



Σχολή

Πρόγραμμα Σπουδών

Διπλωματική Εργασία

Επίδραση Κλιματικών Συνθηκών στην Παραγωγή Μελιού στα
Κύθηρα

ΜΑΡΙΑ ΠΡΩΤΟΨΑΛΤΗ

Επιβλέπων καθηγητής: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΣΑΠΙΔΗΣ

Πάτρα, ΜΑΙΟΣ 2024

© Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2017

Η παρούσα Εργασία καθώς και τα αποτελέσματα αυτής, αποτελούν συνιδιοκτησία του ΕΑΠ και του φοιτητή, ο καθένας από τους οποίους έχει το δικαίωμα ανεξάρτητης χρήσης, αναπαραγωγής και αναδιανομής τους (στο σύνολο ή τμηματικά) για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, σε κάθε περίπτωση αναφέροντας τον τίτλο και το συγγραφέα της Εργασίας καθώς και το όνομα του ΕΑΠ όπου εκπονήθηκε.

Επίδραση Κλιματικών Συνθηκών στην Παραγωγή Μελιού στα Κύθηρα

ΜΑΡΙΑ ΠΡΩΤΟΨΑΛΤΗ

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΣΑΠΠΙΔΗΣ

Καθηγητής Πανεπιστημίου Δυτικής
Μακεδονίας

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ ΤΣΙΤΣΙΦΛΗ

Χημικός Μηχανικός του Αριστοτελείου
Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Πάτρα, ΜΑΙΟΣ 2024

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ολοκληρώνονται οι σπουδές μου στο τμήμα Διαχείρισης και Τεχνολογίας Ποιότητας του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Νικόλαο Σαπίδη για την αμέριστη βοήθεια του σε όλα τα στάδια εκπόνησης της διπλωματικής μου. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Αντώνιο Τσαγκαράκη καθώς και τον υποψήφιο διδάκτωρ κ. Θανάση Αντωνόπουλο για την πολύτιμη βοήθεια τους.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την υπομονή, την συμπαράσταση και την βοήθεια τους για όλο το διάστημα εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Περίληψη

Οι μέλισσες είναι γνωστό πως έχουν πρωταγωνιστικό ρόλο στην ύπαρξη ζωής στον πλανήτη λόγω της επικοινωνίας πολλών φυτών και καλλιεργειών. Η κλιματική αλλαγή είναι ίσως η σοβαρότερη απειλή που τις επηρεάζει καθώς η παραγωγικότητα και η συμπεριφορά τους επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές διακυμάνσεις. Στην παρούσα μελέτη, κατασκευάστηκε ένα προγνωστικό μοντέλο, μέσω του αλγόριθμου μηχανικής μάθησης Random Forest, για πρόβλεψη της ετήσιας παραγωγής μελιού. Αναλύθηκαν δεδομένα απόδοσης μελιού έντεκα ετών (2012-2022) για να εκτιμηθεί ο αντίκτυπος των καιρικών συνθηκών στην απόδοση του μελιού στο νησί των Κυθίων. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η θερμοκρασία η υγρασία και οι παράμετροι που σχετίζονται με το νερό, επηρεάζουν σημαντικά την παραγωγικότητα των μελισσών. Οι 4 κύριοι παράγοντες με την υψηλότερη σημαντικότητα σύμφωνα με το μοντέλο πρόβλεψης που κατασκευάστηκε στην παρούσα εργασία είναι αυτός της διακύμανσης της θερμοκρασίας του Μαΐου, η μέγιστη θερμοκρασία Απριλίου, η διακύμανση της ειδικής υγρασίας κατά την περίοδο της ανθοφορίας (25 Μαΐου με 30 Ιουνίου) και η μέση τιμή της ειδικής υγρασίας τον Μάιο. Τέλος η ακρίβεια (accuracy) του μοντέλου είναι 0.5 αφήνοντας σημαντικά περιθώρια βελτίωσης.

Λέξεις – Κλειδιά

Κλιματική αλλαγή, *Apis mellifera*, Απόδοση παραγωγής μελιού, Nasa power, Random Forest.

Abstract

Bees are known to have a leading role in the existence of life on the planet due to the pollination of many plants and crops. Climate change is perhaps the most serious threat affecting them as their productivity and behavior are greatly affected by weather fluctuations. In the present study, a predictive model was constructed, through the Random Forest machine learning algorithm, to predict annual honey production. Eleven years of honey yield data (2012-2022) were analyzed to assess the impact of weather conditions on honey yield on the island of Kythira. The results show that temperature, humidity and water-related parameters significantly affect bee productivity. The 4 main factors with the highest importance according to the prediction model that constructed in this study are that of the variation of May temperature, the maximum temperature of April, the variation of specific humidity during the flowering period (25 May to 30 June) and the average value of specific humidity in May. Finally, the accuracy of the model is 0.5, leaving significant room for improvement.

Keywords

Climate change, *Apis mellifera*, Honey yield, Nasa power, Random Forest.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Abstract	6
Περιεχόμενα	7
Κατάλογος Εικόνων	8
Κατάλογος Πινάκων	8
Συνοτομογραφίες και Ακρωνύμια.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	11
1.1 Η ΜΕΛΙΣΣΟΚΟΜΙΑ ΣΤΗΝ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΠΟΧΗ	11
1.2 Η ΜΕΛΙΣΣΟΚΟΜΙΑ ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΩΝ ΚΥΘΗΡΩΝ	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΠΕΙΛΕΣ ΤΩΝ ΜΕΛΙΣΣΩΝ	16
2.1 ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΜΕΛΙΣΣΩΝ.....	16
2.1.1 VARROA	16
2.1.2 NOSEMA APIS ΚΑΙ NOSEMA SERANAE	17
2.2 ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΜΕΛΙΣΣΩΝ.....	18
2.3 ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ	18
2.4 ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΚΑΙ ΠΑΘΟΓΟΝΑ.....	19
2.4.1 ΤΕΧΝΗΤΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΜΕΛΙΣΣΑΣ	20
3.1 ΓΥΡΗ.....	20
3.2 ΒΑΣΙΛΙΚΟΣ ΠΟΛΤΟΣ	20
3.3 ΠΡΟΠΟΛΗ	21
3.4 ΜΕΛΙ	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΝΕΚΤΑΡ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΤΟ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ	23
4.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ.....	23
4.2 ΥΓΡΑΣΙΑ	23
4.3 ΈΝΤΑΣΗ ΦΩΤΟΣ.....	24
4.4 ΈΛΛΕΙΨΗ ΝΕΡΟΥ	24
4.5 ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΟ STRESS.....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: NASA/POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources) ΚΑΙ ΚΛΙΜΑ	25
5.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	25
5.2 NASA/POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources)	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	29
7.1 Στοιχεία συγκομιδής μελιού	29
7.2 Δεδομένα θερμοκρασίας, βροχοπτώσεων και υγρασίας.	31
7.3 Στατιστική ανάλυση.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.	43
8.1 Ανάλυση μετρικών.	48
8.2 Σχόλια και ερμηνεία.	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	55

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Γραφική παράσταση του μέσου όρου της συνολικής βροχόπτωσης στην επιφάνεια της γης σε μάζα νερού (περιλαμβάνει το χιόνι στην περιεκτικότητα του νερού) για τα έτη 2012 έως 2022 και τους μήνες Ιανουάριος έως Ιούνιος για την περιοχή της Παλαιόπολης. ..	31
Εικόνα 2: Γραφική παράσταση της μέσης ωριαίας θερμοκρασίας αέρα στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για 91 μέρες, από 1η Οκτωβρίου έως της 31η Δεκεμβρίου για τα έτη 2011 έως 2016.....	33
Εικόνα 3: Γραφική παράσταση της μέσης ωριαίας θερμοκρασίας αέρα στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για 91 μέρες, από 1η Οκτωβρίου έως της 31η Δεκεμβρίου για τα έτη 2017 έως 2021.....	33
Εικόνα 4: Οι τιμές του εύρους της ειδικής υγρασίας (υψηλότερη τιμή ειδικής υγρασίας – χαμηλότερη τιμή ειδικής υγρασίας) για την περίοδο 25 Μαΐου έως 30 Ιουνίου για κάθε έτος μελέτης.	35
Εικόνα 5: Οι τιμές της υψηλότερης θερμοκρασίας για την περίοδο από 25 Μαΐου έως 30 Ιουνίου για κάθε έτος μελέτης.....	38
Εικόνα 6: Η σημασία των μεταβλητών στον αλγόριθμο Random Forest στα δεδομένα εκπαίδευσης.....	46

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1:Σύνοψη δεδομένων συγκομιδής μελιού.....	30
Πίνακας 2: Οι τιμές του μέσου όρου της συνολικής βροχόπτωσης στην επιφάνεια της γης σε μάζα νερού (περιλαμβάνει το χιόνι στην περιεκτικότητα του νερού) για τα έτη 2012 έως 2022 και τους μήνες Ιανουάριος έως Ιούλιος για την περιοχή της Παλαιόπολης.....	31
Πίνακας 3: Διακύμανση μέσης θερμοκρασίας στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τους μήνες Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο για τα έτη 2011 έως 2021.	34
Πίνακας 4: Παρουσιάζονται οι τιμές της υψηλότερης ειδικής υγρασίας (kg νερού/kg ολικού αέρα), οι τιμές της χαμηλότερης ειδικής υγρασίας (kg νερού/kg ολικού αέρα) και το εύρος αυτών των δύο για την περίοδο από 25 Μαΐου έως 30 Ιουνίου για κάθε έτος μελέτης.	35

Πίνακας 5: Παρουσιάζονται οι τιμές της υψηλότερης θερμοκρασίας για την περίοδο από 25 Μαΐου έως 30 Ιουνίου για κάθε έτος μελέτης.	37
Πίνακας 6: Συντελεστές συσχέτισης της ετήσιας παραγωγής μελιού και των μετεωρολογικών μεταβλητών με την απόδοση του μελιού.....	38
Πίνακας 7: Το σύνολο των δεδομένων εισόδου.....	43
Πίνακας 8: Οι μεταβλητές του αλγόριθμου και η σημαντικότητα κάθε μεταβλητής.....	46
Πίνακας 9: Οι μετρήσεις του αλγόριθμου Random Forest.....	48

Συντομογραφίες και Ακρωνύμια

NASA	Εθνική Αεροναυτική και Διαστημική Διοίκηση
CAT	Κατάλαση
FN	Ψευδώς αρνητικό
FP	Ψευδώς θετικό
GMAO	Global Modeling and Assimilation Office
GSH	Ανοιγμένη γλουταθειόνη
GSOD	Global Summary Of the Day
ISD	Integrated Surface Database
MERRA-2	Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications
QV2M	Ειδική υγρασία στα δύο μέτρα από την επιφάνεια της γης
RF	Random Forest
RH	Σχετική υγρασία
SOD	Υπεροξειδική δισμουτάση
Td	Ημερήσια θερμοκρασία
Tmax	Μέγιστη θερμοκρασία
Tmean	Μέση θερμοκρασία
Tmin	Χαμηλότερη θερμοκρασία
TP	Αληθές θετικό
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
NCEI	Εθνικό Κέντρο Περιβαλλοντικών Πληροφοριών
T2M	Ωριαία θερμοκρασία αέρα στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης
TN	Αληθές αρνητικό
PRECTOTCORR_SUM	Precipitation Corrected Sum

Το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας προτάθηκε από τον καθηγητή του Γεωπονικού Πανεπιστημίου κ. Αντώνιο Τσαγκαράκη. Επίσης η συγγραφή του Κεφαλαίου 7 και 8 έγινε με την βοήθεια του υποψήφιου διδάκτωρ κ. Θανάση Αντωνόπουλου ο οποίος με βοήθησε με τις γνώσεις του στην γραφή του κώδικα για την κατασκευή του προγνωστικού μοντέλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.1 Η ΜΕΛΙΣΣΟΚΟΜΙΑ ΣΤΗΝ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΠΟΧΗ

Η βάση της σημερινής μελισσοκομίας θεωρείται η ανακάλυψη της σύγχρονης κυψέλης με τα κινητά πλαίσια κηρήθρων για την οποία είναι υπεύθυνος ο Αμερικανός Lorenzo Lorraine Langstroth το 1851 ο οποίος θεωρείται και πατέρας της σύγχρονης μελισσοκομίας (Μαυροφρύδης, 2015). Η νέα κυψέλη βοήθησε πολύ τη διαδικασία του τρύγου αφού πλέον οι μέλισσες χτίζουν πάνω σε συγκεκριμένα πλαίσια τα οποία είναι κινητά με αποτέλεσμα ο μελισσοκόμος να μπορεί να τρυγήσει χωρίς να καταστρέψει το μελίσσι όπως γινόταν παλιά. Με αυτό τον τρόπο οι μέλισσες δεν είναι αναγκασμένες να χτίσουν νέες κηρήθρες για τις οποίες θα σπαταλούσαν άφθονο νέκταρ. Πλέον χρησιμοποιείται η φυγόκεντρος δύναμη για την εξαγωγή του μελιού σε ειδικά δοχεία και τα πλαίσια επιστέφουν πίσω στις μέλισσες για να ξεκινήσει η διαδικασία και πάλι από την αρχή (Μαυροφρύδης και Μπίκος, 2014).

Φτάνοντας στον 21^ο αιώνα και συγκεκριμένα με μία μελέτη του Jones (2004), παρατηρείται πως η Ελλάδα βρίσκεται 7^η σε σειρά σε ποσοστό μελισσοκόμων ανά πληθυσμό χώρας και 2^η σε αριθμό κυψελών και μέσω όρο κυψελών ανά μελισσοκόμο μετά την Ισπανία. Τα αποτελέσματα της έρευνας δείχνουν πως η μελισσοκομία δεν αποτελεί μία ευχάριστη ερασιτεχνική δραστηριότητα αλλά μία σημαντική γεωργική δραστηριότητα στην ΕΕ.

Από το 1987 έως το 2016 η βιβλιογραφία που αναφέρεται στην έρευνα των μελισσών έχει αναπτυχθεί σχεδόν δύο φορές ταχύτερα από την παγκόσμια επιστημονική βιβλιογραφία (όλα τα επιστημονικά πεδία) που αναφέρεται στο Web of Science (5.9% έναντι 3.1% κατά μέσο όρο ετήσια αύξηση του αριθμού των αναφερόμενων δημοσιεύσεων αντίστοιχα). Η έρευνα που αφορά τις απειλές της μελισσοκομίας έχει φτάσει πλέον στο σημείο μετατόπισης του θέματος της έρευνας από τους

βιοεπιθετικούς παράγοντες στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή ως πρωταρχικό μέλημα. Η έρευνα πάνω σε θέματα που σχετίζονται με την απειλή της μελισσοκομίας από αλλαγές όπως η κλιματική αλλαγή, αλλαγές στην χρήση γης και γεωργικές πρακτικές έχει υπερβεί τα τελευταία χρόνια την μακροχρόνια καθιερωμένη έρευνα για βιοεπιθετικούς παράγοντες (ακάρεα Varroa, μικροσπόρια Nosema, ιοί και μία ποικιλία άλλων παθογόνων και αρπακτικών). Με μια πρώτη ματιά, φαίνεται πως η έρευνα για το άκαρι Varroa, που ήταν μακρά η πιο μελετημένη απειλή των μελισσών, συνεχίζει να αναπτύσσεται (κατά μέσο όρο 28 δημοσιεύσεις ετησίως στις αρχές της δεκαετίας του '90, σε σύγκριση με 55 δημοσιεύσεις τα τελευταία χρόνια), αλλά μειώθηκε απότομα ανάλογα με τα θέματα που σχετίζονται με την παγκόσμια αλλαγή. Αντίθετα, η έρευνα για τις πηγές νέктar και γύρης και την απώλεια οικοσυστημάτων είναι ένα από τα ταχέως διερευνώμενα θέματα μελέτης τα οποία πριν 30 χρόνια διερευνήθηκαν οριακά ενώ τώρα αντιπροσωπεύει πάνω από το 15% της παγκόσμιας ερευνητικής προσπάθειας για τις απειλές των μελισσών. Η αύξηση αλλά και η αλλαγή κατεύθυνσης στην μελέτη της μελισσοκομίας συμβάλλουν στην ολοένα και μεγαλύτερη κατανόηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, της αλλαγής του τοπίου και της εντατικοποίησης της γεωργίας στην μελισσοκομία (Decourtye et al., 2019).

Στην Ισπανία μελέτη (Flores et al., 2019) έδειξε πως, τόσο το 2016 όσο και το 2017, ήταν δύο πολύ ζεστά και ξηρά χρόνια, ιδιαίτερα το 2017, κατά το οποίο οι υψηλές θερμοκρασίες έφτασαν τα υψηλότερα ρεκόρ στην ιστορία της χώρας. Οι ετήσιες βροχοπτώσεις ήταν πολύ χαμηλές, με το 2017 να είναι το δεύτερο ξηρότερο έτος στο ιστορικό μητρώο σύμφωνα με τα μετεωρολογικά αρχεία. Το βάρος των κυψελών παρακολούθηθηκε εξ αποστάσεως με το σύστημα Wbee (Gil-Lebrero et al., 2016). Το σύστημα βασίζεται στην ασύρματη επικοινωνία μέσω ενός μοντέλου τριών επιπέδων. Με αυτή την συσκευή οι ερευνητές κατάφεραν να παρακολουθήσουν το βάρος των κυψελών και κατέληξαν σε μερικά πολύ ενδιαφέροντα συμπεράσματα. Η έλλειψη βροχόπτωσης το έτος 2017 και ο συνδυασμός αυτού με τις πολύ υψηλές θερμοκρασίες, άνω των 30 °C, αντικατοπτρίστηκε στις κυψέλες των μελισσών καθώς σταμάτησαν να παίρνουν συνεχώς βάρος όπως θα έπρεπε στην διάρκεια της ανθοφορίας, ή και ακόμα μειώθηκε σε κάποιες περιπτώσεις. Αντίθετα, το 2016 οι βροχοπτώσεις ήταν πιο συχνές

και η εκδήλωση υψηλών θερμοκρασιών ήρθε αργότερα, με αποτέλεσμα οι κυψέλες να αποκτούν συνεχώς βάρος με απόδοση 18,92 κιλά σε σύγκριση με 7,67 κιλά κατά το έτος 2017 (Flores et al., 2019). Εκτός της απόδοσης του μελιού όμως σημαντική είναι και η παραγωγή γύρης. Πιο συγκεκριμένα το 2017 τα αρχικά αποθέματα γύρης εντός της κυψέλης ήταν μεγαλύτερα από αυτά του 2016, στην συνέχεια όμως φαίνεται πως ενώ το 2016 τα αποθέματα αυτά συνεχίζουν να αυξάνονται, το 2017 μειώνονται. Αυτό φυσικά αποδίδεται στην δραστική μείωση των ανθοφοριών λόγω των καιρικών συνθηκών (Flores et al., 2019).

Στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στο νησί της Ρόδου αναλύθηκαν δεδομένα βάρους κυψελών πέντε ετών (2015-2019) για να εκτιμηθεί ο αντίκτυπος των επικρατουσών καιρικών συνθηκών στην παραγωγικότητα των μελισσών. Τα αποτελέσματα έδειξαν (Gounari, Proutsos and Goras, 2022) πως η θερμοκρασία και οι παράμετροι που σχετίζονται με το νερό (βροχοπτώσεις, υγρασία), επηρεάζουν σημαντικά την παραγωγικότητα των μελισσών. Πιο συγκεκριμένα, οι βέλτιστες τιμές θερμοκρασίας είναι 17°C την άνοιξη και 26°C το καλοκαίρι (Gounari, Proutsos and Goras, 2022). Η παραγωγικότητα των μελισσών εκφρασμένη σε βάρος κυψέλης φαίνεται να αυξάνεται σε ημερήσιες θερμοκρασίες μεταξύ 14 και 28°C, παρουσιάζοντας μείωση πέρα του εύρους αυτού. Αρνητικές επιπτώσεις στην παραγωγή του μελιού σύμφωνα με την μελέτη έχουν η θερμοκρασία, η ταχύτητα του ανέμου, το ημερήσιο εύρος θερμοκρασίας και η διάρκεια των θερμών και ξηρών περιόδων. Από την άλλη, η υγρασία είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας αλλά με θετική επίδραση στην παραγωγή του μελιού (Gounari, Proutsos and Goras, 2022).

1.2 Η ΜΕΛΙΣΣΟΚΟΜΙΑ ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΩΝ ΚΥΘΗΡΩΝ

Η μελισσοκομία αποτελεί μία από τις σημαντικότερες οικονομικές δραστηριότητες του νησιού των Κυθήρων. Το ντόπιο θυμαρίσιο μέλι αποτελεί ένα εξαιρετικά φημισμένο προϊόν τόσο στο νησί όσο και παγκοσμίως. Η εμπορική μελισσοκομία στο νησί συγκεντρώνεται στην παραγωγή θυμαρίσιου μελιού. Πάνω από το 38% των

μελισσοκόμων του νησιού δηλώνουν κατά κύριο επάγγελμα την μελισσοκομία (Zafeiriou and Antoniou, 2013), ενώ για ένα άλλο 18% αποτελεί την κύρια ενασχόληση δίπλα σε κάποια άλλη γεωργική δραστηριότητα. Ο αριθμός των μελισσοσμηνών που έχει στην κατοχή του κατά μέσο όρο κάθε μελισσοκόμος στο νησί των Κυθήρων είναι σημαντικά μεγαλύτερος (182 κυψέλες) (Zafeiriou and Antoniou, 2013) από τον μέσο όρο κυψελών που διαθέτουν οι μελισσοκόμοι στην υπόλοιπη Ελλάδα (130 κυψέλες) (Makri, Panagiotou and Panagiotou, 2015).

Η συγκομιδή του μελιού γίνεται κατά κύριο λόγο μία φορά τον χρόνο κατά τους καλοκαιρινούς μήνες όπου ανθίζει και το άγριο θυμάρι στο νησί. Η διάρκεια της συγκομιδής είναι περίπου ένα μήνα με μικρές αποκλίσεις ανάλογα το έτος και τον αριθμό των κυψελών. Αυτή η ετήσια συγκομιδή αποτελεί την κύρια πηγή εσόδων για τους μελισσοκόμους του νησιού και ξεκινά από τέλη Ιουνίου έως τα μέσα Ιουλίου και τελειώνει τέλη Ιουλίου με αρχές Αυγούστου. Ωστόσο υπάρχουν και περιπτώσεις όπου μελισσοκόμοι έχουν και μία δεύτερη συγκομιδή, στα μέσα του φθινοπώρου μετά τις πρώτες βροχές, του μελιού ρέικι. Επειδή το συγκεκριμένο μέλι κρίνεται σημαντικό για το ξεχειμώνιασμα των μελισσών η συγκομιδή αυτή γίνεται εφόσον η χρονιά είναι ευνοϊκή και σε πολύ μικρότερες ποσότητες χωρίς εμπορικό χαρακτήρα αλλά για οικιακή χρήση. Σημαντική κρίνεται και η διαφορά του νησιού με άλλες, λιγότερες άνυδρες περιοχές στις οποίες οι μελισσοκόμοι έχουν 3 κύριες μεγάλες συγκομιδές τον χρόνο με αποτέλεσμα να επιτυγχάνουν μεγαλύτερη παραγωγή μελιού ετησίως (Zafeiriou and Antoniou, 2013).

Ο Φεβρουάριος θεωρείται η αρχή της μελισσοκομικής χρονιάς όπου ξεκινάνε και οι πρώτες ανθοφορίες. Τέτοιες ανθοφορίες είναι η φασκομηλιά, η αμυγδαλιά, το τριφύλλι, η αγριαχλαδιά και η πορτοκαλιά. Η τροφοδοσία των μελισσών γίνεται για το ξεχειμώνιασμα και για την ενίσχυση της ανάπτυξης της αποικίας κατά τους μήνες της άνοιξης. Παραλείπεται εάν η άγρια βλάστηση είναι επαρκής για τις ανάγκες της αποικίας. Συχνό φαινόμενο αποτελεί και η μεταφορά των μελισσών σε περιοχές του νησιού ανάλογα με τις ανθοφορίες του έτους. Σύμφωνα με τους ίδιους του μελισσοκόμους του νησιού κατά τους πρώτους καλοκαιρινούς μήνες και κυρίως κατά

την ανθοφορία του θυμαριού τα μελίσσια μεταφέρονται στην ακτογραμμή του νησιού όπου το θυμάρι ανθίζει πιο πρώιμα και στην συνέχεια προς την ενδοχώρα κατά την διάρκεια της ξηρασίας του Αυγούστου όπου το θυμάρι αργεί να ανθίσει και υπάρχουν λαχανικά και βότανα. Κατά αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η μέγιστη συλλογή νέκταρ (Zafeiriou and Antoniou, 2013).

Όμως παρόλο που ο αριθμός των κυψελών αυξάνεται με τα χρόνια, η παραγωγικότητα ανά μελίσσι μειώνεται, με την απόδοση να είναι 15 κιλά μέλι ανά κυψέλη τα παλαιότερα χρόνια (πριν το 2000), σε σχέση με 6-8 κιλά μέλι ανά κυψέλη τα πρόσφατα χρόνια (μετά το 2000) σύμφωνα με τους μελισσοκόμους του νησιού (Zafeiriou and Antoniou, 2013). Σημαντικό ρόλο σε αυτό φαίνεται να έχει η κλιματική αλλαγή η οποία χαρακτηρίζεται ως ο σημαντικότερος στρεσογόνος παράγοντας από τους Κυθήριους μελισσοκόμους κυρίως, λόγω των αρνητικών επιπτώσεων που έχει πάνω στην άγρια βλάστηση του νησιού και ειδικότερα στο θυμάρι. Τέλος, άλλοι λόγοι επίσης σημαντικοί και με βαθιά επίδραση στην μελισσοκομία των Κυθήρων είναι η εγκατάλειψη της γεωργίας και της διαχείρισης της γης, οι ασθένειες, οι πυρκαγιές και οι νέες φυλές μελισσών που εισήλθαν στο νησί (Zafeiriou and Antoniou, 2013).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΠΕΙΛΕΣ ΤΩΝ ΜΕΛΙΣΣΩΝ

2.1 ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΜΕΛΙΣΣΩΝ

Τα πιο συχνά εντοπιζόμενα παθογόνα που οφείλονται κατά κύριο λόγο οι διάφορες διαταραχές εντός της κυψέλης είναι το εξωπαρασιτικό άκαρι *Varroa* και τα σπόρια από τους μύκητες *Nosema apis* και *Nosema ceranae* (Guzman-Novoa et al., 2016).

2.1.1 VARROA

Το συγκεκριμένο άκαρι είναι ένα εξωτερικό παράσιτο ορατό με γυμνό μάτι και αποτελεί τον πιο επιβλαβή μεμονωμένο βιοτικό παράγοντα που επηρεάζει τις μέλισσες. Το *Varroa* αναπαράγεται στον γόνο των μελισσών και θεωρείται εξαιρετικά παθογόνο για τον ξενιστή του μειώνοντας κατά πολύ την διάρκεια ζωής του (Guzman-Novoa et al., 2016). Οι μολυσμένες αποικίες σε εύκρατα κλίματα θα πεθάνουν τελικά μέσα σε δύο χρόνια μετά την αρχική μόλυνση εάν η αποικία αφεθεί χωρίς θεραπεία (Boecking and Genersch, 2008). Ο παρασιτισμός από το άκαρι έχει οδηγήσει σε εκατομμύρια απώλειες αποικιών ανά τον κόσμο με τεράστιες οικονομικές απώλειες. Επίσης ένα σύμπλεγμα ιογενών λοιμώξεων φαίνεται να σχετίζεται με την προσβολή της αποικίας από το άκαρι. Έτσι όχι μόνο εξασθενεί τον ξενιστή του τρεφόμενο από το αίμα του αλλά και μεταδίδοντας ιούς (Guzman-Novoa et al., 2016). Επιπλέον τα ακάρεα *Varroa* μπορούν να προκαλέσουν έμμεση βλάβη στις μέλισσες προκαλώντας μείωση στον συνολικό πληθυσμό της αποικίας που επηρεάζει τις δυνατότητες αναζήτησης τροφής και επικοινωνίας, μείωση της παραγωγής μελιού λόγω εξαντλημένων προσπαθειών αναζήτησης τροφής και ασθενής υγεία των εργατριών μελισσών και τέλος αποδυνάμωση των αποικιών καθιστώντας τις πιο ευάλωτες σε πρόσθετους περιβαλλοντικούς στρεσογόνους παράγοντες.

Τα ακάρεα τρέφονται απευθείας με τον λιπώδη ιστό του σώματος, γεγονός που μπορεί να εξηγήσει γιατί ορισμένες μέθοδοι ελέγχου και θεραπείας του *Varroa* είναι

αναποτελεσματικές. Συνήθως το Varroa σκοτώνει τις μέλισσες πριν προλάβουν να βγουν από το κελί του γόνου. Ωστόσο, οι μέλισσες που φτάνουν μέχρι την ενηλικίωση τους, συνήθως μολύνονται με ιούς, όπως ο ιός του παραμορφωμένου φτερού (DWV) (Ryabov et al., 2014) που μεταδίδεται με την διατροφή των ακάρεων. Η αναπαραγωγή του Varroa μπορεί να γίνει μόνο σε κύτταρα γόνου μελισσών, τα οποία περιέχουν αναπτυσσόμενα αυγά, προνύμφες και νύμφες. Πέρα από την αναπαραγωγή, το θηλυκό varroa μπορεί να βρεθεί είτε σε ενήλικες μέλισσες είτε σε ανήλικες και να μεταβεί μέσω των μελισσών σε άλλες αποικίες, όπου συνεχίζουν να αναπαράγονται και να εξαπλώνονται (Warner et al., 2023).

2.1.2 NOSEMA APIS ΚΑΙ NOSEMA CERANAE

Η νοζεμίαση προκαλείται από το Nosema apis και Nosema ceranae. Είναι μία μικροσποριδική μυκητίαση που προσβάλλει τον εντερικό σωλήνα των ενήλικων μελισσών. Το Nosema προκαλεί επιβλαβείς επιπτώσεις στις μέλισσες, στην ανάπτυξη αποικιών, στην απόδοση της βασίλισσας και στην παραγωγή μελιού (Marín-García et al., 2022).

Τα σπόρια του Nosema βλασταίνουν στο μέσο έντερο και μολύνουν τα κύτταρα του επιθηλίου του μέσου εντέρου όπου πολλαπλασιάζονται έντονα για να παράγουν νέα σπόρια που απελευθερώνονται στον αυλό του εντέρου. Το κύριο σύμπτωμα που παρατηρείται από το apis Nosema είναι η έντονη δυσεντερία ενώ το Nosema ceranae φαίνεται ότι προκαλεί θάνατο των μελισσών και των αποικιών χωρίς ορατά συμπτώματα. Επίσης, η μόλυνση από το πρώτο περιορίζεται στο μέσο έντερο επιθήλιο, ενώ το δεύτερο έχει ανιχνευθεί και σε άλλους ιστούς μελισσών όπως οι υποφαρυγγικοί αδένες, αν και μέχρι στιγμής η ανίχνευση γίνεται μόνο μέσω πολύ ευαίσθητων μοριακών μεθόδων. Η αρχική υπόθεση ήταν ότι το Nosema apis μολύνει συγκεκριμένα την ευρωπαϊκή μέλισσα, *A. mellifera*, ενώ το *N. ceranae* είναι ένα παθογόνο της ασιατικής μέλισσας. Πρόσφατα έγινε φανερό όμως ότι (Genersch, 2010) το Nosema ceranae είναι ευρέως διαδεδομένο και επηρεάζει τον πληθυσμό της *A. mellifera* παγκόσμια. Ακόμη έχει παρατηρηθεί πως το Nosema ceranae φαίνεται να προσαρμόζεται καλύτερα σε υψηλές θερμοκρασίες, να είναι αρκετά ευαίσθητο σε πολύ

χαμηλές θερμοκρασίες και τέλος η λοιμογόνος δράση του επηρεάζεται σημαντικά από τις κλιματολογικές συνθήκες σε σχέση με το *Nosema apis*.

2.2 ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΜΕΛΙΣΣΩΝ

Η διατροφή των μελισσών αποτελείται από γύρη και νέκταρ που συλλέγονται από τα λουλούδια. Αυτά τα δύο προϊόντα μαζί προσφέρουν στις μέλισσες τους υδατάνθρακες, τις πρωτεΐνες, τα λιπίδια και άλλα θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται για να επιβιώσουν. Η ποικιλία στην γύρη που καταναλώνεται βελτιώνει σημαντικά την διάρκεια ζωής της μέλισσας με αποτέλεσμα να προκαλεί ιδιαίτερη ανησυχία η διατροφή των μελισσών που προέρχεται από μία μόνο πηγή γύρης (Guzman-Novoa et al., 2016).

2.3 ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ

Ορισμένα είδη φυτών, συμπεριλαμβανομένων των κοινών καλλιεργειών μαζικής ανθοφορίας δεν παρέχουν στις μέλισσες τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται για να ζήσουν και να ευδοκιμήσουν. Η χρήση της γης που περιβάλλει το μελισσοκομείο έχει μεγάλο αντίκτυπο στην υγεία και την φυσιολογία των μελισσών. Ωστόσο η σχέση αυτή δεν είναι πάντα απλή (Dolezal and Toth, 2018). Σύμφωνα με έρευνες οι κυψέλες που περιβάλλονται από περισσότερη γεωργική γη φαίνεται να έχουν περισσότερες απώλειες (Naug, 2009) και μειωμένα αποθέματα λίπους μπαίνοντας στον χειμώνα (Dolezal et al., 2016). Στο Ηνωμένο Βασίλειο, σε περιοχές με επίσης ανεπτυγμένη γεωργική παραγωγή παρατηρήθηκε η μείωση στην αποθήκευση γύρης (Donkersley et al., 2014) όπως και η μείωση στην παραγωγή μελιού (Sande et al., 2009). Ωστόσο, στις ΗΠΑ έρευνες έδειξαν πως οι μέλισσες κατάφεραν και αποθήκευσαν μεγαλύτερες ποσότητες μελιού σε αγροτικές περιοχές σε σχέση με τις αστικές (Sponsler and Johnson, 2015).

2.4 ΔΙΑΤΡΟΦΗ ΚΑΙ ΠΑΘΟΓΟΝΑ

Η ποσότητα και η ποιότητα της διατροφής μπορεί να επηρεάσει την ευαισθησία των μελισσών στα παθογόνα χωρίς να είναι ακόμη τελείως κατανοητό το πως γίνεται αυτό. Η γύρη και το νέκταρ/μέλι περιέχουν μία ποικιλία από πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπίδια καθώς και μία ποικιλία φυτοχημικών και μικροθρεπτικών συστατικών που έχουν την δυνατότητα να επηρεάσουν την ανοσολογική απόκριση. Αν και ακόμη δεν είναι πολύ σαφές, μία διατροφή με μεγάλη ποικιλία προσφέρει στις μέλισσες τα απαραίτητα που χρειάζονται. Είναι αποδεδειγμένο πως όσο μεγαλύτερη είναι η ποικιλία των φυτών που συλλέγεται η γύρη τόσο καλύτερα ρυθμίζονται ορισμένα στοιχεία του ανοσοποιητικού συστήματος της μέλισσας με αποτέλεσμα να μειώνεται η θνησιμότητα λόγω του *N. ceranae*. Πιθανότατα υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των πρωτεϊνών, των αμινοξέων και όλων των μικροθρεπτικών συστατικών με το καθένα από αυτά τα στοιχεία να παίζει σημαντικό ρόλο στην ανθεκτικότητα των μελισσών. Έτσι λοιπόν οι μέλισσες επωφελούνται έναντι των παθογόνων από μία βελτιωμένη διατροφή, με ποικιλία σε γύρη και νέκταρ (Dolezal and Toth, 2018).

2.4.1 ΤΕΧΝΗΤΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ

Οι στρατηγικές διαχείρισης στην μελισσοκομία έχουν ως στόχο την βελτίωση διαφόρων παραγόντων που είναι απαραίτητοι για την σωστή ανάπτυξη της αποικίας. Το πρόβλημα που προκαλείται από τις δυσμενείς καιρικές συνθήκες καθώς και την λιγοστή διαθεσιμότητα της χλωρίδας καθόλη την διάρκεια του έτους σε μία τοποθεσία έχουν προσπαθήσει να επιλύσουν οι μελισσοκόμοι μεταναστεύοντας τις αποικίες των μελισσών σε κατάλληλο μέρος πλούσιο σε χλωρίδα. Αλλά και πάλι η λύση της μετανάστευσης δεν φέρνει πάντα τα επιθυμητά αποτελέσματα απαιτώντας έξοδα, εργατικό δυναμικό και αρκετό κίνδυνο. Έτσι η παροχή τεχνητής τροφής (νέκταρ και γύρη) έχει εξετασθεί και αναπτυχθεί για την διατήρηση των δραστηριοτήτων ωοτοκίας, εκτροφής γόνου και αναζήτηση τροφής συμβάλλοντας έτσι στην διατήρηση αρκετά μεγάλου πληθυσμού μελισσών μέσα στην κυψέλη (Paray et al., 2021).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΤΗΣ ΜΕΛΙΣΣΑΣ

Τα προϊόντα της μέλισσας παράγονται από την ίδια την μέλισσα για να καλύψουν τις ανάγκες της κυψέλης μέσα στον χρόνο. Μερικά, όπως η γύρη, ο βασιλικός πολτός και το μέλι αποτελούν την κύρια τροφή για τις μέλισσες. Άλλα, όπως η πρόπολη, έχουν προστατευτική λειτουργία, θωρακίζοντας την κυψέλη από επιβλαβείς μικροοργανισμούς. Όλα τα προϊόντα θεωρούνται υπερτροφές, δηλαδή φυσικά, μη επεξεργασμένα τρόφιμα που περιέχουν πολύτιμα θρεπτικά συστατικά σε ισορροπημένες αναλογίες. Η σύνθεση τους είναι πολύ πλούσια με μεγάλη ποικιλία και μεταβλητή (εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από τον τόπο συλλογής, το κλίμα και την εποχή) και μπορεί να αποτελείται από αρκετές εκατοντάδες διαφορετικές ουσίες (Rzetecka, et al., 2024).

3.1 ΓΥΡΗ

Η γύρη των μελισσών συλλέγεται από τις μέλισσες από τους ανθήρες των φυτών. Οι μέλισσες αναμειγνύουν τη γύρη των λουλουδιών με μέλι, νέκταρ και εκκρίσεις από τους σιελογόνους αδένες τους. Το προϊόν που προκύπτει από αυτή την μίξη είναι γνωστό ως γύρη μελισσών και αποτελείται από περίπου 200 ουσίες. Κάποια από τα πιο σημαντικά συστατικά της είναι οι πρωτεΐνες τα απαραίτητα αμινοξέα, οι υδατάνθρακες και τα λιπίδια. Λόγω της πλούσιας σε θρεπτικά συστατικά σύστασης της, η γύρη μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τους ανθρώπους για την θεραπεία φλεγμονωδών ασθενειών, υπέρτασης και συστηματικών κυκλοφορικών διαταραχών (Rzetecka et al., 2024).

3.2 ΒΑΣΙΛΙΚΟΣ ΠΟΛΤΟΣ

Ο βασιλικός πολτός είναι ένα καθαρό έκκριμα των υποφαρυγγικών αδένων των μελισσών. Στην κυψέλη, είναι η τροφή των νεαρών προνυμφών και η μόνη διατροφή

της βασίλισσας σε όλη της την ζωή. Η σύνθεση του βασιλικού πολτού περιλαμβάνει νερό, λιπίδια, σάκχαρα, πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, μέταλλα και βιταμίνες. Η κατανάλωση του βοηθάει στην βελτίωση της όρασης, της μνήμης καθώς και για την θεραπεία της υπότασης, της υπέρτασης και των αλλεργιών. Επίσης είναι βασικό συστατικό αντιγηραντικών και ανοσοτροποποιητικών σκευασμάτων (Rzetecka et al., 2024).

3.3 ΠΡΟΠΟΛΗ

Η πρόπολη είναι μία ρητινώδης ουσία που χρησιμοποιούν οι μέλισσες για να σφραγίσουν την κυψέλη και να προστατεύσουν την αποικία από ασθένειες. Αυτό το προϊόν αποτελείται κυρίως από λιπαρά οξέα, αρωματικά οξέα, αλειφατικά οξέα, φλαβονοειδή, σάκχαρα, αλκόολες, τερπένια και εστέρες. Στην ιατρική χρησιμοποιείται κυρίως ως αντιμικροβιακό και αντιοξειδωτικό προϊόν, κυρίως λόγω των φλαβονοειδών που περιέχει. Αποτρέπει επίσης την ανάπτυξη νευροεκφυλιστικών ασθενειών, καρδιαγγειακών παθήσεων, διαβήτη και καρκίνου (Rzetecka et al., 2024).

3.4 ΜΕΛΙ

Η οδηγία 2001/110/EK του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης (European Union, 2014) ορίζει το μέλι ως τη φυσική γλυκιά ουσία που παράγουν οι μέλισσες του είδους *Apis mellifera* από το νέκταρ των φυτών ή από εκκρίσεις ζώντων μερών φυτών ή εκκρίματα εντόμων απομυζούντων φυτά ευρισκόμενα πάνω στα ζώντα μέρη των φυτών, τα οποία οι μέλισσες συλλέγουν, μετατρέπουν αναμειγνύοντας με ειδικές ύλες του σώματός τους, αποθέτουν, αφυδατώνουν, εναποθηκεύουν και φυλάσσουν στις κηρήθρες της κυψέλης, προκειμένου να ωριμάσουν.

Το μέλι περιέχει περίπου 200 ενώσεις, που αποτελούνται κυρίως από σάκχαρα (φρουκτόζη 25-45% και γλυκόζη 20-40%), νερό και άλλες ουσίες, όπως αμινοξέα,

ένζυμα, πρωτεΐνες, βιταμίνες, μέταλλα, τέφρα, οργανικά οξέα, φαινολικές και φλαβονοειδείς ενώσεις, οι οποίες συμβάλουν σημαντικά στη βιολογική του δράση. Η θεραπευτική δυνατότητα του μελιού (το μέλι manuka έχει εγκριθεί ως επουλωτικό πληγών από το U.S. Food and Drug Administration το 2007) (Kumar et al., 2010) συνδέεται με την παρουσία, την ποικιλία και τις ποσότητες βιοδραστικών ενώσεων. Οι βιοδραστικές αυτές ενώσεις με την σειρά τους εξαρτώνται από τον τύπο της χλωρίδας, τη γεωγραφική θέση παραγωγής, τις κλιματικές συνθήκες, τους εποχικούς παράγοντες, τη σύνθεση του εδάφους καθώς και την ίδια την διαδικασία παραγωγής. Η συντριπτική πλειοψηφία των βιοδραστικών ενώσεων στο μέλι αποτελείται από μόρια με φαινολικές δομές, όπως φαινολικά οξέα, φλαβονοειδή, προκυανίδες και ανθοκυανίνες, βιταμίνη C (ασκορβικό οξύ), βιταμίνη E, καροτενοειδή, ένζυμα (π.χ. καταλάση, υπεροξειδάση), προϊόντα αντίδρασης Maillard και ιχνοστοιχεία. Η βασική σύνθεση των φαινολικών ενώσεων σε διάφορες ποικιλίες μελιού είναι σχετικά παρόμοια και περιλαμβάνει φαινολικά οξέα, όπως καφεϊκό, ελλαγικό, φερουλικό. και π-κουμαρικό οξύ. Βασικά φλαβονοειδή που συμπεριλαμβάνονται είναι αυτά της απογενίνης, της χρυσίνης, της γαλαγγίνης, της εσπεριτίνης, της καεμπεροόλης, της πινοσεμβρίνης και της κερκετίνης. Ενώ σημαντικά είναι και τα αντιοξειδωτικά, όπως τοκοφερόλες, ασκορβικό οξύ, υπεροξειδική δισμουτάση (SOD), καταλάση (CAT) και ανοιγμένη γλουταθειόνη (GSH). Το μέλι ωστόσο μπορεί να περιέχει και ειδικές ενώσεις ξεχωριστές για κάθε ποικιλία που μπορούν χρησιμοποιούνται ως δείκτες βοτανικής προέλευσης (Martinello and Mutinelli, 2021).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΝΕΚΤΑΡ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΤΟ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ

Ο όγκος και η συγκέντρωση του νέκταρ που εκκρίνεται από ένα λουλούδι εξαρτώνται από την υγρασία και την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, την εκλεκτική επαναρρόφηση διαλυμένων ουσιών ή νερού και αλλαγές στην συγκέντρωση στην οποία εκκρίνεται το νέκταρ. Αυτό σημαίνει ότι ο όγκος και η συγκέντρωση του εξαρτώνται τόσο από τις εξωτερικές συνθήκες (κλίμα, καιρός) όσο και από τα χαρακτηριστικά των φυτών (Petanidou, 2007).

4.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ

Ο ρυθμός έκκρισης του νέκταρ αυξάνεται με την θερμοκρασία, με τα μεσογειακά φυτά να δίνουν μεγαλύτερες ποσότητες από εκείνα των εύκρατων περιοχών λόγω προσαρμογής τους σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Παρατηρήθηκε αύξηση στην έκκριση νέκταρ για τα άνθη θυμαριού μέχρι την θερμοκρασία των 38°C, εφόσον τα φυτά δεν είχαν έλλειψη νερού και δεν ήταν περιορισμένα στο φως. Η βέλτιστη θερμοκρασία για την έκκριση είναι αυτή των 32.5°C (Petanidou, 2007, p.353). Παρατηρείται επίσης ότι σε ανοιχτές και εύκρατες καλοκαιρινές συνθήκες (χαμηλές θεοκρασίες και ηλιακή ακτινοβολία) η έκκριση νέκταρ στο θυμάρι εξαρτιόταν περισσότερο από τις αλλαγές στα επίπεδα φωτός παρά από την θερμοκρασία.

4.2 ΥΓΡΑΣΙΑ

Ένα σημαντικό μέρος της περιοχής της Μεσογείου αποτελείται από παράκτιες περιοχές, όπου η θάλασσα έχει κυρίαρχη επίδραση στους χερσαίους οικοτόπους. Έχει διαπιστωθεί πως (Petanidou, 2007, p.354) σε τέτοιες περιοχές δεν είναι η θερμοκρασία που επηρεάζει τόσο πολύ θετικά την έκκριση νέκταρ, αλλά η υγρασία, τόσο σε όγκο όσο και σε περιεκτικότητα σακχάρων. Η χαμηλή σχετική υγρασία φαίνεται να έχει αρνητική επίδραση στην έκκριση του νέκταρ ενώ υψηλές τιμές μέσης σχετικής υγρασίας είχαν θετική επίδραση τόσο στον όγκο του νέκταρ όσο και στην

περιεκτικότητα των σακχάρων. Το συμπέρασμα είναι ότι, στις νησιωτικές περιοχές, η ατμοσφαιρική υγρασία μπορεί να διαδραματίσει πολύ κρίσιμο ρόλο στην έκκριση νέκταρ, πολύ πιο κρίσιμο ρόλο από αυτόν της θερμοκρασίας, ο οποίος όμως περιορίζεται από την ακραία ξηρασία.

4.3 ΈΝΤΑΣΗ ΦΩΤΟΣ

Τα μεσογειακά φυτά είναι προσαρμοσμένα σε υψηλές εντάσεις φωτός και η έκκριση του νέκταρ δεν θα περίμενε κανείς να επηρεαστεί από την περιορισμένη ηλιακή ακτινοβολία. Πειράματα όμως, έδειξαν πως σε τυπικές εύκρατες συνθήκες (χαμηλή θερμοκρασία και ένταση φωτός), η ηλιακή ακτινοβολία ήταν ο πιο σημαντικός περιοριστικός παράγοντας για την έκκριση νέκταρ και όχι ο παράγοντας της θερμοκρασίας (Petanidou, 2007).

4.4 ΈΛΛΕΙΨΗ ΝΕΡΟΥ

Επειδή το νερό θεωρείται ως ένας από τους κύριους περιοριστικούς παράγοντες για την έκκριση του νέκταρ στην Μεσόγειο, είναι πιθανώς λογικό να θεωρηθεί πως οι υψηλότερες αποδόσεις σε νέκταρ εμφανίζονται τις χρονιές με τις υψηλότερες βροχοπτώσεις. Έχει αποδειχθεί όμως (Petanidou, 2007, p.355) πως ο όγκος νερού που δέχονται τα φυτά δεν τα επηρεάζει όλα με τον ίδιο τρόπο. Πιο συγκεκριμένα το νερό μπορεί να επηρεάσει θετικά στην έκκριση νέκταρ μόνο τις περιόδους ανθοφορίας που δεν είναι κατάλληλες για ανάπτυξη, π.χ. καλοκαίρι. Κατά την διάρκεια τέτοιων περιόδων, οι διαθέσιμοι υδάτινοι πόροι διατίθενται αποκλειστικά στην έκκριση νέκταρ και όχι στην βλαστική ανάπτυξη και την υπερβολική παραγωγή λουλουδιών, όπως συμβαίνει κατά την άνοιξη.

4.5 ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΟ STRESS

Η έλλειψη θρεπτικών συστατικών σε συνδυασμό με την έλλειψη νερού αποτελεί έναν ακόμη περιορισμό στην έκκριση νέκταρ για τα μεσογειακά φυτά. Η χαμηλή παροχή αζώτου φαίνεται να οδηγεί σε μεγαλύτερες εκκρίσεις νέκταρ (Petanidou, 2007).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: NASA/POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources) ΚΑΙ ΚΛΙΜΑ

5.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Η κλιματική αλλαγή θεωρείται ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει τη συμπεριφορά και την παραγωγικότητα των μελισσών με συνέπειες τόσο στο μέλι όσο και στη γεωργική παραγωγή. Πολλές ερευνητικές μελέτες (Cressey, 2014; Polce et al., 2014, p.2826) εκφράζουν σοβαρές ανησυχίες για τις μαζικές απώλειες των αποικιών καθώς και για τον ρόλο των μελισσών ως επικονιαστών, ενώ άλλοι (Le Conte and Navaajas, 2008, p.507) υπογραμμίζουν σημαντικά ζητήματα για τις επιπτώσεις που θα επιφέρει η κλιματική αλλαγή στην αφθονία των μελισσών και τις αποδόσεις μελιού. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής αναμένεται να έχουν σοβαρή επίπτωση στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής, δεδομένου των θετικών τάσεων που έχει η θερμοκρασία και της αυξανόμενης ξηρασίας που αναμένεται να υπάρχει τα επόμενα χρόνια. Τα μικρά νησιά είναι ακόμη πιο ευάλωτα όσο αφορά την αγροτική παραγωγή και το εμπόριο υπό τα τρέχοντα σενάρια της κλιματικής αλλαγής (Gounari, Proutsos and Goras, 2022).

Παρόλο που οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και της υπερθέρμανσης του πλανήτη στις μέλισσες είναι ήδη γνωστές, δεν υπάρχει εκτενής έρευνα επάνω στο αντικείμενο. Η θερμοκρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, ο άνεμος και η βροχόπτωση θεωρούνται οι πιο σημαντικοί παράγοντες για την παραγωγικότητα της μέλισσας (Gounari, Proutsos and Goras, 2022).

Οι σχέσεις των μετεωρολογικών παραγόντων με την συμπεριφορά και την παραγωγικότητα των μελισσών δεν έχουν ακόμη διερευνηθεί διεξοδικά. Έτσι λοιπόν παρά τις αρνητικές επιπτώσεις στις οποίες έχουν γίνει αναφορές, υπάρχουν και πολλές μελέτες που δείχνουν το αντίθετο. Ισχυρή αρνητική σχέση φαίνεται να υπάρχει μεταξύ της ανοιξιιάτικης δραστηριότητας των μελισσών (ημερομηνίες πρώτης πτήσης

καθαρισμού και πρώτης επιθεώρησης κυψέλης) με την θερμοκρασία, με, ωστόσο, υψηλή μεταβλητότητα στον χρόνο από έτος σε έτος (Langowska et al., 2017). Στην ίδια μελέτη (Langowska et al., 2017) ωστόσο, διερευνήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας στην παραγωγή μελιού, λαμβάνοντας υπόψη τις ετήσιες αποδόσεις κυψελών για περισσότερα από 40 χρόνια (1965-2010) στη νότια Πολωνία και το Ηνωμένο Βασίλειο και φαίνεται να υπάρχει θετική σχέση μεταξύ της ετήσιας απόδοσης μελιού και της θερμοκρασίας για τους μήνες Απρίλιο έως Αύγουστο. Πιο συγκεκριμένα αύξηση 1°C σχετίζεται με αύξηση 8,97kg και 8,71kg στις αποδόσεις μελιού στην νότια Πολωνία και το νότιο Ηνωμένο Βασίλειο αντίστοιχα. Αναφέρεται επίσης μια θετική σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας του Ιουνίου και της απόδοσης του μελιού με αύξηση κατά 3,7kg στην παραγωγή μελιού για αύξηση 1°C κατά την περίοδο του Ιουνίου.

Η κλιματική αλλαγή μπορεί επίσης να επηρεάσει την λειτουργία των μελισσών και έμμεσα, επηρεάζοντας χωρικές και χρονικές μετατοπίσεις σε πληθυσμούς και κοινότητες διαφόρων επικονιαστών. Πιο συγκεκριμένα η κλιματική αλλαγή μπορεί να μειώσει τον αριθμό των ειδών επικονιαστών, επηρεάζοντας έτσι τη δομή του δικτύου και, οδηγώντας σε μείωση της επίσκεψης των μελισσών σε διάφορα είδη λουλουδιών. Εκτός όμως από την χωρική κατανομή των ειδών, οι κλιματικές αλλαγές μπορεί να αλλάξουν τον συγχρονισμό της δραστηριότητας των επικονιαστών και του χρόνου της ανθοφορίας, μειώνοντας έτσι τις πηγές νέκταρ και γύρης (Kovács-Hostyánszki et al., 2016).

Μοντέλα πρόβλεψης αναφέρουν πως αναμένεται μείωση κατά 46% των 243 ειδών μέλισσας που μελετήθηκαν στις νοτιοδυτικές ΗΠΑ, προβάλλοντας λιγότερο διαφορετικές, πιο ομοιογενείς μελλοντικές κοινότητες μελισσών, με μεγαλύτερη ανοχή στην ξηρότητα και μεγαλύτερη σωματική μάζα. Αυτή η αναδιάταξη της κοινότητας των μελισσών μπορεί να επιφέρει κρίσιμες συνέπειες σε επίπεδο οικοσυστήματος, επειδή η ποικιλομορφία στα είδη των μελισσών προωθεί την επικονίαση (Kazenel et al., 2024).

5.2 NASA/POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources)

Το NASA/POWER (Prediction Of Worldwide Energy Resources) είναι ένα έργο (Zhang et al., 2019) που παρέχει ηλιακά και μετεωρολογικά δεδομένα από την έρευνα της NASA για την υποστήριξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και των γεωργικών αναγκών. Η Εθνική Αεροναυτική και Διαστημική Διοίκηση (NASA), μέσω του ερευνητικού της προγράμματος Earth Science, έχει υποστηρίξει εδώ και καιρό δορυφορικά συστήματα και έρευνα που παρέχουν δεδομένα σημαντικά για την μελέτη του κλίματος και των κλιματικών διαδικασιών. Τα δεδομένα αυτά περιλαμβάνουν μακροπρόθεσμες κλιματολογικές εκτιμήσεις μετεωρολογικών ποσοτήτων και επιφανειακών ροών ηλιακής ενέργειας καθώς και τις ημερήσιες τιμές των βασικών μετεωρολογικών και ηλιακών δεδομένων. Τα δεδομένα που βασίζονται σε δορυφόρους και μοντέλα έχουν αποδειχθεί αρκετά ακριβή ώστε να παρέχουν αξιόπιστες πληροφορίες σε περιοχές όπου οι επιφανειακές μετρήσεις είναι αραιές ή ανύπαρκτες (Stackhouse, 2020).

Οι μετεωρολογικές παράμετροι που παρέχονται βασίζονται στο μοντέλο αφομοίωσης του Global Modeling and Assimilation Office (GMAO) της NASA Goddard, το Modern Era Retrospective-Analysis for Research and Applications (MERRA-2). Κάθε μία από τις παραμέτρους είτε λαμβάνεται απευθείας είτε υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μετεωρολογικές παραμέτρους που λαμβάνονται από το μοντέλο αφομοίωσης MERRA-2 της NASA (Stackhouse, 2020).

Η αξιολόγηση της ακρίβειας των παραμέτρων MERRA-2 βασίζεται σε συγκρίσεις με παρατηρήσεις από τις αντίστοιχες παραμέτρους που αναφέρονται στο Εθνικό Κέντρο Περιβαλλοντικών Πληροφοριών (NCEI). Οι ωριαίες αξιολογήσεις συγκρίνονται με την Integrated Surface Database (ISD) ενώ οι ημερήσιες μέσες αξιολογήσεις συγκρίνονται με την Global Summary Of the Day (GSOD) (Stackhouse, 2020).

Στατιστικοί υπολογισμοί ερευνών έδειξαν ότι τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από το Nasa Power για την παράμετρο της θερμοκρασίας, στην περιοχή της Αιγύπτου, ταιριάζουν αρκετά καλά με τις παρατηρήσεις σε όλους τους επιλεγμένους επίγειους

σταθμούς, ειδικά στους βόρειους παράκτιους σταθμούς που επηρεάζονται από τη Μεσόγειο Θάλασσα. Το ίδιο ισχύει και για την παράμετρο της σχετικής υγρασίας, για την οποία η καλύτερη εκτίμηση καταγράφηκε στους σταθμούς που βρίσκονται νοτιότερα της περιοχής που κυριαρχεί η Μεσόγειος Θάλασσα. Οι μετεωρολογικές παράμετροι που εμφανίζουν μεγαλύτερη ακρίβεια μεταξύ των δεδομένων που συλλέχθηκαν από το Nasa Power και των επίγειων σταθμών είναι: η μέση θερμοκρασία (T_{mean}), η ελάχιστη θερμοκρασία (T_{min}), η ημερήσια θερμοκρασία (T_d), η μέγιστη θερμοκρασία (T_{max}) και η σχετική υγρασία (RH) (Aboelkhair, Morsy, and El Afandi, 2019).

Συμπερασματικά, υπάρχει συνοχή μεταξύ των δεδομένων Nasa Power και των επίγειων παρατηρήσεων. Αυτό απέδειξε ότι το σύνολο των δεδομένων Nasa Power είναι ένα αποδεκτό υποκατάστατο σε περίπτωση ελλείψεων ή περιορισμένων παρατηρήσεων έχοντας πάντα περιθώρια βελτίωσης (Aboelkhair, Morsy, and El Afandi, 2019).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

7.1 Στοιχεία συγκομιδής μελιού

Το ελληνικό θυμαρίσιο μέλι φημίζεται από την αρχαιότητα για το ιδιαίτερο άρωμα και τη γεύση του. Παράγεται από φυτά της οικογένειας *Lamiaceae*, που απαντώνται στη Νότια Ελλάδα και στα νησιά, και αντιπροσωπεύει το 10% της ελληνικής καλλιέργειας μελιού. Το νησί των Κυθήρων, με έκταση 284km² βρίσκεται νότια της Πελοποννήσου (γεωγραφικό πλάτος 36°08'Β, γεωγραφικό μήκος 23°01'Α) και καλύπτεται από πευκοδάση και βαλτότοπους όπου τα *Lamiaceae* είναι άφθονα (Tsigouri and Pasaloglou, 2000).

Τα δεδομένα για την παραγωγή του μελιού συλλέχθηκαν για τα 11 χρόνια 2012-2022 στην περιοχή των Κυθήρων και πιο συγκεκριμένα την ανατολική πλευρά του νησιού, από τον ίδιο μελισσοκόμο. Η περίοδος ανθοφορίας του θυμαριού κυμαίνεται από τέλη Μαΐου, μέχρι τέλη Ιουνίου και οι παρατηρήσεις για την ανθοφορία γίνονται κάθε χρόνο σε συγκεκριμένα θυμάρια και τοποθεσίες της περιοχής. Οι μέλισσες μεταφέρονται κάθε χρόνο τους χειμερινούς μήνες στην περιοχή του Καραβά (Location: Latitude:36.3526, Longitude:22.9537), βόρεια του νησιού των Κυθήρων όπου το μικροκλίμα της περιοχής είναι πιο εύκρατο με ηπιότερους χειμώνες. Το σημείο όπου βρίσκεται το μελισσοκομείο είναι προστατευμένο από τους ανέμους, προσηλιακό και κοντά σε πολλές ρεματιές με αποτέλεσμα να προστατεύονται οι μέλισσες από τους δυνατούς ανέμους που υπάρχουν στο υπόλοιπο νησί και να αυξάνεται ο χρόνος πτήσης τους ημερησίως. Τον Ιανουάριο στην περιοχή του Καραβά υπάρχει η ανθοφορία του μαστράγουρα η οποία είναι εξαιρετικά ευεργετική για την συντήρηση των μελισσών ενώ αργότερα την άνοιξη υπάρχει έντονη ανθοφορία της άγριας αχλαδιάς και αμυγδαλιάς. Τέλη Απριλίου μέχρι αρχές Μαΐου οι μέλισσες μεταφέρονται στην περιοχή της Παλαιόπολης (Location: Latitude:36.2431, Longitude:23.0652), κοντά στα ανατολικά παράλια του νησιού όπου το κλίμα είναι πιο δροσερό για τους καλοκαιρινούς μήνες.

Η απόδοση κάθε χρονιάς υπολογίζεται διαιρώντας την συνολική ποσότητα μελιού που παράχθηκε κατά την συγκομιδή του καλοκαιριού με τον αριθμό μελισσοσμηνών με τα οποία ξεκίνησε το νέο έτος (κιλά μελιού ανά κυψέλη). Τα δεδομένα ταξινομήθηκαν σύμφωνα με την απόδοση (κιλά μελιού ανά κυψέλη) σε «κακή χρονιά» (< 5 κιλά μέλι ανά κυψέλη), «μέτρια χρονιά» (5-7 κιλά μέλι ανά κυψέλη) και «καλή χρονιά» (> 7 κιλά μέλι ανά κυψέλη) (βλ. Πίνακα 1). Η χαρακτηρισμός κάθε έτους σύμφωνα με την απόδοση του γίνεται με εμπειρικά κριτήρια των ίδιων των παραγωγών και αφορά την περιοχή των Κυθήρων.

Πίνακας 1: Σύνοψη δεδομένων συγκομιδής μελιού.

Έτος	Ημερομηνία έναρξης της ανθοφορίας	Απόδοση (kg/κυψέλη)	Χαρακτηρισμός του έτους
2012	22/5	5	Κακή χρονιά
2013	23/5	5	Κακή χρονιά
2014	25/5	5	Κακή χρονιά
2015	20/5	5	Κακή χρονιά
2016	23/5	5	Κακή χρονιά
2017	25/5	6	Μέτρια χρονιά
2018	25/5	5	Κακή χρονιά
2019	25/5	7	Μέτρια χρονιά
2020	28/5	7	Μέτρια χρονιά
2021	21/5	10	Καλή χρονιά
2022	1/6	10	Καλή χρονιά

Συγκεντρώθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα για τις περιοχές του Καραβά και της Παλαιόπολης για της χρονιές 2011 έως 2022 χρησιμοποιώντας το Power Nasa [NASA POWER | Prediction Of Worldwide Energy Resources](#) (Aboelkhair, Morsy, and El Afandi, 2019).

7.2 Δεδομένα θερμοκρασίας, βροχοπτώσεων και υγρασίας.

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζονται και αναλύονται τα δεδομένα που σχετίζονται με την θερμοκρασία, την υγρασία και τις βροχοπτώσεις, τα οποία αποτελούν κρίσιμους δείκτες της κλιματικής μεταβλητότητας και των περιβαλλοντικών συνθηκών.



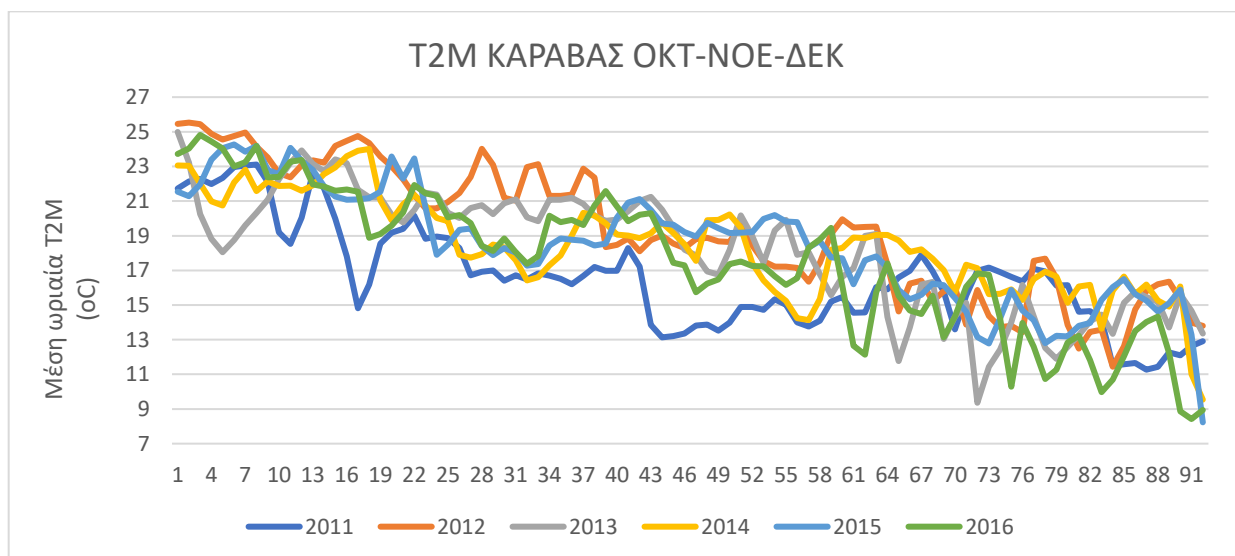
Εικόνα 1: Γραφική παράσταση του μέσου όρου της συνολικής βροχόπτωσης στην επιφάνεια της γης σε μάζα νερού (περιλαμβάνει το χιόνι στην περιεκτικότητα του νερού) για τα έτη 2012 έως 2022 και τους μήνες Ιανουάριος έως Ιούνιος για την περιοχή της Παλαιόπολης.

Πίνακας 2: Οι τιμές του μέσου όρου της συνολικής βροχόπτωσης στην επιφάνεια της γης σε μάζα νερού (περιλαμβάνει το χιόνι στην περιεκτικότητα του νερού) για τα έτη 2012 έως 2022 και τους μήνες Ιανουάριος έως Ιούλιος για την περιοχή της Παλαιόπολης.

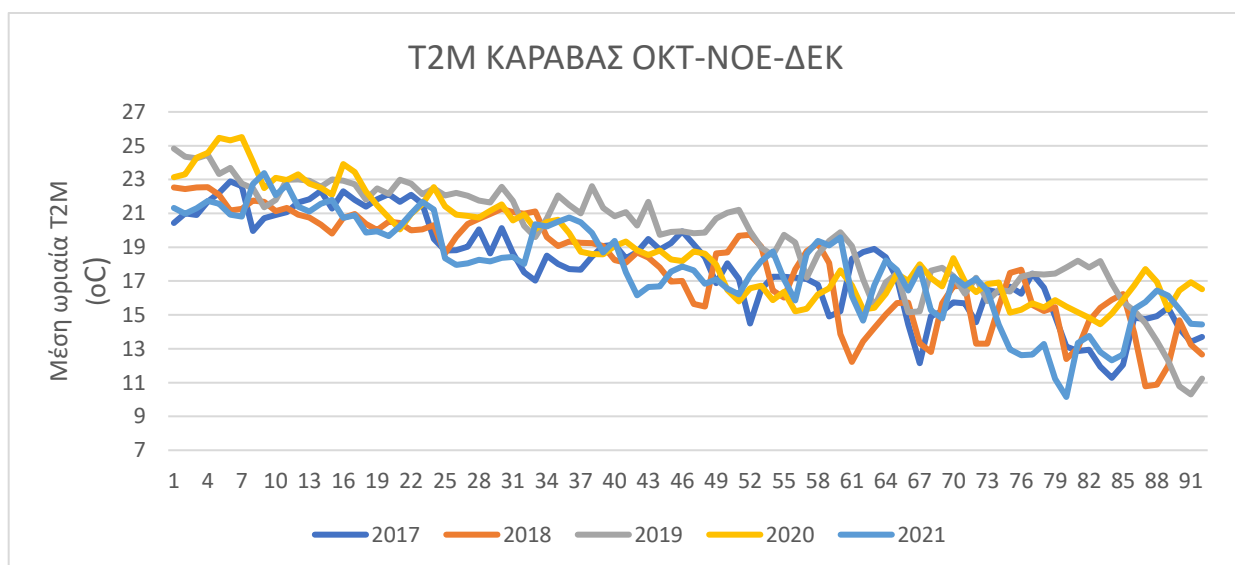
Έτος	Βροχοπτώσεις					
	Ιανουάριος (mm/day)	Φεβρουάριος (mm/day)	Μάρτιος (mm/day)	Απρίλιος (mm/day)	Μάιος (mm/day)	Ιούνιος (mm/day)
2012	63.28	147.66	36.91	21.09	5.27	0
2013	84.38	105.47	21.09	10.55	42.19	0
2014	42.19	31.64	47.46	36.91	15.82	0
2015	58.01	42.19	52.73	5.27	5.27	5.27
2016	52.73	15.82	5.27	0	15.82	21.09
2017	36.91	52.73	47.46	10.55	0	0
2018	21.09	58.01	15.82	0	5.27	5.27
2019	126.56	79.1	36.91	26.37	10.55	0
2020	42.19	15.82	63.28	15.82	0	0
2021	58.01	26.37	31.64	30.85	5.49	4.75
2022	75.2	42.35	56.89	9.68	5.27	4.07

Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις που έχουν γίνει, το 2016 χαρακτηρίζεται ως μία «κακή χρονιά» για τους μελισσοκόμους του νησιού με απόδοση 5 κιλά μέλι ανά κυψέλη. Το πρόβλημα εκείνη την χρονιά εντοπίστηκε στην απόδοση του θυμαριού, η οποία δεν ήταν καλή, και όχι στην δυναμική των μελισσοσμηνών που χαρακτηρίζεται πολύ καλή (20 πλαίσια πληθυσμού ανά κυψέλη) για την συγκεκριμένη χρονιά. Την συγκεκριμένη χρονιά παρατηρούνται πολύ χαμηλές τιμές βροχόπτωσης για τους μήνες Ιανουάριος έως Ιούνιος (βλ. Εικ. 1 και Πίνακα 2). Αντίθετα για τις χρονιές 2014 και 2015, που επίσης χαρακτηρίζονται ως «κακές χρονιές», με απόδοση 5 κιλά μέλι ανά κυψέλη, το πρόβλημα δεν εντοπίζεται τόσο στην απόδοση του θυμαριού, η οποία χαρακτηρίζεται καλή από τους μελισσοκόμους, αλλά από την δυναμική των μελισσοσμηνών (8 πλαίσια πληθυσμού ανά κυψέλη). Τα δύο αυτά έτη (2014 και 2015) τα προβλήματα με τον πληθυσμό είναι πολύ έντονα και αυτό αποδίδεται σύμφωνα με τους μελισσοκόμους στο άκαρι *Varroa* και στην μεγάλη εξάπλωση που είχε μέσα στις αποικίες.

Σε επόμενο στάδιο μελετήθηκε η μέση θερμοκρασία αέρα στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης (T2M) κατά τους μήνες Οκτώβριος, Νοέμβριος και Δεκέμβριος. Οι μέλισσες εκείνους τους μήνες έχουν μεταφερθεί στην περιοχή του Καραβά, βόρεια του νησιού των Κυθήρων. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως οι θερμοκρασίες της κάθε χρονιάς, για τους παραπάνω μήνες που αναφέρθηκαν, συνδέονται με τα στοιχεία παραγωγής μελιού της επόμενης χρονιάς.



Εικόνα 2: Γραφική παράσταση της μέσης ωριαίας θερμοκρασίας αέρα στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για 91 μέρες, από 1η Οκτωβρίου έως της 31η Δεκεμβρίου για τα έτη 2011 έως 2016.



Εικόνα 3: Γραφική παράσταση της μέσης ωριαίας θερμοκρασίας αέρα στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για 91 μέρες, από 1η Οκτωβρίου έως της 31η Δεκεμβρίου για τα έτη 2017 έως 2021.

Σύμφωνα με την Εικ.2 και την Εικ.3 παρατηρείται διακύμανση της μέσης ωριαίας θερμοκρασίας αέρα (βλ. Πίνακα 3). Μέγιστη τιμή διακύμανσης παρατηρείται για το

έτος 2016 με τιμή 16.56 η οποία είναι αρκετά μεγαλύτερη από την αμέσως επόμενη τιμή 14.0 που είναι για το έτος 2012.

Πίνακας 3: Διακύμανση μέσης θερμοκρασίας στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τους μήνες Οκτώβριο, Νοέμβριο και Δεκέμβριο για τα έτη 2011 έως 2021.

<i>Έτος</i>	<i>Διακύμανση</i>
2011	8.77
2012	14.00
2013	11.69
2014	7.74
2015	10.55
2016	16.56
2017	8.33
2018	9.53
2019	10.15
2020	9.04
2021	8.52

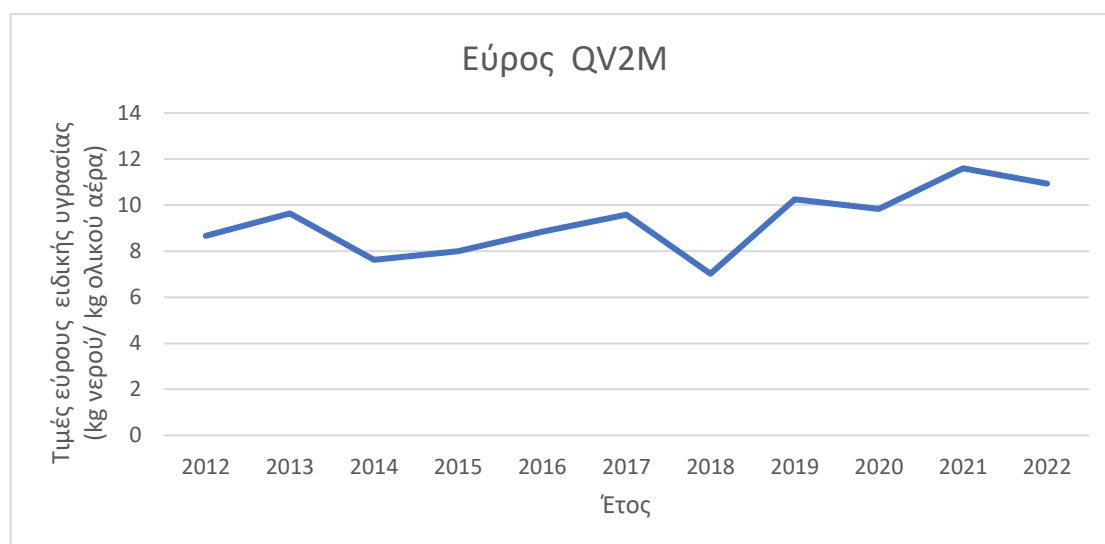
Επίσης, μελετήθηκε η ειδική υγρασία, δηλαδή ο λόγος της μάζας των υδρατμών προς την συνολική μάζα του αέρα στα δύο μέτρα από την επιφάνεια της γης (QV2M, kg νερού/kg ολικού αέρα). Η μελέτη έγινε για το μελισσοκομείο της Παλαιόπολης, στην περιοχή όπου βρίσκεται ο θυμαρότοπος και οι μέλισσες συλλέγουν το νέκταρ για την παραγωγή του θυμαρίσιου μελιού. Η περίοδος μελέτης είναι από 25 Μαΐου έως 30 Ιουνίου, δηλαδή όσο διαρκεί η ανθοφορία του θυμαριού.

Η υψηλότερη τιμή ειδικής υγρασίας παρατηρείται το έτος 2021 με τιμή 19.47 kg νερού/kg ολικού αέρα ενώ η χαμηλότερη τιμή ειδικής υγρασίας παρατηρείται το έτος 2020 με τιμή 7.69 kg νερού/kg ολικού αέρα (βλ. Πίνακα 4 και Εικ.4). Το εύρος της ειδικής υγρασίας φαίνεται να παρουσιάζει μία σημαντική επίδραση στην τελική απόδοση της παραγωγής μελιού καθώς τα δύο έτη με την μεγαλύτερη απόδοση (10 κιλά μέλι ανά κυψέλη) παρατηρούνται και οι υψηλότερες τιμές εύρους ειδικής υγρασίας, 11.6 kg νερού/kg ολικού αέρα και 10.93 kg νερού/kg ολικού αέρα για τα έτη 2021 και 2022 αντίστοιχα. Επίσης, οι χρονιές οι οποίες έχουν χαρακτηριστεί ως «κακές χρονιές» με απόδοση 5 κιλά μέλι ανά κυψέλη έχουν τις χαμηλότερες τιμές εύρους

ειδικής υγρασίας, με χαμηλότερη τιμή το 7.02 kg νερού/kg ολικού αέρα για το έτος 2018 (βλ. Πίνακα 4).

Πίνακας 4: Παρουσιάζονται οι τιμές της υψηλότερης ειδικής υγρασίας (kg νερού/kg ολικού αέρα), οι τιμές της χαμηλότερης ειδικής υγρασίας (kg νερού/kg ολικού αέρα) και το εύρος αυτών των δύο για την περίοδο από 25 Μαΐου έως 30 Ιουνίου για κάθε έτος μελέτης.

Έτος	Υψηλότερη τιμή QV2M max	Χαμηλότερη τιμή QV2M min	Εύρος QV2M max - QV2M min
2012	18.92	10.25	8.67
2013	17.94	8.30	9.64
2014	17.52	9.89	7.63
2015	16.91	8.91	8.00
2016	17.82	8.97	8.85
2017	18.31	8.73	9.58
2018	17.15	10.13	7.02
2019	19.04	8.79	10.25
2020	17.52	7.69	9.83
2021	19.47	7.87	11.6
2022	19.41	8.48	10.93



Εικόνα 4: Οι τιμές του εύρους της ειδικής υγρασίας (υψηλότερη τιμή ειδικής υγρασίας – χαμηλότερη τιμή ειδικής υγρασίας) για την περίοδο 25 Μαΐου έως 30 Ιουνίου για κάθε έτος μελέτης.

Ερευνητική μελέτη των Gounari, Proutsos and Goras (2022) δείχνει πως η σχετική υγρασία (όλα τα χαρακτηριστικά π.χ. μέσος όρος, μέγιστες και ελάχιστες τιμές) επηρεάζει την παραγωγικότητα της κυψέλης και να έχει θετική επίδραση, ιδιαίτερα κατά τις παραγωγικές εποχές της άνοιξης και του καλοκαιριού. Τα παραπάνω έρχονται να συμφωνήσουν με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης η οποία δείχνει ότι το εύρος της ειδικής υγρασίας επηρεάζει θετικά και σημαντικά την απόδοση της κυψέλης ($r = 0.85$ βλ. Πίνακα 6). Όπως φαίνεται και στην Εικ.4 τις χρονιές 2021 και 2022 το εύρος της υγρασίας είναι μεγαλύτερο. Αυτό μας υποδηλώνει πως εκείνες τις χρονιές η διαφορά της υγρασίας την ημέρα με την νύχτα είναι μεγαλύτερη με αποτέλεσμα η υγρασία της νύχτας να βοηθάει την παραγωγή του νέκταρ και κατά την διάρκεια της ημέρας οι χαμηλότερες τιμές υγρασίας (όχι όμως ακραίες) να βοηθάνε τις μέλισσες στην συγκομιδή του.

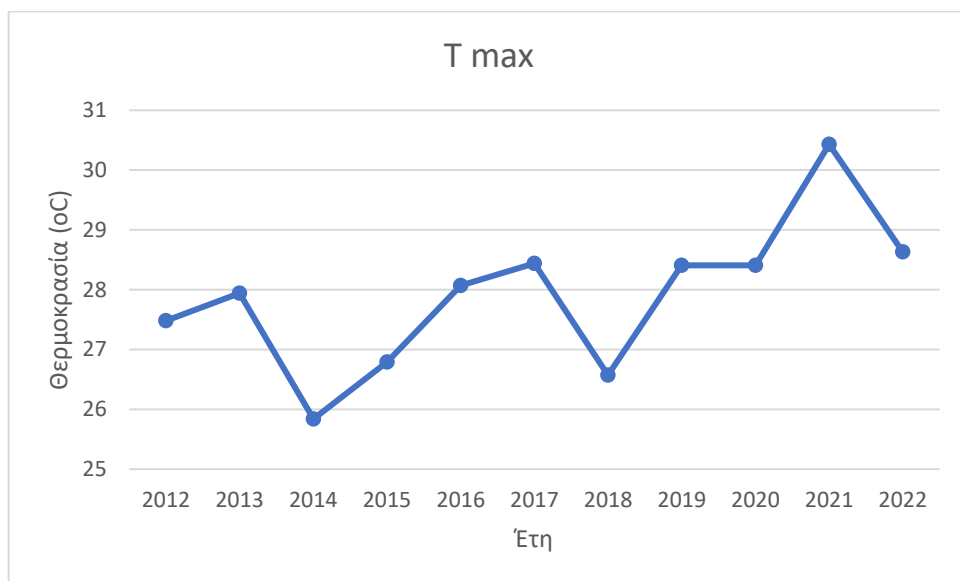
Η έκκριση του νέκταρ για κάθε φυτό είναι διαφορετική ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Το κρύο και η βροχή διακόπτουν την έκκριση του καθώς και σε πολύ ξηρό περιβάλλον οι μέλισσες δυσκολεύονται να συλλέξουν το νέκταρ με αποτέλεσμα να χρονοτριβούν στα άνθη και να συλλέγουν ποσότητα που φτάνει μονάχα για τις ανάγκες της επιβίωσης τους. Είναι επίσης γνωστό πως το νέκταρ διαφόρων φυτών ποικίλει σε σύσταση σακχάρων η οποία όμως αλλάζει ανάλογα την θερμοκρασία (Μελισσόκοσμος 2016).

Οι Petanidou and Smets (1996) μελέτησαν δύο είδη της οικογένειας των χειλανθών, το *T. capitatus* και το *B. Acetabulosa*, μελετήθηκαν τόσο σε εσωτερικούς όσο και σε εξωτερικούς χώρους ώστε να εκτιμηθεί η επίδραση της θερμοκρασίας και του φωτός στην έκκριση νέκταρ των δύο ειδών. Για το πείραμα σε εξωτερικό χώρο χρησιμοποιήθηκαν οκτώ φυτά σε πλήρη άνθηση για το κάθε είδος. Και για τα δύο πειράματα μετρήθηκε μόνο η απόδοση σε νέκταρ της πρώτης ημέρας. Η συγκέντρωση του νέκταρ μετρήθηκε αμέσως μετά την συλλογή του, ξεχωριστά για το κάθε φυτό, με ένα διαθλασίμετρο τσέπης και εκφράστηκε σαν % (w/w) σουκρόζη. Υπολογίστηκε η συνολική περιεκτικότητα σε σάκχαρα κάθε φυτού (σε mg σακχαρόζης) ως όγκος x συγκέντρωση / 100 x πυκνότητα νέκταρ. Για το πείραμα σε εσωτερικό χώρο χρησιμοποιήθηκαν 16 φυτά κάθε είδους, σε θάλαμο ελεγχόμενης θερμοκρασίας ώστε

να προσομοιώνει τις συνθήκες του μεσογειακού κλίματος. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως οι βέλτιστη θερμοκρασία για την έκκριση νέκταρ (0.95 mg νέκταρ ανά λουλούδι) είναι 32.5 °C. Επίσης, η έκκριση νέκταρ σε θερμοκρασίες μεταξύ 30 °C και 38 °C είναι αρκετά υψηλή (0.9 mg νέκταρ ανά λουλούδι). Για τον λόγο αυτό, μελετήθηκε στην παρούσα εργασία η μέγιστη θερμοκρασία που επικρατούσε στην περιοχή κατά την περίοδο της ανθοφορίας και παρουσιάζεται στον Πίνακα 5 και την Εικόνα 5.

Πίνακας 5: Παρουσιάζονται οι τιμές της υψηλότερης θερμοκρασίας για την περίοδο από 25 Μαΐου έως 30 Ιουνίου για κάθε έτος μελέτης.

Έτος	Μέγιστη τιμή θερμοκρασίας T _{max} (°C)
2012	27.48
2013	27.94
2014	25.84
2015	26.79
2016	28.07
2017	28.44
2018	26.57
2019	28.41
2020	28.41
2021	30.43
2022	28.63



Εικόνα 5: Οι τιμές της υψηλότερης θερμοκρασίας για την περίοδο από 25 Μαΐου έως 30 Ιουνίου για κάθε έτος μελέτης.

Για περαιτέρω ανάλυση της σημασίας και της επίδρασης των παραμέτρων που σχετίζονται με την υγρασία, την θερμοκρασία και τις βροχοπτώσεις, πραγματοποιήθηκε ανάλυση συσχέτισης. Οι αντίστοιχες τιμές του συντελεστή συσχέτισης παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6: Συντελεστές συσχέτισης της ετήσιας παραγωγής μελιού και των μετεωρολογικών μεταβλητών με την απόδοση του μελιού.

	Βροχοπτώσεις					
	Ιανουάριος (mm/day)	Φεβρουάριος (mm/day)	Μάρτιος (mm/day)	Απρίλιος (mm/day)	Μάιος (mm/day)	Ιούνιος (mm/day)
Βαθμός συσχέτισης	0.25	-0.32	0.35	0.29	-0.33	-0.09
	Εύρος μέγιστης και ελάχιστης ειδικής υγρασίας					
Βαθμός συσχέτισης	0.85					
	Μέγιστη τιμή θερμοκρασίας T _{max} (°C)					
Βαθμός συσχέτισης	0.77					

Από την ανάλυση δεδομένων της ετήσιας παραγωγής μελιού για τα 11 έτη (2012-2022) που φαίνεται στον Πίνακα 6, εντοπίζεται σημαντική θετική συσχέτιση μεταξύ της απόδοσης του μελιού και του εύρους της ειδικής υγρασίας ($r=0.85$) κατά την περίοδο της ανθοφορίας. Θετική επίδραση έχει επίσης και η μέγιστη θερμοκρασία κατά την περίοδο της ανθοφορίας με την απόδοση ($r=0.77$). Αντίθετα, οι βροχοπτώσεις δεν παρουσιάζουν τόσο έντονη θετική ή αρνητική συσχέτιση με την απόδοση του μελιού. Πιο συγκεκριμένα θετική συσχέτιση υπάρχει για τους μήνες Ιανουάριο Μάρτιο και Απρίλιο με τιμές 0.25, 0.35 και 0.29 αντίστοιχα, ενώ για τους μήνες Φεβρουάριο και Μάιο φαίνεται πως υπάρχει μία αρνητική συσχέτιση με τιμές -0,32 και -0.33 αντίστοιχα. Τέλος οι βροχοπτώσεις κατά τον μήνα Ιούνιο δεν φαίνεται να επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση του μελιού αφού ο βαθμός συσχέτισης είναι -0.09.

7.3 Στατιστική ανάλυση.

Η απόδοση σε μέλι κάθε έτους επηρεάζεται σημαντικά από τις καιρικές συνθήκες και από τις ενέργειες του μελισσοκόμου κατά την διάρκεια του έτους. Στην παρούσα εργασία κατασκευάστηκε ένα προγνωστικό μοντέλο (Campbell et al., 2020) για την αναγνώριση και πρόβλεψη της ετήσιας παραγωγής μελιού χρησιμοποιώντας αλγόριθμους μηχανικής μάθησης με σκοπό την έγκαιρη λήψη μέτρων. Οι μεταβλητές που λήφθηκαν υπόψη στην παρούσα εργασία είναι η θερμοκρασία, η υγρασία και οι βροχοπτώσεις. Το Random Forest (Τυχαίο Δάσος) (Breiman, 2001) είναι ένας αλγόριθμος μηχανικής μάθησης που ανήκει στην κατηγορία των εποπτευόμενων αλγορίθμων και χρησιμοποιείται για προβλήματα ταξινόμησης και παλινδρόμησης. Η ταξινόμηση είναι μια εργασία όπου ο στόχος είναι η πρόβλεψη μιας κατηγορικής ετικέτας ή κατηγορίας. Η μεταβλητή εξόδου (ονομάζεται επίσης στόχος ή ετικέτα) είναι διακριτή, που σημαίνει ότι ανήκει σε ένα σύνολο προκαθορισμένων κατηγοριών ή κλάσεων. Η παλινδρόμηση είναι μια εργασία όπου ο στόχος είναι η πρόβλεψη μιας συνεχούς αριθμητικής τιμής. Η μεταβλητή εξόδου είναι συνεχής, που σημαίνει ότι μπορεί να λάβει οποιαδήποτε τιμή εντός μιας περιοχής. Το Random Forest αναπτύχθηκε από τον Leo Breiman (2001) και βασίζεται στην ιδέα της δημιουργίας

πολλαπλών δέντρων απόφασης κατά την εκπαίδευση και της συνένωσης των αποτελεσμάτων τους για τη λήψη της τελικής απόφασης. Στην παρούσα εργασία η λήψη της τελικής απόφασης αφορά την κατηγοριοποίηση του συγκεκριμένου έτους σε «καλή χρονιά» ή «κακή χρονιά» (βλ. Πίνακα 1). Αποτελείται από πολλά δέντρα απόφασης (decision trees). Κάθε δέντρο απόφασης εκπαιδεύεται χρησιμοποιώντας έναν διαφορετικό τυχαίο υποσύνολο του συνόλου των δεδομένων εκπαίδευσης και τυχαία επιλεγμένα χαρακτηριστικά. Τα δέντρα απόφασης είναι μοντέλα που παίρνουν αποφάσεις διαδοχικά, βασισμένα στις τιμές των χαρακτηριστικών των δεδομένων. Ο τελικός στόχος είναι να μειωθεί η διακύμανση και να βελτιωθεί η ακρίβεια των προβλέψεων.

Σύμφωνα με τον Breiman (2001) η λειτουργία του Random Forest αποτελείται από τρία στάδια. Αρχικά, δημιουργούνται πολλαπλά υποσύνολα των δεδομένων εκπαίδευσης με αντικατάσταση (bootstrap sampling). Αυτά τα υποσύνολα ονομάζονται "bootstrap samples". Στην συνέχεια, για κάθε υποσύνολο δεδομένων, κατασκευάζεται ένα δέντρο απόφασης. Κατά την κατασκευή του κάθε δέντρου, σε κάθε κόμβο, επιλέγεται ένα τυχαίο υποσύνολο χαρακτηριστικών και το καλύτερο χαρακτηριστικό χρησιμοποιείται για το διαχωρισμό των δεδομένων στον κόμβο αυτό. Τέλος, για την ταξινόμηση, κάθε δέντρο απόφασης "ψηφίζει" για την κατηγορία ενός δείγματος και η κατηγορία με τις περισσότερες ψήφους επιλέγεται ως η τελική απόφαση. Για την παλινδρόμηση, ο μέσος όρος των προβλέψεων όλων των δέντρων χρησιμοποιείται ως η τελική πρόβλεψη. Υπερτερεί σε σχέση με άλλους αλγόριθμους μηχανικής μάθησης λόγω της αντοχής του στην υπερπροσαρμογή, της ακρίβειας και της αντιμετώπισης δεδομένων με ελλείψεις. Πιο αναλυτικά, λόγω της χρήσης πολλών δέντρων, μειώνεται ο κίνδυνος υπερπροσαρμογής (overfitting) σε σχέση με την χρήση ενός μόνο δέντρου απόφασης, έχει υψηλότερη ακρίβεια σε σχέση με άλλους αλγόριθμους ταξινόμησης και παλινδρόμησης και μπορεί να χειριστεί δεδομένα με ελλείψεις και να παρέχει εσωτερικές εκτιμήσεις για την ακρίβεια.

Για την αξιολόγηση της απόδοσης του μοντέλου, χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις διαφορετικές μετρήσεις αξιολόγησης: accuracy, precision, recall και F-measure (Arapostathi et al., 2023).

Το accuracy ορίζεται ως εξής (Arapostathi et al., 2023):

$$\text{Accuracy} = (\text{TP} + \text{TN}) / (\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN}) \quad (1)$$

Όπου TP = αληθές θετικό, TN = αληθές αρνητικό, FP = ψευδώς θετικό και FN = ψευδώς αρνητικό.

Το precision αφορά την ακρίβεια των θετικών προβλέψεων που γίνονται από ένα μοντέλο και ορίζεται ως (Arapostathi et al., 2023):

$$\text{Precision} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FP}) \quad (2)$$

Το recall είναι μια μέτρηση που μετρά την ικανότητα ενός μοντέλου να καταγράφει όλες τις σχετικές περιπτώσεις μιας συγκεκριμένης κλάσης και ορίζεται ως (Arapostathi et al., 2023):

$$\text{Recall} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN}) \quad (3)$$

Το F-measure με την σειρά του συνδυάζει το precision και το recall και ορίζεται ως (Arapostathi et al., 2023):

$$\text{F-measure} = 2 \times ((\text{precision} \times \text{recall}) / (\text{precision} + \text{recall})) \quad (4)$$

Τα δεδομένα εισόδου ανακτήθηκαν από μία μόνο πηγή ([NASA POWER | Prediction Of Worldwide Energy Resources](#)) για διαφορετικές περιόδους, τόσο προηγούμενες όσο και κατά την διάρκεια της κύριας ανθοφορίας. Το μοντέλο πρόβλεψης αναπτύχθηκε με την γλώσσα προγραμματισμού Python η οποία είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για προγνωστική μοντελοποίηση (Pedregosa et al., 2011). Συνολικά, δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων με 56 χαρακτηριστικά εισόδου (βλ. Πίνακα 7) που αφορούν τις καιρικές συνθήκες. Τα δεδομένα αυτά χωρίζονται από τον αλγόριθμό σε δεδομένα εκπαίδευσης που περιλαμβάνουν τυχαία επιλεγμένες μεταβλητές και αποτελούν το 80% του συνόλου δεδομένων και τα δεδομένα δοκιμών που αποτελούν το υπόλοιπο 20%. Αρχικά ο αλγόριθμος Random Forest εκτελέστηκε χρησιμοποιώντας και τις 56 μεταβλητές λαμβάνοντας σαν αποτέλεσμα την σημαντικότητα κάθε μεταβλητής στο

μοντέλο πρόβλεψης. Μεταβλητές με μηδενική σημαντικότητα δεν βοηθούν το μοντέλο να κάνει καλύτερες προβλέψεις αντίθετα, χαρακτηρίζονται ως περιττές ή δεν έχουν σχέση με την εργασία ταξινόμησης, επομένως απορρίπτονται και ο αλγόριθμος εκτελείται εκ νέου μόνο με τις σημαντικές μεταβλητές. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε αρκετές φορές έως ότου ληφθεί το καλύτερο δυνατό accuracy για το μοντέλο πρόβλεψης. Εφαρμόστηκε ένα δυαδικό σύστημα θεωρώντας τις «κακές χρονιές» (απόδοση < 5 κιλά μέλι ανά κυψέλη) ως 0 και τις «μέτριες» με τις «καλές χρονιές» (απόδοση > 5 κιλά μέλι ανά κυψέλη) ως 1.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.

Μετά την επιλογή των καιρικών μεταβλητών (βλ. Πίνακα 7) που θα μελετηθούν ως προς την σημαντικότητα τους στην απόδοση μελιού κάθε έτους και την είσοδο τους στο μοντέλο πρόβλεψης τελικά, μόνο 21 μεταβλητές (βλ. Πίνακα 8) επηρεάζουν το μοντέλο της παρούσας εργασίας. Οι περίοδοι και οι συντμήσεις που χρησιμοποιούνται στην συνέχεια για αυτά τα 21 δεδομένα περιέχονται στον Πίνακα 8.

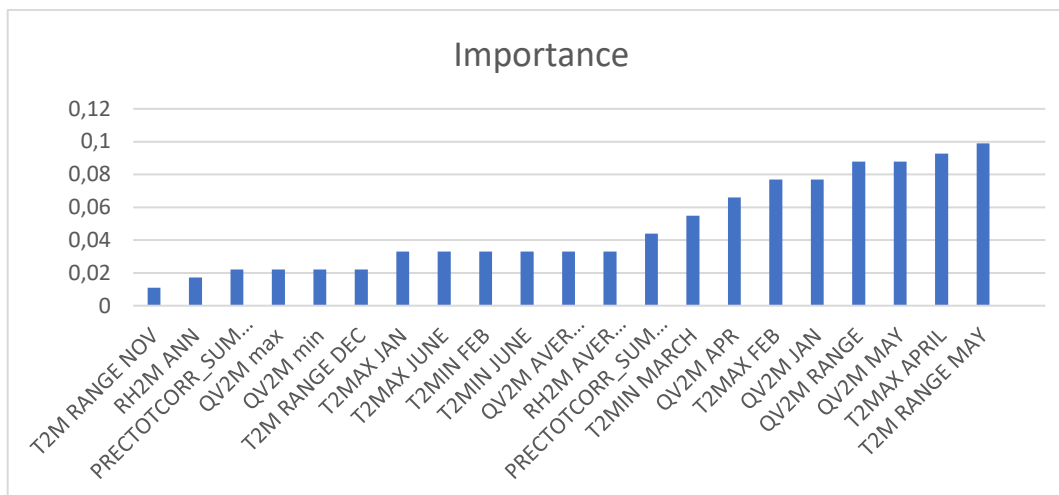
Πίνακας 7: Το σύνολο των δεδομένων εισόδου

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ	ΕΤΟΣ										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Άθροισμα βροχοπτώσεων για τον μήνα Ιανουάριο (mm)	63.28	84.38	42.19	58.01	52.73	36.91	21.09	126.56	42.19	58.01	75.2
Άθροισμα βροχοπτώσεων για τον μήνα Φεβρουάριο (mm)	147.66	105.47	31.64	42.19	15.82	52.73	58.01	79.1	15.82	26.37	42.35
Άθροισμα βροχοπτώσεων για τον μήνα Μάρτιο (mm)	36.91	21.09	47.46	52.73	5.27	47.46	15.82	36.91	63.28	31.64	56.89
Άθροισμα βροχοπτώσεων για τον μήνα Απρίλιο (mm)	21.09	10.55	36.91	5.27	0	10.55	0	26.37	15.82	30.85	9.68
Άθροισμα βροχοπτώσεων για τον μήνα Μάιο (mm)	5.27	42.19	15.82	5.27	15.82	0	5.27	10.55	0	5.49	5.27
Άθροισμα βροχοπτώσεων για τον μήνα Ιούνιο (mm)	0	0	0	5.27	21.09	0	5.27	0	0	4.75	4.07
Άθροισμα βροχοπτώσεων για τον μήνα Ιούλιο (mm)	0	0.52	0	3.07	20.4	0	6.45	0	0.47	4.86	4.15
Εύρος ειδικής υγρασίας στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης (g/kg)	8.67	9.64	7.63	8	8.85	9.58	7.02	10.25	9.83	11.6	10.93
Μέγιστη θερμοκρασία κατά την περίοδο της ανθοφορίας (°C)	27.48	27.48	27.48	27.48	27.48	27.48	27.48	27.48	27.48	27.48	27.48
Μέγιστη θερμοκρασία για τον μήνα Ιανουάριο (°C)	16.41	17.06	17.55	17.49	17.77	17.01	17.23	16.49	16.29	19.19	17.12
Μέγιστη θερμοκρασία για τον μήνα Φεβρουάριο (°C)	16.22	17.12	17.19	16.88	18.97	16.37	17.36	16.77	16.2	17.62	16.26
Μέγιστη θερμοκρασία για τον μήνα Μάρτιο (°C)	17.16	18.15	18.05	17.33	18.3	17.51	17.58	16.23	17.96	17.09	17.23
Μέγιστη θερμοκρασία για τον μήνα Απρίλιο (°C)	19.69	21.16	20.4	19.26	19.91	18.69	20.62	18.2	19.1	19.73	19.21
Μέγιστη θερμοκρασία για τον μήνα Μάιο (°C)	23.17	23.16	22.76	21.85	22.98	21.89	23.65	22.76	24.57	24.61	25.25
Μέγιστη θερμοκρασία για τον μήνα Ιούνιο (°C)	27.48	27.94	25.84	26.79	28.07	28.44	26.57	28.41	26.26	30.43	28.63
Ελάχιστη θερμοκρασία για τον μήνα Ιανουάριο (°C)	6.95	9.3	12.73	7.83	9.29	7.57	9.57	8.66	9.9	9.4	8.2
Ελάχιστη θερμοκρασία για τον μήνα Φεβρουάριο (°C)	7.81	11.46	13.01	7.15	10.83	9.93	12.37	9.73	10.3	8.26	9.95
Ελάχιστη θερμοκρασία για τον μήνα Μάρτιο (°C)	9.35	11.76	11.69	11.94	11.59	11.91	12.96	11.38	11.55	9.36	8.33

Ελάχιστη θερμοκρασία για τον μήνα Απρίλιο (°C)	13.12	14.92	14.1	10.76	14.71	11.6	14.83	12.83	11.68	12.17	12.76
Ελάχιστη θερμοκρασία για τον μήνα Μάιο (°C)	16.57	18.49	16.4	16.34	16.69	17.08	17.82	15.34	16.42	17.18	16.25
Ελάχιστη θερμοκρασία για τον μήνα Ιούνιο (°C)	19.32	19.01	19.23	19.94	20.49	20.14	22.45	18.78	19.05	18.9	21.55
Μέση ειδική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για την περίοδο της ανθοφορίας (g/kg)	13.36	13.05	13.42	12.78	13.49	13.53	13.98	13.59	12.43	13.1	13.81
Μέση σχετική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για την περίοδο της ανθοφορίας (%)	79.11	79.49	81.53	78.27	78.3	81.75	78.83	79.53	80.5	78.62	77.58
Μέση ειδική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Ιανουάριο (g/kg)	6.47	7.39	8.3	7.39	7.87	6.71	7.45	7.14	6.9	8.24	6.9
Μέση ειδική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Φεβρουάριο (g/kg)	6.9	7.81	8.24	6.84	8.67	7.57	7.87	7.26	7.51	7.87	7.39
Μέση ειδική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Μάρτιο (g/kg)	7.81	8.42	7.93	8	8.12	8	8.79	7.87	8.06	7.39	6.71
Μέση ειδική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Απρίλιο (g/kg)	9.52	9.03	9.34	8.85	9.95	8.73	10.01	8.91	8.73	8.79	9.16
Μέση ειδική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Μάιο (g/kg)	11.35	11.9	10.93	11.29	10.99	11.11	12.33	10.5	10.8	11.17	11.05
Μέση ειδική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Ιούνιο (g/kg)	14.04	13.49	13.85	13.31	14.04	14.4	14.4	14.4	13.24	13.67	14.34
Μέση ειδική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Ιούλιο (g/kg)	16.54	15.01	15.5	15.87	15.5	15.2	16.54	15.56	15.38	16.24	14.65
Μέση σχετική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Ιανουάριο (%)	71	70.88	75.06	73.81	75.81	72.19	72.75	73	72.19	74.88	71.5
Μέση σχετική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Φεβρουάριο (%)	73.31	76.31	78.12	72.62	79.56	76.5	76.75	76.94	74.75	75.06	74
Μέση σχετική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Μάρτιο (%)	77.56	78.12	74.75	77.75	77.81	76.5	80.31	76.69	76	72.69	72.94
Μέση σχετική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Απρίλιο (%)	80.62	76.19	80	78.31	81.38	77.25	82.94	79.31	78.88	77.25	80.5
Μέση σχετική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Μάιο (%)	81.12	81	80.31	80.31	80.44	81.31	82.31	81.5	78.5	79.44	81.06
Μέση σχετική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Ιούνιο (%)	77.81	79.38	81.44	78.12	77.38	82.38	78.44	78.75	82.94	78.88	75.94
Μέση σχετική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Ιούλιο (%)	74.31	73.12	77	76.44	71.81	71.81	78.5	74.19	72.88	74.62	67.69
Μέση ετήσια ειδική υγρασία στα δύο μέτρα	11.35	11.11	11.35	11.23	11.23	10.8	11.47	11.23	11.11	11.17	11.05

επάνω από την επιφάνεια της γης (g/kg)											
Μέση ετήσια σχετική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης (%)	74.81	74.81	76.56	75.69	75.69	74.62	76.19	75.12	75.12	74.94	74.06
Μέγιστη ειδική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για την περίοδο της ανθοφορίας (g/kg)	18.92	17.94	17.52	16.91	17.82	18.31	17.15	19.04	17.52	19.47	19.41
Μέγιστη ειδική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για την περίοδο της ανθοφορίας (g/kg)	10.25	8.3	9.89	8.91	8.97	8.73	10.13	8.79	7.69	7.87	8.48
Εύρος θερμοκρασίας αέρα στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Ιανουάριο (°C)	9.46	7.76	4.81	9.66	8.48	9.45	7.66	7.83	6.39	9.79	8.91
Εύρος θερμοκρασίας αέρα στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Φεβρουάριο (°C)	8.41	5.66	4.18	9.73	8.14	6.44	4.99	7.04	5.91	9.37	6.31
Εύρος θερμοκρασίας αέρα στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Μάρτιο (°C)	7.81	6.4	6.36	5.4	6.7	5.59	4.62	4.85	6.41	7.73	8.9
Εύρος θερμοκρασίας αέρα στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Απρίλιο (°C)	6.57	6.24	6.3	8.51	5.2	7.09	5.79	5.38	7.42	7.56	6.45
Εύρος θερμοκρασίας αέρα στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Μάιο (°C)	6.6	4.67	6.37	5.51	6.29	4.81	5.84	7.42	8.15	7.43	9
Εύρος θερμοκρασίας αέρα στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Ιούνιο (°C)	8.16	8.93	6.62	6.85	7.58	8.3	4.12	9.63	7.21	11.53	7.08
ΔΕΛΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ	ΕΤΟΣ										
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Μέγιστη θερμοκρασία για τον μήνα Οκτώβριο (°C)	23.98	26.23	25.18	24.54	25.17	25.04	23.56	23.78	25.54	26.05	24.15
Μέγιστη θερμοκρασία για τον μήνα Νοέμβριο (°C)	19.51	24.22	22.8	21.73	22.22	23.04	21.33	21.84	23.74	22.5	22.96
Μέγιστη θερμοκρασία για τον μήνα Δεκέμβριο (°C)	19.1	21.34	20.64	20.26	19.37	18.83	19.9	18.62	20.86	19.76	19.65
Ελάχιστη θερμοκρασία για τον μήνα Οκτώβριο (°C)	14.88	20.98	18.73	17.69	18.11	17.82	18.25	18.35	21.75	19.93	18.45
Ελάχιστη θερμοκρασία για τον μήνα Νοέμβριο (°C)	13.9	16.78	16.33	14.8	16.97	12.48	14.98	13.08	18.01	15.73	15.61
Ελάχιστη θερμοκρασία για τον μήνα Δεκέμβριο (°C)	12.06	12.05	9.99	10.69	9.01	9.62	11.65	11.64	11.3	14.94	10.72
Εύρος θερμοκρασίας αέρα στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Οκτώβριο (°C)	9.1	5.26	6.45	6.84	7.06	7.22	5.31	5.43	3.79	6.12	5.7
Εύρος θερμοκρασίας αέρα στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια	5.61	7.44	6.47	6.92	5.25	10.55	6.35	8.77	5.73	6.77	7.35

της γης για τον μήνα Νοέμβριο (°C)											
Εύρος θερμοκρασίας αέρα στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Δεκέμβριο (°C)	7.04	9.29	10.65	9.58	10.36	9.21	8.24	6.98	9.56	4.81	8.94



Εικόνα 6: Η σημασία των μεταβλητών στον αλγόριθμο Random Forest στα δεδομένα εκπαίδευσης.

Η Εικ. 6 και ο Πίνακας 8 παρουσιάζουν τους παράγοντες (χαρακτηριστικά) και τη σημαντικότητά τους όπως υπολογίζεται από το μοντέλο Random Forest. Η σημαντικότητα ενός παράγοντα αντανακλά το πόσο χρήσιμος είναι ο συγκεκριμένος παράγοντας για την λήψη αποφάσεων του μοντέλου.

Πίνακας 8: Οι μεταβλητές του αλγόριθμου και η σημαντικότητα κάθε μεταβλητής

Παράγοντες		Σημαντικότητα (%)
T2M RANGE NOVEMBER	Εύρος θερμοκρασίας αέρα στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Νοέμβριο (°C)	1.1
RH2M ANNUALLY	Μέση ετήσια σχετική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης (%)	1.7
PRECTOTCORR_SUM JULY	Άθροισμα βροχοπτώσεων για τον μήνα Ιούλιο (mm)	2.2
QV2M max ANTHOFORIA	Μέγιστη ειδική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για την περίοδο της ανθοφορίας (g/kg)	2.2
QV2M min ANTHOFORIA	Ελάχιστη ειδική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για την περίοδο της ανθοφορίας (g/kg)	2.2
T2M RANGE DECEMBER	Εύρος θερμοκρασίας αέρα στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Δεκέμβριο (°C)	2.2
T2MAX JANUARY	Μέγιστη θερμοκρασία Ιανουαρίου (°C)	3.3
T2MAX JUNE	Μέγιστη θερμοκρασία Ιουνίου (°C)	3.3

T2MIN FEBRUARY	Ελάχιστη θερμοκρασία Φεβρουαρίου (°C)	3.3
T2MIN JUNE	Ελάχιστη θερμοκρασία Ιουνίου (°C)	3.3
QV2M AVERAGE ANTHOFORIA	Μέση ειδική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για την περίοδο της ανθοφορίας (g/kg)	3.3
RH2M AVERAGE ANTHOFORIA	Μέση σχετική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για την περίοδο της ανθοφορίας (%)	3.3
PRECTOTCORR_SUM APRIL	Άθροισμα βροχοπτώσεων για τον μήνα Απρίλιο (mm)	4.4
T2MIN MARCH	Ελάχιστη θερμοκρασία Μαρτίου (°C)	5.5
QV2M APRIL	Μέση ειδική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Απρίλιο (g/kg)	6.6
T2MAX FEB	Μέγιστη θερμοκρασία Φεβρουαρίου (°C)	7.7
QV2M JAN	Μέση ειδική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Ιανουάριο (g/kg)	7.7
QV2M RANGE	Εύρος ειδικής υγρασίας στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για την περίοδο της ανθοφορίας (g/kg)	8.8
QV2M MAY	Μέση ειδική υγρασία στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Μάιο (g/kg)	8.8
T2MAX APRIL	Μέγιστη θερμοκρασία Απριλίου (°C)	9.3
T2M RANGE MAY	Εύρος θερμοκρασίας αέρα στα δύο μέτρα επάνω από την επιφάνεια της γης για τον μήνα Μάιο (°C)	9.9

Κύριοι Παράγοντες

- **T2M RANGE MAY (9.9%)**: Η διακύμανση της θερμοκρασίας τον Μάιο είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι οι αλλαγές στη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια αυτού του μήνα έχουν σημαντική επίδραση στις μελισσοκομικές δραστηριότητες, πιθανώς επηρεάζοντας την ανθοφορία και τη διαθεσιμότητα τροφής για τις μέλισσες.
- **T2MAX APRIL (9.3%)**: Η μέγιστη θερμοκρασία τον Απρίλιο είναι επίσης κρίσιμη. Οι υψηλές θερμοκρασίες τον Απρίλιο μπορούν να επηρεάσουν την πρόωπη ανάπτυξη των φυτών και την άνθηση, που με τη σειρά τους επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα νέκταρ για τις μέλισσες.
- **QV2M RANGE (8.8%) και QV2M MAY (8.8%)**: Το εύρος της συγκεκριμένης μεταβλητής και οι τιμές τον Μάιο υποδεικνύουν ότι οι αλλαγές στην υγρασία και την ποιότητα του αέρα παίζουν σημαντικό ρόλο στην υγεία των μελισσών και την παραγωγικότητα.

Δευτερεύοντες Παράγοντες

- **QV2M JAN (7.7%) και QV2M APRIL (6.6%):** Η ποιότητα του αέρα και η υγρασία σε αυτούς τους μήνες είναι επίσης σημαντικές, αν και λιγότερο από τον Μάιο, υποδεικνύοντας τη σημασία της χειμερινής και ανοιξιάτικης περιόδου.
- **T2MIN MARCH (5.5%) και PRECTOTCORR_SUM APRIL (4.4%):** Αυτοί οι παράγοντες δείχνουν ότι η ελάχιστη θερμοκρασία τον Μάρτιο και η συνολική βροχόπτωση τον Απρίλιο επηρεάζουν επίσης την ποιότητα της μελισσοκομικής χρονιάς.

8.1 Ανάλυση μετρικών.

Ο πίνακας 9 παρέχει τις μετρήσεις αξιολόγησης του μοντέλου πρόβλεψης που δημιουργήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία. Παρακάτω αναλύεται κάθε στοιχείο του Πίνακα 9.

Πίνακας 9: Οι μετρήσεις του αλγόριθμου Random Forest

	Precision	Recall	F-score	Support
0	0.33	1.0	0.5	1
1	1.0	0.33	0.5	3
Accuracy			0.5	4
Macro avg	0.67	0.67	0.5	4
Weighted avg	0.83	0.5	0.5	4

Precision (Ακρίβεια)

- **Class 0:** 0.33

- Η ακρίβεια για την κλάση 0 είναι 0.33. Αυτό σημαίνει ότι το 33% των δειγμάτων που ταξινομήθηκαν ως κλάση 0 ήταν σωστά. Πιο συγκεκριμένα όταν το μοντέλο προβλέπει ένα έτος ως 0 «κακή χρονιά» είναι σωστό το 33% των περιπτώσεων.

- **Class 1: 1.0**

- Η ακρίβεια για την κλάση 1 είναι 1.0. Αυτό σημαίνει ότι το 100% των δειγμάτων που ταξινομήθηκαν ως κλάση 1 ήταν σωστά. Πιο συγκεκριμένα όταν το μοντέλο προβλέπει ένα έτος ως 1 «καλή χρονιά» είναι σωστό το 100% των περιπτώσεων.

Recall (Ανάκληση)

- **Class 0: 1.0**

- Η ανάκληση για την κλάση 0 είναι 1.0. Αυτό σημαίνει ότι το 100% των πραγματικών δειγμάτων της κλάσης 0 ανιχνεύθηκαν σωστά. Πιο συγκεκριμένα το μοντέλο προσδιόρισε σωστά όλα τα πραγματικά «κακά έτη».

- **Class 1: 0.33**

- Η ανάκληση για την κλάση 1 είναι 0.33. Αυτό σημαίνει ότι το 33% των πραγματικών δειγμάτων της κλάσης 1 ανιχνεύθηκαν σωστά. Πιο συγκεκριμένα το μοντέλο προσδιόρισε σωστά μόνο το 33% των πραγματικών «καλών ετών». Αυτό σημαίνει ότι έχασε το 67% από αυτά.

F-score (Μέτρο F1)

- **Class 0: 0.5**

- Το μέτρο F1 για την κλάση 0 είναι 0.5. Το μέτρο F1 είναι ο αρμονικός μέσος της ακρίβειας και της ανάκλησης και εδώ δείχνει μια μέτρια απόδοση.

- **Class 1: 0.5**

- ο Το μέτρο F1 για την κλάση 1 είναι επίσης 0.5, δείχνοντας μια ισορροπημένη απόδοση μεταξύ ακρίβειας και ανάκλησης.

Support (Υποστήριξη)

- **Class 0:** 1

- ο Υπάρχει 1 δείγμα στην κλάση 0.

- **Class 1:** 3

- ο Υπάρχουν 3 δείγματα στην κλάση 1.

Συνολικές Μετρικές

- **Accuracy (Ακρίβεια):** 0.5

- ο Η συνολική ακρίβεια είναι 0.5, που σημαίνει ότι το 50% των προβλέψεων ήταν σωστές.

- **Macro avg (Μακρο-μέσος όρος)**

- ο **Precision:** 0.67 Κατά μέσο όρο το precision και στις δύο κατηγορίες («καλά έτη», «κακά έτη») είναι 67%.
- ο **Recall:** 0.67 Κατά μέσο όρο το recall και στις δύο κατηγορίες («καλά έτη», «κακά έτη») είναι 67%.
- ο **F-score:** 0.5 Κατά μέσο όρο το F-score και στις δύο κατηγορίες («καλά έτη», «κακά έτη») είναι 50%.

Ο μακρο-μέσος όρος λαμβάνει την απλή μέση τιμή των μετρικών για κάθε κλάση, δίνοντας ίσο βάρος σε κάθε κλάση. Είναι χρήσιμο για την αξιολόγηση της απόδοσης του μοντέλου σε όλες τις κλάσεις, ειδικά όταν υπάρχει ένα μη ισορροπημένο σύνολο δεδομένων (π.χ. περισσότερα «καλά έτη» από ότι «κακά έτη» ή το αντίστροφο). Στην συγκεκριμένη περίπτωση δίνει ένα ισοσταθμισμένο μέτρο απόδοσης τόσο για τα «καλά έτη» όσο και για τα «κακά έτη»

- **Weighted avg (Σταθμισμένος μέσος όρος)**

- ο **Precision:** 0.83
- ο **Recall:** 0.5

- **F-score: 0.5**

Ο σταθμισμένος μέσος όρος λαμβάνει υπόψη την υποστήριξη (αριθμό δειγμάτων) για κάθε κλάση, δίνοντας μεγαλύτερο βάρος στις κλάσεις με περισσότερα δείγματα.

8.2 Σχόλια και ερμηνεία.

Ακρίβεια και Ανάκληση:

Η υψηλή ανάκληση και χαμηλή ακρίβεια για την κλάση 0 υποδεικνύει ότι ο αλγόριθμος κατατάσσει σωστά όλα τα πραγματικά δείγματα της κλάσης 0, αλλά υπάρχουν πολλά ψευδώς θετικά. Πιο συγκεκριμένα το μοντέλο είναι καλό στον εντοπισμό όλων των «κακών ετών», αλλά τείνει να χαρακτηρίζει ψευδώς κάποια «καλά έτη» ως «κακά έτη».

Η υψηλή ακρίβεια και χαμηλή ανάκληση για την κλάση 1 δείχνει ότι ο αλγόριθμος κάνει λίγα λάθη όταν προβλέπει την κλάση 1, αλλά χάνει πολλά πραγματικά δείγματα της κλάσης 1. Δηλαδή, το μοντέλο προβλέπει μια «καλή χρονιά» με πολύ ακρίβεια, αλλά χάνει πολλά πραγματικά «καλά χρόνια».

Συνολική Ακρίβεια:

Η συνολική ακρίβεια 0.5 είναι χαμηλή και δείχνει ότι το μοντέλο χρειάζεται βελτίωση. Μπορεί να οφείλεται σε ανισορροπία στις κλάσεις ή σε ανεπαρκή εκπαίδευση του μοντέλου.

Μακρο-μέσος και Σταθμισμένος μέσος όρος:

Η διαφορά μεταξύ του μάκρο-μέσου και του σταθμισμένου μέσου όρου υποδεικνύει την ανισορροπία στις κλάσεις. Η κλάση 1 έχει μεγαλύτερη υποστήριξη, επηρεάζοντας τις συνολικές μετρικές. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν περισσότερα «καλά έτη» στο σύνολο των δεδομένων με αποτέλεσμα οι μετρήσεις να επηρεάζονται περισσότερο από το πόσο καλά αποδίδει το μοντέλο σε «καλά έτη».

Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το μοντέλο Random Forest έχει κάποιες αδυναμίες στην απόδοση, ειδικά στην κλάση 1. Απαιτείται περαιτέρω βελτίωση μέσω ρύθμισης υπερπαραμέτρων ή αντιμετώπισης της ανισορροπίας των κλάσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν την παραγωγικότητα των μελισσών. Στο νησί των Κυθήρων, όπου διεξήχθη η παρούσα μελέτη, η απόδοση σε μέλι κάθε έτους χρησιμοποιήθηκε σαν δείκτης για την αξιολόγηση της παραγωγικότητας των μελισσών.

Σύμφωνα με τον βαθμό συσχέτισης, η διακύμανση της ειδικής υγρασίας κατά την περίοδο της ανθοφορίας (25 Μαΐου με 30 Ιουνίου) είναι αυτό που επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό την απόδοση της κυψέλης (κιλά μέλι ανά κυψέλη) ($r = 0.85$) και στην συνέχεια η μέγιστη θερμοκρασία της περιόδου αυτής ($r = 0.77$) (βλ. Πίνακα 6). Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται να συμφωνήσουν με τα αποτελέσματα του μοντέλου πρόβλεψης της παρούσας εργασίας σύμφωνα με το οποίο, η διακύμανση της ειδικής υγρασίας είναι ο τέταρτος πιο σημαντικός παράγοντας (βλ. Πίνακα 8) για την έγκαιρη και ακριβή πρόγνωση της απόδοσης κάθε έτους με βαθμό σημαντικότητας 0.087. Η μέγιστη θερμοκρασία του Απριλίου είναι ο δεύτερος πιο σημαντικός παράγοντας (βλ. Πίνακα 8) ενώ του Φεβρουαρίου βρίσκεται στην έκτη θέση (βλ. Πίνακα 8) με βαθμούς σημαντικότητας 0.092 και 0.076 αντίστοιχα. Όσο αφορά τις βροχοπτώσεις παρουσιάζονται κάποιες διαφορές ανάμεσα στον βαθμό συσχέτισης και τα αποτελέσματα του αλγόριθμου. Πιο συγκεκριμένα, για τους μήνες Ιανουάριος, Μάρτιος και Απρίλιος υπάρχει θετική και έντονη συσχέτιση με την απόδοση κάθε έτους με συντελεστές συσχέτισης 0.25, 0.35 και 0.29 αντίστοιχα ενώ, σύμφωνα με τον αλγόριθμο μόνο οι βροχοπτώσεις του Απριλίου φαίνεται να είναι στην ένατη θέση (βλ. Πίνακα 8) σημαντικότητας με βαθμό 0.043.

Οι μελισσοκόμοι και γεωπόνοι θα πρέπει να εστιάσουν στους κύριους παράγοντες (βλ. Πίνακα 8) και να δώσουν ιδιαίτερη προσοχή στη θερμοκρασία και τις κλιματικές συνθήκες κατά τους κρίσιμους μήνες της άνοιξης (Απρίλιος και Μάιος). Η συνεχής παρακολούθηση και καταγραφή των μετεωρολογικών δεδομένων μπορεί να βοηθήσει στην πρόβλεψη της ποιότητας της μελισσοκομικής χρονιάς και να επιτρέψει την έγκαιρη λήψη μέτρων για την προστασία των μελισσών. Τέλος, η γνώση των κύριων

παραγόντων που επηρεάζουν τις μελισσοκομικές χρονιές μπορεί να βοηθήσει στην προσαρμογή των πρακτικών φροντίδας των μελισσών, όπως η διαχείριση της ανθοφορίας και η παροχή συμπληρωματικής τροφής σε περιόδους ακραίων κλιματικών συνθηκών.

Τα γενικά ευρήματα της παρούσας εργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατανόηση του αντίκτυπου των καιρικών μεταβλητών στη συμπεριφορά και την παραγωγικότητα των μελισσών, ειδικά στο μικροπεριβάλλον ενός σχετικά μικρού νησιού της Μεσογείου, με εφαρμογές σε μελισσοκόμους που προγραμματίζουν μετακινήσεις μελισσών προκειμένου να επιτύχουν υψηλότερες αποδόσεις προϊόντων κυψέλης. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για τον εντοπισμό των κρίσιμων καιρικών μεταβλητών που επηρεάζουν την παραγωγή μελιού σε τοπικό επίπεδο. Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης, πως παρόλο που τα διαθέσιμα δεδομένα που παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία (11 χρόνια) θεωρούνται επαρκή για την εξαγωγή ορισμένων αρχικών συμπερασμάτων σχετικά με την βραχυπρόθεσμη επίδραση των μετεωρολογικών μεταβλητών στην παραγωγικότητα των μελισσών, απαιτούνται μεγαλύτερες χρονοσειρές για την αξιολόγηση της επίδρασης του κλίματος στη συμπεριφορά, την δραστηριότητα και την παραγωγή μελιού των μελισσών. Η μελλοντική έρευνα μπορεί να αφορά τη μελέτη περισσότερων καιρικών μεταβλητών αλλά και την ενσωμάτωση άλλων κρίσιμων παραγόντων στο μοντέλο πρόβλεψης ώστε να αυξηθεί η ακρίβεια του μοντέλου. Η κατανόηση και η ανάλυση της σημαντικότητας αυτών των παραγόντων παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τη βελτίωση της μελισσοκομικής παραγωγής και της υγείας των μελισσών ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν εργαλείο από τους μελισσοκόμους για την αύξηση της απόδοσης του μελιού και τη μείωση του μελισσοκομικού κόστους. Τέλος, θα ήταν χρήσιμο να μελετηθούν και άλλοι προηγμένοι αλγόριθμοι όπως το artificial neural networks (KNN), logistic regression (LR) και το extreme gradient boosting (XGBoost) ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματα, να μελετηθεί η ακρίβεια του κάθε μοντέλου και να συγκριθεί με αυτή της παρούσας εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Aboelkhair, H., Morsy, M. and El Afandi, G., 2019. Assessment of agroclimatology NASA POWER reanalysis datasets for temperature types and relative humidity at 2 m against ground observations over Egypt. *Advances in Space Research*, 64(1), pp.129-142.

Arapostathi, E., Panopoulou, C., Antonopoulos, A., Katsileros, A., Karellas, K., Dimopoulos, C. and Tsagkarakis, A., 2023. Early detection of potential infestation by *Capnodis tenebrionis* (L.)(Coleoptera: Buprestidae), in stone and pome fruit orchards, using multispectral data from a UAV. *Agronomy*, 14(1), p.20.

Boecking, O. and Genersch, E., 2008. Varroosis—the ongoing crisis in bee keeping. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 3, pp.221-228.

Breiman, L., 2001. Random forests. *Machine learning*, 45, pp.5-32.

Campbell, T., Dixon, K.W., Dods, K., Fearn, P. and Handcock, R., 2020. Machine learning regression model for predicting honey harvests. *Agriculture*, 10(4), p.118.

Cressey, D., 2014. EU states lose up to one-third of honeybees per year. *Nature*, 15016(10.1038).

Decourtye, A., Alaux, C., Le Conte, Y. and Henry, M., 2019. Toward the protection of bees and pollination under global change: present and future perspectives in a challenging applied science. *Current opinion in insect science*, 35, pp.123-131.

Dolezal, A.G. and Toth, A.L., 2018. Feedbacks between nutrition and disease in honey bee health. *Current opinion in insect science*, 26, pp.114-119.

Dolezal, A.G., Carrillo-Tripp, J., Miller, W.A., Bonning, B.C. and Toth, A.L., 2016. Intensively cultivated landscape and Varroa mite infestation are associated with reduced honey bee nutritional state. *PLoS one*, 11(4), p.e0153531.

Donkersley, P., Rhodes, G., Pickup, R.W., Jones, K.C. and Wilson, K., 2014. Honeybee nutrition is linked to landscape composition. *Ecology and evolution*, 4(21), pp.4195-4206.

Flores, J.M., Gil-Lebrero, S., Gámiz, V., Rodríguez, M.I., Ortiz, M.A. and Quiles, F.J., 2019. Effect of the climate change on honey bee colonies in a temperate Mediterranean zone assessed through remote hive weight monitoring system in conjunction with exhaustive colonies assessment. *Science of the Total Environment*, 653, pp.1111-1119.

Genersch, E., 2010. Honey bee pathology: current threats to honey bees and beekeeping. *Applied microbiology and biotechnology*, 87, pp.87-97.

Gil-Lebrero, S., Quiles-Latorre, F.J., Ortiz-López, M., Sánchez-Ruiz, V., Gámiz-López, V. and Luna-Rodríguez, J.J., 2016. Honey bee colonies remote monitoring system. *Sensors*, 17(1), p.55.

Goulson, D., Lye, G.C. and Darvill, B., 2008. Decline and conservation of bumble bees. *Annu. Rev. Entomol.*, 53(1), pp.191-208.

Gounari, S., Proutsos, N. and Goras, G., 2022. How does weather impact on beehive productivity in a Mediterranean island. *Italian Journal of Agrometeorology*, (1), pp.65-81.

Guzman-Novoa, E., Cork, S., Hall, D.C. and Liljebjelke, K., 2016. Colony collapse disorder and other threats to honey bees. *One health case studies: addressing complex problems in a changing world*, pp.204-216.

Jones, R., 2004. European beekeeping in the 21st century: strengths, weaknesses, opportunities, threats. *Bee World*, 85(4), pp.77-80.

Kazenel, M.R., Wright, K.W., Griswold, T., Whitney, K.D. and Rudgers, J.A., 2024. Heat and desiccation tolerances predict bee abundance under climate change. *Nature*, 628(8007), pp.342-348.

Klein, A.M., Vaissière, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C. and Tscharntke, T., 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the royal society B: biological sciences*, 274(1608), pp.303-313.

Kovács-Hostyánszki, A., Li, J., Pettis, J., Settele, J., Aneni, T., Espíndola, A., Kahono, S., Szentgyörgyi, H., Thompson, H., Vanbergen, A. and Vandame, R., 2016. Drivers of change of pollinators, pollination networks and pollination. *IBPES: The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production*, ed. SG Potts, VL Imperatriz-Fonseca, and HT Ngo, pp.27-149.

Kumar, K.S., Bhowmik, D., Biswajit, C. and Chandira, M.R., 2010. Medicinal uses and health benefits of honey: an overview. *J. Chem. Pharm. Res*, 2(1), pp.385-395.

Langowska, A., Zawilak, M., Sparks, T.H., Glazaczow, A., Tomkins, P.W. and Tryjanowski, P., 2017. Long-term effect of temperature on honey yield and honeybee phenology. *International Journal of Biometeorology*, 61, pp.1125-1132.

Le Conte, Y. and Navajas, M., 2008. Climate change: impact on honey bee populations and diseases. *Revue Scientifique et Technique-Office International des Epizooties*, 27(2), pp.499-510.

Makri, P., Papanagiotou, P. and Papanagiotou, E., 2015. Efficiency and economic analysis of Greek beekeeping farms. *Bulg J Agric Sci*, 21, pp.479-484.

Marín-García, P.J., Peyre, Y., Ahuir-Baraja, A.E., Garijo, M.M. and Llobat, L., 2022. The role of *Nosema ceranae* (Microsporidia: Nosematidae) in honey bee colony losses and current insights on treatment. *Veterinary Sciences*, 9(3), p.130.

Martinello, M. and Mutinelli, F., 2021. Antioxidant activity in bee products: A review. *Antioxidants*, 10(1), p.71.

Naug, D., 2009. Nutritional stress due to habitat loss may explain recent honeybee colony collapses. *Biological Conservation*, 142(10), pp.2369-2372.

Paray, B.A., Kumari, I., Hajam, Y.A., Sharma, B., Kumar, R., Albeshr, M.F., Farah, M.A. and Khan, J.M., 2021. Honeybee nutrition and pollen substitutes: A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(1), pp.1167-1176.

Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V. and Vanderplas, J., 2011. Scikit-learn: Machine learning in Python. *the Journal of machine Learning research*, 12, pp.2825-2830.

Petanidou, T. and Smets, E., 1996. Does temperature stress induce nectar secretion in Mediterranean plants?. *New Phytologist*, 133(3), pp.513-518.

Petanidou, T., 2007. Ecological and evolutionary aspects of floral nectars in Mediterranean habitats. In *Nectaries and nectar* (pp. 343-375). Dordrecht: Springer Netherlands.

Polce, C., Garratt, M.P., Termansen, M., Ramirez-Villegas, J., Challinor, A.J., Lappage, M.G., Boatman, N.D., Crowe, A., Endalew, A.M., Potts, S.G. and Somerwill, K.E., 2014. Climate-driven spatial mismatches between British orchards and their pollinators: increased risks of pollination deficits. *Global change biology*, 20(9), pp.2815-2828.

Potts, S.G., Biesmeijer, J.C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O. and Kunin, W.E., 2010. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in ecology & evolution*, 25(6), pp.345-353.

Ryabov, E.V., Wood, G.R., Fannon, J.M., Moore, J.D., Bull, J.C., Chandler, D., Mead, A., Burroughs, N. and Evans, D.J., 2014. A virulent strain of deformed wing virus (DWV) of honeybees (*Apis mellifera*) prevails after *Varroa destructor*-mediated, or in vitro, transmission. *PLoS pathogens*, 10(6), p.e1004230.

Rzetecka, N., Matuszewska, E., Plewa, S., Matysiak, J. and Klupczynska-Gabryszak, A., 2024. Bee products as valuable nutritional ingredients: Determination of broad free amino acid profiles in bee pollen, royal jelly, and propolis. *Journal of Food Composition and Analysis*, 126, p.105860.

Sande, S.O., Crewe, R.M., Raina, S.K., Nicolson, S.W. and Gordon, I., 2009. Proximity to a forest leads to higher honey yield: Another reason to conserve. *Biological conservation*, 142(11), pp.2703-2709.

Sponsler, D.B. and Johnson, R.M., 2015. Honey bee success predicted by landscape composition in Ohio, USA. *PeerJ*, 3, p.e838.

Stackhouse, P. (2020) *NASA Power*, NASA. Available at: <https://power.larc.nasa.gov/docs/methodology/> (Accessed: 31 March 2024).

Tsigouri, A. and Passaloglou-Katralli, M., 2000. A scientific note on the characteristics of thyme honey from the Greek island of Kithira. *Apidologie*, 31(3), pp.457-458.

Warner, S., Pokhrel, L.R., Akula, S.M., Ubah, C.S., Richards, S.L., Jensen, H. and Kearney, G.D., 2023. A scoping review on the effects of Varroa mite (*Varroa destructor*) on global honey bee decline. *Science of The Total Environment*, p.167492.

Zafeiriou R. and Antoniou E., 2013. Experiences of present climate change impacts in the heart of the Mediterranean The case of beekeepers, olive growers and fisherfolk on Kythera and Antikythera islands, Final report of the field project Climate-vulnerable South-European Islands: Experiences for resilience Under UNESCO's program. On the Frontlines of Climate Change: A Forum for small islands and vulnerable communities.

Zhang, T., Chandler, W.S., Hoell, J.M., Westberg, D., Whitlock, C.H. and Stackhouse, P.W., 2009. A global perspective on renewable energy resources: NASA's prediction of worldwide energy resources (power) project. In *Proceedings of ISES World Congress 2007 (Vol. I–Vol. V) Solar Energy and Human Settlement* (pp. 2636-2640). Springer Berlin Heidelberg.

European Union (2014) *Council Directive 2001/110/EC of 20 December 2001 relating to honey (consolidated version)*. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/HTML/?uri=CELEX:02001L0110-20140623> (Accessed: [22/04/2024]).

Μαυροφρύδης, Γ. (2015). Παραδοσιακή μελισσοκομία. *Μελισσοκομική Επιθεώρηση*, 240, pp.106-110.

Μαυροφρύδης, Γ. και Μπίκος, Θ. (2014). Μελισσοκομικές γνώσεις και πρακτικές των χρηστών κυψέλης κινητής κηρύθρας του 17ου και 18ου αιώνα. *Μελισσοκομική Επιθεώρηση*, 60, pp.411-415.

Μελισσόκοσμος (2016) 'Η έκκριση του νέκταρος' *MELISSOCOSMOS*. Available at: https://melissocosmos.blogspot.com/2016/12/blog-post_55.html (Accessed: [05/03/2024]).