγειος Δείκτης Χλωροφύλλης OLCI (Terrestrial Chlorophyll Index, OTCI), ο οποίος χρησιμοποιείται παγκοσμίως σε χωρική ανάλυση 300 μ. για το έδαφος από δεδομένα OLCI για την αποστολή SENTINEL-3 (mission) για την αξιολόγηση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη, την παρακολούθηση της κατάστασης και της υγείας της βλάστησης.

Τα μπλε χρώματα εμφανίζουν εξαιρετικά χαμηλές τιμές OTCI, δηλώνοντας συνήθως νερό, άμμο ή χιόνι. Οι εξαιρετικά υψηλές τιμές, επίσης, που εμφανίζονται με λευκό, συνήθως υποδηλώνουν την απουσία χλωροφύλλης, και αντιπροσωπεύουν γενικά γυμνό έδαφος ή σύννεφα. Οι ενδιάμεσες τιμές χλωροφύλλης κυμαίνονται από κόκκινο (χαμηλές τιμές χλωροφύλλης) έως σκούρο πράσινο (υψηλές τιμές χλωροφύλλης) και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της υγείας της βλάστησης.



Εικόνα 3.7. Απεικόνιση του Επίγειου Δείκτη Χλωροφύλλης Sentinel-3 OTCI (OLCI Terrestrial Chlorophyll Index) βασισμένο στον συνδυασμό των καναλιών (B12-B11)/(B11-B10) από την ιστοσελίδα EO Browser στις περιοχές Lausanne και Payerne στις 29/05/2021.

Ο δείκτης χερσαίας χλωροφύλλης (TCI) είναι ένας δείκτης τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της υγείας της βλάστησης των χερσαίων οικοσυστημάτων. Υπολογίζεται από δορυφορικά δεδομένα και παρέχει πληροφορίες για τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα της βλάστησης.

Ενώ ο TCI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση αλλαγών στη βλάστηση και την υγεία των φυτών, δεν σχετίζεται άμεσα με τη συγκέντρωση γύρεως. Η συγκέντρωση της γύρεως επηρεάζεται από μια σειρά παραγόντων, συμπεριλαμβανομένου του τύπου και της αφθονίας των φυτικών ειδών σε μια συγκεκριμένη περιοχή, καθώς και από τις τοπικές καιρικές συνθήκες.

Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες ενδείξεις ότι ο TCI μπορεί να συσχετιστεί έμμεσα τις συγκεντρώσεις γύρεως επηρεάζοντας την ανάπτυξη και την κατανομή των φυτών που παράγουν γύρη. Σε περιοχές με υψηλές τιμές TCI, μπορεί να υπάρξει αυξημένη ανάπτυξη και παραγωγικότητα των φυτών, γεγονός που θα μπορούσε να οδηγήσει σε υψηλότερη παραγωγή γύρεως. Αλλά αυτή η σχέση δεν είναι απαραίτητα απλή και μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες.

Συνολικά, ενώ ο TCI μπορεί να παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την υγεία και την παραγωγικότητα της βλάστησης, δεν αποτελεί άμεσο δείκτη συγκέντρωσης γύρεως.

4. Συζήτηση αποτελεσμάτων

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, δεν πραγματοποιείται συλλογή της γύρεως και δεν υπάρχουν δεδομένα που να έχουν καταγραφεί. Είναι προφανές, ότι όσο αυξάνεται το υψόμετρο σε μία περιοχή τόσο λιγότερη είναι η συγκέντρωση της γύρεως.

Τα επίπεδα γύρεως επηρεάστηκαν από τη βροχόπτωση πριν και κατά τη διάρκεια των εποχών γύρεως (Makra et al., 2012, Zhang et al., 2013). Όταν η μεταβολή της βροχόπτωσης είναι μικρότερη από 100 mm, η αύξηση της βροχόπτωσης τείνει να μειώσει τα επίπεδα της γύρεως στον αέρα. Αντίθετα, όταν η μεταβολή της βροχόπτωσης είναι μεγαλύτερη από 100 mm, η αύξηση της βροχόπτωσης τείνει να αυξήσει τα επίπεδα της γύρεως στον αέρα (Zhang et al., 2014).

Από τη μια πλευρά, η αυξανόμενη βροχόπτωση μπορεί να «ξεπλύνει» άμεσα περισσότερη γύρη που μεταφέρεται στον αέρα, και επομένως να μειώσει τις μέγιστες τιμές και τις ετήσιες συνολικές μετρήσεις αερομεταφερόμενης γύρεως. Από την άλλη πλευρά, η ΠΚΑ, ακόμη και σε κλίμακα ετών έως δεκαετιών, μπορεί να αλλάξει την κατανομή και την αφθονία των φυτών και των ζώων (Blois et al., 2013, Overpeck et al., 1990, Pastor & Post, 1988). Μια μεγάλη αύξηση της βροχόπτωσης μπορεί να ευνοήσει την ανάπτυξη και την επέκταση των αλλεργιογόνων φυτών σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, σε τοποθεσίες που δεν ήταν ευνοϊκές για την ανάπτυξη των φυτών λόγω ξηρών και ψυχρών συνθηκών, αυξάνοντας έτσι την παραγωγή αερομεταφερόμενης γύρεως (Zhang et al., 2014).

Η μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη (IPCC, 2022) προκάλεσε μεγαλύτερες αλλαγές στην ημερομηνία έναρξης και την ετήσια παραγωγή αλλεργιογόνου γύρεως.

Εάν συνεχιστούν παρόμοιες τάσεις αύξησης θερμοκρασίας και βροχόπτωσης σε υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη, ενδέχεται να προκύψουν περίοδοι έκθεσης και υψηλότερα επίπεδα έκθεσης σε αλλεργιογόνο γύρη νωρίτερα με δυνητικά σημαντικές συνέπειες για τη δημόσια υγεία. Αυτό πιθανότατα θα αυξήσει τον επιπολασμό (αριθμός ατόμων που γίνονται αλλεργικά) και τη νοσηρότητα (σοβαρότητα και διάρκεια) του πληθυσμού που υποφέρει από αλλεργίες και άσθμα (Zhang et al., 2014).

Η αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα και η μεταβολή του κλίματος (παγκόσμια υπερθέρμανση) ενδέχεται να αυξήσουν την εποχιακή ένταση του φορτίου της γύρεως, δηλαδή τη συγκέντρωση της γύρεως. Με αυτόν τον τρόπο, επηρεάζεται και η μεταβολή της αλλεργιογόνου δράσης και κατά συνέπεια και των συμπτωμάτων των ανθρώπων ευαίσθητων στις αλλεργίες. Εάν οι συγκεντρώσεις και η κατανομή γύρεως ποικίλλουν ανά έτος, είναι δυνατό να μεταβάλλει τη διάρκεια της εποχής ανεξάρτητα από την ΠΚΑ.

Σύμφωνα με μελέτη των Zhang et al. (2015), παρατηρήθηκε σημαντική συσχέτιση με το γεωγραφικό πλάτος, αλλά όχι μεταξύ της θερμοκρασίας και της εποχικότητας ή του φορτίου. Η ανάλυσή των Ziska et al. (2019) δείχνει μια σαφή θετική συσχέτιση μεταξύ της πρόσφατης υπερθέρμανσης του πλανήτη, της αύξησης της εποχικής διάρκειας και της ποσότητας της γύρεως για διάφορα αλλεργιογόνα είδη φυτών σε δεκαετία για το βόρειο ημισφαίριο. Εάν η αλλαγή στο φορτίο της γύρεως με την πάροδο του χρόνου για μια δεδομένη τοποθεσία συγκριθεί με τη χρονική αλλαγή είτε για τη μέγιστη θερμοκρασία (T_{max}) είτε για την ελάχιστη (T_{min}), παρατηρείται μια σημαντική συσχέτιση, που δείχνει ότι, συνολικά, η θερμοκρασία συνέβαλε σε εποχιακές αλλαγές στο φορτίο γύρεως σε παγκόσμιο επίπεδο. Αν και είναι γνωστό ότι η αύξηση της θερμοκρασίας ποικίλλει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, η επίδρασή της στην αύξηση των συγκεντρώσεων γύρεως, όσον αφορά την ένταση και τη διάρκεια, φαίνεται να είναι παγκόσμια και ανεξάρτητη από το γεωγραφικό πλάτος. Επομένως αυτές οι παρατηρούμενες αλλαγές έχουν άμεσες και μελλοντικές επιπτώσεις στην υγεία, ιδιαίτερα για αλλεργικές ασθένειες όπως η αλλεργική ρινίτιδα και το άσθμα.

Οι προβλέψεις που αφορούν το κλίμα υποδηλώνουν αλλαγές στη διάρκεια της περιόδου της γύρεως δηλαδή στην ημερομηνία έναρξης, τη διάρκεια της περιόδου και την ημερομηνία λήξης.

Η μελέτη και ο προσδιορισμός των διαφόρων τύπων γύρεως μπορεί να συνεισφέρει στην έρευνα στους τομείς της πνευμονολογίας, αλλεργιολογίας, ψυχικής υγείας καθώς και για γονιδιακές μελέτες σε σχέση με την επίδραση του περιβάλλοντος στην υγεία των πολιτών.

5. Συμπεράσματα

Η μελέτη της γύρεως είναι σημαντική, τόσο από περιβαλλοντική όσο και από υγειονομική πλευρά. Οι τεχνικές αεροβιολογικής δειγματοληψίας και η παρακολούθηση των δεδομένων γύρεως, για την ανίχνευση και τον χαρακτηρισμό της, ανά τα έτη, αναδεικνύει αλλαγές στα πρότυπα γύρεως, επισημαίνοντας την πρόωμη ή καθυστερημένη έναρξη της περιόδου της γύρεως και την εμφάνιση νέων αλλεργιογόνων τύπων γύρεως, όπως η αμβροσία. Ταυτόχρονα, με την ανάπτυξη κατάλληλων αλγορίθμων μπορούμε να ταξινομήσουμε τα δεδομένα σε κλάσεις και να προβλέψουμε τα ποσοστά γύρεως διαφορετικών φυτικών ειδών. Η χρήση της τεχνικής LIDAR με τη συνέργεια των in situ οργάνων (όργανο τύπου Hirst, WIBS, Swisens Poleno), καθώς επίσης και δεδομένα πρόγνωσης (MeteoSwiss) και η μοντελοποίηση (Silam), αποτελούν ιδανικά εργαλεία με σκοπό να γίνει κατανοητή η συσχέτιση της περιόδου γύρεως με την ΠΚΑ και η μείωση των σχετικών αβεβαιοτήτων. Τα φυτά- δένδρα μπορούν να αποτελέσουν δείκτες για τις επιπτώσεις της ΠΚΑ, καθώς η αύξηση της θερμοκρασίας συσχετίζεται με την πρόωμη ανάπτυξη της βλάστησης άρα και την πρόωμη επικονίαση συγκριτικά με τις προηγούμενες δεκαετίες. Εκτός από τη θερμοκρασία, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν και η σχετική υγρασία, η ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου και οι κατακρημνίσεις. Τέλος, θεωρούμε σημαντικό, ιδίως για τα άτομα που είναι αλλεργικά στη γύρη, να ενημερώνονται με ακρίβεια για την περίοδο γύρεως στην περιοχή τους.

6. Βιβλιογραφία

6.1. Ξένη βιβλιογραφία

Abegg M., Brändli U.-B., Cioldi F., Fischer C., Herold-Bonardi A., Huber M., Keller M., Meile R., Rösler E., Speich S., Traub B., Vidondo B., Fourth national forest inventory - result tables and maps on the Internet for the NFI 2009-2013 (NFI4b). Swiss Federal Research Institute WSL (2014a).

Abegg M., Brändli U.-B., Cioldi F., Fischer C., Herold-Bonardi A., Huber M., Keller M., Meile R., Rösler E., Speich S., Traub B., Vidondo B., Quarto inventario forestale nazionale - Tabelle e cartine dei risultati in internet IFN 2009-2013 (IFN4b). Istituto federale di ricerca WSL (2014b).

Ackerman J. D., Abiotic pollen and pollination: ecological, functional, and evolutionary perspectives BT - Pollen and Pollination, in Pollen and Pollination, edited by Dafni A., Hesse M., Pacini E., chap. Abiotic po, pp. 167–185, Springer Vienna, Vienna, doi: 10.1007/978-3-7091-6306-1_9. (2000).

Ansmann A., Wandinger U., Riebesell M., Weitkamp C., Michaelis W., Independent measurement of extinction and backscatter profiles in cirrus clouds by using a combined Raman elastic-backscatter lidar, *Appl. Opt.* 31, 7113–7131 (1992).

Auge J., Vent J., Agache I., Airaksinen L., Campo Mozo P., Chaker A., Position paper on the standardization of nasal allergen challenges. *Allergy*, 73, 1597–1608. (2018).

Bedinger P., The remarkable biology of pollen, *Plant Cell*, 4, 879– 87, <https://doi.org/10.1105/tpc.4.8.879>, (1992).

Beggs PJ., Impacts of climate change on aeroallergens: past and future. *Clin Exp Allergy* (2004).

Bennett K., *Secale cereale* (GPP339). Digitised palynological slide. In: *Pollen Catalogue of the British Isles*. (2017).

Blois J. L., Zarnetske P. L., Fitzpatrick M. C., Finnegan S., Climate change and the past, present, and future of biotic interactions. *Science* (2013).

Boucher O., *Atmospheric Aerosols*, pp. 9–24, Springer Netherlands, Dordrecht, doi: 10.1007/978-94-017-9649-1_2 (2015).

Burga C., Perret R. Monitoring of Eastern and Southern Swiss Alpine timberline ecotones. In Burga C and Kratochwil A (eds): *Biomonitoring. Tasks for vegetation science* 35: 179-194. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 242 p (2001).

Cao X., Roy G., Bernier R., Lidar polarization discrimination of bioaerosols. *Opt. Eng.* (2010).

Charalampopoulos A., Lazarina M., Tsiripidis I., Vokou D., Quantifying the relationship between airborne pollen and vegetation in the urban environment. *Aerobiologia*. <https://doi.org/10.1007/s10453-018-9513-y> (2018).

Charles M., Craigie R., *Methods and Theory in Quaternary Palynology* (2008).

Crouzy B., Stella M., Konzelmann T., Calpini B., Clot B., All-optical automatic pollen identification: Towards an operational system, *Atmospheric Environment Volume 140*, Pages 202-212 (2016).

D'Amato G., Cecchi L., Bonini S., Nunes C., Annesi-Maesano I., Behrendt H., Liccardi G., Popov T., Van Cauwenberge P., Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. *Allergy*, Volume 62, Issue 9, p. 976-990 (2007).

Dafis S., Classification of Forest Vegetation in Greece. *Scientific Annual of the Agricultural and Forestry School*. Volume IE, Issue B. Aristotle University of Thessaloniki (1973).

Dafis S., Papastergiadou E., Georgiou K., Babalonas D., Georgiadis T., Papageorgiou M., Lazaridou T., Tsiaousi V., Works Biotopes in Greece: Network NATURA 2000. Gouladri Museum of Natural History— Hellenic Center of Biotopes and Wetlands, 932. (In Hellenic) (1997).

Damialis A., Halley J. M., Gioulekas D., Vokou D. Long-term trends in atmospheric pollen levels in the city of Thessaloniki, Greece *Atmospheric Environment*, 41, 7011–7021. (2007).

Damialis, A., Gioulekas, D., Lazopoulou, C., Lazopoulou, C., Balafoutis, C., Vokou, D., Transport of airborne pollen into the city of Thessaloniki: the effects of wind direction, speed and persistence. *International Journal of Biometeorology* 49, 139–145 (2005).

Delort A.-M., Amato P. *Microbiology of Aerosols*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ. (2017).

Despres, Viviane R., Huffman J.A., Burrows S.M., Hoose C., Safatov, Aleksandr S., Buryak G., Frohlich-Nowoisky J., Elbert W., Andreae, Meinrat O., Poschl U., Jaenicke R., Primary biological aerosol particles in the atmosphere: a review. *Tellus B* 64, 15598. <https://doi.org/10.3402/tellusb.v64i0.15598> (2012).

Edlund A., Swanson. R., Preuss D., Pollen and Stigma Structure and Function: The Role of Diversity in Pollination. *Plant Cell* 16: S84-S97 (2004).

Emberlin J., Mullins J., Corden J., Jones S., Savage J., Millington W., et al., Regional variations in grass pollen seasons in the UK, long term trends and forecasts models. *Clinical and Experimental Allergy*, 29, 347–356 (1999).

Emberlin J., The effects of patterns in climate and pollen abundance on allergy. *Allergy* 49(18 Suppl):15-20. doi: 10.1111/j.1398-9995.1994.tb04233.x. (1994).

Figuroa-Rangel. *Alnus acuminata* (GPP31). Digitised palynological slide. In: Mexican Reference Collection. Original material located at Universidad de Guadalajara (2018).

Freguelli G, Passalacqua G, Bonini S, Fiocchi A, Incorvaia C, Marcucci F, et al., Bridging allergologic and botanical knowledge in seasonal allergy: a role for phenology. *Ann Allergy Asthma Immunol* (2010).

Frohlich-Nowoisky J., Bioaerosols in the Earth system: climate, health, and ecosystem interactions. *Atmos. Res.* 182, 346–376 (2016).

Gabey A. M., Gallagher M. W., Whitehead J., Dorsey J. R., Kaye P. H., Stanley W. R.: Measurements and comparison of primary biological aerosol above and below a tropical forest canopy using a dual channel fluorescence spectrometer, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 4453–4466, <https://doi.org/10.5194/acp-10-4453-2010> (2010).

García-Mozo H., Chuine I., Aira M. J., et al., Regional phenological models for forecasting the start and peak of the Quercus pollen season in Spain. *Agricultural and Forest Meteorology* (2008).

Garzia-Mozo H., The use of aerobiological data on agronomical studies, *Ann. Agr. Env. Med.*, 1–6, 18, (2011).

Gilles S., Blume C., Wimmer M., Damialis A., Meulenbroek L., Gökkaya M., Bergougnan C., Eisenbart S., Sundell N., Lindh M., Andersson L. M., Dahl Å., Chaker A., Kolek F., Wagner S., Neumann A. U., Akdis C. A., Garssen J., Westin J., van't Land B., Davies D. E., Traidl-Hoffmann C., Pollen exposure weakens innate defense against respiratory viruses, *Allergy*, 75, 576–587, <https://doi.org/10.1111/all.14047> (2020).

Gioulekas, D., Papakosta, D., Damialis, A., Spieksma, F.Th.M., Giouleka, P., Patakas, D., Allergenic pollen records (15 years) and sensitization in patients with respiratory allergy in Thessaloniki, Greece. *Allergy* 59, 178–184. (2004).

Gray R. E. J., Ewers R. M., Monitoring Forest Phenology in a Changing World, *Forests* 2021, 12(3), 297, <https://doi.org/10.3390/f12030297> (2021).

Gupta L., Kumar S., Sharma R. C., Maini A. K., Detection of bio-chemicals for UV LIF Lidar application, *Journal of Scientific & Industrial Research*, 71 (2012).

Halbritter H., Ulrich S., Grímsson F., Weber M., Zetter R., Hesse M., Buchner R., Svojtka M., Frosch-Radivo A., *Illustrated Pollen Terminology*, 2 ed., XVIII, 483 pp., Springer International Publishing, Cham, doi: 10.1007/978-3-319-71365-6 (2018).

Hoen P., *Glossary of Pollen and Spore Terminology*, Laboratory of Palaeobotany and Palynology, Utrecht University (1999).

Hoose C., Kristjánsson J. E., Burrows S. M., How important is biological ice nucleation in clouds on a global scale?, *Environmental Research Letters*, 5(2), 24009, doi: 10.1088/1748-9326/5/2/024009 (2010).

Huynen M., Menne B., Behrendt H., Bertollini R., Bonini S., Brandao R., et al., Phenology and human health: allergic disorders. In: Report of a WHO Meeting, Rome, Italy (2003).

IPCC: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013.

IPCC: Climate Change 2023: The Physical Science Basis. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Mitigation of Climate Change, and the three Special Reports: Global Warming of 1.5°C, Climate Change and Land, The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, 2023.

Joshi D., Kumar D., Maini A. K., Sharma R. C., Joshi D., Kumar D., Maini A. K., Detection of biological warfare agents using ultra violet-laser induced fluorescence LIDAR, *Spectrochimica Acta Part A Molecular & Biomolecular Spectroscopy*, 112 (2013).

Katellaris C. H., Burke T. V., Byth K., Spatial variability in the pollen count in Sydney, Australia: can one sampling site accurately reflect the pollen count for a region? *Ann Allergy Asthma Immunol* (2004).

Klett J. D., Stable analytical inversion solution for processing lidar returns. *Applied Optics*. <https://doi.org/10.1364/AO.20.000211> (1981).

Kumar D., Sharma R. C., Maini A. K., Standoff Laser-Induced Fluorescence Sensors for Biological Warfare Agents, *Spectroscopy Letters*, 46 (2013).

Laucks M. L., Roll G., Schweigers G., and Davis E. J., "Physical and chemical (Raman) characterization of bioaerosols-pollen," *J. Aerosol Sci.* 31, 307–319 (2000).
Makra L., Matyasovszky I., Paldy A., Deak A. J., The influence of extreme high and low temperatures and precipitation totals on pollen seasons of Ambrosia, Poaceae and Populus in Szeged, southern Hungary. *Grana* (2012).

Manninen M., Putkiranta A., Rostedt J., Saarela T., Laurila M., Marjamäki J., Keskinen R., Hernberg, Instrumentation for measuring fluorescence cross sections from airborne micro-sized particles. *Appl. Opt.* 47, 110–115 (2008).

Mavromatis G., The Bioclimate of Greece. Correlations of Climate and Natural Vegetation-Bioclimate Maps. *Dasiki Erevna*, Vol. 1, Appendix, Athens (1980).

Melnikova E. V., Roshchina V. V., Karnaukhov V. N., Microspectrofluorimetry of intact pollen, *Biofizika*, 42 (1997).

Mitsumoto K., Yabusaki K., Kobayashi K., Aoyagi H., Development of a novel real time pollen-sorting counter using species-specific pollen autofluorescence, *Aerobiologia*, 26 (2010).

Niederberger V., Pauli G., Grönlund H., Fröschl R., Rumpold H., Kraft D., Valenta R., Spitzauer S., Recombinant birch pollen allergens contain most of the ige epitopes present in birch, alder, hornbeam, hazel, and oak pollen: a quantitative ige inhibition study with sera from different populations. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 102, 579-591 (1998).

O'Connor D. J., Iacopino D., Healy D. A., O'Sullivan D., Sodeau J. R., The intrinsic fluorescence spectra of selected pollen and fungal spores, *Atmospheric Environment* Volume 45, Issue 35, Pages 6451-6458 (2011).

Oswalt M. L., Marshall G. D., Ragweed as an example of worldwide allergen expansion. *Allergy Asthma Clin. Immunol.* 4, 130–135 (2008).

Oteros J., Orlandi F., García-Mozo H., Aguilera F., Dhiab A. B., Bonofiglio T. Abichou M., Ruiz-Valenzuela L., del Trigo M. M., Díaz de la Guardia C. Domínguez- Vilches E., Msallem M., Fornaciari M., Galán C., Better prediction of Mediterranean olive production using pollen-based models, *Agron. Sustain. Dev.*, 34, 685–694, <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0198-x> (2014).

Overpeck J. T., Rind D., Goldberg R., Climate-induced changes in forest disturbance and vegetation. *Nature* (1990).

Pacini E., Relationships between Tapetum, Loculus, and Pollen during Development, *Int. J. Plant Sci.*, 171, 1–11 (2010).

Papayannis A., Ancellet G., Pelon J., Mégie G., Multiwavelength lidar for ozone measurements in the troposphere and the lower stratosphere. doi: 10.1364/AO.29.000467 (1990).

Pastor J., Post W. M., Response of northern forests to CO₂-induced climate change. *Nature* (1988).

Pfaar O., Alvaro M., Cardona V., Hamelmann E., Mosges R., Kleine-Tebbe J., Clinical trials in allergen immunotherapy: Current concepts and future needs. *Allergy*. <https://doi.org/10.1111/all.13429> (2018).

Piovesana A. M., Ross S., Whittingham K., Standoff Detection of Biomolecules by Ultraviolet Laser-Induced Fluorescence LIDAR, *IEEE Sensors Journal*, 15 (2015).
Price Martin F., *Mountain. Geology, Natural History & Ecosystems*. Stillwater, USA: Voyageur Press (2002).

Prisle N. L., Lin J. J., Purdue S., Lin H., Meredith J. C., Nenes A., Cloud condensation nuclei activity of six pollenkitts and the influence of their surface activity, *Atmos. Chem. Phys.* (2019).

Punt W., Hoen P. P., Blackmore S., Nilsson S., Le Thomas A., Glossary of pollen and spore terminology, *Rev. Palaeobot. Palyno.*, 143, 1–81 (2007).

Richardson S.C., Mytilinaios M., Foskinis R., Kyrou C., Papayannis A., Pyrri I., Giannoutsou E., Adamakis I.D.S., Bioaerosol detection over Athens, Greece using the laser induced fluorescence technique, *Science of The Total Environment* (2019).

Samuels C., DeLucia J. F. C., McNesby K. L., Miziolek A. W., Laser-induced breakdown spectroscopy of bacterial spores, molds, pollens, and protein: initial studies of discrimination potential, *Appl. Opt.* 42, 6205–6209 (2003).

Sánchez-Mesa J. A., Smith M., Emberlin J., Allitt U., Caulton E., Galan C., Characteristics of grass pollen seasons in areas of southern Spain and the United Kingdom. *Aerobiologia*, 19(3–4), 243–250 (2003).

Sauvageat E., Zeder Y., Auderset K., Calpini B., Clot B., Crouzy B., Konzelmann T, Lieberherr G., Tummon F., Vasilatou K., Real-time pollen monitoring using digital holography, <https://doi.org/10.5194/amt-13-1539-2020> (2020).

Savage N. J., Krentz C. E., Könemann T., Han T., Mainelis G., Pöhlker C., Huffman A. J., Systematic characterization and fluorescence threshold strategies for the wideband integrated bioaerosol sensor (WIBS) using size-resolved biological and interfering particles, <https://doi.org/10.5194/amt-10-4279-2017> (2017).

Sofiev M., Galperin M., Genikhovich E., A Construction and evaluation of Eulerian dynamic core for the air quality and emergency modelling system SILAM C. Borrego, A.I. Miranda (Eds.), *Air Pollution Modeling and Its Application XIX*, Springer, Netherlands, pp. 699-701 (2008).

Sofiev M., Siljamo P., Ranta H., Linkosalo T., Jaeger S., Rasmussen A., Rantio-Lehtimäki A., Severova E., Kukkonen J., A numerical model of birch pollen emission and dispersion in the atmosphere. Description of the emission module *Int. J. Biometeorol.*, 57 pp. 45-48 (2013).

Sofiev M., Sofieva S., Palamarchuk J., Saulien I., Kadantsev E., Atanasova N., Fatahi Y., Kouznetsov R., Kuula J., Noreikaite A., Peltonen M., Pihlajamäki T., Saarto A., Svirskaitė J., Toiviainen L., Tyuryakov S., Sukien L., Asmi E., Bamford D., Hyvarinen A., Karppinen A., Bioaerosols in the atmosphere at two sites in Northern Europe in spring 2021: Outline of an experimental campaign, *Environmental Research* (2022).

Southworth D., Ultraviolet Absorption Spectra of Pollen and Spore Walls, *Grana*, (1969).

Spanos A. K., Skouteri A., Gaitanis D., Petrakis P. V., Meliadis I., Michopoulos P., Solomou A., Koulelis P., Avramidou E. V., Forests of Greece, Their Multiple Functions and Uses, Sustainable Management and Biodiversity Conservation in the Face of Climate Change, DOI: 10.4236/oje.2021.114026 (2021).

Thompson S. E., Foster N. S., Johnson T. J., Valentine N. B., Amonette J. E., Identification of bacterial spores using statistical analysis of Fourier transform infrared photoacoustic spectroscopy data, *Appl. Spectrosc.* 57, 893–899 (2003).

Toprak E., Schnaiter M., Fluorescent biological aerosol particles measured with the Waveband Integrated Bioaerosol Sensor WIBS-4: laboratory tests combined with a one year field study, <https://doi.org/10.5194/acp-13-225-2013> (2013).

Wan W., Hua D., Le J., He T., Yan Z., Zhou C., Study of laser-induced chlorophyll fluorescence lifetime measurement and its correction, *Measurement*, 60 (2015).

White M., Nemani R., Real-time monitoring and short-term forecasting of land surface phenology. *Remote Sensing of Environment.* 104(1):43-49. (2006).

Willis K. *Betula pubescens*, Digitised palynological slide. In: European Reference Collection. Original material located at Oxford Long-Term Ecology Laboratory (2019).

Wojtanowski J., Zygmunt M., Muzal M., Knysak P., Młodzianko A., Gawlikowski A., Performance verification of a LIF-LIDAR technique for stand-off detection and classification of biological agents, *Optics & Laser Technology* (2015).

Wolfbeis O.S., The Fluorescence of Organic Natural Products. In *Moleculaar Luminescence Spectroscopy*, Schulman, S.G., Ed.; JohnWiley & Sons: New York, NY, USA (1985).

Wyatt P. J., Differential light scattering: a physical method for identifying living bacterial cells, *Appl. Opt.* 7, 1879–1896 (1968).

Xiaoxia S., Pollen observations at four EARLINET stations during the ACTRIS-COVID-19 campaign, <https://doi.org/10.5194/acp-22-3931-2022> (2022).

Yong-Le, Hill, C. Steven, Pinnick, G. Ronald, House, James M. House, Richard C. Flagan, Richard K. Chang, Dual-excitation-wavelength fluorescence spectra and elastic scattering for differentiation of single airborne pollen and fungal particles, *Atmospheric Environment* (2011).

Zhang Y., Bielory L., Mi Z., Cai T., Robock A., Georgopoulos P., Allergenic pollen season variations in the past two decades under changing climate in the United States doi: 10.1111/gcb.12755 (2015).

Zhang Y., Isukapalli S., Bielory L., Georgopoulos P. G., Bayesian analysis of climate change effects on observed and projected airborne levels of birch pollen. *Atmospheric Environment*, Volume 68, Pages 64-73 (2013).

Zhimin R., Dengxin H., Tingyao H., Qiang W., Jing L., Ultraviolet Laser-Induced Fluorescence Lidar for Pollen Detection, *Optik*, Volume 136, Pages 497-502 (2017).

Ziska L., Knowlton K., Rogers C., et al. Recent warming by latitude associated with increased length of ragweed pollen season in central North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences* (2011).

Ziska L., Makra L., Harry S. K., Bruffaerts N., Hendrickx M., Coates F., Saarto A., Thibaudon M., Oliver G., Damialis A., Charalampopoulos A., Vokou D., Heidmarsson S., Gudjohnsen E., Bonini M., Oh J., Sullivan K., Ford L., Brooks G. D., Myszkowska D., Severova E., Gehrig R., Darío Ramón G., Beggs P. J., Knowlton K., Crimmins A. R., Temperature-related changes in airborne allergenic pollen abundance and seasonality across the northern hemisphere: a retrospective data analysis, [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30015-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30015-4) (2019).

6.2. Ελληνική βιβλιογραφία

Αδαμακόπουλος Τ., Χατζηρβασάνης Β., Ματσούκα Π. Τα βουνά της Ρούμελης. Αθήνα: Πιτσιλός (1986).

Βασιλείου Χ., Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, ΕΜΠ (ιδιωτική επικοινωνία) (2023).

Γιαννακουδάκη Χ., ΔΕ, Στατιστική ανάλυση ανακτηθέντων φασμάτων φθορισμού καταστρεπτικών βιολογικών επικαθίσεων σε επιφάνειες μνημείων με χρήση Επαγόμενου Φθορισμού με LASER (LIF), Διπλωματική Εργασία, Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών (2021).

Γιδαράκου, Μ., Υποψ. Διδάκτωρ, Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών, ΕΜΠ (ιδιωτική επικοινωνία) (2023).

Γκέλης ΝΔ. Αναφυλακτικό ΣΟΚ, Εκδόσεις "Γκέλης", Κόρινθος (1996).

Γκέλης ΝΔ. Η Αλλεργία στην Ωτορινολαρυγγολογία, Εκδόσεις "Γκέλης", Κόρινθος (1988).

Γκέλης ΝΔ. Λεξικό Αλλεργίας, Εκδόσεις "Γκέλης", Κόρινθος (1992).

Λαζαρίδης Μ. Ατμοσφαιρική Ρύπανση με Στοιχεία Μετεωρολογίας, 2^η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα (2016).

Σφήκας Γεώργιος. Δένδρα και θάμνοι της Ελλάδας. Αθήνα: Ευσταθιάδης Group (1998).

Τα Ελληνικά Βουνά Αθήνα: Explorer. Αντώνης Αρκαδινός (επιμ.) (2003).

Χαραλαμπίδης Κ., Μοριακή Βιολογία Ανάπτυξης Φυτών, σελ. 25, Εκδόσεις Έμβρο (2018).

Kensal E. van Holde, W. Curtis Johnson, P. Shing Ho. Βιοφυσική, αρχές φυσικής βιοχημείας, Εκδόσεις Έμβρο (2010).

Jay Newman, Φυσική για τις επιστήμες της ζωής, σελ. 548, Εκδόσεις Δίαυλος. (2013).

6.3. Ιστοσελίδες

<https://silam.fmi.fi/pollen.html>

<https://swisens.ch/swisenspoleno-jupiter/?lang=en>

<https://www.meteoswiss.admin.ch/>

www.philodassiki.org: Η ιστοσελίδα της Φιλοδασικής Ένωσης Αθηνών