

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΤΟΠΑΘΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ:

ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ: ΦΥΤΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Διάγνωση ασθενειών των φυτών με τη χρήση  
καινοτόμων οπτικών μεθόδων  
σε ορατό και υπέρυθρο φάσμα

ΝΙΚΟΛΑΟΣ Σ. ΜΑΣΤΡΟΔΗΜΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΤΣΙΤΣΙΓΙΑΝΝΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2019

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΤΟΠΑΘΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Διάγνωση ασθενειών των φυτών με τη χρήση  
καινοτόμων οπτικών μεθόδων  
σε ορατό και υπέρυθρο φάσμα

ΝΙΚΟΛΑΟΣ Σ. ΜΑΣΤΡΟΔΗΜΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Δημήτριος Τσιτσιγιάννης, Αναπληρωτής Καθηγητής, Επιβλέπων

Γεώργιος Ξανθόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής, Μέλος

Σωτήριος Τζάμος, Επίκουρος Καθηγητής, Μέλος

*Στην οικογένειά μου*

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Με το πέρας της παρούσας μελέτης ολοκληρώνεται και ένας σημαντικός κύκλος, όχι μόνο σπουδών, αλλά και ζωής. Ολοκληρώνοντας την Μεταπτυχιακή μου Εργασία στο Εργαστήριο Φυτοπαθολογίας του ΓΠΑ ολοκληρώνεται - ως φοιτητής - και η παρουσία μου στο αγαπημένο μου εργαστήριο και την επιστημονική ομάδα του Κ. Δημητρίου Τσιτσιγιάννη, μετά από 5 χρόνια. Κλείνει λοιπόν ένας πενταετής κύκλος γεμάτος γνώσεις, εμπειρίες, συνεργασίας και συναναστροφής με εξαιρετικούς καθηγητές και συμφοιτητές. Κλείνει ένας πενταετής κύκλος που παρόλο που έχω αρχίσει ήδη να τον νοσταλγώ, θεωρώ πως με έχει εφοδιάσει με τα κατάλληλα πνευματικά, ακαδημαϊκά και επιστημονικά προσόντα για την συνέχεια της επαγγελματικής μου πορείας, αφήνοντάς μου μια γλυκιά γεύση και κάνοντάς με να ανυπομονώ να ανοίξει ξανά ένας νέος κύκλος. Μέχρι τότε, θα προσπαθήσω να συνεχίσω να υπηρετώ την Επιστήμη της Φυτοπαθολογίας με όποιο τρόπο μπορώ, ως μέλος πλέον της Ελληνικής Φυτοπαθολογικής Εταιρείας και της Φυτιατρικής Εταιρείας Ελλάδος.

Στην επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της μελέτης συνέβαλαν πολλοί άνθρωποι, ο καθένας με τον δικό του τρόπο. Τους ανθρώπους αυτούς θα ήθελα να ευχαριστήσω ειλικρινά και από καρδιάς.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου, τον Αναπληρωτή Καθηγητή κύριο Δημήτριο Τσιτσιγιάννη. Τον ευχαριστώ για τη διαρκή του στήριξη σε όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών, για την άριστη συνεργασία που είχαμε στα πλαίσια της μελέτης αυτής και για τη συνεχή εμπιστοσύνη που επέδειξε στο πρόσωπό μου, η οποία, πέραν των άλλων, οδήγησε και στη μετακίνησή μου για 1 μήνα στο Λίβερπουλ της Αγγλίας, στην εταιρεία Q-Technologies και το Πανεπιστήμιο του Λίβερπουλ, ως ερευνητής στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Ερευνητικού Προγράμματος "OchraVine Control". Τον ευχαριστώ εγκάρδια και εύχομαι οι επιστημονικοί μας δρόμοι να ξανασυναντηθούν σύντομα.

Ευχαριστώ θερμά τον Επίκουρο Καθηγητή και Μέλος της Τριμελούς Επιτροπής της Μεταπτυχιακής μου μελέτης, κύριο Γεώργιο Ξανθόπουλο. Η συμβολή του στο μέρος της μελέτης που αφορά τα τεχνολογικά μέσα, την ανάλυση της εικόνας και των δεδομένων, όπως επίσης και την αξιολόγηση και ερμηνεία αυτών, ήταν παραπάνω από καθοριστική. Παράλληλα, η συμβουλευτικού χαρακτήρα στήριξή του αποτέλεσε αρωγό στην προσπάθειά μου να λύσω τα όποια προβλήματα προέκυψαν κατά την διάρκεια των πειραμάτων που πραγματοποίησα. Επίσης, τον ευχαριστώ για το ειλικρινές ενδιαφέρον που επέδειξε.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο Καθηγητή και Μέλος της Τριμελούς Επιτροπής της Μεταπτυχιακής μου μελέτης, κύριο Σωτήριο Τζάμο. Τον ευχαριστώ διότι οι συμβουλές και οι διορθώσεις του, τόσο στο πειραματικό σκέλος της μελέτης, όσο και στο τελικό κείμενο ήταν πολύτιμες και άκρως καθοδηγητικές. Επίσης, νιώθω την αδήριτη ανάγκη να τον ευχαριστήσω για την ειλικρινή και παραγωγική συνεργασία που αποκτήσαμε συνυπάρχοντας αρμονικά στο Εργαστήριο Φυτοπαθολογίας του ΓΠΑ.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την Υποψήφια Διδάκτορα Διαμάντω Λέντζου, καθώς η συμβολή της στην πραγματοποίηση των πειραμάτων μου, ειδικά στα κομμάτια που αφορούσαν την λήψη φωτογραφιών, την ανάλυση της εικόνας και των δεδομένων υπήρξε καταλυτική. Επιπλέον, ευχαριστώ θερμά τον Υποψήφιο Διδάκτορα Χαράλαμπο Τεμπλαλέξη για τη συνδρομή του στη λήψη φωτογραφιών με την θερμική κάμερα, τόσο εντός του εργαστηρίου όσο και στον αγρό. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ξεχωριστά επίσης τον Διευθυντή της εταιρείας AGENSO Ζήση Τσιρόπουλο και τον Υποψήφιο Διδάκτορα Ευάγγελο Αναστασίου για τις συμβουλές που μου παρείχαν καθ'όλη τη διάρκεια της μελέτης μου. Δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω ιδιαίτερα και τους προπτυχιακούς φοιτητές Κωνσταντίνο – Έλενο Γριβάκη, Βασίλειο Ψηρούκη και Μιχαήλ Κουτσιανά, μέλη της επιστημονικής ομάδας του Αναπληρωτή Καθηγητή κυρίου Σπυρίδωνος Φουντά, για την εθελοντική βοήθεια που προσέφεραν κατά τη διάρκεια πολλών πειραμάτων.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου για τη διαρκή στήριξη και κατανόηση που μου παρείχε καθ'όλη τη διάρκεια της πραγματοποίησης της παρούσας μελέτης.

# Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	1
ABSTRACT .....	2
1. Εισαγωγή .....	3
1.1. Γεωργία Ακριβείας .....	3
1.1.1. Χρήσεις και Συστήματα Γεωργίας Ακριβείας .....	4
1.1.2. Ανάλυση Δεδομένων .....	5
1.2. Γεωργία Ακριβείας και Φυτοπροστασία .....	6
1.3. Ψηφιακή Επεξεργασία και Ανάλυση Εικόνας .....	14
1.3.1. Χρώμα .....	14
1.3.2. Χρωματομετρία .....	15
1.3.3. Χρωματομετρία στη Γεωργία .....	15
1.3.4. Χρωματικά Μοντέλα .....	16
1.4. Θερμική Απεικόνιση .....	22
1.4.1. Ιστορικά Στοιχεία .....	22
1.4.2. Υπέρυθρες Κάμερες .....	23
1.4.3. Θεωρητικό Υπόβαθρο Θερμικής Απεικόνισης .....	24
1.5. Σήψη των Κελυφωτών Φιστικιών από Μύκητες <i>Aspergillus</i> spp. ....	26
1.6. Η Ασθένεια της Όξινης Σήψης των Σταφυλιών .....	27
1.7. Η Σήψη Σπόρου Κριθαριού από Μύκητες <i>Aspergillus</i> spp. ....	29
1.8. Η Ασθένεια της Βερτισιλλίωσης της Ελιάς .....	30
1.9. Η Ασθένεια της Βερτισιλλίωσης της Μελιτζάνας .....	31
1.10. Η Ασθένεια της Ίσκας της Αμπέλου .....	32
1.11. Η Ασθένεια της Τεφράς Σήψης του Μαρουλιού .....	34
2. Σκοπός της Μελέτης .....	36
3. Υλικά και Μέθοδοι .....	37
3.1. Φυτικό Υλικό .....	37
3.2. Μικροβιολογικό Υλικό .....	39
3.3. Πειραματικοί Αγροί .....	41
3.4. Τεχνητές Μολύνσεις με Φυτοπαθογόνους Μύκητες .....	42
3.4.1. Τεχνητή Μόλυνση Κελυφωτών Φιστικιών με τον Μύκητα <i>Aspergillus flavus</i> .....	42
3.4.2. Τεχνητή Μόλυνση Σπόρων Κριθαριού με το Μύκητα <i>Aspergillus flavus</i> .....	45
3.4.3. Τεχνητή Μόλυνση Σταφυλιών με το Μύκητα <i>Aspergillus carbonarius</i> .....	45

3.4.4. Τεχνητή Μόλυνση Φυτών Μελιτζάνας με το Μύκητα <i>Verticillium dahliae</i> .....	46
3.5. Φυσική Μόλυνση Μαρουλιών με το Μύκητα <i>Botrytis cinerea</i> .....	46
3.6. Καταγραφή Συμπτωμάτων Ίσκακας σε Αμπέλια .....	47
3.7. Καταγραφή Συμπτωμάτων Ασθενειών με Οπτικά Μέσα .....	47
3.7.1. Καταγραφή Συμπτωμάτων Ασθενειών με Χρήση Κάμερας Κινητού Τηλεφώνου	47
3.7.2. Καταγραφή Συμπτωμάτων Ασθενειών με Χρήση Θερμικής Κάμερας .....	51
3.8. Ανάλυση Εικόνας.....	53
3.8.1. Ανάλυση των Φωτογραφιών σε Ορατό Φάσμα μέσω Κάμερας Κινητού Τηλεφώνου.....	53
3.8.2. Ανάλυση των Θερμικών Φωτογραφιών .....	54
3.9. Στατιστική Επεξεργασία των Δεδομένων της Ανάλυσης Εικόνας .....	55
4. Αποτελέσματα .....	57
4.1. Ανίχνευση Συμπτωμάτων Ασθενειών των Φυτών με τη Χρήση Κάμερας Κινητού Τηλεφώνου.....	57
4.1.1. Ανίχνευση Μολυσμένων Κελυφωτών Φιστικιών .....	57
4.1.2. Ανίχνευση Μολυσμένων Σταφυλιών .....	62
4.1.3. Ανίχνευση Μολυσμένων Κριθαριών .....	67
4.1.4. Ανίχνευση Φύλλων Ελιάς με Συμπτώματα Βερτισιλλίωσης.....	71
4.1.5 Ανίχνευση Φύλλων Μελιτζάνας με Συμπτώματα Βερτισιλλίωσης .....	73
4.1.6 Ανίχνευση Συμπτωμάτων Ίσκακας σε Αμπέλια στον Αγρό.....	75
4.1.7. Ανίχνευση Συμπτωμάτων Τεφράς Σήψης σε Μαρούλια στον Αγρό .....	77
4.2. Ανίχνευση Συμπτωμάτων Ασθενειών των Φυτών με τη Χρήση Θερμικής Κάμερας ...	79
4.2.1. Ανίχνευση Μολυσμένων Κελυφωτών Φιστικιών .....	79
4.2.2. Ανίχνευση Μολυσμένων Σταφυλιών .....	81
4.2.1. Ανίχνευση Μολυσμένων Σπόρων Κριθαριού .....	85
4.2.4. Ανίχνευση Φύλλων Ελιάς με Συμπτώματα Βερτισιλλίωσης.....	87
4.2.5 Ανίχνευση Συμπτώματα Βερτισιλλίωσης σε Φύλλα Μελιτζάνας.....	88
4.2.6. Ανίχνευση Συμπτωμάτων Ίσκακας σε Αμπέλια στον Αγρό.....	89
4.2.7. Ανίχνευση Συμπτωμάτων Τεφράς Σήψης σε Μαρούλια στον Αγρό .....	90
5. Συζήτηση – Συμπεράσματα.....	92
6. Βιβλιογραφία .....	96

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η γεωργία ακριβείας είναι ένα σύστημα διαχείρισης καλλιεργειών βασισμένο στη χωρική και χρονική μεταβλητότητα των καλλιεργητικών και εδαφικών παραγόντων στον αγρό. Το σύστημα αυτό στοχεύει στην επίτευξη σταθερών συστημάτων ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο για τις μεταβλητές των καλλιεργειών, του εδάφους και του περιβάλλοντος, προκειμένου να διευκολυνθεί η λήψη απόφασης διαχείρισης. Παράλληλα, η εμφάνιση ασθενειών στα φυτά εξαρτάται από συγκεκριμένους περιβαλλοντικούς παράγοντες (υγρασία, θερμοκρασία κ.ά.) και συχνά εμφανίζουν ετερογενή κατανομή στον αγρό. Η ίδια ετερογένεια παρατηρείται και στην κατανομή των μετασυλλεκτικών ασθενειών που αναπτύσσονται κατά την αποθήκευση γεωργικών προϊόντων. Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι τεχνικές οπτικής ανίχνευσης είναι χρήσιμες για τον εντοπισμό πρωτογενών εστιών των ασθενειών και περιοχών που διαφέρουν ως προς τη σοβαρότητα της ασθένειας. Σε συνδυασμό με προηγμένες μεθόδους ανάλυσης εικόνας και δεδομένων, αυτές οι τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα πλαίσια της ολοκληρωμένης διαχείρισης των ασθενειών των φυτών. Παράλληλα, μπορούν να αποτελέσουν ένα σχετικά οικονομικό και απλό στη χρήση μέσο διάγνωσης των ασθενειών.

Με σκοπό την ανάπτυξη ενός νέου έξυπνου οπτικού συστήματος ανίχνευσης για τη διάγνωση διαφορετικών φυτικών ασθενειών, ερευνήθηκαν τα ακόλουθα παθοσυστήματα: *Aspergillus flavus* - φιστίκια, *A. flavus* - κριθάρι, *A. carbonarius* - σταφύλια, *Verticillium dahliae* - ελαιόδενδρο, *V. dahliae* - μελιτζάνα, *Botrytis cinerea* - μαρούλι και ίσκα - αμπέλι. Στα πλαίσια αυτής της μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι οπτικών μέσων: μια θερμική κάμερα και μια κάμερα κινητού τηλεφώνου. Οι θερμικές φωτογραφίες αναλύθηκαν με το πρόγραμμα ανάλυσης εικόνων FLIR Tools®. Οι φωτογραφίες του κινητού τηλεφώνου αναλύθηκαν με το πρόγραμμα επεξεργασίας γραφικών Adobe Photoshop® και διαχωρίστηκαν στις αντίστοιχες RGB (κόκκινο, πράσινο, μπλε), L\*a\*b\* (φωτεινότητα, πράσινο - κόκκινο, μπλε - κίτρινο) και CIE L\*C\*h (L\*: φωτεινότητα, C\*: χρώμα, h: χροιά). Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης έδειξαν πως οι ασθένειες της ασπεργίλλωσης των κελυφωτών φιστικιών και των σπόρων κριθαριού, η όξινη σήψη των σταφυλιών, η βερτισιλλίωση της ελιάς και η ίσκα της αμπέλου προκαλούν ορισμένες φυσιολογικές και φαινοτυπικές αλλαγές στα φυτά - ξενιστές που μπορούν να ανιχνευθούν με αμφότερα τα οπτικά μέσα. Αντίθετα, η ασθένεια της βερτισιλλίωσης της μελιτζάνας και η τεφρά σήψη του μαρουλιού δεν έδειξαν να προκαλούν κάποια ανιχνεύσιμη από την κάμερα του κινητού τηλεφώνου ή τη θερμική κάμερα μεταβολή στα φυτά ξενιστές.

**Επιστημονική περιοχή:** Φυτοπαθολογία

**Λέξεις κλειδιά:** Διάγνωση ασθενειών των φυτών, Γεωργία ακριβείας, Απεικόνιση οπτικού φάσματος, Απεικόνιση υπέρυθρου θερμικού φάσματος



## ABSTRACT

Precision agriculture is a crop management system based on the spatial and temporal variability of the crop and soil factors within a field. This system aims at achieving a stable real-time analysis system for crop, soil and environment variables in order to facilitate decision support management solutions. At the same time, the occurrence of plant diseases depends on specific environmental factors (humidity, temperature, etc.) and often have a heterogeneous distribution in the field. The same heterogeneity is also observed in the distribution of post-harvest diseases developed during storage of agricultural products. According to the above, optical detection techniques are useful for identifying primary outbreaks of diseases and areas that differ in the severity of the disease. Combined with advanced image and data analysis methods, these techniques can be used in the context of integrated plant disease management. At the same time, they can be a relatively cost-effective and simple to use means of plant disease diagnosis.

In order to develop a smart optical detection system for different plant disease diagnosis we investigated the following pathosystems: *Aspergillus flavus* – pistachios, *A. flavus* – barley, *A. carbonarius* – grapes, *Verticillium dahliae* – olive tree, *V. dahliae* – eggplant, *Botrytis cinerea* – lettuce and esca disease – grapevine. For the purposes of this study, two types of visual-optical media were used: a thermal camera and a mobile phone camera. Thermal photos were analyzed with the FLIR Tools® image analysis program. The photos of the mobile phone were analyzed with the Adobe Photoshop® graphics editor and separated into their respective RGB (Red, Green, Blue), L\*a\*b\* (Lightness, green – red, blue – yellow) and CIEL\*C\*h (L\*: lightness, C\*: chroma, h: hue) color models. The results of the present study have shown that the diseases of pistachios and barley grain rot, the sour rot of grapes, the *Verticillium* wilt of olive and the esca disease of the grapevine can cause some physiological and phenotypic changes in host plants that can be detected with both optical media. In contrast, the *Verticillium* wilt of eggplant and the gray mold of lettuce did not appear to cause any detectable by the camera of the mobile phone or the thermal camera changes in the host plants.

**Research area:** Plant Pathology

**Key words:** Plant disease diagnosis, Precision agriculture, Visible spectrum imaging, Infrared thermal imaging

# 1. Εισαγωγή

## 1.1. Γεωργία Ακριβείας

Η γεωργία ακριβείας (ΓΑ - Precision Agriculture) είναι ένα σύστημα διαχείρισης καλλιεργειών βασισμένο στη χωρική και χρονική μεταβλητότητα των καλλιεργητικών και εδαφικών παραγόντων στον αγρό. Το σύστημα αυτό στοχεύει στην επίτευξη σταθερών συστημάτων ανάλυσης σε πραγματικό χρόνο για τις μεταβλητές των καλλιεργειών, του εδάφους και του περιβάλλοντος, προκειμένου να διευκολυνθεί η λήψη απόφασης διαχείρισης (Mahlein, 2016). Σύμφωνα με τους Whelan και McBratney (2000) η ΓΑ είναι μία νέα μέθοδος διαχείρισης των καλλιεργειών, σύμφωνα με την οποία οι εισροές (φυτοφάρμακα, λίπασμα, σπόρος, νερό άρδευσης) και οι καλλιεργητικές πρακτικές εφαρμόζονται ανάλογα με τις ανάγκες του εδάφους και των καλλιεργειών, καθώς αυτές διαφοροποιούνται στο χώρο και στο χρόνο.

Στα πλαίσια της ΓΑ έχουν αναπτυχθεί καινοτόμες μέθοδοι διαχείρισης αγροτεμαχίων και αφορούν όλων των ειδών τις καλλιέργειες. Χαρακτηριστικό των συγκεκριμένων μεθόδων είναι ότι αντί οι καλλιεργητικές φροντίδες να οργανώνονται με βάση τις μέσες τιμές της παραγωγής και γονιμότητας ενός δεδομένου αγροτεμαχίου, πραγματοποιείται ξεχωριστή διαχείριση σε κάθε τμήμα αυτού, ανάλογα με τις πραγματικές ανάγκες.

Στα πλαίσια της ΓΑ και μέσω της χρήσης των χωρικών πληροφοριών, κάθε δεδομένη απόφαση έχει αυξημένη πιθανότητα να παρέχει το επιθυμητό ή αναμενόμενο αποτέλεσμα σε σύγκριση με μια παρόμοια απόφαση που έχει ληφθεί χωρίς τις εν λόγω πληροφορίες. Παράλληλα, αξίζει να τονιστεί πως η χρήση των χωρικών πληροφοριών από μόνη της δημιουργεί νέες δυνατότητες για τη βελτίωση της γεωργικής γνώσης και τις αποφάσεις που λαμβάνονται όσον αφορά στη διαχείριση των αγροτεμαχίων. Η ΓΑ δεν είναι ούτε καινούργια ούτε περίπλοκη (Rawlins, 1997) έχει χρησιμοποιηθεί στην βιομηχανία της γαλακτοκομίας για χρόνια. Στην Αυστραλία και στις Ηνωμένες Πολιτείες, το αρχικό ενδιαφέρον για την ΓΑ εκδηλώθηκε στην βιομηχανία των σιτηρών. Η ΓΑ στην αμπελουργία (Bramley and Proffitt, 1999) έγινε εμπορικά διαθέσιμη στην Αυστραλία το 1999 (Κολυβά, 2014).

Για τη λήψη και τη διαχείριση των χωρικών πληροφοριών, η ΓΑ βασίζεται σε κατάλληλες τεχνολογίες και μέσα ικανά να καταγράψουν με ακρίβεια την υπάρχουσα κατάσταση σε ένα αγροτεμάχιο και να λαμβάνουν συγκεκριμένες απόφασης διαχείρισης. Στις τεχνολογίες αυτές συμπεριλαμβάνονται:

- Συστήματα και μηχανισμοί καταγραφής δεδομένων, όπως: Χάρτες αποδόσεων, εργαστηριακές αναλύσεις, τεχνολογίες τηλεπισκόπησης, συστήματα εντοπισμού θέσης και διαφόρων ειδών αισθητήρες.
- Συστήματα διαχείρισης και απόδοσης αποτελεσμάτων, όπως είναι τα «Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών» και τα «Έμπειρα Συστήματα».
- Συστήματα μεταβαλλόμενης εφαρμογής (της ροής ή τους είδους), όπως λιπασματοδιανομείς, σπορείς, ψεκαστήρες κ.ά. (Παπαδημητρίου. 2015).

Τα εργαλεία της γεωργίας ακριβείας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή δεδομένων και για τη δημιουργία χαρτών. Παράλληλα, σκοπός της ΓΑ είναι να χρησιμοποιεί εργαλεία για τη λήψη αποφάσεων προκειμένου να αποκομίσει κάποιο όφελος. Τα δύο βασικά οφέλη είναι η μεγιστοποίηση της παραγωγής και της απόδοσης της καλλιέργειας, η μείωση των χρησιμοποιούμενων πόρων (λιπάσματα, φυτοπροστατευτικά προϊόντα, νερό άρδευσης κ.ά.), καθώς και οι μειωμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (Haboudane et al., 2002).

### 1.1.1. Χρήσεις και Συστήματα Γεωργίας Ακριβείας

Οι νέες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια της Γεωργίας Ακριβείας σχετίζονται με τη διαδικασία λήψης αποφάσεων και τα οφέλη που προκύπτουν από αυτές. Προκειμένου όμως να είναι αξιόπιστη η κάθε λήψη απόφασης, χρειάζονται και τα κατάλληλα σε ποσότητα και είδος δεδομένα, τα οποία αποτελούν και τη χωρική πληροφορία. Έτσι, δημιουργείται η ανάγκη τήρησης αρχείου εισροών της καλλιέργειας, από το οποίο προκύπτουν οι πληροφορίες αυτές και τα προς ανάλυση δεδομένα. Οι έννοιες αυτές, η χωρική πληροφορία, τα δεδομένα και η ανάλυση αυτών αντιπροσωπεύουν τα εργαλεία της ΓΑ (Παπαδημητρίου, 2015; Fountas, 2006).

Πλαισιότερα, τα πληροφοριακά συστήματα διαχείρισης αγροτικών μονάδων (Farm Management Systems) χρησιμοποιούνταν ως απλά συστήματα καταχώρησης και αποθήκευσης δεδομένων. Με την ΓΑ τα συστήματα αυτά έχουν εξελιχθεί και υποστηρίζουν την παραγωγή αναλόγως. Ο σκοπός των πληροφοριακών συστημάτων παραγωγής (Financial Management Information Systems, FMIS) είναι η κάλυψη των αυξανόμενων απαιτήσεων για τη μείωση του κόστους παραγωγής, η συμμόρφωση με τα γεωργικά πρότυπα, όπως επίσης και η βελτίωση της ποιότητας και της ασφάλειας των παραγόμενων γεωργικών προϊόντων. Στα ακαδημαϊκά πληροφοριακά συστήματα εμπλέκονται ιδιαίτερα εξελιγμένα συστήματα που καλύπτουν τη συμμόρφωση σε πρότυπες εφαρμογές, την αυτοματοποιημένη συλλογή δεδομένων και την διαλειτουργικότητα μεταξύ διαφορετικών πακέτων λογισμικού. Αντιθέτως, οι εμπορικές εφαρμογές των FMSI στοχεύουν σε καθημερινές εργασίες της αγροτικής μονάδας, όπως κατάρτιση προϋπολογισμού και οικονομικών συναλλαγών, αρχείο καταγραφής επεμβάσεων, διαχείριση μηχανημάτων, νέες λειτουργίες σχετικές με την ιχνηλασιμότητα και τη διασφάλιση της ποιότητας και των πωλήσεων (Παπαδημητρίου, 2015). Η πρώτη εφαρμογή που συνδύαζε τα εργαλεία υποστήριξης αποφάσεων με την τήρηση αρχείων και τον σχεδιασμό της παραγωγής ήταν το σύστημα CALEX στην Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής. Η εφαρμογή αυτή κάλυπτε εφαρμογές άρδευσης, λίπανσης και φυτοπροστασίας (Fountas et al., 2015).

Η πλειοψηφία των συστημάτων FMSI και των συστημάτων υποστήριξης της λήψης αποφάσεων (DSSs) που περιγράφονται στην επιστημονική βιβλιογραφία βασίζονται σε μοντέλα προσομοίωσης ή στοχευμένα μοντέλα και μεθόδους βελτιστοποίησης. Ωστόσο, δεδομένου ότι η γεωργία αποτελεί ένα βιολογικό σύστημα παραγωγής χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό αβεβαιότητας. Συνεπώς, ένα ντετερμινιστικό μοντέλο FMIS ως βάση δεν

μπορεί να συλλάβει πλήρως την εγγενή πιθανοτική φύση που χαρακτηρίζει τα συστήματα γεωργικής παραγωγής. Εντούτοις, λίγα συστήματα FMSI ασχολούνται με την αβεβαιότητα όσον αφορά τα προβλήματα διαχείρισης των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, ενώ τα περισσότερα λαμβάνουν υπόψιν μόνο ντετερμινιστικές πτυχές των προβλημάτων αυτών. Από την άποψη αυτή, η εκτίμηση της αβεβαιότητας είναι η λιγότερο κατανοητή και εφαρμοσμένη ικανότητα και των συστημάτων FMSI και DSS (Fountas et al., 2015).

Παρακάτω αναλύονται οι βασικές τεχνολογίες που χρησιμοποιεί η ΓΑ, οι οποίες έχουν σχέση με όλα τα στάδια παραγωγής από τη σπορά μέχρι τη συγκομιδή:

- GPS και GIS: Είναι συστήματα που επιτρέπουν την ακριβή χαρτογράφηση των αγρών και την ερμηνεία της παραλλακτικότητάς τους.
- Χαρτογράφηση παραγωγής: Με τη χαρτογράφηση παραγωγής πραγματοποιείται καταγραφή και συλλογή δεδομένων της παραγωγής από συγκεκριμένες θέσεις στον αγρό.
- Χαρτογράφηση εδαφικών ιδιοτήτων: Με το συγκεκριμένο είδος χαρτογράφησης γίνεται καταγραφή της γονιμότητας των αγρών.
- Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους.
- Τηλεπισκόπηση: Με την τηλεπισκόπηση συλλέγονται πληροφορίες για ένα αντικείμενο, χωρίς να υπάρχει επαφή με το αντικείμενο αυτό. Οι δύο πιο συνηθισμένες μέθοδοι τηλεπισκόπησης είναι οι αεροφωτογραφίες και οι δορυφορικές εικόνες. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι το βασικό στοιχείο της τηλεπισκόπησης. Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έρχεται σε επαφή με ένα αντικείμενο, αυτή μπορεί να ανακλαστεί, να απορροφηθεί και να διέλθει μέσα από αυτό. Ανάλογα με το αντικείμενο στο οποίο προσπίπτει η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, διαφορετικά μήκη κύματος της ακτινοβολίας αντιδρούν με διαφορετικό τρόπο (Κουνάνη, 2018).

### 1.1.2. Ανάλυση Δεδομένων

Τα διάφορα τεχνολογικά μέσα που χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες γεωργικές εκμεταλλεύσεις, στα πλαίσια της Γεωργίας Ακριβείας, παράγουν μεγάλο αριθμό δεδομένων. Η ανάλυση των δεδομένων που λαμβάνονται από τα μέσα αυτά αφορά στην οργάνωση και το χειρισμό τους, καθώς επίσης και στην άντληση σημαντικών πληροφοριών από αυτά (Παπαδημητρίου, 2015).

Οι νέες τεχνολογίες όπως το «Internet of Things» και το «Cloud Computing» αναμένεται να αξιοποιούνται όλο και περισσότερο στα πλαίσια ένταξης της Γεωργίας Ακριβείας στην γεωργική παραγωγή. Οι τεχνολογίες αυτές, αναμένεται με τη σειρά τους να εισαγάγουν περισσότερα ρομπότ και τεχνητή νοημοσύνη στη γεωργία. Το γεγονός αυτό συνυπάρχει με το φαινόμενο του «Big Data», μαζικών όγκων δεδομένων με μεγάλη ποικιλία που μπορούν να συλλεχθούν, να αναλυθούν και να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη αποφάσεων. Τα «Big Data» χρησιμοποιούνται για σκοπούς πρόγνωσης που αφορούν τις

γεωργικές δραστηριότητες, για τη λήψη αποφάσεων διαχείρισης σε πραγματικό χρόνο και για τον επανασχεδιασμό σημαντικών επιχειρηματικών διαδικασιών για επιχειρηματικά μοντέλα (Wolfert et al., 2017).

## 1.2. Γεωργία Ακριβείας και Φυτοπροστασία

Μια από τις σημαντικότερες μεταβλητές που επιδιώκεται να προσδιοριστεί σε πραγματικό χρόνο από τα διάφορα συστήματα ανάλυσης που χρησιμοποιούνται στα πλαίσια της Γεωργίας Ακριβείας είναι οι ασθένειες των φυτών. Η εμφάνιση ασθενειών στα φυτά εξαρτάται από συγκεκριμένους περιβαλλοντικούς παράγοντες (υγρασία, θερμοκρασία κ.ά.) και συχνά εμφανίζουν ετερογενή κατανομή στον αγρό. Η ίδια ετερογένεια παρατηρείται και στην κατανομή των μετασυλλεκτικών ασθενειών που αναπτύσσονται κατά την αποθήκευση γεωργικών προϊόντων. Έτσι, η χρήση τεχνολογιών ακριβείας για τον έλεγχο των ζιζανίων, των παρασίτων και των ασθενειών των φυτών είναι πλέον πραγματικότητα, καθώς η ακριβής φυτοπροστασία απαιτεί λεπτομερή στοιχεία σχετικά με την εμφάνιση και τη κατανομή των ζημιογόνων παραγόντων στο συντομότερο δυνατόν στάδιο ανίχνευσης (Baylis, 2017).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι τεχνικές οπτικής ανίχνευσης είναι χρήσιμες για τον εντοπισμό πρωτογενών εστιών των ασθενειών και περιοχών που διαφέρουν ως προς τη σοβαρότητα της ασθένειας. Σε συνδυασμό με προηγμένες μεθόδους ανάλυσης εικόνας και δεδομένων, αυτές οι τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα πλαίσια της ολοκληρωμένης διαχείρισης των ασθενειών των φυτών. Παράλληλα, μπορούν να αποτελέσουν ένα σχετικά οικονομικό και απλό στη χρήση μέσο διάγνωσης των ασθενειών (Mahlein, 2016).

Οπτικοί αισθητήρες για την εκτίμηση ασθενειών των φυτών (Εικόνα 1):

- RGB Sensors
  - Συνδυασμός με LAB, YCBCR, HSV (Bock et al. 2010)\*
  - Χρησιμοποίηση χαρακτηριστικών όπως το χρώμα, το επίπεδο γκρίζου, η υφή, η διασπορά, η συνδεσιμότητα και το σχήμα για την ανίχνευση και την αναγνώριση των συμπτωμάτων ασθενειών των φυτών (Neumann et. al, 2014, Camargo and Smith, 2009)
- Spectral Sensors (Multispectral & Hyperspectral)
- Thermal Sensors
- Fluorescence Imaging
- 3D Sensors

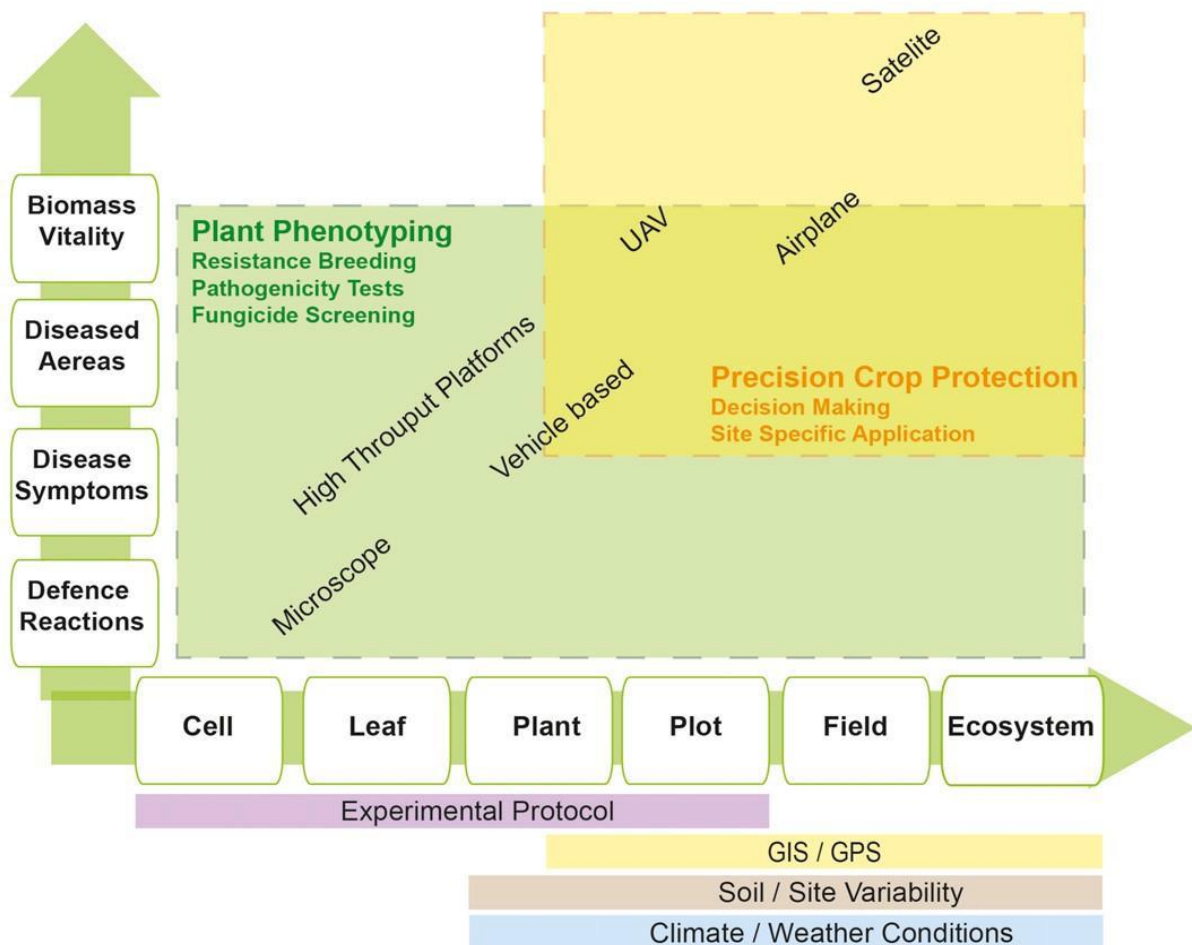
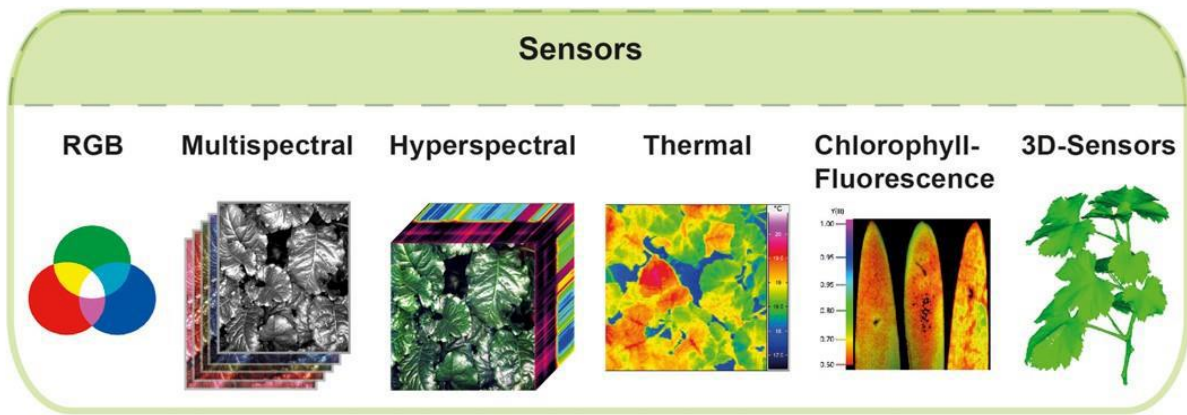
\* RGB: Red, Green, Blue. LAB: L for Lightness, A, B for the color-opponent dimensions, based on nonlinearly compressed coordinates. HSV: hue, saturation, value.

Τέτοια είδη αισθητήρων μπορούν να τοποθετηθούν πάνω σε διάφορες πλατφόρμες (οπτικά μικροσκόπια, τρακτέρ, οχήματα, πλατφόρμες υψηλής απόδοσης, UAVs, zeppelins, ρομποτικά συστήματα, αεροσκάφη και δορυφόρους) (Mahlein, 2016).

Οι οπτικοί αισθητήρες βοηθούν στον προσδιορισμό των αλλαγών που προκαλούν τα φυτοπαθγόνα και οι διάφοροι αβιοτικοί παράγοντες στα φυτά σε φυσιολογικό και λειτουργικό επίπεδο. Οι αβιοτικοί παράγοντες, οι μύκητες, τα βακτήρια και οι ιοί των φυτών επηρεάζουν τη λειτουργία των στοματίων των φύλλων και ως εκ τούτου, επηρεάζουν και τη θερμοκρασία τους. Επιπλέον, τα φυτοπαθγόνα επηρεάζουν τόσο τη διαπνοή, όσο και την φωτοσυνθετική δραστηριότητα (Berdugo et al., 2014).

Πιο συγκεκριμένα, με βάση τους αισθητήρες αυτούς, είναι δυνατό να υπολογιστούν τα εξής:

- Θερμοκρασία του φύλλου
- Φασματική αντανάκλαση του φύλλου
- Σχήμα του φύλλου
- Ρυθμός διαπνοής
- Δείκτες βλάστησης
- Φωτοσυνθετική δραστηριότητα
- Πυκνότητα των φυτών



Εικόνα 1.1. Επισκόπηση των τρεχουσών τεχνολογιών αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για την αυτοματοποιημένη ανίχνευση και ταυτοποίηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ κεντρικών υπολογιστών. Αυτοί οι αισθητήρες μπορούν να εφαρμοστούν σε γεωργικές εφαρμογές ακριβείας και φαινοτυπικές αναλύσεις φυτών σε διαφορετικές κλίμακες, από μεμονωμένα κύτταρα σε ολόκληρα οικοσυστήματα. Ανάλογα με την κλίμακα, μπορούν να λειτουργήσουν διαφορετικές πλατφόρμες και συνεπώς μπορούν να παρατηρηθούν διαφορετικές παράμετροι των φυτών (Mahlein, 2016)

Παρακάτω, ακολουθούν μερικά παραδείγματα φυτοπαθογόνων αιτιών που επηρεάζουν την φυσιολογική λειτουργία και τη μορφολογία των φυτών:

- *Verticillium dahliae* σε ελιά: Μείωση της διαπνοής των φύλλων, μείωση παραγωγής χλωροφύλλης, αύξηση της θερμοκρασίας των φύλλων, αλλαγές στην αντανάκλαση

του φωτός από το φύλλο σε διάφορα φάσματα, μείωση φυλλικής επιφάνειας και αλλαγή του σχήματος της κόμης (Calderon et. al, 2015)

- *Fusarium culmorum* σε σιτάρι: Μείωση παραγωγής χλωροφύλλης, μείωση περιεκτικότητας του σπόρου σε νερό (Bauriegel et. al, 2011)
- *Sphaerotheca fuliginea* σε αγγουριά: Αύξηση MTD (Maximum Temperature Difference), μείωση παραγωγής χλωροφύλλης, μείωση της απόδοσης του PS II, έντονες αλλαγές στην αντανάκλαση του φωτός από το φύλλο σε διάφορα φάσματα (Berdugo et al., 2014)
- *Cercospora beticola* σε ζαχαρότευτλα: Τοπική μείωση θερμοκρασίας, αύξηση της παραγωγής της χλωροφύλλης και αύξηση διαπνοής (Chaerle et al., 2004)
- *Tobacco mosaic virus* (TMV) σε καπνό: Τοπική αύξηση θερμοκρασίας στο φύλλο και παραγωγής χλωροφύλλης (Chaerle et al., 2004)
- *Cucumber mosaic virus* (CMV) σε αγγουριά: Τοπική αύξηση θερμοκρασίας, μείωση παραγωγής χλωροφύλλης, αλλαγές στην αντανάκλαση του φωτός από το φύλλο σε διάφορα φάσματα (Berdugo et al., 2014)
- *Cucumber green mottle mosaic virus* (CGMMV) σε αγγουριά: Τοπική αύξηση θερμοκρασίας, μείωση της απόδοσης του PS II, αλλαγές στην αντανάκλαση του φωτός από το φύλλο σε διάφορα φάσματα (Berdugo et al., 2014).

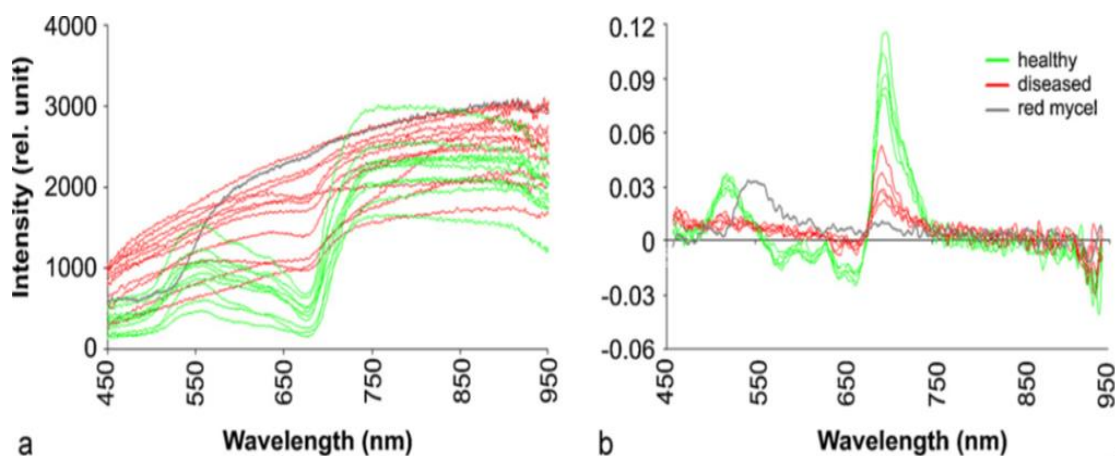
Οι προκαλούμενες αυτές μεταβολές στη φυσιολογία και μορφολογία των φυτών, όπως και πολλές άλλες, είναι δυνατόν να ανιχνευτούν από συγκεκριμένους αισθητήρες. Συνεπώς, οι αισθητήρες αυτοί μπορούν δυνητικά να αποτελέσουν ένα τεχνολογικό μέσο διάγνωσης μιας ή περισσότερων ασθενειών των φυτών (Πίνακας 1.1.).



Πίνακας 1.1. Παραδείγματα ασθενειών των φυτών που έχουν μελετηθεί με τη βοήθεια οπτικών αισθητήρων (Mahlein, 2016)

Sensor	Crop	Disease / Pathogen	Reference
RGB	Cotton	Bacterial angular ( <i>Xanthomonas campestris</i> )	Camargo and Smith (2009)
	Sugar beet	Ascochyta blight ( <i>Ascochyta gossypii</i> )	Neumann et al. (2014)
		Cercospora leaf spot ( <i>Cercospora beticola</i> ),	
		Sugar beet rust ( <i>Uromyces betae</i> ), Ramularia	
		leaf spot ( <i>Ramularia beticola</i> ), Phoma leaf spot	
		( <i>Phoma betae</i> ), bacterial leaf spot ( <i>Pseudomonas</i>	
	Grapefruit	Citrus canker ( <i>X. axonopodis</i> )	Bock et al. (2008)
		Tabaco	Anthraxnose ( <i>Colletotrichum destructivum</i> )
	Apple	Apple scab ( <i>Venturia inaequalis</i> )	Wijekoon et al. (2008)
	Canadian goldenrod	Rust ( <i>Coleosporium asterum</i> )	Wijekoon et al. (2008)
Spectral sensors	Barley	Net blotch ( <i>Pyrenophora teres</i> ),	Kuska et al. (2015); Wahabzada et al. (2015a)
		Brown rust ( <i>Puccinia hordei</i> ), Powdery mildew	
		( <i>Blumeria graminis hordei</i> )	
	Wheat	Head blight ( <i>Fusarium graminearum</i> )	Bauriegel et al. (2011); Bravo et al. (2003);
		Yellow rust ( <i>Puccinia striiformis</i> f. sp. <i>tritici</i> )	
	Sugar beet	Cercospora leaf spot ( <i>C. beticola</i> ), Sugar beet rust	Bergsträsser et al. (2015); Hillnhütter et al. (2011);
		( <i>U. betae</i> ), Powdery mildew ( <i>Erysiphe betae</i> ),	
		Root rot ( <i>Rhizoctonia solani</i> ),	
	Tomato	Rhizomania ( <i>Beet necrotic yellow vein virus</i> )	Wang et al. (2008)
	Apple	Late blight ( <i>Phytophthora infestans</i> )	Delalieux et al. (2007)
Tulip	Apple scab ( <i>V. inaequalis</i> )	Polder et al. (2014)	
Sugar cane	Tulip breaking virus (TBV)	Apan et al. (2004)	
Thermal sensors	Sugar beet	Orange rust ( <i>Puccinia kuehni</i> )	Chaerle et al. (2004)
	Cucumber	Cercospora leaf spot ( <i>C. beticola</i> )	Chaerle et al. (2004)
	Cucumber	Downy mildew ( <i>Pseudoperonospora cubensis</i> ),	Berdugo et al. (2014); Oerke et al. (2006)
Fluorescence imaging	Apple	Powdery mildew ( <i>Podosphaera xanthii</i> )	Oerke et al. (2011)
	Rosa	Apple scab ( <i>V. inaequalis</i> )	Gomez (2014)
	Wheat	Downy mildew ( <i>Peronospora sparsa</i> )	Bürling et al. (2011)
		Leaf rust ( <i>Puccinia triticina</i> )	
	Sugar beet	Powdery mildew ( <i>Blumeria graminis</i> f. sp. <i>tritici</i> )	Chaerle et al. (2004, 2007); Konanz et al. (2014)
	Bean	Cercospora leaf spot ( <i>C. beticola</i> )	Rousseau et al. (2013)
Lettuce	Common Bacterial Blight ( <i>Xanthomonas fuscans</i> subsp. <i>fuscans</i> )	Bauriegel et al. (2014); Brabandt et al. (2014)	
		Downy mildew ( <i>Bremia lactucae</i> )	

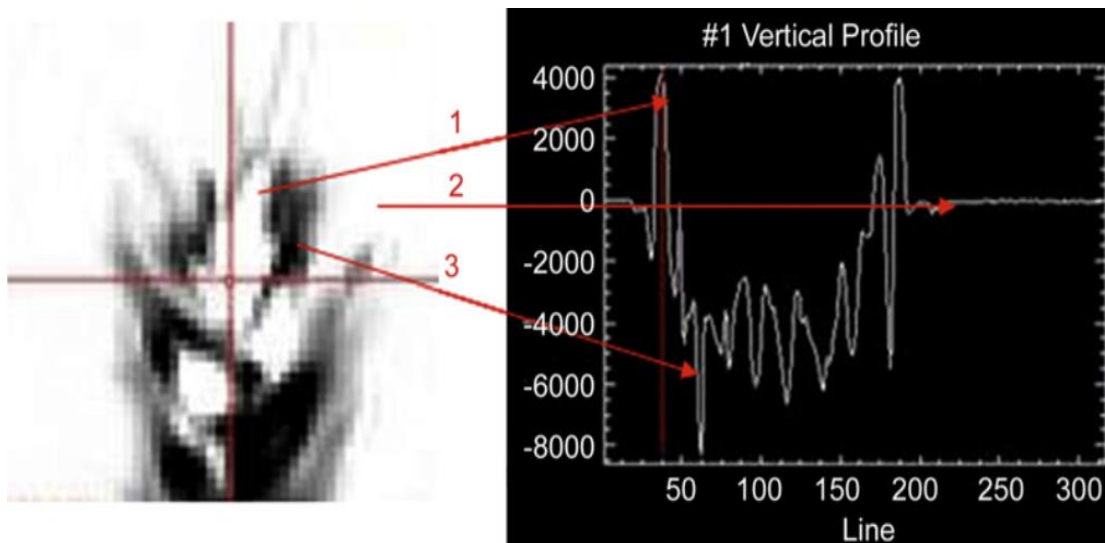
Παραδείγματα από αποτελέσματα αναλύσεων ασθενειών των φυτών με οπτικούς αισθητήρες (Εικόνα 1.2., Εικόνα 1.3., Εικόνα 1.4.):



Εικόνα 1.2. Τα πρωτότυπα φάσματα (α) και το εξομαλυμένο πρώτο παράγωγο (β) από υγιείς (πράσινες καμπύλες) και μολυσμένους με τον μύκητα *Fusarium culmorum* (κόκκινες καμπύλες) ιστούς σιταριού. Το φάσμα που απεικονίζεται στη σκούρα γκρι γραμμή είναι εκείνο ενός στρώματος κόκκινο μυκηλίου (Bauriegel et. al, 2011)



Εικόνα 1.3. Παράδειγμα ταξινόμησης των μολυσμένων με *Fusarium culmorum* στάχων σίτου (αριστερά: εικόνα RGB), κέντρο: εικόνα με γκρι κλίμακα σύμφωνα με το HBI\*, δεξιά: αποτέλεσμα ταξινόμησης (ανοιχτό γκρι/κόκκινο: ασθενές, σκούρο γκρι/πράσινο: υγιές). Σε αυτό το παράδειγμα, ο βαθμός μόλυνσης ήταν 52,5% (μέσος όρος από 4 στάχεις) και ο βαθμός μόλυνσης που υπολογίστηκε με το HBI\* ήταν 37,1% (μέσος όρος από 4 στάχεις). (Bauriegel et. al, 2011). \*: Head Blight Index: Δείκτης, ο οποίος ορίζεται ως η μέση αναλογία των μολυσμένων σταχυδίων ανά στάχυ (άθροισμα του ποσοστού των εμφανώς μολυσμένων σταχυδίων ανά στάχυ διαιρούμενων με τον συνολικό αριθμό των στάχων που συλλέχθηκαν, συμπεριλαμβανομένων εκείνων με μηδενική σοβαρότητα) (Paul et. al, 2005).



Εικόνα 1.4. Διαβαθμισμένες περιοχές (HBI) σε τμήμα ενός στάχυ (αριστερά). Διαφορά των τιμών της κλίμακας γκρι: τμήματα μολυσμένα με *Fusarium culmorum* (1) με τιμές γκρι κλίμακας > 0, υγιή (3) με τιμές γκρι κλίμακας < 0 και το φόντο (2) με τιμές γκρι κλίμακας 0 (δεξιά) (Bauriegel et. al, 2011)

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται συνοπτικές κάποιες εκ των βασικότερων μεθόδων διάγνωσης ασθενειών των φυτών μέσω αισθητήρων:

- Ανάλυση εικόνας
- Φασματική ανάλυση

- Μέθοδος “Maximum Likelihood” (Yang and Everitt, 2010, Castillejo-Gonzalez et al., 2009)
- Μέθοδος SAM (Spectral Angle Mapper)
- Μέθοδος βασισμένη στο HBI (για προσβολή από τον μύκητα *Fusarium culmorum*)
- Ανάλυση βασικών συστατικών φασμάτων - principal component analysis (PCA)
- Μέθοδος ανάλυσης LDA (linear discriminant analysis)
- Μέθοδος τεχνητών νευρωνικών δικτύων (NN - artificial neural networks)
- Μέθοδος μηχανών φορέα υποστήριξης (support vector machines - SVM)

Ένα σημαντικό ζήτημα το οποίο κρίνει και την αξιοπιστία των οπτικών αισθητήρων είναι η «ικανότητά» τους στη διάγνωση ασθενειών των φυτών, με την έννοια της επιτυχίας. Ακολουθούν ορισμένα παραδείγματα στα οποία αναλύονται τα ποσοστά επιτυχημένης διάγνωσης συγκεκριμένων ασθενειών των φυτών από συγκεκριμένους αισθητήρες:

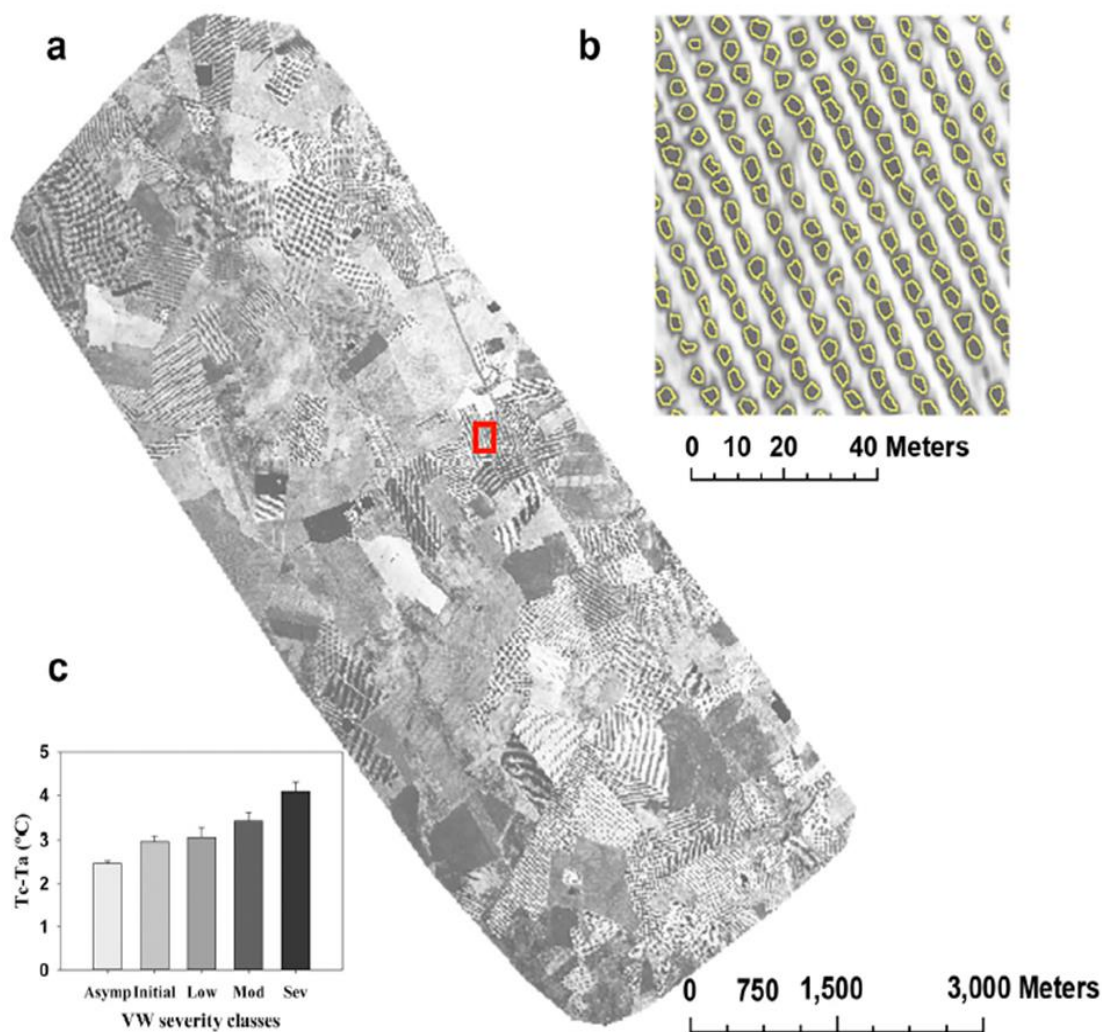
- Η σήψη στάχως στο σιτάρι που προκαλείται από το μύκητα *Fusarium culmorum* μπορεί να ανιχνευθεί επιτυχώς κατά τα αναπτυξιακά στάδια 71-85 (κατά BBCH), ιδανικότερα στο στάδιο 75, μέχρι και 21 ημέρες μετά τη μόλυνση. Τα ποσοστά επιτυχούς ανίχνευσης με τη μέθοδο SAM κυμαίνονται στο 91%, ενώ με τη μέθοδο HBI, η οποία είναι κατάλληλη και για ανίχνευση της ασθένειας στον αγρό, στο 84%. Με την πρώτη ανάλυση PCA (PC1) 5 βασικών φασμάτων επιτυγχάνεται ικανοποιητικός διαχωρισμός μεταξύ υγιών και μολυσμένων στάχων (ταυτοποίηση 100% για τα υγιή και 94% για τα μολυσμένα) (Bauriegel et. al, 2011).
- Η μόλυνση από *Fusarium spp.* μπορεί να ταυτοποιηθεί με ένα σφάλμα της τάξης του 5.8% με τη μέθοδο CFI (Chlorophyll Fluorescence Imaging) (Εικόνα 1.5.) (Bauriegel and Herppich, 2014).
- Η μόλυνση σιταριού από τον φυτοπαθογόνο μύκητα *Puccinia striiformis* που προκαλεί την ασθένεια της σκωρίασης, είναι δυνατό να ανιχνευθεί και να ταξινομηθεί σε ποσοστό επιτυχίας 96% σε συνθήκες περιβάλλοντος φωτός με τη χρήση υπερφασματικής κάμερας και σε συνθήκες αγρού (Bravo et. al, 2003).
- Η μόλυνση από διάφορα παθογόνα σε φυτά βαμβακιού είναι δυνατό να ανιχνευτεί με ποσοστό επιτυχίας έως και 93.1% μέσω αισθητήρα RGB (Camargo and Smith, 2009).
- Η μόλυνση τουλιπών από τον φυτικό ιό *Tulip breaking virus* (TBV) είναι δυνατό να ανιχνευτεί από πολυφασματική κάμερα σε ποσοστό 92%, σε συνθήκες αγρού (Polder et. al, 2014).
- Φυτά ελιάς σε επίπεδο μεγάλης έκτασης (30.000 στρέμματα) με συμπτώματα προκαλούμενα από το μύκητα *Verticillium dahliae* είναι δυνατό να ανιχνευθούν με υψηλής ανάλυσης θερμική και πολυφασματική κάμερα με ποσοστό επιτυχίας της τάξης του 79.2% (Calderon et. al, 2015).

Στη συνέχεια, ακολουθούν ορισμένα παραδείγματα επιτυχούς εκτίμησης ασθενειών των φυτών με τη χρήση οπτικών αισθητήρων, αυτή τη φορά στον αγρό:

- Εκτίμηση της σκωρίασης του σιταριού από τον φυτοπαθογόνο μύκητα *Puccinia striiformis* με χρήση υπερφασματικής κάμερας (Bravo et. al, 2003).
- Εκτίμηση της μόλυνσης τουλιπών από τον φυτικό ιό *Tulip breaking virus* (TBV) με χρήση πολυφασματικής κάμερας (Polder et. al, 2014).
- Εκτίμηση της σήψης στάχews του σιταριού που προκαλείται από τον φυτοπαθογόνο μύκητα *Fusarium culmorum* με χρήση πολυφασματικής κάμερας και τη μέθοδο HBI (Bauriegel et. al, 2011).
- Εκτίμηση της μόλυνσης φυτών ελιάς από τον μύκητα *Verticillium dahliae* σε μεγάλη έκταση (30.000 στρέμματα) με χρήση θερμικής κάμερας υψηλής ανάλυσης και πολυφασματική κάμερα, προσαρτημένες σε αεροσκάφος (Calderon et. al, 2015).



Εικόνα 1.5. Εφαρμογή της μεθόδου CFI Chlorophyll Fluorescence Imaging) στον αγρό για τη διάγνωση της σήψης στάχews (*Fusarium spp.*)( Bauriegel and Herppich,2014)



Εικόνα 1.6. Θερμικό ψηφιδωτό (α) από θερμική κάμερα τοποθετημένη σε επανδρωμένο αεροσκάφος σε ανάλυση 63 cm, επιτρέποντας την αναγνώριση της αμιγούς κόμης φυτών ελιάς (b). Η μέση κανονικοποιημένη θερμοκρασία κόμης (Tc-Ta) υπολογιζόμενη από τις θερμικές εικόνες απεικονίζεται για κάθε μία κατηγορία βαρύτητας μόλυνσης από τον μύκητα *Verticillium dahliae* (c). Οι μέσες τιμές της Tc-Ta δημιουργήθηκαν από στοιχεία προερχόμενα από 9 αγροτεμάχια, αποτελούμενα από 510, 98, 64, 46 και 38 ελαιόδενδρα που αντιστοιχούν σε ασυμπτωματικές, αρχικές, χαμηλές, μέτριες και σοβαρές κατηγορίες σοβαρότητας, αντίστοιχα. Το κόκκινο τετράγωνο (α) παρουσιάζεται λεπτομερώς στο (b) (Calderon et. al, 2015)

### 1.3. Ψηφιακή Επεξεργασία και Ανάλυση Εικόνας

#### 1.3.1 Χρώμα

Το χρώμα είναι αποτέλεσμα της επίδρασης της ακτινοβολίας φωτεινών πηγών και της ανάκλασης των επιφανειών των αντικειμένων και γίνεται αντιληπτό από διάφορους οπτικούς αισθητήρες αλλά και από το ανθρώπινο μάτι. Κάθε πηγή φωτός παράγει φως σε διαφορετικές ποσότητες και μήκη κύματος. Επίσης, το φως ανακλάται με διαφορετικό τρόπο σε κάθε μήκος κύματος, με αποτέλεσμα τα διάφορα αντικείμενα να αποκτούν το δικό τους φυσικό χρώμα. Συνεπώς, η αίσθηση του χρώματος προσδιορίζεται με μεγάλη ακρίβεια από

το ανθρώπινο οπτικό σύστημα, με βάση τόσο την έντασή του, όσο και την ανάκλαση της επιφάνειας των αντικειμένων. Ωστόσο, η αίσθηση του χρώματος είναι εξαιρετικά υποκειμενική και διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο, γι' αυτό και είναι εξαιρετικά δύσκολο να αποδοθεί με νούμερα. Ο στόχος των χρωματικών χώρων, και κατ' επέκταση, της χρωματομετρίας και των χρωματικών μοντέλων, είναι να διευκολύνουν τη διαδικασία περιγραφής του χρώματος, είτε μεταξύ ανθρώπων είτε μεταξύ μηχανών ή αλγορίθμων επεξεργασίας εικόνας (Παπαμάρκος, 2010).

### 1.3.2. Χρωματομετρία

Η επιστήμη που ασχολείται με τον ποσοτικό προσδιορισμό και την περιγραφή της ανθρώπινης αντίληψης του χρώματος είναι η χρωματομετρία. Η έννοια της χρωματομετρίας εμφανίστηκε το 1930 από την Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) με τη διεξαγωγή πειραμάτων οπτικής. Τα χρωματομετρικά συστήματα της CIE είναι τα μόνα παγκοσμίως αποδεκτά για την μέτρηση του χρώματος, καθώς σύμφωνα με την CIE, το χρώμα εκφράζεται με μαθηματικές τιμές οι οποίες προκύπτουν από μαθηματικές εξισώσεις. Η προσπάθεια να προσδιοριστεί επακριβώς το χρώμα ξεκίνησε στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα με τη δημιουργία χρωματικών μοντέλων, δηλαδή γεωμετρικών χώρων στους οποίους κάθε χρώμα αντιστοιχεί σε συγκεκριμένες συντεταγμένες. Το 1931, η CIE καθόρισε έναν τυποποιημένο παρατηρητή μέσω του υπολογισμού του μέσου όρου των χρωματικών αντιλήψεων ενός μεγάλου αριθμού παρατηρητών που είχαν κανονική όραση. Οι μετρήσεις αυτές βασίστηκαν στον καθορισμό των τριών βασικών χρωμάτων που είναι το μπλε το πράσινο και το κόκκινο. Με βάση τα παραπάνω, η CIE εισαγάγει το χρωματικό μοντέλο RGB με βάση την αρχή των τριών διεγέρσεων του ανθρώπινου οφθαλμού στο κόκκινο (Red), στο πράσινο (Green) και στο μπλε (Blue) (Παπαμάρκος, 2010).

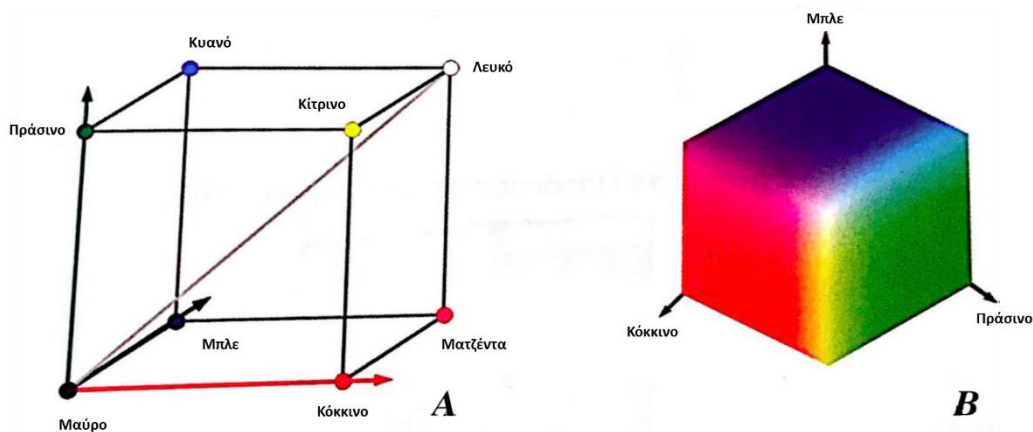
### 1.3.3. Χρωματομετρία στη Γεωργία

Το φυσικό χρώμα των φρούτων και των λαχανικών διαδραματίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο, καθώς αποτελεί έναν βασικό δείκτη ποιότητας και επηρεάζει το καταναλωτικό κοινό και τις επιλογές αυτού. Σε πολλές περιπτώσεις αποτελεί δείκτη φυσιολογικής ωριμότητας, γήρανσης ή δείκτη διαφόρων τραυματισμών. Παράλληλα όμως, μπορεί να είναι παραπλανητικός παράγοντας αν η παραγωγή, η συγκομιδή και οι χειρισμοί έγιναν με βάση εξωτερικούς παράγοντες χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η υφή και η γεύση. Οι επιλογές των καταναλωτών με βάση αποκλειστικά το χρώμα του γεωργικού προϊόντος δεν είναι πάντοτε επαρκείς και θα πρέπει να είναι αυστηρότερες, καθώς το προϊόν μπορεί να είναι ποιοτικά καλό αλλά λόγω του μη επιθυμητού χρωματισμού να θεωρείται κακής ποιότητας (Κουνάνη, 2018).

### 1.3.4. Χρωματικά Μοντέλα

#### 1.3.4.1. Το χρωματικό μοντέλο RGB (red, green, blue)

Το RGB είναι ένας αθροιστικός χρωματικός χώρος. Στον χώρο αυτό, κάθε χρώμα προκύπτει από το συνδυασμό τριών προκαθορισμένων (πρότυπων) χρωμάτων για το κόκκινο, το μπλε και το πράσινο. Η αντίληψη των χρωμάτων πραγματοποιείται μέσω της έντασής τους. Δηλαδή, χωρίς ένταση, κάθε ένα από τα τρία βασικά χρώματα γίνεται αντιληπτό ως μαύρο, ενώ η πλήρης ένταση οδηγεί στην αντίληψή τους ως λευκό. Οι διαφορετικές εντάσεις του κάθε χρώματος παράγουν και την απόχρωσή τους, ενώ η διαφορά στην ένταση ενός χρώματος καθορίζει την καθαρότητά του. Το μοντέλο αυτό φαίνεται στην Εικόνα 1.7.A όπου στις τρεις γωνίες του κύβου, που είναι πάνω στους άξονες, βρίσκονται τα τρία κύρια χρώματα. Το κυανό, το ματζέντα και το κίτρινο βρίσκονται στις άλλες τρεις κορυφές, ενώ το μαύρο είναι στην αρχή των αξόνων και το άσπρο στην αντιδιαμετρική κορυφή από την αρχή των αξόνων. Τα επίπεδα του γκρι εκφράζονται με τιμές συντεταγμένων που βρίσκονται στο ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει την κορυφή του μαύρου χρώματος με αυτήν του άσπρου. Ένα οποιοδήποτε άλλο σημείο μέσα ή πάνω στον κύβο εκφράζει και ένα διαφορετικό χρώμα (Εικόνα 1.7.B). Η Εικόνα 1.7. δίνει τη χρωματική κατανομή των χρωμάτων στον κύβο RGB (Παπαμάρκος, 2010).



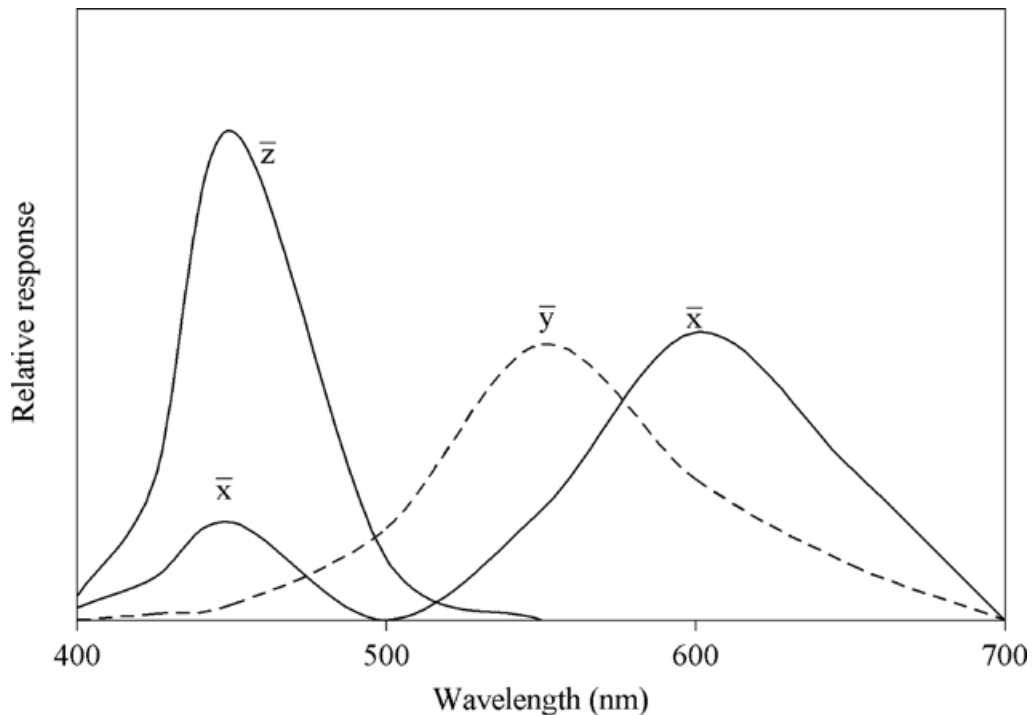
Εικόνα 1.7. Χρωματική κατανομή των χρωμάτων στον κύβο RGB (Πηγή:Παπαμάρκος, 2010)

#### 1.3.4.2. Το χρωματικό μοντέλο CIE XYZ

Το χρωματικό μοντέλο CIE XYZ αποτελεί ένα τριχρωματικό σύστημα. Στο σύστημα αυτό, κάθε χρώμα μπορεί να αντιστοιχηθεί με μια κατάλληλη ανάμειξη των τριών βασικών χρωμάτων -κόκκινο, πράσινο και μπλε- τα οποία αναπαρίστανται με τα X, Y και Z. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί το διάγραμμα του κορεσμού για τον προσδιορισμό των διαφόρων χρωμάτων. Μετά τον καθορισμό των προδιαγραφών ενός χρώματος, μετρούνται η ανακλαστικότητα και η διαπερατότητα αυτού σε κάθε μήκος κύματος. Οι τιμές σταθμίζονται από σχέσεις που εκπροσωπούν τις σχετικές εντάσεις της ανάκλασης στα διάφορα μήκη κύματος και οι οποίες γίνονται αντιληπτές από έναν παρατηρητή – όργανο ως μπλε, πράσινο

και κόκκινο. Η εφαρμογή της στάθμισης σε μια καμπύλη ανάκλασης δίνει τις τριχρωματικές τιμές, οι οποίες σημειώνονται με τα γράμματα X, Y και Z.

Σύμφωνα με την Εικόνα 1.8., το χρώμα μπορεί να υπολογιστεί από ένα φάσμα εκπομπής ή ανάκλασης. Το φάσμα του δείγματος (R) πολλαπλασιάζεται με το φάσμα της φωτεινής πηγής (E) και η περιοχή της κάθε καμπύλης περιορίζεται στα όρια των x, y, z.



Εικόνα 1.8. Καμπύλες ανάκλασης για κάθε συστατικό κόκκινο (x) πράσινο(y) και μπλε (z) (Sahin & Sumnu, 2006)

Αυτό μπορεί να περιγραφεί μαθηματικά με τις εξισώσεις 1-3:

$$X = \int_{380}^{750} R E x \, dx \quad (1)$$

$$Y = \int_{380}^{750} R E y \, dy \quad (2)$$

$$Z = \int_{380}^{750} R E z \, dz \quad (3)$$

Στη συνέχεια, οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των χρωματικών συντεταγμένων οι οποίες συμβολίζονται με x (κόκκινο), y (πράσινο) και z (μπλε). Οι τιμές των x, y, z μπορούν να υπολογιστούν με βάση τις εξισώσεις 4-6 (Sahin and Sumnu 2006, Ohta and Robertson 2006):



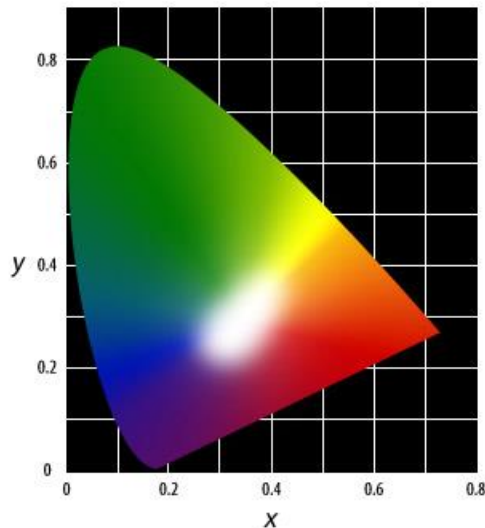
$$x = \frac{x}{X+Y+Z} \tag{4}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} \tag{5}$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z} \tag{6}$$

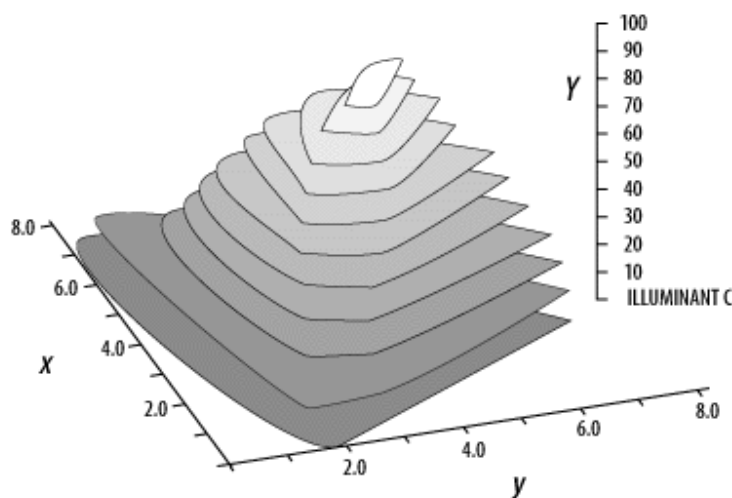
Δεδομένου ότι το άθροισμα των συντεταγμένων  $x$ ,  $y$ ,  $z$  ισούται πάντα με την μονάδα, μόνο οι τιμές των  $x$  και  $y$  μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή ενός χρώματος.

Η απεικόνιση των  $x$  και  $y$  οδηγεί σε ένα διάγραμμα κορεσμού (Εικόνα 1.9.). Η τρίτη



Εικόνα 1.9. Το διάγραμμα του κορεσμού (Πηγή:Adobe, 2000)

διάσταση ορίζεται από την συντεταγμένη  $Y$ . Το χρώμα ορίζεται από τις συντεταγμένες  $x$ ,  $y$  και την φωτεινότητα  $Y$  (Εικόνα 1.10.). Όλα τα πραγματικά χρώματα βρίσκονται μέσα στο πέταλο που σχηματίζεται στο διάγραμμα και σημειώνονται με τα μήκη κύματος των χρωμάτων του φάσματος. Το χρώμα διαβάζεται από το διάγραμμα. Μόλις το σημείο εντοπιστεί στο διάγραμμα καθορίζονται η χροιά και ο κορεσμός του χρώματος (Adobe, 2000).



Εικόνα 1.10. Τρισδιάστατη απεικόνιση του  $xyz$  (Πηγή:Adobe, 2000).

### 1.3.4.3. Χρωματικό μοντέλο CIE L\*a\*b\*

Το 1976, η CIE παρουσίασε το χρωματικό μοντέλο CIE Lab ή L\*a\*b\*. Το μοντέλο αυτό προέρχεται από τον χώρο CIE XYZ. Πρόκειται για ένα ομοιόμορφο οπτικά χρωματικό χώρο (uniform color space), ο οποίος προσομοιάζει καλύτερα από όλα τα χρωματικά συστήματα ή μοντέλα στην ανθρώπινη αντίληψη των χρωμάτων και των διαφορών στην αίσθησή τους. Το κάθε χρώμα περιγράφεται από τρεις παράγοντες, όπως και στο χρωματικό μοντέλο RGB (Χατζής, 2007).

Η πρώτη φάση του CIE L\*a\*b\* ολοκληρώθηκε από την CIE το 1931. Αρχικά αναπτύχθηκε ως μια αντικειμενική μέθοδος αξιολόγησης του χρώματος που χρησιμοποιούσε μια πηγή φωτός, ένα δείγμα και έναν παρατηρητή. Η μέθοδος αυτή ονομάστηκε «παρατηρητής των δυο μοιρών» καθώς η αρχή της βασίστηκε σε ένα οπτικό πεδίο δυο μοιρών που είναι ισοδύναμο με αυτό που βλέπει το ανθρώπινο μάτι από μία συγκεκριμένη απόσταση. Το 1965, η CIE πραγματοποίησε δύο βασικές αλλαγές στο σύστημά της, διευρύνοντας το πεδίο του παρατηρητή στις 10° και ορίζοντας μια πηγή φωτός που προσομοιάζει το φως της ημέρας.

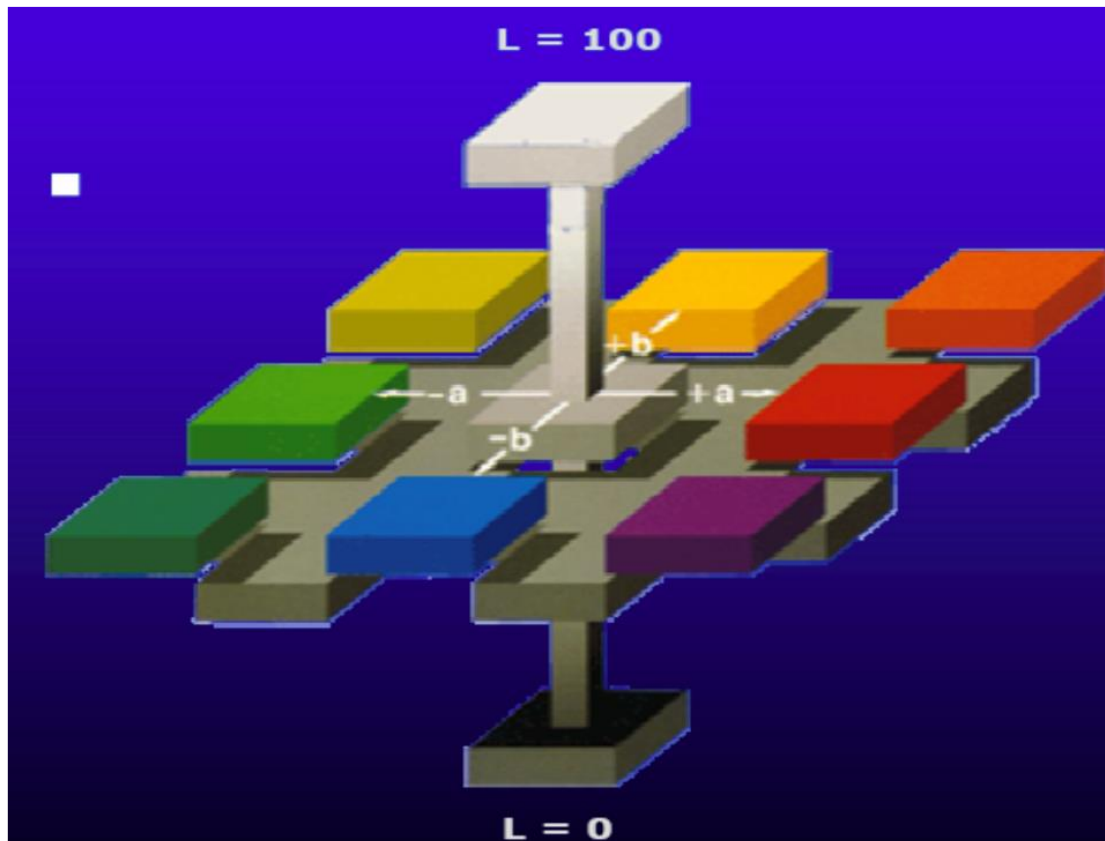
Στο CIE Lab οι χρωματικοί παράγοντες ονομάζονται L\*, a\*, b\* και απεικονίζονται σε τρισδιάστατο καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων (Εικόνα 1.11.). Ο παράγοντας L\* (Lightness) αποθηκεύει όλη την πληροφορία φωτεινότητας της εικόνας και παίρνει τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό). Οι παράγοντες a\* και b\* αποθηκεύουν όλη την πληροφορία χρώματος και λαμβάνουν απεριόριστες αριθμητικές τιμές. Θετικές τιμές του a\* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κόκκινου, ενώ αρνητικές τιμές αποχρώσεις του πράσινου. Θετικές τιμές του b\* αντιπροσωπεύουν αποχρώσεις του κίτρινου, ενώ αρνητικές αποχρώσεις του μπλε. Οι συντεταγμένες L\*, a\*, b\* μπορούν να υπολογιστούν από τις τριχρωματικές συντεταγμένες X,Y,Z σύμφωνα με τις παρακάτω εξισώσεις 7-9:

$$L^* = 116F(Y/Y_n) \quad (7)$$

$$a^* = 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \quad (8)$$

$$b^* = 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \quad (9)$$

Στις σχέσεις αυτές ο δείκτης n αναφέρεται στις τριχρωματικές τιμές (tristimulus values) του δείγματος με τέλεια διάχυση για το συγκεκριμένο φωτισμό και το συγκεκριμένο παρατηρητή (Sahin and Sumnu 2006, HunterLab, 1996).

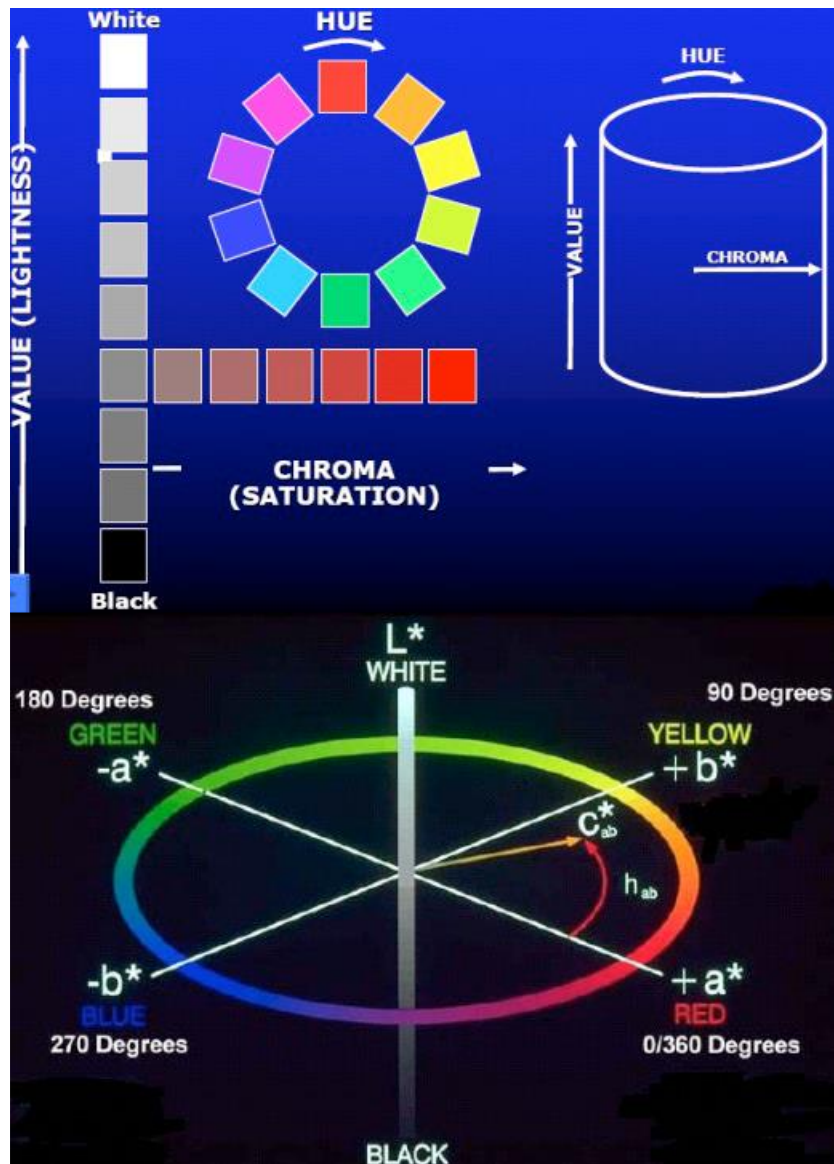


Εικόνα 1.11.  $L=100$  (άσπρο),  $L=0$  (μαύρο),  $-a$  (πράσινο),  $+a$  (κόκκινο),  $-b$  (μπλε),  $+b$  (κίτρινο) (Πηγή: Χατζής Ε., 2007.α)

Το  $CIE L^*a^*b^*$  συγκρίνει ένα δείγμα με ένα πρότυπο (standard) και πραγματοποιεί έναν αριθμητικό προσδιορισμό βασισμένο στις χρωματικές διαφορές του δείγματος με το πρότυπο. Η διαφορά της φωτεινότητας  $L^*$  ( $\Delta L^*$ ) όταν είναι θετική, το δείγμα είναι πιο φωτεινό από το πρότυπο, ενώ όταν είναι αρνητική, το δείγμα είναι πιο σκούρο. Παράλληλα, όταν η διαφορά  $\Delta a^*$  είναι θετική, τότε το δείγμα είναι πιο κόκκινο από το πρότυπο, ενώ όταν είναι αρνητική, τότε είναι πιο πράσινο. Αντίστοιχα, όταν η διαφορά  $\Delta b^*$  είναι θετική, το δείγμα είναι πιο κίτρινο από το πρότυπο και όταν είναι αρνητική, τότε το δείγμα είναι πιο μπλε. Επιπροσθέτως, όταν η διαφορά  $\Delta C$  είναι θετική, τότε το χρώμα έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το πρότυπο, ενώ όταν είναι αρνητική έχει μικρότερη. Τέλος, όταν η διαφορά  $\Delta h$  είναι θετική, τότε θα είναι πιο κοντά στο αντίθετο χρώμα από αυτό του πρότυπου και όταν είναι αρνητική, για παράδειγμα για ένα κόκκινο δείγμα, η χροιά του θα είναι πιο μπλε από του πρότυπου (Binder-muc, 2010, Rite Systems 2006).

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του μοντέλου είναι η ανεξαρτησία των πληροφοριών φωτεινότητας και χρώματος. Επίσης, εξίσου σημαντικό είναι το ότι το μοντέλο  $CIE Lab$  είναι ανεξάρτητο και από τις ιδιότητες των συσκευών καταγραφής ή απεικόνισης, κάτι που δεν συμβαίνει με τα άλλα χρωματικά μοντέλα. Παράλληλα, το χρωματικό μοντέλο  $CIE Lab$  μπορεί να αναπαρασταθεί και σε κυλινδρικό σύστημα πολικών συντεταγμένων με το μοντέλο  $CIE L^*C^*h$  (Εικόνα 1.12). Όπου  $L^*$ : η φωτεινότητα,  $C^*$ : ο κορεσμός που προσδιορίζει την ένταση ή την καθαρότητα του χρώματος,  $h$ : η χροιά η οποία μετράται σε μοίρες και

προσδιορίζει την απόχρωση λαμβάνοντας τιμές 0° για το κόκκινο, 90° για το κίτρινο, 180° για το γαλαζοπράσινο και 270° για το μπλε.



Εικόνα 1.12. Εικόνα 6 Απεικόνιση του χρωματικού μοντέλου CIE Lab σε κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων  $L^*C^*h$  (Πηγή: Χατζής Ε., 2007)

Ο παράγοντας  $C^*$  υπολογίζεται από την εξίσωση 10 και βρίσκεται σε επιφάνεια που ξεκινά από το κέντρο του χρωματικού χώρου και δεν παίρνει ποτέ αρνητικές τιμές. Το ίδιο ισχύει και για τον παράγοντα  $h$ .

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (10)$$

Για τον υπολογισμό του παράγοντα  $h$  διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

$$h=0^\circ \text{ όταν } a^*=0 \text{ και } b^*=0 \quad (11)$$

$$h=90^\circ \text{ όταν } a^*=0 \text{ και } b^*>0 \quad h=\tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right), a^*>0 \text{ και } b^*\geq 0 \quad (12)$$

$$h=180^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \text{ όταν } a^*<0 \quad (13)$$

$$h=270^\circ \text{ όταν } a^*=0 \text{ και } b^*<0 \quad (14)$$

$$h=360^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \text{ όταν } a^*>0 \text{ και } b^*<0 \quad (15)$$

Οι παράγοντες του Lab δεν καθορίζουν απόλυτα τα χρώματα αν δεν καθοριστεί πρώτα και το λευκό σημείο (Χατζής 2007, Schanda, 2007).

#### 1.4. Θερμική Απεικόνιση

Η υπέρυθη θερμογραφία (IRT) μπορεί να οριστεί ως η επιστήμη της καταγραφής και της ανάλυσης δεδομένων από συσκευές θερμικής απεικόνισης χωρίς επαφή. Η διαδικασία της θερμικής απεικόνισης έχει απλοποιηθεί με την πάροδο των ετών με τη διαθεσιμότητα αποτελεσματικών υπέρυθρων φωτογραφικών μηχανών υψηλής ανάλυσης που μετατρέπουν την ακτινοβολία που γίνεται αισθητή από τις επιφάνειες σε θερμικές εικόνες (Rao, 2008). Ως θερμική απεικόνιση ορίζεται το προϊόν της υπέρυθρης θερμογραφίας (Infrared Thermography), η οποία ανήκει στον ευρύτερο τομέα της τηλεπισκόπησης. Η υπέρυθη θερμογραφία αποτελεί μια τεχνική απεικόνισης ενός αντικείμενου χρησιμοποιώντας τη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπει το αντικείμενο αυτό. Η εκπεμπόμενη υπέρυθη ακτινοβολία (IR) είναι αόρατη στο ανθρώπινο μάτι και ουσιαστικά οφείλεται στη θερμική κατάσταση του αντικείμενου που μελετάται (Μπραζιώτη, 2015).

##### 1.4.1. Ιστορικά Στοιχεία

Η ιστορία της θερμογραφίας ξεκινάει περίπου από το 1800, όπου ο William Herschel, ανακάλυψε το υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ο Herschel ήταν πολύ εξοικειωμένος με φακούς και κάτοπτρα δημιουργώντας τα δικά του τηλεσκόπια. Γνωρίζοντας ότι το φως του ήλιου απαρτιζόταν από όλα τα χρώματα του φάσματος, καθώς επίσης και ότι ήταν μια πηγή θερμότητας, ο Herschel ήθελε να ανακαλύψει ποια χρώματα ήταν υπεύθυνα για τη θέρμανση των αντικειμένων. Για να απαντήσει στο ερώτημα αυτό, σχεδίασε ένα πείραμα χρησιμοποιώντας ένα πρίσμα, ένα κομμάτι χαρτόνι και θερμόμετρα με μαυρισμένους λαμπτήρες, για τη μέτρηση των θερμοκρασιών διαφορετικών χρωμάτων. Ο Herschel παρατήρησε πως η θερμοκρασία αυξανόταν καθώς μετακινούσε το θερμόμετρο από το ιώδες στο κόκκινο χρώμα, στο ουράνιο τόξο το οποίο δημιουργείται από το φως του ήλιου που διέρχεται από το πρίσμα. Έτσι, ανακάλυψε πως η υψηλότερη θερμοκρασία βρισκόταν πραγματικά πέρα από το κόκκινο φως και συνεπώς, η ακτινοβολία που προκαλούσε αυτή η θέρμανση δεν ήταν ορατή. Ο Herschel ονόμασε αυτή την αόρατη ακτινοβολία «θερμιδικές ακτίνες». Σήμερα, τη γνωρίζουμε ως υπέρυθη ακτινοβολία.

Περίπου τριάντα χρόνια μετά την ανακάλυψη της υπέρυθρης ακτινοβολίας αναπτύχθηκε ο πρώτος ανιχνευτής που χρησιμοποιούσε αυτόν τον τύπο της ακτινοβολίας και αναφερόταν ως «Θερμοπύλες». Το 1880, η ανακάλυψη των βολομέτρων (τα οποία περιείχαν υλικά των οποίων η ηλεκτρική αντίσταση αλλάζει με τη θερμοκρασία) επέτρεψε μια σημαντική βελτίωση στην ευαισθησία για την ανίχνευση υπέρυθρων ακτίνων.

Μεταξύ των δεκαετιών του 1930 και του 1960 αναπτύχθηκαν αρκετοί υπέρυθροι ανιχνευτές, κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς. Το εύρος των μηκών κύματος στο οποίο οι ανιχνευτές υπέρυθρων ήταν ευαίσθητοι εξαρτιόταν από τα υλικά της κατασκευής τους. Για παράδειγμα, ο Θειούχος Μόλυβδος (PbS) ήταν ευαίσθητος στο εύρος 1,5 - 3 μm, το Αντιμονιούχο Ινδίο (InSb) στην περιοχή 3 - 5 μm, και τα Υδράργυρος - Κάδμιο - Τελλούριο (HgTeCd) ήταν ευαίσθητα στην περιοχή μεταξύ 8–14 μm. Οι πρώτες εμπορικές υπέρυθρες κάμερες εμφανίστηκαν στο τέλος της δεκαετίας του '60. Στη δεκαετία του '90 μια νέα παραγωγή του εξοπλισμού με ανιχνευτές συστοιχίας εμφανίστηκε στην αγορά. Αυτός ο νέος εξοπλισμός επέτρεψε την ταυτόχρονη ένδειξη θερμοκρασίας σε διαφορετικά σημεία και δεν απαιτούσε κρυογονικά συστήματα ψύξης (Barreira et al., 2012).

#### 1.4.2. Υπέρυθρες Κάμερες

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, η υπέρυθρη κάμερα (Εικόνα 1.13.) είναι μια συσκευή, η οποία ανιχνεύει την υπέρυθρη ενέργεια (θερμότητα) και τη μετατρέπει σε ηλεκτρονικό σήμα χωρίς επαφή. Στη συνέχεια, το σήμα αυτό επεξεργάζεται με αποτέλεσμα την παραγωγή μιας Θερμικής εικόνας ή βίντεο, το οποίο παρακολουθεί και υπολογίζει τη θερμοκρασία. Η θερμότητα η οποία ανιχνεύεται από μια υπέρυθρη κάμερα μπορεί να ποσοτικοποιηθεί ή να μετρηθεί με μεγάλη ακρίβεια, επιτρέποντας να παρακολουθούνται όχι μόνο οι θερμικές επιδόσεις, αλλά και ο εντοπισμός και η αξιολόγηση της σχετικής σοβαρότητας των όποιων ζητημάτων σχετίζονται με τη θερμότητα. Οι πρόσφατες καινοτομίες, ιδιαίτερα η τεχνολογία ανιχνευτών, η ένταξη της ενσωματωμένης οπτικής απεικόνισης, η αυτόματη λειτουργία και η ανάπτυξη λογισμικού υπέρυθρων, παρέχουν τις πλέον οικονομικές και αποτελεσματικές μεθόδους θερμικής ανάλυσης. Η ψηφιακή αποθήκευση εικόνας παράγει βαθμονομημένες θερμικές εικόνες που περιέχουν πάνω από 78 χιλιάδες ανεξάρτητες μετρήσεις θερμοκρασίας που μπορούν να μετρηθούν σε οποιαδήποτε στιγμή (Barreira et al., 2012).



Εικόνα 1.13. Παραδείγματα αισθητήρων υπέρυθρης απεικόνισης (Chen et al., 2012)

### 1.4.3. Θεωρητικό Υπόβαθρο Θερμικής Απεικόνισης

#### 1.4.3.1. Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Φάσμα -με τη φυσική έννοια- ονομάζεται η απεικόνιση της έντασης ενός συνόλου ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε συνάρτηση με τη συχνότητα ή το μήκος κύματος αυτών. Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας καλύπτει μια πολύ μεγάλη περιοχή μηκών κύματος και χωρίζεται σε επιμέρους κατηγορίες ακτινοβολίας, ανάλογα με την προέλευση, τη δημιουργία και τις εφαρμογές που χαρακτηρίζουν την ακτινοβολία για κάθε συγκεκριμένο διάστημα μήκους κύματος.

Όλοι οι τύποι της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ακολουθούν τους ίδιους φυσικούς νόμους που αφορούν τη διάθλαση, την ανάκλαση και τη σκέδασή τους. Η ταχύτητα διάδοσης θεωρείται ίδια με την ταχύτητα διάδοσης του φωτός και για κάθε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ισχύει η παρακάτω θεμελιώδης σχέση:

$$\lambda \cdot f = c \quad (16)$$

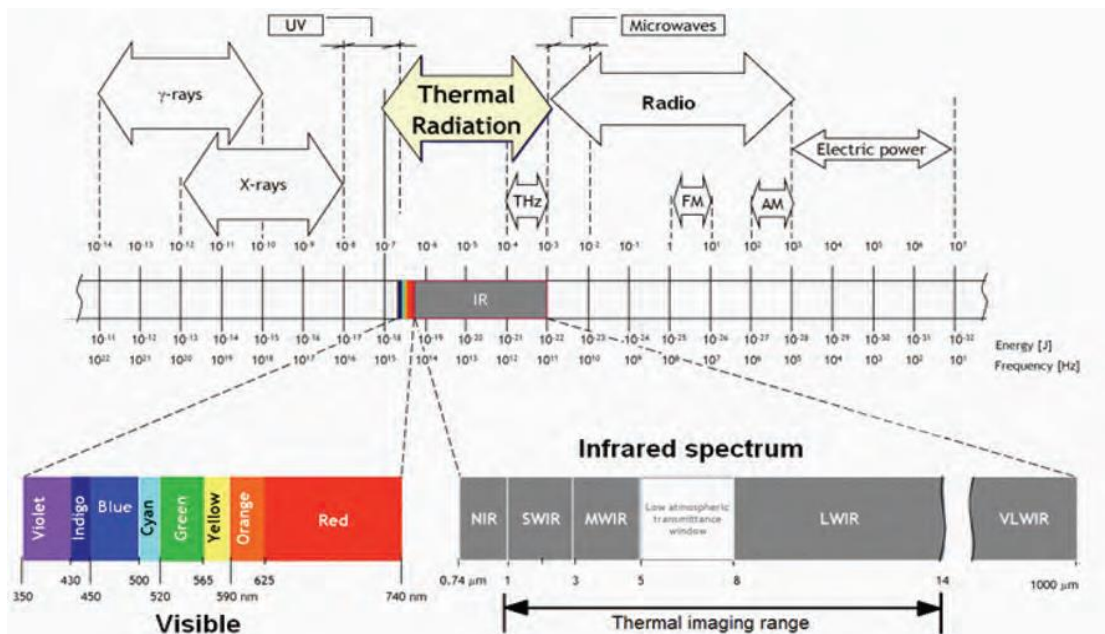
όπου:

$\lambda$ : το μήκος κύματος της ακτινοβολίας

$f$ : η συχνότητα διάδοσής της

$c$ : η ταχύτητα του φωτός ( $3 \cdot 10^8$  km/sec)

Στην Εικόνα 1.14. παρουσιάζεται το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και οι κύριες περιοχές στις οποίες χωρίζεται με βάση το μήκος κύματος, καθώς και μεγέθυνση της περιοχής της ορατής και της υπέρυθρης ακτινοβολίας.



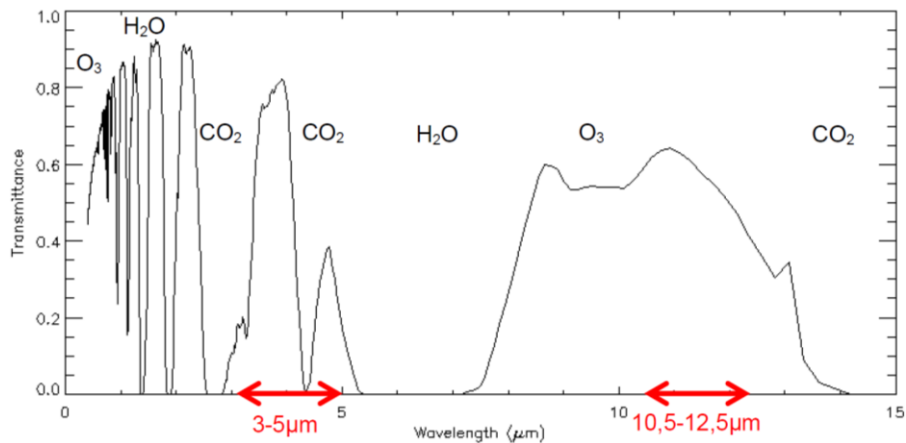
Εικόνα 1.14. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα με απεικόνιση της ταξινόμησης υπέρυθρης ακτινοβολίας και των αντίστοιχων μηκών κύματος (Chen et al., 2012)

Στις αρχές του 20ου αιώνα οι Planck, Stefan-Boltzmann, Wien και Kirckhhoff όρισαν με ακρίβεια το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και έθεσαν τα θεμέλια της ποσοτικής και ποιοτικής περιγραφής της υπέρυθρης ενέργειας (Στεργίου και Νικολάου, 2009).

Δεν υπάρχει αυστηρός ή φυσικός ορισμός του ακριβούς εύρους του θερμικού υπέρυθρου τμήματος. Σύμφωνα με τον Sabins (1996), η θερμική περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας εκτείνεται σε μήκη κύματος από περίπου 3 έως 14  $\mu$ m. Σε αυτό το εύρος η θερμική χαρτογράφηση της επιφάνειας της γης είναι δυνατή λόγω των ατμοσφαιρικών παραθύρων με εύρος 3 - 5  $\mu$ m, καθώς και στο εύρος 8 - 14  $\mu$ m. Εντός του εύρους 3 - 5  $\mu$ m, το φως του ήλιου που αντανακλάται εξακολουθεί να εκπέμπει ελάχιστα το θερμικό σήμα.

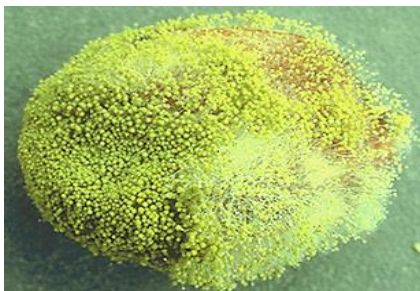
Στην Εικόνα 1.15. παρουσιάζεται η θερμική υπέρυθη περιοχή του μήκους κύματος και οι χαρακτηριστικές ζώνες απορρόφησης που προκαλούνται από αέρια, νερό καθώς και η ατμοσφαιρική διαπερατότητα (ατμοσφαιρικά παράθυρα) (Kuenzer and Dech, 2013).





Εικόνα 1.15. Η περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας, οι τυπικές ζώνες απορρόφησης που προκαλούνται από τα αέρια της ατμόσφαιρας και το νερό και η ατμοσφαιρική διαπερατότητα (ατμοσφαιρικά παράθυρα) (Kuenzer and Dech, 2013)

### 1.5. Σήψη των Κελυφωτών Φιστικιών από Μύκητες *Aspergillus spp.*

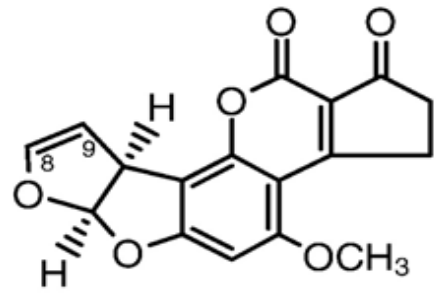


Εικόνα 1.16. Αποκελυφωμένο φιστίκι με μόλυνση από το μύκητα *A. flavus* (www.apsnet.org)

Η φιστικιά (*Pistacia vera* L.) αποτελεί μια μικρή καλλιέργεια για την Ελλάδα αν και η έκταση που καταλαμβάνει έχει αυξηθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Είναι ένα καρποφόρο δένδρο με μικρές απαιτήσεις ως προς το έδαφος και το κλίμα. Ο καρπός του, το κελυφωτό φιστίκι, θεωρείται από τους πιο εύγευστους ξηρούς καρπούς. Ίσως αυτοί είναι οι λόγοι για τους οποίους η καλλιέργεια του δένδρου έχει επεκταθεί παγκοσμίως και αποτελεί αντικείμενο διεθνούς ενδιαφέροντος. Το περίφημο φιστίκι Αιγίνης έχει χαρακτηριστεί προϊόν Προστατευομένης Ονομασίας Προέλευσης (ΠΟΠ) από την ΕΕ, όπως επίσης και της Φθιώτιδας και των Μεγάρων (Γεωργιάδου, 2009). Όσον αφορά τα φυτοπαθολογικά προβλήματα της καλλιέργειας της φιστικιάς, το κελυφωτό φιστίκι μολύνεται από ένα πλήθος μικροοργανισμών. Μεταξύ αυτών των μικροοργανισμών βρίσκονται και οι αφλατοξικογόνοι μύκητες *Aspergillus flavus* και *Aspergillus parasiticus* που μπορούν να προκαλέσουν τροφική δηλητηρίαση ή άλλες τοξικές επιδράσεις στον άνθρωπο (Aldars-García et al., 2016, Εικόνα 1.16.).

Οι αφλατοξίνες είναι προϊόντα του δευτερογενούς μεταβολισμού διαφόρων στελεχών μυκήτων και αποτελούν μια από τις σημαντικότερες ομάδες μυκοτοξινών. Πολλές αφλατοξίνες προκαλούν οξεία και χρόνια τοξικότητα σε ένα ευρύ φάσμα οργανισμών, ενώ χαρακτηρίζονται από μεταλλαξιογόνο, καρκινογόνο και τερατογόνο δράση. Ο Διεθνής Οργανισμός Έρευνας για τον Καρκίνο κατατάσσει την αφλατοξίνη Β1 (Εικόνα 1.17.) στον κατάλογο των πιθανών καρκινογόνων παραγόντων του ανθρώπου. Λόγω των σημαντικών κινδύνων για την υγεία των καταναλωτών που συνδέονται με την παρουσία αφλατοξινών στα τρόφιμα, έχουν καθοριστεί μέγιστα όρια τόσο στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Κανονισμός 165/2010 της Ευρωπαϊκής Επιτροπής), όσο και σε άλλες χώρες του κόσμου. Τα μέγιστα όρια για την

αφλατοξίνη B1 είναι  $12 \text{ mg kg}^{-1}$  για τα κελυφωτά φιστίκια όταν πρόκειται να υποβληθούν σε διαλογή ή άλλη φυσική επεξεργασία πριν από την ανθρώπινη κατανάλωση ή να χρησιμοποιηθούν ως συστατικό των τροφίμων, και  $8 \text{ mg kg}^{-1}$  για τα κελυφωτά φιστίκια που προορίζονται για άμεση κατανάλωση από τον άνθρωπο. Σύμφωνα με το σύστημα RASFF (σύστημα ταχείας προειδοποίησης της ΕΕ για τα τρόφιμα και τις ζωοτροφές) το 2014, υπήρχαν 125 κοινοποιήσεις που αφορούσαν παρουσία αφλατοξινών σε ξηρούς καρπούς, προϊόντα με βάση τους ξηρούς καρπούς και σπόρους από το Ιράν, την Κίνα και την Τουρκία (Aldars-García et al., 2016, Georgiadou et al., 2012).



Εικόνα 1.17. Η μοριακή δομή της αφλατοξίνης B1 (Molyneux et al., 2007)

Οι μολύνσεις των ξηρών καρπών μπορεί να εμφανιστούν σε όλη την τροφική αλυσίδα, αλλά είναι πιο συχνές κατά τη διάρκεια του σταδίου πριν τη συγκομιδή. Εντούτοις μπορεί να συμβεί κατά την αποθήκευση, την επεξεργασία, τη μεταφορά και τη συσκευασία, εάν δεν έχουν ληφθεί τα κατάλληλα προληπτικά μέτρα. Κατά το στάδιο μετά τη συγκομιδή, η ανάπτυξη των μυκήτων περιορίζεται δραστικά εάν οι φρέσκοι συγκομισμένοι καρποί ξηρανθούν όσο το δυνατόν γρηγορότερα στο 6% της περιεκτικότητάς τους σε υγρασία και στη συνέχεια αποθηκευτούν στην ψύξη. Ωστόσο, η μεταφορά των ξηρών καρπών δεν πραγματοποιείται πάντοτε σε κατάλληλες συνθήκες ψύξης, καθώς αυτό αποτελεί μια οικονομικό κόστος. Είναι αξιοσημείωτο ότι οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας κατά τη μεταφορά και τη λιανική αποθήκευση μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα και την ασφάλεια των τροφίμων. Αυξήσεις της θερμοκρασίας και της υγρασίας της συσκευασίας των κελυφωτών φιστικιών κατά τη μεταφορά και αποθήκευση μπορεί να επιτρέψουν την ανάπτυξη μυκήτων και την παραγωγή μυκοτοξινών. Συνεπώς, είναι σημαντικό να ελέγχονται οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας κατά τη μεταφορά των κελυφωτών φιστικιών, έτσι ώστε να μην διακινδυνεύεται η ασφάλεια του τελικού προϊόντος.

## 1.6. Η Ασθένεια της Όξινης Σήψης των Σταφυλιών

Η αμπελοκαλλιέργεια είναι ιδιαίτερα σημαντική για την Ευρώπη, καθώς η ευρωπαϊκή οινοπαραγωγή αντιπροσωπεύει περίπου το 70% της παγκόσμιας παραγωγής και τόσο ο οίνος, όσο και τα σταφύλια αποτελούν ένα σημαντικό εξαγωγικό εμπόρευμα για πολλές ευρωπαϊκές χώρες. Μία από τις σημαντικότερες ασθένειες της αμπέλου είναι η σήψη των σταφυλιών, γνωστή ως όξινη σήψη ή μαύρη σήψη (Εικόνα 9). Η μόλυνση των ραγών προκαλείται κυρίως από το μαύρους ασπέργιλλους και είναι πολύ συχνή στους αμπελώνες, με την σοβαρότητα της ασθένειας να αυξάνεται σημαντικά στις θερμότερες χώρες παραγωγής σταφυλιών του Νότου, δηλαδή στην Ισπανία, την Ιταλία, τη Γαλλία και την Ελλάδα. Οι μαύροι ασπέργιλλοι φαίνεται να προκαλούν δευτερογενείς μολύνσεις σε ράγες σταφυλιών οι οποίες έχουν ήδη υποστεί κάποια βλάβη από τη βροχή πριν από τη συγκομιδή, από άλλους μύκητες ή έντομα ή μηχανικές βλάβες. Το έδαφος και τα υπολείμματα αμπέλου

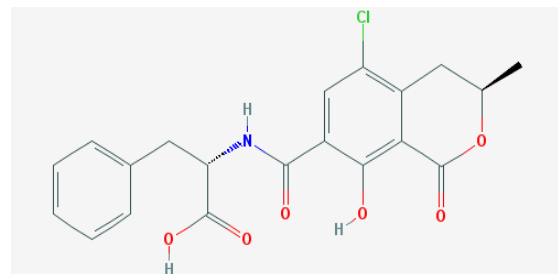
στο έδαφος είναι οι κύριες πηγές του των μυκήτων *Aspergillus* spp. καθώς εκεί το παθογόνο μπορεί να επιβιώνει και να διαχειμάζει (Tsitsigiannis et al., 2012).

Παράλληλα, η ωχρατοξίνη Α (ochratoxin A – OTA, Εικόνα 10) είναι η σημαντικότερη μυκοτοξίνη που συναντάται στα σταφύλια και στα προϊόντα σταφυλιών και θεωρείται μια ευρέως απαντώμενη φυσική μολυσματική ουσία. Η OTA έχει ταξινομηθεί ως καρκινογόνος ουσία της ομάδας 2B από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), καθώς εμφανίζει νεφροτοξικές, ηπατοτοξικές, τερατογόνες και ανοσοκατασταλτικές ιδιότητες που επηρεάζουν σοβαρά την ανθρώπινη υγεία. Γενικά, οι ωχρατοξίνες (OTs) είναι δευτερογενείς μεταβολίτες που παράγονται από διάφορα είδη νηματοειδών μυκήτων που ανήκουν στο γένος *Aspergillus* ή *Penicillium*. Ο *A. carbonarius* θεωρείται το σημαντικότερο είδος όσον αφορά την παραγωγή της OTA στα σταφύλια, ειδικά σε αμπελώνες που καλλιεργούνται σε θερμά κλίματα (Larra et al., 2017). Όσον αφορά την παρουσία OTA σε αμπελοκομικά προϊόντα, αυτή διαπιστώθηκε για πρώτη φορά σε επιμολυσμένο κρασί το 1996 (Tsitsigiannis et al., 2012).



Εικόνα 1.18. Σταφύλια μολυσμένα με τον μύκητα *Aspergillus carbonarius* (Ditakoroulou et al., 2008)

Στα πλαίσια της πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ασφάλεια των τροφίμων, έχει καθοριστεί ως ανώτατο όριο αυτό των  $2,0 \mu\text{g kg}^{-1}$  (ppb) (Ευρωπαϊκή Επιτροπή 2007) για την προστασία των καταναλωτών. Μετά την πρώτη ανίχνευση OTA στον οίνο σε αρκετές χώρες, οι μετέπειτα μελέτες έδειξαν ότι ο μύκητας *A. carbonarius* είναι κυρίως υπεύθυνος για την επιμόλυνση σταφυλιών, σταφίδων, οίνων, χυμών σταφυλιών και αμπελιών με OTA. Οι αναλύσεις των δειγμάτων κρασιού σε όλη την Ευρώπη έχουν δείξει ότι υπάρχει μειωμένη διαβάθμιση της συγκέντρωσης OTA από τους κόκκινους, τους ροζέ και τέλος τους λευκούς οίνους. Επίσης, αξίζει να επισημανθεί πως ορισμένες περιοχές της Νότιας Ευρώπης παρουσιάζουν ιδιαίτερα σημαντικές μολύνσεις των αμπελοκαλλιεργειών με το ωχρατοξικογόνα είδη του γένους *Aspergillus*. Παράλληλα, η OTA βρέθηκε επίσης σε πολύ υψηλότερες συγκεντρώσεις (μέγιστο  $53 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) σε αποξηραμένα σταφύλια από ότι στον οίνο, γεγονός που υποδηλώνει πως το είδος *A. carbonarius* μπορεί να κυριαρχήσει στο οικοσύστημα των αποξηραμένων σταφυλιών. Επιπλέον, στην Ελλάδα παρατηρήθηκε τάση αύξησης της μόλυνσης από OTA σε κόκκινους ξηρούς οίνους από το βόρειο έως το νότιο τμήμα της χώρας. Υπάρχει μια σημαντική έλλειψη γνώσης στην Ευρώπη σχετικά με τις ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες πριν από τη συγκομιδή, τη σχέση των συνθηκών



Εικόνα 1.19. Η μοριακή δομή της ωχρατοξίνης Α (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>)

αυτών με τον κίνδυνο επιμόλυνσης των σταφυλιών από την ΟΤΑ και την τύχη της ΟΤΑ κατά τη διαδικασία της οινοπαραγωγής (Tsitsigiannis et al., 2012).

### 1.7. Η Σήψη Σπόρου Κριθαριού από Μύκητες *Aspergillus* spp.

Το κριθάρι είναι μια εξαιρετικής σημασίας καλλιέργεια όσον αφορά τα τρόφιμα και τις ζωοτροφές σε ολόκληρο τον κόσμο (McMullen et al., 2012). Παράλληλα, το κριθάρι χρησιμοποιείται στη βυνοζηθοποιία και σε άλλες βιομηχανικές χρήσεις, όπως η παραγωγή αμύλου (Καραμάνος, 2008). Παράλληλα, το κριθάρι μαζί με τα υπόλοιπα δημητριακά θεωρούνται ως η κύρια πηγή μυκοτοξινών για τον άνθρωπο (Miraglia and Brera, 2002). Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, οι αφλατοξίνες παράγονται από διάφορα είδη μυκήτων και ένα από αυτά είναι ο *A. flavus*, που μπορεί να προσβάλει και το κριθάρι. Αξίζει να σημειωθεί πως το συγκεκριμένο είδος μαζί με το είδος *A. parasiticus* θεωρούνται τα βασικά αίτια επιμόλυνσης του κριθαριού με αφλατοξίνες (Lasram et al., 2016, Mateo et al., 2011, Maenetje and Dutton, 2007, Medina et al., 2006). Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι η ανάπτυξη μυκήτων ευνοείται κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης και της βλάστησης του σπόρου του κριθαριού (Oliveira et al., 2012).

Παράλληλα, το πρόβλημα παρουσίας μυκήτων μυκοτοξινών σε σπόρους κριθαριού και στη βύνη είναι ένα πρόβλημα για τις βιομηχανίες βυνοζυθοποιίας και ζυθοποιίας, με αντίκτυπο στην ασφάλεια και την ποιότητα τόσο της βύνης, όσο και της μύρας (Zenklusen et al., 2017). Στην ανάπτυξη του συγκεκριμένου παθογόνου, ιδιαίτερη σημασία φαίνεται να έχει τόσο η θερμοκρασία όσο και η ενεργότητα του νερού (Lasram et al., 2016). Το κριθάρι ή/και άλλα συστατικά που χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία της ζυθοποιίας, όπως το καλαμπόκι ή το σιτάρι, μπορεί να μολυνθούν από μύκητες και μυκοτοξίνες τόσο όσο βρίσκονται στον αγρό, όσο και κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης (Gonzalez et al., 2011, Molto et al., 2000). Σύμφωνα με τον Noots και τους συνεργάτες του (1998) τρία είναι τα κύρια στάδια που διακρίνονται στη διαδικασία της βυνοποίησης: διαβροχή των καρπών, βλάστηση και διακοπή του φυτρώματος. Μετά τη διακοπή του φυτρώματος και τον καθαρισμό του σπόρου του κριθαριού, παρατηρούνται κάποια ριζίδια στα οποία μπορεί και αναπτύσσεται ο μύκητας *A. flavus* και να παράγει αφλατοξίνες (Ribeiro et al., 2006). Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν σε άρθρο του Peters και των συνεργατών του (2016):

Πίνακας 1.2. Αποτελέσματα ανίχνευσης αφλατοξινών σε δείγματα μπίρας στα πλαίσια διενεργηθέντων ελέγχων (Peters et al., 2016)

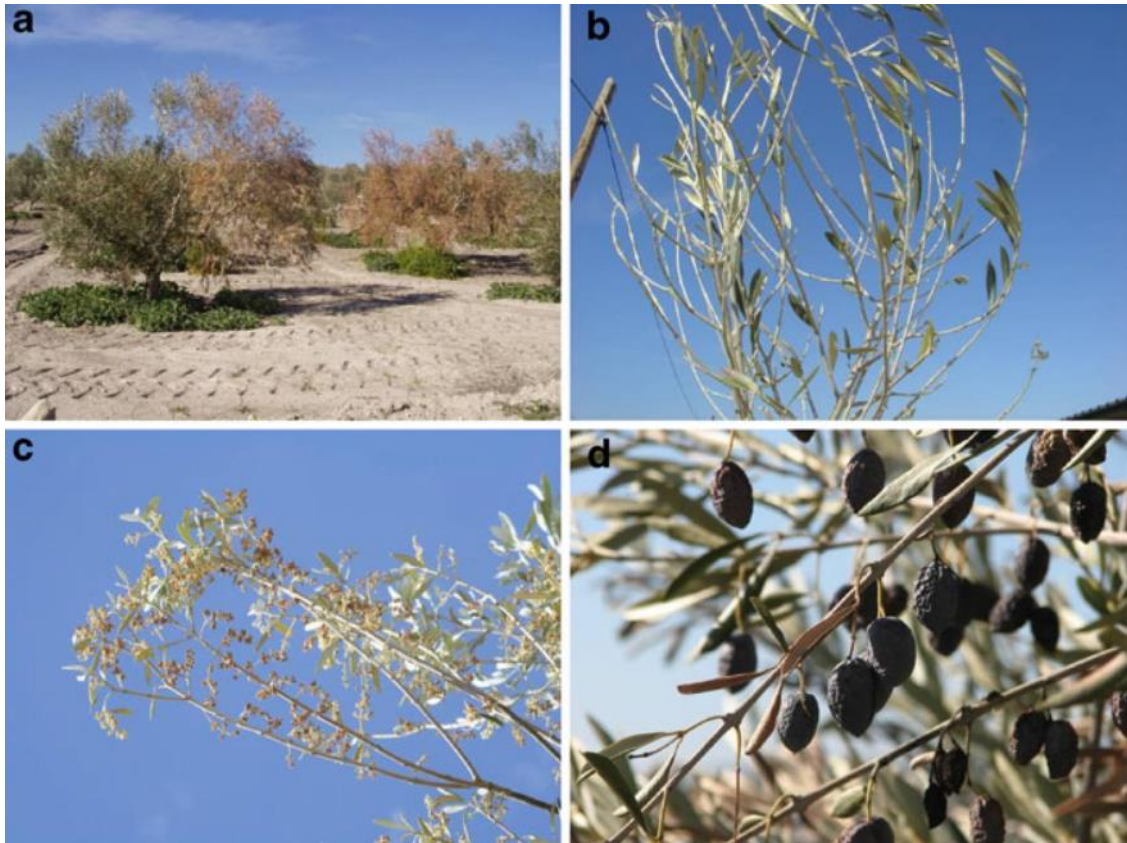
Mycotoxin	No. beers analysed	No. samples positive	Mycotoxin concentration range (µg/L)	Beer style	Highest contamination (Country)	Alcohol content (% ABV)	Author	Year
AFB <sub>1</sub>	116	13	0.0005–0.083	-	India	-	Nakajima et al.	1999
	304	12	0.0012–0.23	-	India	-	Mably et al.	2005
	422	271	0.00007–0.038	-	Ghana	-	Burdaspal and Legarda	2013
AFB <sub>2</sub>	116	5	0.0012–0.0086	-	India	-	Nakajima et al.	1999
	304	4	0.0156–0.032	-	India	-	Mably et al.	2005
AFs	422	273	0.00007–0.04518	-	France	-	Burdaspal and Legarda	2013
	5	5	0.0088–0.0345	African traditional	Malawi	-	Matumba et al.	2011
	35	3	12–400	African traditional	South Africa	-	Odhav and Naicker	2002

## 1.8. Η Ασθένεια της Βερτισιλλίωσης της Ελιάς

Η ελιά (*Olea europaea* L.) είναι γνωστή από τους αρχαίους χρόνους, ενώ η εμφάνιση και η καλλιέργειά της φτάνουν έως και την προϊστορική εποχή. Αποτελεί μια από τις σημαντικότερες καλλιέργειες παγκοσμίως, με το 98% των εκτάσεων να καλλιεργείται στις χώρες της Μεσογείου. Επίσης, η ελιά διαδραματίζει έναν εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στην οικονομία των χωρών που καλλιεργείται, καθώς όχι μόνο αξιοποιούνται εκτάσεις που είναι ακατάλληλες για άλλες καλλιέργειες, αλλά συμβάλλει και στην προστασία των εδαφών από τις διαβρώσεις (Ποντίκης, 2000).

Όσον αφορά τα φυτοπαθολογικά προβλήματα της ελιάς, η ασθένεια της βερτισιλλίωσης (Εικόνα 17) αποτελεί τη σοβαρότερη ασθένεια της ελιάς παγκοσμίως. Οι επιπτώσεις της είναι ιδιαίτερα σημαντικές, καθώς προσβάλλει δέντρα οποιασδήποτε ηλικίας, από μικρά δενδρύλλια στο φυτώριο έως και αιωνόβια δέντρα, τα οποία οδηγεί σε μερική ή ολική ξήρανση και σε απώλεια της αναμενόμενης παραγωγής. Ωστόσο, τα συμπτώματα της ασθένειας είναι ιδιαίτερα έντονα στους ελαιώνες κατά τη διάρκεια των πρώτων ετών μετά την εγκατάσταση των δενδριλίων ελιάς αλλά τείνουν να γίνονται πιο ήπια σε δέντρα μεγαλύτερης ηλικίας (Τζάμος, 2005, Tjamos et al., 1991).

Η βερτισιλλίωση της ελιάς προκαλείται από τον φυτοπαθογόνο μύκητα *Verticillium dahliae* Kleb., ο οποίος αποτελεί ένα από τα πιο δύσκολα φυτοπαθολογικά προβλήματα καρποφόρων δέντρων. Το παθογόνο αυτό έχει ένα εξαιρετικά μεγάλο εύρος ξενιστών, βρίσκεται στο έδαφος και διαχειμάζει με τη μορφή των μικροσκληρωτίων, ενώ η μόλυνση των δέντρων πραγματοποιείται από τις ρίζες και η ανάπτυξή του στα αγγεία του ξύλου. Παρόμοια με άλλα παθογόνα που προσβάλλουν τα αγγεία του ξύλου, έτσι και το *V. dahliae* είναι πολύ δύσκολο να καταπολεμηθεί και τα περισσότερα μέτρα ελέγχου της δράσης του είναι ως επί το πλείστον αναποτελεσματικά (López-Escudero et al., 2010, Τζάμος, 2007).



Εικόνα 1.20. α) Ελαιώνας με δέντρα που παρουσιάζουν σοβαρά συμπτώματα θερτισιλίωσης (αποπληξία). β) Συμπτώματα του συνδρόμου βραδέως μαρασμού: απούλλωση των πράσινων κυρίως φύλλων γ) Νέκρωση των ταξιανθιών δ) αφυδάτωση και μумμοποίηση των καρπών (López-Escudero et al., 2010)

### 1.9. Η Ασθένεια της Βερτισιλίωσης της Μελιτζάνας

Η μελιτζάνα (*Solanum melongena* L.) είναι ένα φυτό θερμής εποχής και καλλιεργείται για τον καρπό της. Σήμερα καλλιεργείται σε μεγάλες εκτάσεις στις χώρες της Μεσογείου, μεταξύ των οποίων και στην Ελλάδα. Ωστόσο, οι μεγαλύτερες εκτάσεις καλλιέργειας μελιτζάνας και το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής ανήκουν στην Ασία (94,2 %) και ειδικά στην Κίνα (59,5 %) και την Ινδία (25,2 %). Την ίδια στιγμή, στην Ευρώπη παράγεται το 1,8 % της παγκόσμιας παραγωγής. Στην Ελλάδα η μελιτζάνα καλλιεργείται ως υπαίθριο κηπευτικό την περίοδο από την άνοιξη έως το φθινόπωρο, ενώ καλλιεργείται και την υπόλοιπη περίοδο του χρόνου υπο προστασία, σε υψηλά θερμοκήπια και μεγάλα τούνελ. Η Ελλάδα κατέχει την 4<sup>η</sup> θέση στην Ευρωπαϊκή Ένωση, όσον αφορά την έκταση της καλλιέργειας της μελιτζάνας (Ολύμπιος, 2015).

Όσον αφορά τα φυτοπαθολογικά προβλήματα της καλλιέργειας της μελιτζάνας, ένα από τα βασικότερα είναι αυτό της βερτισιλλίωσης. Όπως και στην βερτισιλλίωση της ελιάς, η ασθένεια προκαλείται από τον εδαφογενή μύκητα *Verticillium dahliae*. Στην μελιτζάνα



Εικόνα 1.21. Καστανός μεταχρωματισμός των αγγείων στελέχους μελιτζάνας λόγω προσβολής από τον μύκητα *Verticillium dahliae* (Παναγόπουλος, 1995)

όμως, υπεύθυνος για την βερτισιλλίωση είναι και ο μύκητας *Verticillium albo-atrum*. Ωστόσο, στην Ελλάδα η ασθένεια οφείλεται σχεδόν αποκλειστικά από τον μύκητα *V. dahliae*. Η συμπτωματολογία της βερτισιλλίωσης της μελιτζάνας είναι παρόμοια με αυτή των άλλων αδρομυκώσεων. Τα προσβεβλημένα φυτά παρουσιάζουν το σύνδρομο του βραδέως μαρασμού, ο οποίος συχνά εμφανίζεται με τη μορφή ημιπληγίας. Παράλληλα, παρατηρείται μαρασμός, χλωρώσεις και ξηράνσεις μεταξύ των νευρώσεων των κατώτερων φύλλων οι οποίες σταδιακά εξελίσσονται σε νεκρώσεις. Τα συμπτωματικά φύλλα συχνά αποπίπτουν, ενώ με την πάροδο της ασθένειας η εμφάνιση των συμπτωμάτων παρατηρείται και σε ανώτερα φύλλα. Επιπροσθέτως, άλλο ένα χαρακτηριστικό σύμπτωμα της βερτισιλλίωσης της μελιτζάνας είναι ο καστανός μεταχρωματισμός των αγγείων του ξύλου (Εικόνα 12) (Παναγόπουλος, 1995).

## 1.10. Η Ασθένεια της Ίσκας της Αμπέλου

Η «άμπελος η οиноφόρος» (*Vitis vinifera* L.) είναι το σημαντικότερο είδος του γένους *Vitis*, όσον αφορά τον γεωργικό τομέα της παραγωγικής αμπελουργίας (Σταυρακάκης, 2015). Στην παραγωγική αμπελουργία, οι ποικιλίες των ειδών του γένους *Vitis* διαχωρίζονται σε ορισμένες κατηγορίες με κριτήριο τη χρήση για την οποία προορίζεται η παραγωγή. Έτσι, οι ποικιλίες της αμπέλου χωρίζονται στις εξής:

- Οινοποιίας: παραγωγή οίνων και οινικών αποσταγμάτων
- Σταφιδοποιίας: παραγωγή σταφίδων
- Επιτραπέζιας κατανάλωσης: παραγωγή σταφυλών προς νωπή χρήση
- Ποικιλίες για την παραγωγή χυμού σταφυλής
- Ποικιλίες για την παραγωγή σταφυλών προς κονσερβοποίηση
- Ποικιλίες, είδη και υβρίδια που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πολλαπλασιαστικού υλικού, ανθεκτικού στη ριζόβια μορφή της φυλλοξήρας.

Οι πέντε πρώτες κατηγορίες αφορούν κυρίως ποικιλίες της ευρωπαϊκής αμπέλου (*V. vinifera*), ενώ στην έκτη περιλαμβάνονται ποικιλίες, είδη και υβρίδια της Βορείου Αμερικής. Από εκεί λαμβάνονται υποκείμενα τα οποία στη συνέχεια εμβολιάζονται με τις ποικιλίες της ευρωπαϊκής αμπέλου (Σταυρακάκης, 2013).

Όσον αφορά τα φυτοπαθολογικά προβλήματα της αμπέλου, εκτός από την ασθένεια της όξινης σήψης που αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 1.4., ένα εξίσου βασικό πρόβλημα είναι η ασθένεια που προκαλείται από το σύμπλοκο της ΐσκας. Η ΐσκα είναι μια από τις παλαιότερες γνωστές και σοβαρότερες ασθένειες της αμπέλου και είναι γνωστή οπουδήποτε καλλιεργείται το αμπέλι. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα σύμπλεγμα ασθενειών, τα βασικά παθογόνα αίτια του οποίου είναι κυρίως ο μύκητας *Phaeomoniella chlamydospora*, διάφορα είδη του γένους *Phaeoacremonium* και ορισμένοι βασιδιομύκητες της τάξης *Hymenochaetales*, οι οποίοι ευθύνονται για την ασθένεια της λευκής σήψης (Balogi et al., 2019, Cloete et al., 2015)

Τα συμπτώματα της ΐσκας (Εικόνα 1.22.) εμφανίζονται κυρίως σε ενήλικα πρέμνα αμπέλου και ένα από τα πιο συχνά εμφανιζόμενα συμπτώματα είναι αυτό της λευκής σήψης του ξύλου (πραγματική ΐσκα, Εικόνα 1.22.c,d), η οποία μετατρέπει το σκληρό ξύλο σε μια μαλακή και εύθρυπτη σπογγώδη μάζα. Τα πρώτα χαρακτηριστικά συμπτώματα της ασθένειας εμφανίζονται συνήθως κατά του θερινούς μήνες όπου και οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες. Η εμφάνιση των συμπτωμάτων γίνεται πρώτα στα κατώτερα φύλλα κληματίδων και μερικών βραχιόνων και στη συνέχεια επεκτείνονται και σε ολόκληρο το πρέμνο. Τα φύλλα αποκτούν μια περιφερειακή χλώρωση του ελάσματος αρχικά, η οποία επεκτείνεται και μεταξύ των κύριων νεύρων τους. Οι χλωρωτικές περιοχές νεκρώνονται και το φύλλο αποκτά καστανές (νεκρές) και πράσινες περιοχές, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται μια στενή χλωρωτική ζώνη. Το σύμπτωμα αυτό είναι σχεδόν παθογνωμονικό και ονομάζεται «λωρίδες τίγρης» (Εικόνα 1.22.a). Ωστόσο, τα προσβεβλημένα πρέμνα συνήθως δεν αποξηραίνονται αμέσως, αλλά δύναται να βλαστήσουν ξανά κατά τα επόμενα έτη (Παναγόπουλος, 2007). Τέλος, έχουν παρατηρηθεί συμπτώματα και στα σταφύλια. Τα συμπτώματα αυτά αφορούν κυρίως αποχρωματισμό, συρρίκνωση και την εμφάνιση μαύρων κηλίδων παρόμοιες με αυτές της ασθένειας «Black measles» (Εικόνα 1.22.b), μιας ασθένειας της αμπέλου που προκαλεί συμπτώματα «σπογγώδους αποσύνθεσης». Βασικό παθογόνο αίτιο της συγκεκριμένης ασθένειας είναι ένας άλλος βασιδιομύκητας, ο *Phellinus igniarius*. Αξίζει να σημειωθεί πως για πολλά χρόνια, ο συγκεκριμένος μύκητας ταυτοποιούνταν λανθασμένα ως *F. mediterranea* (Παναγόπουλος, 2007). Σύμφωνα με την Cloete και τους συνεργάτες της (2015), τα συμπτώματα των σταφυλιών παρατηρήθηκαν σε μία μόνο περίπτωση και σε έναν αμπελώνα, αν και είναι γνωστό ότι συμβαίνει κατά διαστήματα σε ορισμένες ποικιλίες.





Εικόνα 1.22. Συμπτώματα Ίσκας σε αμπέλια της Νοτίου Αφρικής. α) Το σύμπτωμα «λωρίδας τίγρης» σε φύλλα ευρωπαϊκής αμπέλου της ποικιλίας *Sauvignon blanc*. β) Συμπτώματα "Black measles" σε σταφύλια της ποικιλίας *Hanperoot*. γ, δ) Τα συμπτώματα της λευκής σήψης του ξύλου στις ποικιλίες *Pinotage* (γ) και *Chardonnay* (δ). ε) Συμπτώματα σε φύλλα και φυλλόπτωση στην ποικιλία *Hanperoot*. ς) Αποπληξία αμπέλου της ποικιλίας *Cabernet Sauvignon* (Cloete et al., 2015)

### 1.11. Η Ασθένεια της Τεφράς Σήψης του Μαρουλιού

Το μαρούλι (*Lactuca sativa* L.) διακρίνεται σε διαφορετικούς τύπους και θεωρείται το πιο δημοφιλές και διαδεδομένο κηπευτικό της οικογένειας *Asteraceae*. Τόσο στην Ελλάδα, όσο και στον υπόλοιπο κόσμο, το μαρούλι καταναλώνεται νωπό σε σαλάτες. Είναι φυτό ψυχρής εποχής και καλλιεργείται σε περιοχές και εποχές που επικρατούν σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Στην Ελλάδα, η καλλιέργεια του ξεκινά με τις πρώιμες σπορές τον Σεπτέμβριο και ολοκληρώνεται τον Απρίλιο του επόμενου έτους. Ωστόσο, κυκλοφορεί στην αγορά και τους καλοκαιρινούς μήνες, είτε με την καλλιέργεια ποικιλιών ανθεκτικών σε υψηλές

θερμοκρασίες είτε με την καλλιέργεια σε σχετικά δροσερές περιοχές που βρίσκονται σε μεγαλύτερα υψόμετρα.

Το μαρούλι θεωρείται ως μία από τις υπαίθριες καλλιέργειες, ωστόσο καλλιεργείται και σε θερμοκήπια σε χώρες με πολύ ψυχρούς χειμώνες. Το μεγαλύτερο μέρος της παγκόσμιας παραγωγής πραγματοποιείται στην Ασία (68,5 %), ενώ οι βασικές χώρες παραγωγής μαρουλιού είναι η Κίνα (56,1 %) και οι Η.Π.Α. (15,5 %). Η Ελλάδα έρχεται 5<sup>η</sup> στην Ευρωπαϊκή Ένωση όσον αφορά την καλλιεργούμενη με μαρούλι έκταση (Ολύμπιος, 2015).

Ένα από τα φυτοπαθολογικά προβλήματα της καλλιέργειας του μαρουλιού είναι αυτό της τεφράς σήψης, που προκαλείται από τον φυτοπαθογόνο μύκητα *Botrytis cinerea*. Το παθογόνο αυτό προκαλεί εκτεταμένες ζημιές σε κεφαλές μαρουλιών κατά την αποθήκευσή τους (Εικόνα 1.23).



Εικόνα 1.23. A, B) Παρουσία συμπτωμάτων της τεφράς σήψης που προκαλείται από τον μύκητα *Botrytis cinerea* μετά από τεχνητή μόλυνση. C, D) Παρουσία κονιδίων του μύκητα του *B. cinerea* (BC) σε σήψη στελέχους και φύλλων (Shim et al., 2013)

## 2. Σκοπός της Μελέτης

Η Γεωργία Ακριβείας αποτελεί ένα πολλά υποσχόμενο εργαλείο διαχείρισης καλλιεργειών, το οποίο καλείται να δώσει λύσεις σε πολλά από τα προβλήματα που μαστίζουν τη γεωργία και τη φυτική παραγωγή. Στα πλαίσια της Γεωργίας Ακριβείας χρησιμοποιούνται νέες τεχνολογίες οι οποίες χρησιμοποιούν δεδομένα που αφορούν τη χωρική και χρονική μεταβλητότητα των περιβαλλοντικών και εδαφικών παραγόντων στον αγρό προκειμένου να διευκολύνουν τον γεωπόνο και τον παραγωγό στη λήψη μιας απόφασης διαχείρισης, σε πραγματικό χρόνο. Παράλληλα, τόσο οι βιοτικοί όσο και οι αβιοτικοί παράγοντες καταπόνησης των φυτών παρουσιάζουν και αυτοί ετερογένεια στον αγρό και στους χώρους όπου πραγματοποιείται η αποθήκευση των γεωργικών προϊόντων.

Έτσι, δημιουργείται η ανάγκη ανάπτυξης νέων τεχνολογικών μέσων τα οποία θα είναι σε θέση όχι μόνο να λαβάνουν τα σωστά δεδομένα αποτελεσματικά και με ακρίβεια, αλλά να προσφέρουν τη δυνατότητα άμεσης αξιοποίησής τους με σκοπό την εξαγωγή σαφών συμπερασμάτων. Όσον αφορά τη φυτοπροστασία στα πλαίσια της Γεωργίας Ακριβείας, τα δεδομένα αυτά αφορούν στον εντοπισμό μεταβολών που προκαλούνται από τους βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες καταπόνησης των φυτών σε φυσικό και λειτουργικό επίπεδο. Ο έγκαιρος και έγκυρος εντοπισμός των μεταβολών αυτών μπορεί να οδηγήσει σε μια πρώωρη διάγνωση των ασθενειών των φυτών με αποτέλεσμα τη διευκόλυνση την λήψης άμεσων και δραστικών μέτρων για την αντιμετώπισή τους.

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης κατεύθυνσης, σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η «εκμάθηση» δύο ειδών οπτικών αισθητήρων (μηχανική μάθηση - machine learning), μιας κάμερας κινητού τηλεφώνου και μιας θερμικής κάμερας. Τα συγκεκριμένα οπτικά μέσα χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να αναπτυχθεί ένα νέο έξυπνο σύστημα διάγνωσης ασθενειών των φυτών, τόσο οικονομικό, όσο και απλό στη χρήση. Η εκμάθηση αυτή επιχειρήθηκε να πραγματοποιηθεί μέσω του εντοπισμού συγκεκριμένων μεταβολών που προκαλούν ορισμένα παθογόνα αίτια στη φυσιολογία και τη λειτουργία των φυτών και μπορούν να εντοπιστούν από τα δύο αυτά οπτικά μέσα.

Τα παθοσυστήματα που μελετήθηκαν ήταν τα εξής:

- *Aspergillus flavus* - φιστίκια
- *A. flavus* - κριθάρι
- *A. carbonarius* - σταφύλια
- *Verticillium dahliae* - ελαιόδενδρο
- *V. dahliae* - μελιτζάνα
- *Botrytis cinerea* - μαρούλι
- Ίσκα - αμπέλι

### 3. Υλικά και Μέθοδοι

#### 3.1. Φυτικό Υλικό

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκε το παρακάτω φυτικό υλικό:

- Κελυφωτά φιστίκια ποικιλίας Αιγίνης (*Pistacia vera* var. *Aiginis*)
  - Η προμήθεια των κελυφωτών φιστικιών πραγματοποιήθηκε από φιστικεώνα της Αίγινας
- Σπόροι κριθαριού (*Hordeum vulgare*)
  - Η προμήθεια των σπόρων κριθαριού πραγματοποιήθηκε από το Εργαστήριο Γεωργίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών
- Ράγες σταφυλιών (ποικιλία Crimson)
  - Η προμήθεια των ραγών πραγματοποιήθηκε από το εμπόριο
- Φύλλα ελιάς (*Olea europaea*)
  - Τα φύλλα ελιάς που χρησιμοποιήθηκαν προήλθαν από ελαιόδεντρο του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών με συμπτώματα βερτισιλλίωσης (Εικόνα 3.1.)



Εικόνα 3.3. Το δέντρο ελιάς του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών από το οποίο λήφθηκαν φύλλα με συμπτώματα βερτισιλλίωσης

- Φυτά μελιτζάνας (*Solanum melongena*)
  - Προβλάστηση σπόρων: Η προσβλάστηση των σπόρων της μελιτζάνας πραγματοποιήθηκε τοποθετώντας τους σε δοχείο στη βάση του οποίου προηγουμένως τοποθετήθηκε βρεγμένο διηθητικό χαρτί. Στη συνέχεια, το δοχείο με τους σπόρους τοποθετήθηκε σε πλαστική σακούλα και ύστερα αποθηκεύτηκε για 9 ημέρες σε συνθήκες σκότους και σε θερμοκρασία δωματίου
  - Μεταφύτευση φυταρίων στο θερμοκήπιο: Η μεταφύτευση των φυταρίων πραγματοποιήθηκε σε δίσκους σποράς με γλαστράκια μεγέθους 9 x 9 cm στα

οποία τοποθετήθηκε χώμα. Στη συνέχεια τα γλαστράκια τοποθετήθηκαν σε δίσκους και προστέθηκε άφθονο νερό, τόσο στο χώμα όσο και στους δίσκους. Τα φυτάρια μελιτζάνας συνέχισαν να αναπτύσσονται σε συνθήκες θερμοκηπίου (θερμοκρασία 25 °C με φωτοπερίοδο 10 ωρών) για 1 μήνα (Εικόνα 3.2.)

- Συνολικά, χρησιμοποιήθηκαν 12 φυτά μελιτζάνας τα οποία στη συνέχεια μολύνθηκαν τεχνητά με τον μύκητα *V.dahliae* και 5 φυτά μελιτζάνας ως μάρτυρες.



Εικόνα 3.2. Μεταφυτευμένα φυτάρια μελιτζάνας

- Φυτά μαρουλιού (*Lactuca sativa* var. *romana* και var. *capitata* – κατσαρό κεφαλωτό, Iceberg)
  - Σπορείο: Σε παλέτες σποράς με κυψελίδες διαμέτρου 3 εκατοστών προστέθηκε χώμα και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν 3 σπόροι μαρουλιού για κάθε κυψελίδα. Τέλος, τοποθετήθηκε ποσότητα χώματος πάνω από τους σπόρους και προστέθηκε άφθονο νερό.
  - Ανάπτυξη φυταρίων σε συνθήκες θερμοκηπίου για 20 ημέρες (θερμοκρασία 25 °C με φωτοπερίοδο 10 ωρών)
  - Μεταφύτευση φυταρίων στον αγρό: Αρχικά ανοίχτηκαν λάκκοι βάθους περίπου 15 εκατοστών κατά μήκος της γραμμής άρδευσης. Στους λάκκους προστέθηκε άφθονο νερό. Στη συνέχεια μεταφυτεύθηκαν τα φυτάρια μαρουλιού μαζί με την μπάλα χώματος στους λάκκους και ποτίστηκαν με άφθονο νερό (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3. Μεταφυτευμένο φυτάριο μαρουλιού στον αγρό

- Φυτά αμπέλου (*Vitis vinifera* var. *Savvatiano*)
  - ο Τα αμπέλια που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της μελέτης βρίσκονταν στον πειραματικό αγρό του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στα Σπάτα.

### 3.2. Μικροβιολογικό Υλικό

- Αφλατοξικογόνο στέλεχος του μύκητα *Aspergillus flavus* από τη συλλογή του Εργαστηρίου Φυτοπαθολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών
  - ο Ο μύκητας ενεργοποιήθηκε σε θρεπτικό υπόστρωμα PDA (Potato Dextrose Agar). Τα τρυβλία επώαστηκαν σε σκοτεινό θάλαμο σταθερής θερμοκρασίας (28 °C) για 5 ημέρες στη συνέχεια έλαβαν σειρά οι τεχνητές μολύνσεις
- Ωχρατοξικογόνο στέλεχος του μύκητα *Aspergillus carbonarius* από τη συλλογή του Εργαστηρίου Φυτοπαθολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών
  - ο Όμοια με χειρισμούς *A. flavus*
- Στέλεχος V70 του μύκητα *Verticillium dahliae*
  - ο Ο μύκητας ενεργοποιήθηκε όπως στις παραπάνω περιπτώσεις. Η επώασή του πραγματοποιήθηκε για 5 ημέρες σε σταθερή θερμοκρασία 25 °C.

#### **Παρασκευή θρεπτικού υποστρώματος PDA**

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή 1 λίτρου θρεπτικού υποστρώματος PDA είναι τα εξής:

- 1 L διπλά απεσταγμένο νερό
- 20 g πατάτα
- 20 g δεξτρόζη
- 20 g άγαρ

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η παρακάτω:

- Σε κωνική φυάλη όγκου 1 L προστέθηκε 0,5 L νερού και στη συνέχεια 200 g πατάτας η οποία προηγουμένως ψιλοκόπηκε σε μικρούς κύβους
- Το μείγμα αφέθηκε να βράσει για 45 λεπτά
- Σε δεύτερη κωνική φυάλη όγκου 1 L προστέθηκε 0,5 L νερού και σε αυτό διαλύθηκαν 20 g δεξτρόζης και 20 άγαρ
- Μετά το πέρας των 45 λεπτών, ακολούθησε μεταφορά του εκχυλίσματος πατάτας από την πρώτη κωνική φυάλη στην δεύτερη, χρησιμοποιώντας τούλι για να συγκρατηθούν οι κύβοι πατάτας
- Το τελικό μείγμα ανακινήθηκε μέχρι τα συστατικά να διαλυθούν πλήρως
- Η κωνική φυάλη με το PDA κλείστηκε με βαμβάκι και ύστερα με αλουμινόχαρτο και αποστειρώθηκε σε κλίβανο αποστείρωσης (θερμοκρασία 121 °C, πίεση 1 atm, χρόνος 20')
- Τέλος, το αποστειρωμένο θρεπτικό υπόστρωμα τοποθετήθηκε σε τρυβλία petri διαστάσεων 92 mm x 16 mm.

### **Παρασκευή θρεπτικού υποστρώματος SSN (Sucrose Sodium Nitrate)**

Το συγκεκριμένο θρεπτικό υπόστρωμα παρασκευάστηκε προκειμένου να ακολουθήσει υγρή καλλιέργεια του μύκητα *V. dahliae*. Η υγρή καλλιέργεια χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή του μολύσματος που χρησιμοποιήθηκε κατά την τεχνητή μόλυνση των φυτών μελιτζάνας (βλ. 3.4.4.).

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή 1 λίτρου θρεπτικού υποστρώματος είναι τα παρακάτω:

- 1 L διπλά απεσταγμένο νερό
- 15 g σουκρόζη
- 2 g NaNO<sub>3</sub>
- 1 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>
- 0.5 g MgSO<sub>4</sub>\*7H<sub>2</sub>O
- 0.5 g KCl
- 1 ml διαλύματος ιχνοστοιχείων:
  - Ανά 100 ml:
    - 100 ml διπλά απεσταγμένου νερού
    - 249 mg FeSO<sub>4</sub>\*7H<sub>2</sub>O
    - 40 mg CuSO<sub>4</sub>\*5H<sub>2</sub>O
    - 44 mg ZnSO<sub>4</sub>\*7H<sub>2</sub>O
    - 41 mg MnSO<sub>4</sub>\*4H<sub>2</sub>O
    - 51 mg Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>\*2H<sub>2</sub>O
- Το θρεπτικό υλικό μοιράστηκε σε κωνικές φυάλες των 250 ml, οι οποίες σφραγίστηκαν με βαμβάκι και ύστερα με αλουμινόχαρτο και αποστειρώθηκαν σε κλίβανο αποστείρωσης (θερμοκρασία 121 °C, πίεση 1 atm, χρόνος 20 min).

Στη συνέχεια, η υγρή καλλιέργεια του μύκητα *V. dahliae* πραγματοποιήθηκε ως εξής: Αρχικά, από τα τρυβλία PDA στα οποία είχε αναπτυχθεί ο μύκητας, σε ασηπτικές συνθήκες, για κάθε κωνική φυάλη με υγρό θρεπτικό υπόστρωμα SSN κόπηκαν 3 τυχαία τριγωνικά κομμάτια διαστάσεων περίπου 5 x 5 x 5 mm και τοποθετήθηκαν μέσα στην κωνική φυάλη. Στη συνέχεια, οι φιάλες τοποθετήθηκαν σε ανακινήτρηρα ελλειψοειδούς κίνησης (τύπου orbital), ρυθμισμένο στις 150 στροφές ανά λεπτό (RPM) και σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας (25 °C) (Εικόνα 3.4.). Η επώαση της υγρής καλλιέργειας διήρκησε 3 ημέρες και ύστερα ακολούθησε η μόλυνση των φυτών μελιτζάνας.



Εικόνα 3.4. Υγρή καλλιέργεια του μύκητα *Verticillium dahliae* σε υγρό θρεπτικό υπόστρωμα SSN (Sucrose Sodium Nitrate)

### 3.3. Πειραματικοί Αγροί

Για την καλλιέργεια του μαρουλιού και της μελιτζάνας χρησιμοποιήθηκε ο πειραματικός αγρός και τα θερμοκήπια σταθερών συνθηκών του Εργαστηρίου Φυτοπαθολογίας στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών (Εικόνα 3.5.).

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα φυτά αμπέλου που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη βρίσκονταν στον πειραματικό αγρό του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στα Σπάτα.





Εικόνα 3.5. Ο πειραματικός αγρός του Εργαστηρίου Φυτοπαθολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών

### 3.4. Τεχνητές Μολύνσεις με Φυτοπαθογόνους Μύκητες

#### 3.4.1. Τεχνητή Μόλυνση Κελυφωτών Φιστικιών με τον Μύκητα *Aspergillus flavus*

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση της τεχνητής μόλυνσης κελυφωτών φιστικιών με τον αφλατοξικογόνο μύκητα *A. flavus* είναι τα παρακάτω:

- 3 ποτήρια ζέσεως χωρητικότητας 500 ml\*
- 1 γυάλινος ογκομετρικός κύλινδρος χωρητικότητας 250 ml\*
- 1 λαβίδα\*
- Διηθητικό χαρτί\*
  - Κομμάτια κομμένα στις διαστάσεις των τρυβλίων ώστε στη συνέχεια να τοποθετηθούν στη βάση τους
  - Κομμάτια αυτούσια ούτως ώστε να στρωθούν εντός του θαλάμου νηματικής ροής (βλ. συνέχεια)
- Σωληνάκια τύπου falcon χωρητικότητας 50 ml\*
- Ξύλινες οδοντογλυφίδες\*
- Τούλι\*
- Αλουμινόχαρτο
- Πιπέτες\*
- Pipette tips\*
- Χλωρίνη εμπορική
- Αιθανόλη 70 %, 100 ml
- Διπλά απεσταγμένο νερό
- 8 τρυβλία petri διαστάσεων 92 mm x 16 mm
  - 5x τρυβλία στα οποία τοποθετήθηκαν μολυσμένα κελυφωτά φιστίκια
  - 3x τρυβλία μάρτυρες, στα οποία τοποθετήθηκαν υγιή κελυφωτά φιστίκια

- 72 κελυφωτά φιστίκια (9 για κάθε τρυβλίο)
- Αιματοκυτταρόμετρο
- Ανακινητήρας vortex

\*: τα παραπάνω αποστειρώθηκαν σε κλίβανο αποστείρωσης αποστείρωσης (θερμοκρασία 121 °C, πίεση 1 atm, χρόνος 20 min) προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια.

Αρχικά, σε εργαστηριακό πάγκο εργασίας αφαιρέθηκε το κέλυφος από τα κελυφωτά φιστίκια. Στη συνέχεια, η διαδικασία που ακολουθήθηκε πραγματοποιήθηκε εντός θαλάμου νηματικής ροής (Laminar) και ήταν η εξής:

#### **Απολύμανση κελυφωτών φιστικιών:**

- Παρασκευή 100 ml διαλύματος εμπορικής χλωρίνης 10 % στο πρώτο ποτήρι ζέσεως
- Προσθήκη 100 ml διαλύματος αιθανόλης 70 % στο δεύτερο ποτήρι ζέσεως
- Προσθήκη 100 ml αποστειρωμένου νερού στο τρίτο ποτήρι ζέσεως
- Τοποθέτηση των φιστικιών μέσα στο τούλι
- Εμβάπτιση με συνεχή ανακίνηση στο διάλυμα χλωρίνης 10 % για 10 min
- Εμβάπτιση με συνεχή ανακίνηση στο διάλυμα αιθανόλης 70 % για 3 min
- Εμβάπτιση και ανακίνηση στο ποτήρι ζέσεως με το αποστειρωμένο νερό προκειμένου να εκπλυθούν τα υπολείμματα χλωρίνης και αιθανόλης
- Στέγνωμα σε στρωμένο διηθητικό χαρτί για 1-2 min
- Τοποθέτηση 2 κομμένων κομματιών διηθητικού χαρτιού στη βάση κάθε τρυβλίου με χρήση λαβίδας (Εικόνα 3.6.)
- Τοποθέτηση 1 καπακιού από σωληνάριο τύπου falcon εντός κάθε τρυβλίου (Εικόνα 3.6.)
- Προσθήκη 2 ml νερού σε κάθε καπάκι και 1 ml νερού σε κάθε διπλό διηθητικό χαρτί (Εικόνα 3.6.).



Εικόνα 3.6. Τρυβλίο με διπλό διηθητικό χαρτί στη βάση του και καπάκι από σωληνάριο τύπου falcon. Στο διηθητικό χαρτί προστέθηκε 1 ml νερού και στο καπάκι 2 ml νερού για διατήρηση συνθηκών υψηλής σχετικής υγρασίας, οι οποίες ευνοούν την ανάπτυξη των μυκήτων που χρησιμοποιήθηκαν για τις τεχνητές μολύνσεις

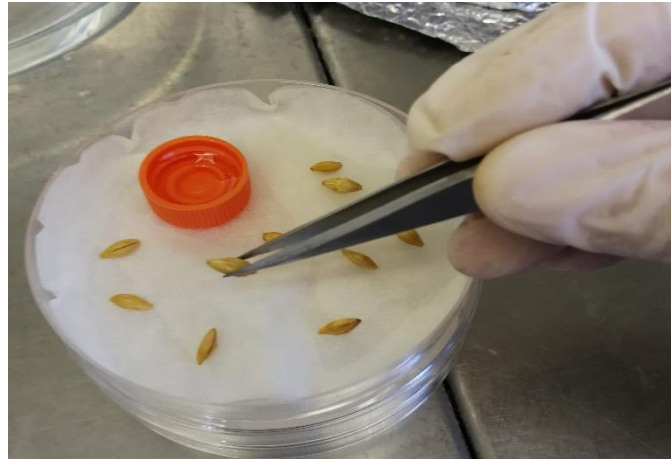
- Τοποθέτηση 9 φιστικιών σε κάθε τρυβλίο με χρήση λαβίδας
- Τοποθέτηση 10 μl νερού πάνω σε κάθε φιστίκι των 3 τρυβλίων χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες
- Κλείσιμο των τρυβλίων αυτών με μεμβράνη και επώαση σε συνθήκες πλήρους σκότους και θερμοκρασίας 28 °C.

#### **Παρασκευή μολύσματος**

- Προσθήκη 5 ml νερού σε σωληνάριο τύπου falcon
- Απόξεση των κονιδίων από την επιφάνεια των τρυβλίων με το θρεπτικό υπόστρωμα PDA και μεταφορά τους στο σωληνάριο τύπου falcon με χρήση ξύλινης οδοντογλυφίδας (υδάτινο αιώρημα κονιδίων)
- Υπολογισμός της συγκέντρωσης των κονιδίων με χρήση αιματοκυτταρομέτρου
- Αραίωση του υδατινού αιωρήματος κονιδίων έτσι ώστε η συγκέντρωση των κονιδίων του τελικού μολύσματος να διαμορφωθεί στα  $10^6$  κονίδια/ml
- Ομοιόμορφη διασπορά του μολύσματος με χρήση ανακινητήρα vortex
- Προσθήκη 10 μl μολύσματος πάνω σε κάθε φιστίκι των υπόλοιπων 5 τρυβλίων
- Κλείσιμο των τρυβλίων αυτών με μεμβράνη και επώαση σε συνθήκες πλήρους σκότους και θερμοκρασίας 28 °C.

### 3.4.2. Τεχνητή Μόλυνση Σπόρων Κριθαριού με το Μύκητα *Aspergillus flavus*

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η ίδια με αυτή που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3.4.1., με τη διαφορά ότι τα καπάκια σωληναρίων τύπου falcon που χρησιμοποιήθηκαν προήλθαν από σωληνάρια χωρητικότητας 15 ml και όχι 50 ml (Εικόνα 3.7.).



Εικόνα 3.7. Τοποθέτηση σπόρων κριθαριών σε τρυβλίο, στη βάση του οποίου έχει τοποθετηθεί διπλή στρώση διηθητικού χαρτιού και καπάκι από σωληνάριου τύπου falcon. Στο διηθητικό χαρτί προστέθηκε 1 ml νερού και στο καπάκι 2 ml νερού για διατήρηση συνθηκών υψηλής σχετικής υγρασίας, οι οποίες ευνοούν την ανάπτυξη των μυκήτων που χρησιμοποιήθηκαν για τις τεχνητές μολύνσεις

### 3.4.3. Τεχνητή Μόλυνση Σταφυλιών με το Μύκητα *Aspergillus carbonarius*

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η ίδια με αυτή που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3.4.1.. Ωστόσο, προκειμένου το μόλυσμα να εισέλθει εντός των ιστών των ραγών, δημιουργήθηκε μικρή πληγή σε κάθε μία ράγα με τη χρήση αποστειρωμένου νυστεριού. Στη συνέχεια, το μόλυσμα εγχύθηκε εντός της τομής με τη χρήση πιπέτας. Επίσης, τα σταφύλια τοποθετήθηκαν εντός πλαστικών κουτιών, στην βάση των οποίων τοποθετήθηκε διπλό διηθητικό χαρτί και από πάνω μια δεύτερη μεταλλική βάση με οπές. Στις 8 από τις οπές τοποθετήθηκαν σταφύλια, έτσι ώστε να είναι σταθερά και να μην μετακινούνται. Τόσο τα πλαστικά, όσο και οι μεταλλικές βάσεις αποστειρώθηκαν σε κλίβανο αποστείρωσης (θερμοκρασία 121 °C, πίεση 1 atm, χρόνος 20 min) πριν χρησιμοποιηθούν (Εικόνα 3.6.).



Εικόνα 3.6. Δημιουργία μικρής πληγής σε ράγες σταφυλιών με την βοήθεια εργαστηριακού νυστεριού

#### 3.4.4. Τεχνητή Μόλυνση Φυτών Μελιτζάνας με το Μύκητα *Verticillium dahliae*



Εικόνα 3.8. Τεχνητή μόλυνση φυτού μελιτζάνας με εναιώρημα κονιδίων του μύκητα *Verticillium dahliae*

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η ίδια με αυτή που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3.4.1., με τη διαφορά πως το τελικό μόλυσμα προέκυψε από την αραιώση μέρους της υγρής καλλιέργειας, η οποία βρισκόταν ήδη σε κατάσταση υδατικού αιωρήματος κονιδίων, σε 200 ml νερού (τελικός όγκος μολύσματος).

Αρχικά, σε ποτήρι ζέσεως χωρητικότητας 500 ml τοποθετήθηκαν 200 ml διπλά απεσταγμένου νερού και έπειτα, προστέθηκε η κατάλληλη ποσότητα υγρής καλλιέργειας (αφού προηγουμένως μετρήθηκε η πυκνότητά της σε κονίδια με αιματοκυτταρόμετρο), έτσι ώστε η συγκέντρωση του μολύσματος σε κονίδια να είναι  $10^6$  κονίδια/ml. Στη συνέχεια, με βοήθεια σύριγγας, εγχύθηκαν 10 ml μολύσματος στο χώμα γύρω από την περιοχή του λαιμού των φυτών μελιτζάνας (Εικόνα 3.8.).

Στα φυτά-μάρτυρες δεν πραγματοποιήθηκε κάποια επέμβαση.

#### 3.5. Φυσική Μόλυνση Μαρουλιών με το Μύκητα *Botrytis cinerea*

Τα φυτά μαρουλιού μεταφτεύτηκαν στον πειραματικό αγρό του Εργαστηρίου Φυτοπαθολογίας στο ΓΠΑ τον μήνα Ιανουάριο του έτους 2018. Περίπου 2 μήνες μετά την μεταφύτευσή τους, παρατηρήθηκαν συμπτώματα τεφράς σήψης (Εικόνα 3.9.). Η ασθένεια ταυτοποιήθηκε οπτικά από τη συμπτωματολογία που παρουσίαζαν τα ασθενή φυτά, ενώ από παρασκεύασμα που λήφθηκε από ασθενείς ιστούς και εξετάστηκε σε μικροσκόπιο, παρατηρήθηκαν τα χαρακτηριστικά κονίδια και κονιδιοφόροι του παθογόνου.



Εικόνα 3.9. Συμπτώματα τεφράς σήψης στο λαιμό φυτού μαρουλιού. Με κόκκινο βέλος φαίνεται επισημασμένη η χαρακτηριστική εξάνθηση του μύκητα *Botrytis cinerea*

### 3.6. Καταγραφή Συμπτωμάτων Ίσκας σε Αμπέλια

Στα πλαίσια επισκόπησης που πραγματοποιήθηκε στον πειραματικό αμπελώνα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στα Σπάτα Αττικής, παρατηρήθηκαν τα σχεδόν παθογνωμονικά συμπτώματα «λωρίδες τίγρης» που προκαλεί η ασθένεια της ίσκας. Η επισκόπηση πραγματοποιήθηκε τον μήνα Ιούλιο του έτους 2018.

Τα χαρακτηριστικά συμπτώματα της ασθένειας έχουν παρατηρηθεί και στο παρελθόν ως προς την παρουσία τους στον πειραματικό αμπελώνα του ΓΠΑ και στα πλαίσια αυτής της μελέτης καταγράφηκαν όπως αναλύεται πιο κάτω.

### 3.7. Καταγραφή Συμπτωμάτων Ασθενειών με Οπτικά Μέσα

#### 3.7.1. Καταγραφή Συμπτωμάτων Ασθενειών με Χρήση Κάμερας Κινητού Τηλεφώνου

Η λήψη των φωτογραφιών για την καταγραφή των συμπτωμάτων πραγματοποιήθηκε με χρήση φωτογραφικής μηχανής ενσωματωμένης σε κινητό τηλέφωνο. Το πρώτο κινητό τηλέφωνο που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας μελέτης ήταν το Android (Έκδοση 8.0.0) μοντέλο P10 – έκδοση VTR-L09 της εταιρείας Huawei. Η συγκεκριμένη

συσκευή είναι εξοπλισμένη με την κάμερα Leica Summarit-H 1:2.2/27 ASPH, με ανάλυση φωτογραφίας 20 MP (Εικόνα 3.10.).



Εικόνα 3.10. Το κινητό τηλέφωνο Huawei P10 ([www.huawei.com](http://www.huawei.com))

Με τη συγκεκριμένη συσκευή φωτογραφήθηκαν οι ασθένειες της σήψης των κελυφωτών φιστικιών και των σπόρων κριθαριού από *A. flavus*, η όξινη σήψη των σταφυλιών, η βερτισιλλίωση της μελιτζάνας και η ίσκα της αμπέλου. Για όλες τις φωτογραφίες που λήφθηκαν στα πλαίσια αυτής της μελέτης χρησιμοποιήθηκε η αυτόματη λειτουργία της κάμερας.

Το έτερο κινητό τηλέφωνο που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της μελέτης ήταν το Android (5.0.1) μοντέλο Galaxy S4 (Κωδικός GT-I9506) της εταιρείας Samsung. Η συγκεκριμένη συσκευή είναι εξοπλισμένη με κάμερα με αισθητήρα τύπου CMOS, με ανάλυση φωτογραφίας 13 MP (Εικόνα 3.11.).



Εικόνα 3.11. Το κινητό τηλέφωνο Samsung Galaxy S4 ([www.samsung.com](http://www.samsung.com))

Με τη συγκεκριμένη συσκευή φωτογραφήθηκαν οι ασθένειες της βερτισιλλίωσης της ελιάς και της τεφράς σήψης του μαρουλιού. Για όλες τις φωτογραφίες που λήφθηκαν στα πλαίσια αυτής της μελέτης χρησιμοποιήθηκε η αυτόματη λειτουργία της κάμερας.

### 3.7.1.1. Φωτογράφιση της Μόλυνσης από το Μύκητα *Aspergillus flavus* σε Κελυφωτά Φιστίκια



Εικόνα 3.12. Ο φωτογραφικός κλωβός ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την λήψη φωτογραφιών μολυσμένων κελυφωτών φιστικιών, σπόρων κριθαριού, σταφυλιών και φύλλων μελιτζάνας

Τα τρυβλία με τα μολυσμένα φιστίκια, όπως επίσης και τα τρυβλία - μάρτυρες φωτογραφήθηκαν στα ακόλουθα χρονικά σημεία: 6, 24, 30, 48, 54, 72, 96 και 120 ώρες μετά την τεχνητή μόλυνση από τον μύκητα *A. flavus*. Οι φωτογραφίες λήφθηκαν σε φωτογραφικό κλωβό - στούντιο (colour viewer) Graphic Lite GLE PDV-3eTR με λαμπτήρες φωτισμού D65 (Χατζής, 2015) (Εικόνα 3.12.). Ο συγκεκριμένος κλωβός διαθέτει σταθεροποιητή φωτισμού (flickering free), παρέχοντας έτσι σταθερές συνθήκες λήψης φωτογραφίας (γωνία παρατηρητή, φωτισμού D65). Το πρότυπο σύστημα φωτισμού D65 επιλέχθηκε με βάση το πρότυπο ISO 10526 (ISO/CIE 10526:2007) το οποίο αποτελεί ένα από τα συνιστώμενα πρότυπα συστήματα φωτισμού χρωματομετρίας. Επίσης, πριν από τη λήψη των φωτογραφιών ο χώρος απολυμαινόταν με αιθανόλη,

ενώ σε κάθε φωτογράφιση, πρώτα φωτογραφίζονταν τα τρυβλία μάρτυρες. Αφού κλεινόταν με μεμβράνη, τότε φωτογραφίζονταν και τα τρυβλία με τα μολυσμένα φιστίκια, για την αποφυγή επιμολύνσεων.

### 3.7.1.2. Φωτογράφιση της Μόλυνσης από το Μύκητα *Aspergillus carbonarius* σε Σταφύλια

Η φωτογράφιση πραγματοποιήθηκε με την ίδια μέθοδο που αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 3.7.1.1..

### 3.7.1.3. Φωτογράφιση της Μόλυνσης από το Μύκητα *Aspergillus flavus* σε Σπόρους Κριθαριού

Η φωτογράφιση πραγματοποιήθηκε με την ίδια μέθοδο που αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 3.7.1.3., με διαφορετικά όμως χρονικά σημεία. Τα χρονικά σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για την φωτογράφιση της εξέλιξης των συμπτωμάτων της ασπεργίλλωσης σε σπόρους κριθαριού ήταν τα παρακάτω: 6, 24, 48, 72, 96 και 120 ώρες μετά τη μόλυνση. Τα χρονικά σημεία είναι λιγότερα, καθώς από προκαταρκτικό πείραμα που πραγματοποιήθηκε, διαπιστώθηκε πως τα συμπτώματα της σήψης εμφανίστηκαν αργότερα στους σπόρους του κριθαριού σε σχέση με τα κελυφωτά φιστίκια και τα σταφύλια.



#### 3.7.1.4. Φωτογράφιση Φύλλων Ελιάς με Συμπτώματα Βερτισιλλίωσης

Αρχικά, συμπτωματικά φύλλα, καθώς και επίσης φύλλα φαινομενικά υγιή (μάρτυρες) αφαιρέθηκαν από το ασθενές δέντρο ελιάς και μεταφέρθηκαν στον αυτοσχέδιο φωτογραφικό κλωβό που φαίνεται στην Εικόνα 3.13.



Εικόνα 3.13. Ο αυτοσχέδιος φωτογραφικός κλωβός ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την φωτογράφιση φύλλων ελιάς με συμπτώματα βερτισιλλίωσης

Ο συγκεκριμένος αυτοσχέδιος φωτογραφικός «κλωβός» σχεδιάστηκε έτσι ώστε να είναι δυνατό να λαμβάνονται φωτογραφίες από σταθερή απόσταση και θέση και υπό τις ίδιες συνθήκες φωτισμού. Αρχικά, σε ορθογώνιο κομμάτι φελιζόλ ανοίχτηκε οπή, πάνω από την οποία τοποθετήθηκε ο φακός της φωτογραφικής μηχανής του κινητού τηλεφώνου. Το κομμάτι φελιζόλ τοποθετήθηκε σε σταθερό ύψος προκειμένου οι φωτογραφίες να λαμβάνονται από το ίδιο ύψος και γωνία λήψης, ενώ για τον φωτισμό χρησιμοποιήθηκαν 2 οικιακά φωτιστικά με λαμπτήρες τύπου LED (12 W, 220-240 V, 50-60 Hz, 88mA).

#### 3.7.1.4. Φωτογράφιση Φύλλων Μελιτζάνας με Συμπτώματα Βερτισιλλίωσης

Μετά το πέρας 15 ημερών από τη μόλυνση των φυτών μελιτζάνας επιλέχθηκε τυχαία ένα αντιπροσωπευτικό φυτό με χαρακτηριστικά συμπτώματα βερτισιλλίωσης, καθώς επίσης και ένα αμόλυντο φυτό ως μάρτυρας. Τα 2 φυτά μεταφέρθηκαν στον φωτογραφικό κλωβό της Εικόνας 3.12. και φωτογραφήθηκαν τόσο ολόκληρα τα φυτά όσο και μεμονωμένα φύλλα αυτών.

#### 3.7.1.5. Φωτογράφιση Πρέμνων με Συμπτώματα Ίσκας

Στα πλαίσια της επισκόπησης που πραγματοποιήθηκε στον πειραματικό αμπελώνα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών στα Σπάτα Αττικής τον μήνα Ιούλιο του έτους 2018 φωτογραφήθηκαν τόσο μεμονωμένα φύλλα όσο και ολόκληρα φυτά αμπέλου με τα χαρακτηριστικά συμπτώματα «λωρίδες τίγρης» που προκαλεί η ασθένεια της ίσκας. Οι φωτογραφίες λήφθηκαν επί τόπου στον αγρό, ενώ φωτογραφήθηκαν και φαινομενικά υγιή πρέμνα, ως μάρτυρες.

### 3.7.1.6. Φωτογράφιση Μαρουλιών με Τεφρά Σήψη

Η φωτογράφιση των ασθενών μαρουλιών πραγματοποιήθηκε επί τόπου στον πειραματικό αγρό του Εργαστηρίου Φυτοπαθολογίας στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Συγκεκριμένα, φωτογραφήθηκαν 5 μαρούλια: 1 με ήπια συμπτώματα, 1 με μέτρια συμπτώματα και 1 με σοβαρά συμπτώματα τεφράς σήψης. 2 μαρούλια χωρίς εμφανή συμπτώματα ασθένειας φωτογραφήθηκαν ως μάρτυρες. Για την διευκόλυνση της ανάλυσης των φωτογραφιών που ακολούθησε, γύρω από τα μαρούλια τοποθετήθηκε μαύρο χαρτόνι, έτσι ώστε το φόντο να είναι ομοιόμορφο.

### 3.7.2. Καταγραφή Συμπτωμάτων Ασθενειών με Χρήση Θερμικής Κάμερας



Εικόνα 3.14. Η θερμική κάμερα FlirExx Series (E60bx) της εταιρείας FLIR ([www.flir.com](http://www.flir.com))

Η πρώτη θερμική κάμερα που χρησιμοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας μελέτης ήταν το μοντέλο FlirExx Series (E60bx) της εταιρείας FLIR (Εικόνα 3.14.). Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι εξοπλισμένο με μια επιπλέον ψηφιακή κάμερα ανάλυσης 3.1 MP και φλας τύπου LED. Παράλληλα ο ανιχνευτής της κάμερας είναι τύπου FPA (Focal Plane Array, Συστοιχία Εστιακού Επιπέδου) με μη ψυχόμενο μικροβολόμετρο. Όσον αφορά το εύρος θερμοκρασιών που μπορεί να εντοπίσει η κάμερα, αυτό είναι από  $-20^{\circ}\text{C}$  έως  $+650^{\circ}\text{C}$ . Παράλληλα, η ακρίβεια της κάμερας είναι  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 3,6^{\circ}\text{F}$ ) ή  $\pm 2\%$  της μέτρησης, για θερμοκρασία περιβάλλοντος από  $10^{\circ}\text{C}$  έως  $35^{\circ}\text{C}$  ( $+50^{\circ}\text{F}$  έως  $95^{\circ}\text{F}$ ). Η συγκεκριμένη θερμική κάμερα χρησιμοποιήθηκε για τη φωτογράφιση των ασθενειών της σήψης των κελυφωτών φιστικιών και των σπόρων κριθαριού, της όξινης σήψης των σταφυλιών, της βερτισιλώσεως της μελιτζάνας, της ίσκας της αμπέλου και της τεφράς σήψης του μαρουλιού.

Για την φωτογράφιση των φύλλων ελιάς με συμπτώματα βερτισιλώσεως χρησιμοποιήθηκε το κινητό τηλέφωνο Galaxy A5 (μοντέλο του έτους 2017) της εταιρείας Samsung (Εικόνα 3.15.). Στη συγκεκριμένη συσκευή προστέθηκε ειδικός αντάπτορας – θερμική κάμερα (το μοντέλο FLIR ONE Pro της εταιρείας FLIR, Εικόνα 3.16.). Η θερμική κάμερα είναι ανθεκτική σε θερμοκρασίες από  $-20^{\circ}\text{C}$  έως  $60^{\circ}\text{C}$  και εντοπίζει ένα εύρος θερμοκρασιών από  $-20^{\circ}\text{C}$  έως  $400^{\circ}\text{C}$ . Η ακρίβεια της κάμερας είναι  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  or  $\pm 5\%$  επί της ενδείξεως, ενώ η θερμική ευαισθησία (thermal sensitivity, NETD)  $0.1^{\circ}\text{C} / 70\text{ mK}$ .

Όλες οι θερμικές φωτογραφίες των παραπάνω ασθενειών λήφθηκαν σε πάγκο εργασίας και όχι στους φωτογραφικούς κλωβούς που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις φωτογραφίσεις με τις φωτογραφικές μηχανές των κινητών τηλεφώνων που χρησιμοποιήθηκαν.



Εικόνα 3.15. Το κινητό τηλέφωνο Samsung Galaxy A5 (2017) ([www.samsung.com](http://www.samsung.com))



Εικόνα 3.16. Η θερμική κάμερα FLIR ONE Pro προσαρμοσμένη σε συσκευή κινητού τηλεφώνου

#### *3.7.2.1. Φωτογράφιση της Μόλυνσης από το Μύκητα *Aspergillus flavus* σε Κελυφωτά Φιστίκια*

Η φωτογράφιση των τρυβλίων με τα μολυσμένα φιστίκια, όπως επίσης και οι μάρτυρες πραγματοποιήθηκε όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3.7.1.1., με την διαφορά πως δεν χρησιμοποιήθηκε ο φωτογραφικός κλωβός. Αντίθετα, τα τρυβλία τοποθετούνταν κάθε φορά σε πάγκο εργασίας και φωτογραφίζονταν εκεί.

#### *3.7.2.2. Φωτογράφιση της Μόλυνσης από το Μύκητα *Aspergillus carbonarius* σε Σταφύλια*

Η φωτογράφιση πραγματοποιήθηκε με την ίδια μέθοδο που αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 3.7.2.1..

#### *3.7.2.3. Φωτογράφιση της Μόλυνσης από το Μύκητα *Aspergillus flavus* σε Σπόρους Κριθαριού*

Η φωτογράφιση πραγματοποιήθηκε με την ίδια μέθοδο που αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 3.7.1.3., με την διαφορά πως – όπως και με τα μολυσμένα φιστίκια – τα τρυβλία με τα μολυσμένα κριθάρια, όπως και οι μάρτυρες τοποθετούνται σε πάγκο εργασίας προκειμένου να φωτογραφηθούν.

#### *3.7.2.4. Φωτογράφιση Φύλλων Μελιτζάνας με Συμπτώματα Βερτισιλλίωσης*

Η φωτογράφιση των ασθενών φυτών μελιτζάνας και των μαρτύρων με την θερμική κάμερα πραγματοποιήθηκε σε πάγκο εργασίας, μετά την φωτογράφιση με την κάμερα του κινητού τηλεφώνου, όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3.7.1.4..

#### 3.7.2.5. Φωτογράφιση Φύλλων Αμπέλου με Συμπτώματα Ίσκας

Η φωτογράφιση των ασθενών πρέμνων με την θερμική κάμερα πραγματοποιήθηκε την ίδια μέρα με την φωτογράφιση με την κάμερα του κινητού τηλεφώνου. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε είναι η ίδια με αυτή που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3.7.1.5..

#### 3.7.2.6. Φωτογράφιση Μαρουλιών με Τεφρά Σήψη

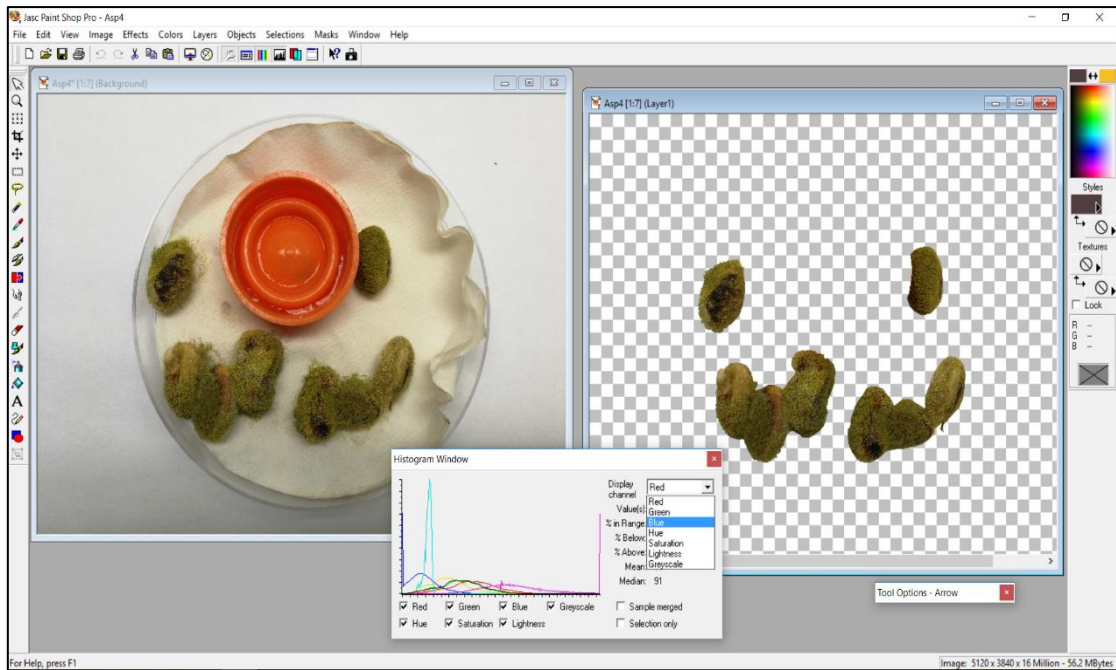
Η φωτογράφιση των ασθενών μαρουλιών με την θερμική κάμερα πραγματοποιήθηκε επί τόπου στον πειραματικό αγρό του Εργαστηρίου Φυτοπαθολογίας στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, όπως περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 3.7.1.6..

### 3.8. Ανάλυση Εικόνας

#### 3.8.1. Ανάλυση των Φωτογραφιών σε Ορατό Φάσμα μέσω Κάμερας Κινητού Τηλεφώνου

Οι φωτογραφίες του κινητού τηλεφώνου αναλύθηκαν με το πρόγραμμα επεξεργασίας γραφικών Jasc PaintShop Pro X7®. Με τη βοήθεια του συγκεκριμένου προγράμματος, η κάθε εικόνα διαχωρίστηκε στα αντίστοιχα κανάλια σύμφωνα με το χρωματικό μοντέλο RGB (Red, Green, Blue). Αρχικά, απομονώθηκαν τα κελυφωτά φιστίκια από το φόντο και στη συνέχεια μέσω του προγράμματος λήφθηκαν οι τιμές για τα πιο πάνω χρωματικά κανάλια (Εικόνα 3.17.).

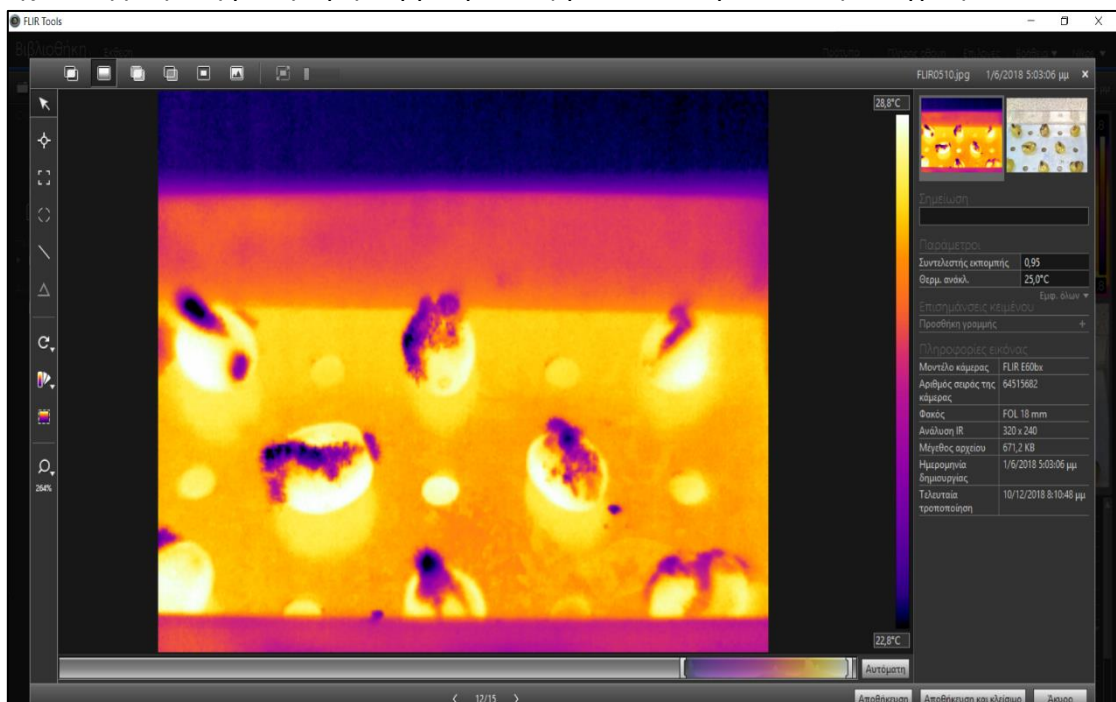
Στη συνέχεια, για το διαχωρισμό των εικόνων στα αντίστοιχα κανάλια σύμφωνα με τα χρωματικά μοντέλα CIE L\*a\*b\* (Lightness, green–red, blue–yellow) και CIE L\*C\*h (L\*: lightness, C\*: chroma, h: hue), χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις (1-15) του Κεφαλαίου 1.3. Έτσι, οι τιμές RGB αρχικά μετατράπηκαν σε τιμές XYZ και στη συνέχεια σε τιμές L\*a\*b\*. Τέλος, οι τιμές L\*a\*b\* μετατράπηκαν σε τιμές C\* και h. Οι τιμές h αναφέρονται σε μοίρες.



Εικόνα 3.17. Επεξεργασία φωτογραφίας κελυφωτών φιστικιών, μολυσμένων με τον αφλατοξικογόνο μύκητα *Aspergillus flavus*. Αριστερά φαίνεται η φωτογραφία πριν την επεξεργασία. Δεξιά φαίνεται η φωτογραφία μετά την επεξεργασία. Το παράθυρο του ιστογράμματος (Histogram Window) δείχνει τις πληροφορίες της επεξεργασμένης εικόνας για τα κανάλια Red, Green και Blue. Από τις πληροφορίες αυτές λήφθηκε η μέση τιμή για το κάθε κανάλι.

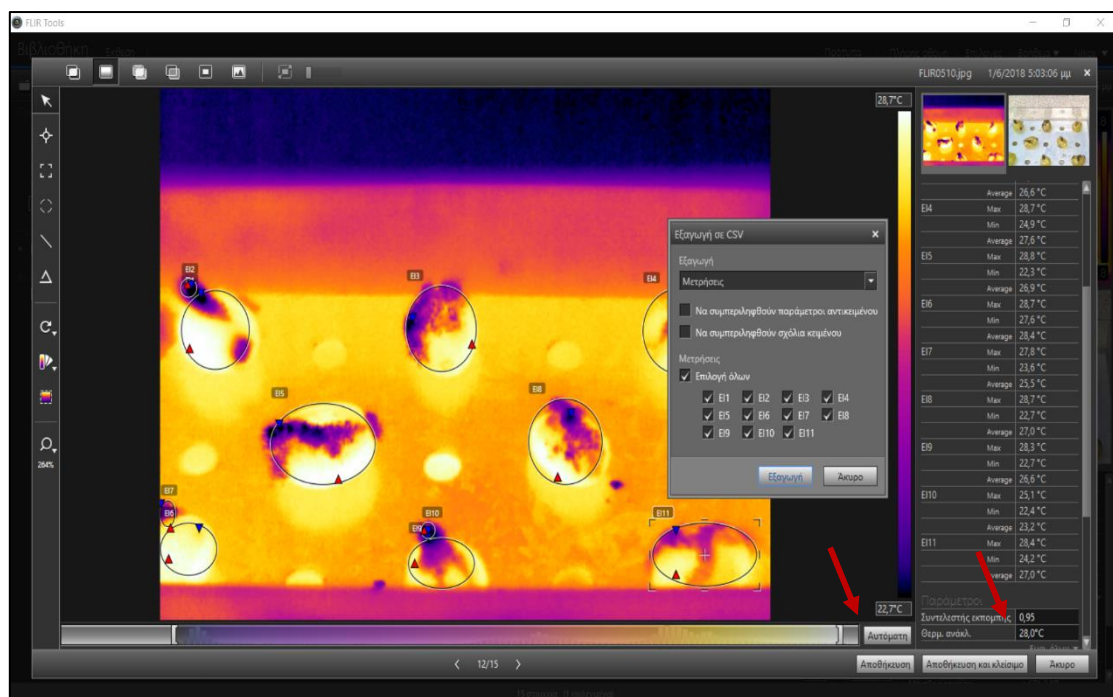
### 3.8.2. Ανάλυση των Θερμικών Φωτογραφιών

Οι θερμικές φωτογραφίες (βλ. Εικόνα 3.18.) αναλύθηκαν με το πρόγραμμα ανάλυσης εικόνας FLIR Tools®. Αρχικά, απομονώθηκαν τα κελυφωτά φιστικά από το φόντο και στη συνέχεια λήφθηκε η μέση τιμή θερμοκρασίας για κάθε καρπό ανά φωτογραφία.



Εικόνα 3.18. Θερμική φωτογραφία σταφυλιών μολυσμένων με τον ωχρατοξικογόνο μύκητα *Aspergillus carbonarius* πριν την επεξεργασία

Για την επεξεργασία των θερμικών φωτογραφιών η τιμή της θερμικής ανάκλασης ορίστηκε στους 28 °C (όση και η θερμορασία επώασης των σταφυλιών, βλ. Εικόνα 3.19., δεξί κόκκινο βέλος) ενώ για την κατανομή των χρωμάτων ορίστηκε η αυτόματη λειτουργία (βλ. Εικόνα 3.19., αριστερό κόκκινο βέλος). Παράλληλα, για την απομόνωση των ραγών από το φόντο, προστέθηκαν οι ελλείψεις που φαίνονται στην παρακάτω φωτογραφία. Οι ελλείψεις αυτές περιέχουν την πληροφορία της τιμής της θερμοκρασίας που αντιστοιχεί σε κάθε ρixel της εικόνας που βρίσκεται εντός της έλλειψης. Τέλος, η συνολική πληροφορία όλων των ελλείψεων της κάθε θερμικής φωτογραφίας εξάχθηκε σε μορφή Microsoft Office Excel μέσω της επιλογής «Εξαγωγή σε CSV – Μετρήσεις».



Εικόνα 3.19. Θερμική φωτογραφία σταφυλιών μολυσμένων με τον μύκητα *A. carbonarius* μετά την επεξεργασία της εικόνας με το πρόγραμμα ανάλυσης εικόνας FLIR Tools®

### 3.9. Στατιστική Επεξεργασία των Δεδομένων της Ανάλυσης Εικόνας

Ο όγκος των δεδομένων που προέκυψαν από την ανάλυση των φωτογραφιών κάθε ασθένειας ήταν μεγάλος. Έτσι, προκειμένου να εξαχθούν τα κατάλληλα συμπεράσματα ακολούθησε στατιστική επεξεργασία των δεδομένων αυτών. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το πακέτο στατιστικής επεξεργασίας «Statgraphics®».

Όσον αφορά τις θερμικές φωτογραφίες των σταφυλιών, τα δεδομένα για κάθε εφαρμογή και χρονικό σημείο προσαρμόστηκαν στο μοντέλο κινητικής Weibull, το οποίο περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$f(x; \lambda, k) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k} & x \geq 0, \\ 0 & x < 0, \end{cases}$$

όπου,  $x$ : η υπό μελέτη μεταβλητή,  $k$ : ο παράγοντας υποβάθμισης (shape parameter) και  $\lambda$ : η παράμετρος κλίμακας (scale parameter) (πηγή: Wikipedia, 2019). Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο παράγοντας  $k$  για τις μολυσμένες και τις αμόλυντες ράγες των σταφυλιών για τα αντίστοιχα χρονικά σημεία.

## 4. Αποτελέσματα

### 4.1. Ανίχνευση Συμπτωμάτων Ασθενειών των Φυτών με τη Χρήση Κάμερας Κινητού Τηλεφώνου

Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, κατέστη εφικτό να εντοπιστούν ορισμένες φαινοτυπικές μεταβολές που προκαλούνται από τα παθογόνα που εξετάστηκαν στα αντίστοιχα φυτά – ξενιστές, με τη χρήση κάμερας κινητού τηλεφώνου. Οι μεταβολές αυτές συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4.1. Φαινοτυπικές μεταβολές που εντοπίζονται ή όχι στα φυτά ξενιστές από τα αντίστοιχα παθογόνα από κάμερα κινητού τηλεφώνου

	R	G	B	L	a*	b*	C*	h
<b>A. flavus - κελυφωτά φιστίκια</b>	-	+	-	+	+	-	-	+
<b>A. carbonarius - σταφύλια</b>	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>A. flavus - σπόροι κριθαριού</b>	+	-	-	-	+	-	-	+
<b>V. dahliae - φύλλα ελιάς</b>	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>V. dahliae - μελιτζάνα</b>	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Ίσκα - αμπέλι</b>	+	+	+	+	+	+	+	+
<b>B. cinerea - μαρούλι</b>	-	-	-	-	-	-	-	-

+ : στατιστικώς σημαντική μεταβολή ( $P_{\text{value}} \leq 0.05$ )

- : στατιστικώς μη σημαντική μεταβολή ( $P_{\text{value}} > 0.05$ )

Αναλυτικά τα αποτελέσματα για την κάθε περίπτωση παρουσιάζονται στη συνέχεια.

#### 4.1.1. Ανίχνευση Μολυσμένων Κελυφωτών Φιστικιών

Κατά τα χρονικά σημεία των 6, 24, 30, 48, 54, 72, 96 και 120 ωρών μετά την τεχνητή μόλυνση από τον μύκητα *Aspergillus flavus* (hri) λήφθηκαν φωτογραφίες. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες φωτογραφίες ενδεικτικά:

##### 6 hpi

##### Τρυβλία με μολυσμένα φιστίκια







**Μάρτυρες**



**54 ηρι**

**Τρυβλία με μολυσμένα φιστίκια**



**Μάρτυρες**



**120 hpi**

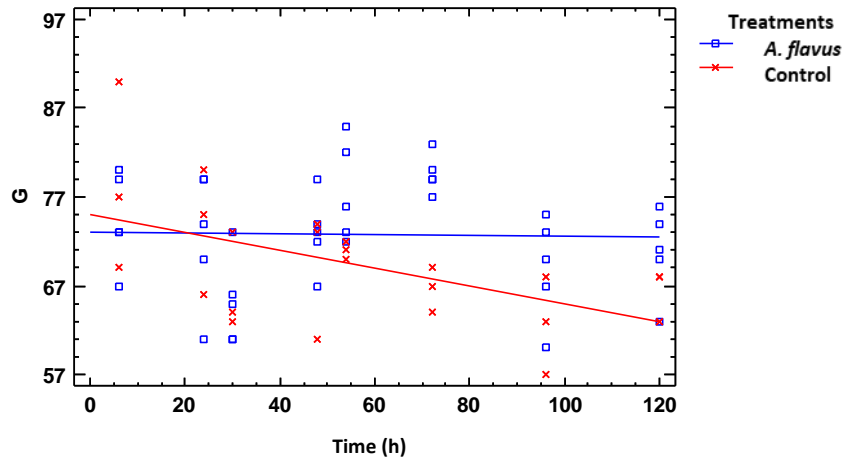
**Τρυβλία με μολυσμένα φιστίκια**



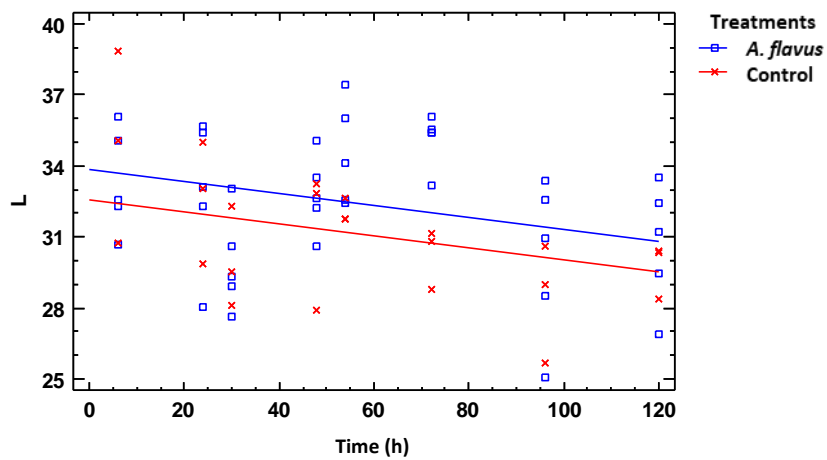
**Μάρτυρες**



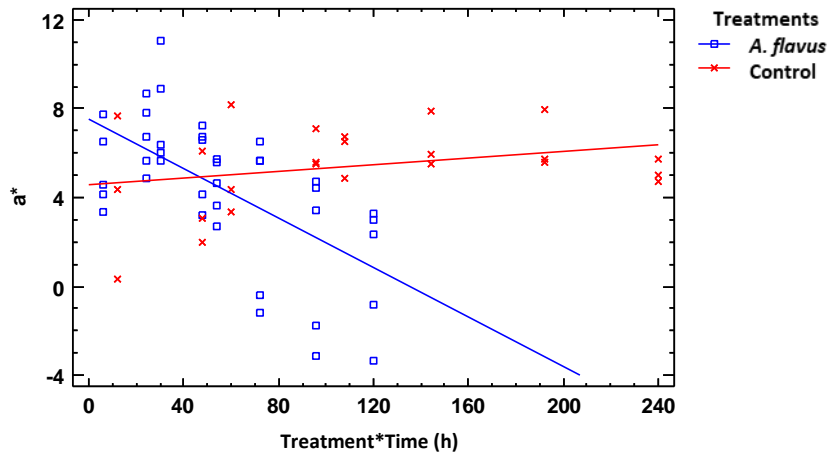
Από την ανάλυση διακύμανσης ANOVA που πραγματοποιήθηκε προέκυψε πως τα μολυσμένα φιστίκια διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ( $P_{\text{value}} \leq 0.05$ ) ως προς τις τιμές των παραγόντων: G, L\*, a\* και h (Γραφήματα 4.1., 4.2., 4.3. και 4.4.). Παράλληλα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής, οι τιμές των παραγόντων C και b\* φαίνεται να επηρεάζονται μόνο από τον χρόνο (Γραφήματα 4.5 και 4.6).



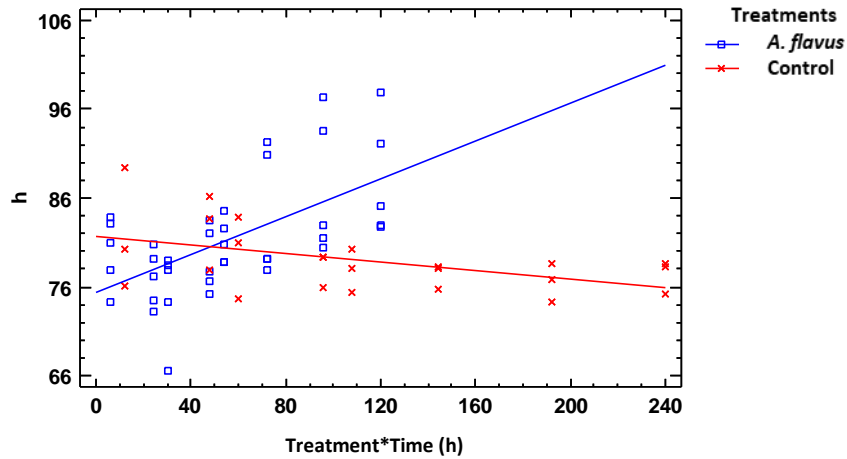
Γράφημα 4.1. Μεταβολή του πράσινου χρώματος ( $G$ ) συναρτήσει του χρόνου ανά εφαρμογή



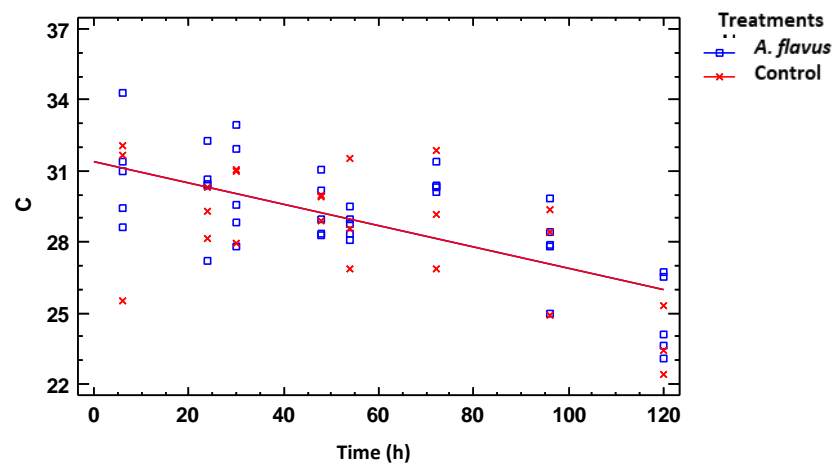
Γράφημα 4.2. Μεταβολή της φωτεινότητας ( $L$ ) με το χρόνο για κάθε εφαρμογή



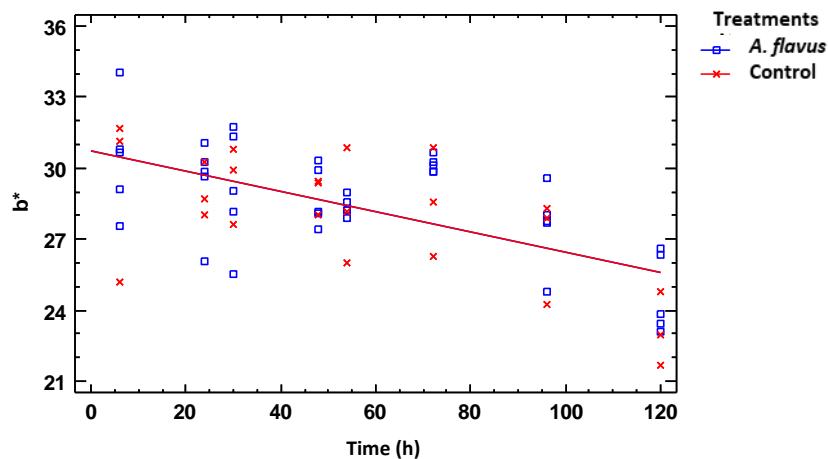
Γράφημα 4.3. Μεταβολή του παράγοντα πράσινο-κόκκινο ( $a^*$ ) συναρτήσει της αλληλεπίδρασης εφαρμογής - χρόνου ανά εφαρμογή



Γράφημα 4.4. Μεταβολή του παράγοντα της χροιάς (h) συναρτήσει της αλληλεπίδρασης εφαρμογής - χρόνου ανά χειρισμό



Γράφημα 4.5. Μεταβολή του παράγοντα κορεσμός (C) συναρτήσει του χρόνου ανά χειρισμό



Γράφημα 4.6. Μεταβολή του παράγοντα κίτρινο - μπλε (b\*) συναρτήσει του χρόνου ανά χειρισμό

Από τα παραπάνω γραφήματα φαίνεται πως οι παράγοντες G και L επηρεάζονται από την μόλυνση των φιστικιών. Η διαφοροποίηση μεταξύ μολυσμένων φιστικιών και των μαρτύρων προκύπτει στις 24 ώρες για τον παράγοντα G, ενώ για τον παράγοντα L, τα μολυσμένα φιστικά διαφέρουν στατιστικά σημαντικά από τους μάρτυρες καθ'όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Παράλληλα, τα μολυσμένα από τα αμόλυντα φιστικά αρχίζουν να

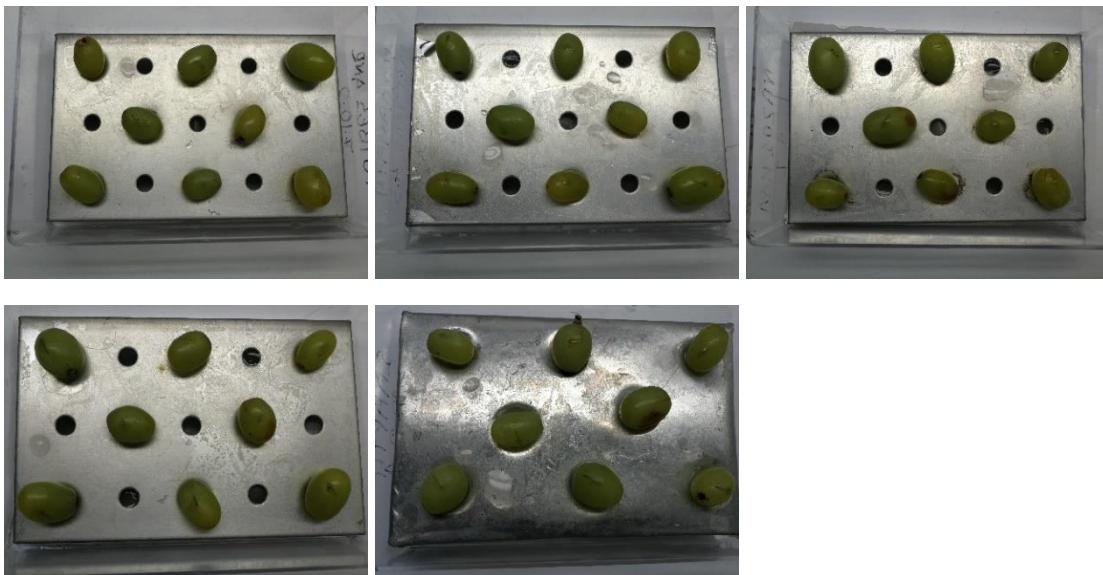
διαφέρουν στατιστικά σημαντικά επίσης από τις 24 ώρες και ύστερα, ως προς τους παράγοντες  $a^*$  και  $h$ . Παρατηρείται ότι ο παράγοντας  $a^*$  μειώνεται με το χρόνο στα μολυσμένα κελυφωτά φιστίκια ενώ για τους μάρτυρες αυξάνεται. Το αντίθετο συμβαίνει για τον παράγοντα  $h$ , ο οποίος αυξάνεται με το χρόνο για τα μολυσμένα δείγματα ενώ για τους μάρτυρες μειώνεται. Όσον αφορά τους παράγοντες  $C$  και  $b^*$  και τη μεταβολή τους με το χρόνο, δεν παρατηρείται κάποια διαφορά σανάμεσα σε μολυσμένα και αμόλυντα κελυφωτά φιστίκια.

#### 4.1.2. Ανίχνευση Μολυσμένων Σταφυλιών

Κατά τα χρονικά σημεία των 6, 24, 30, 48, 54, 72, 76, 96 και 120 ωρών μετά την τεχνητή μόλυνση από τον μύκητα *Aspergillus carbonarius* (hri) λήφθηκαν φωτογραφίες. Ενδεικτικά παρουσιάζονται οι παρακάτω:

##### 6 hri

##### Μολυσμένα σταφύλια



##### Μάρτυρες



54 hpi

Μολυσμένα σταφύλια

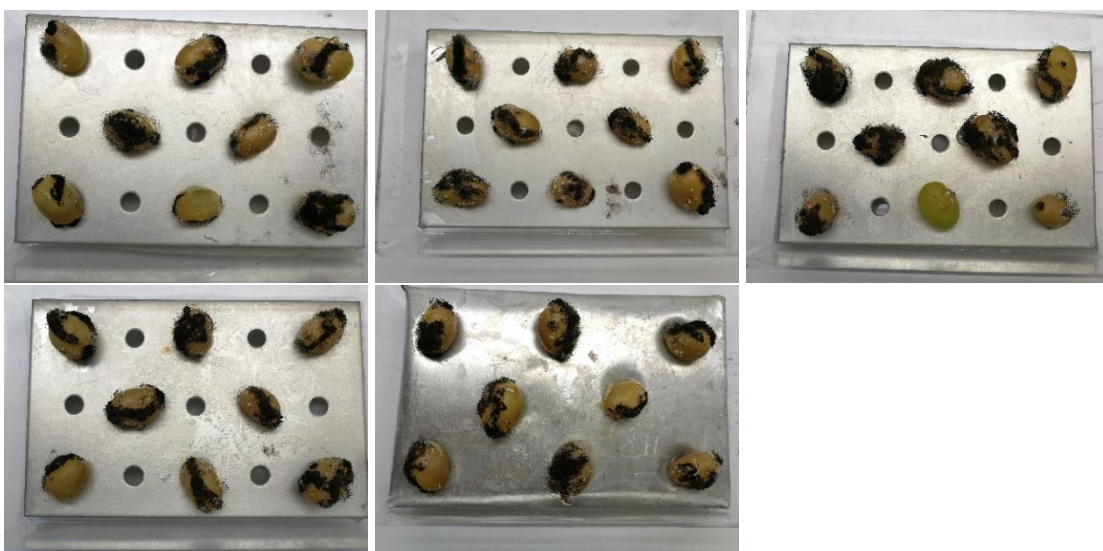


Μάρτυρες



120 hpi

Μολυσμένα σταφύλια

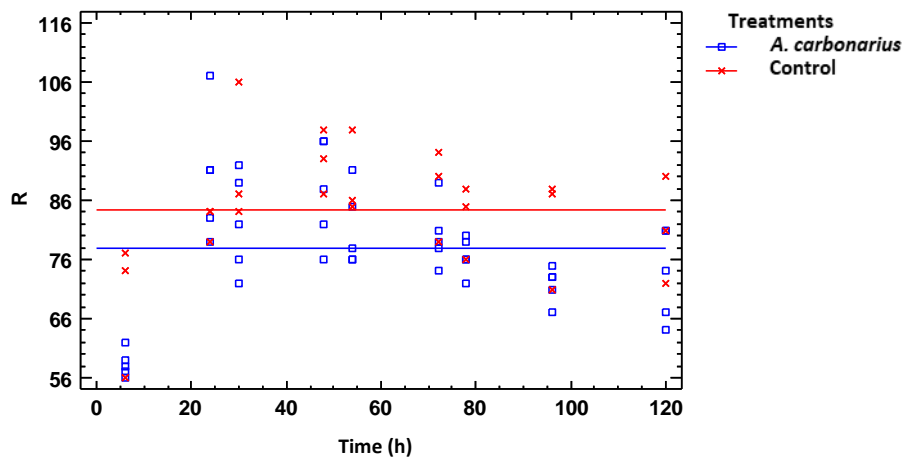


## Μάρτυρες

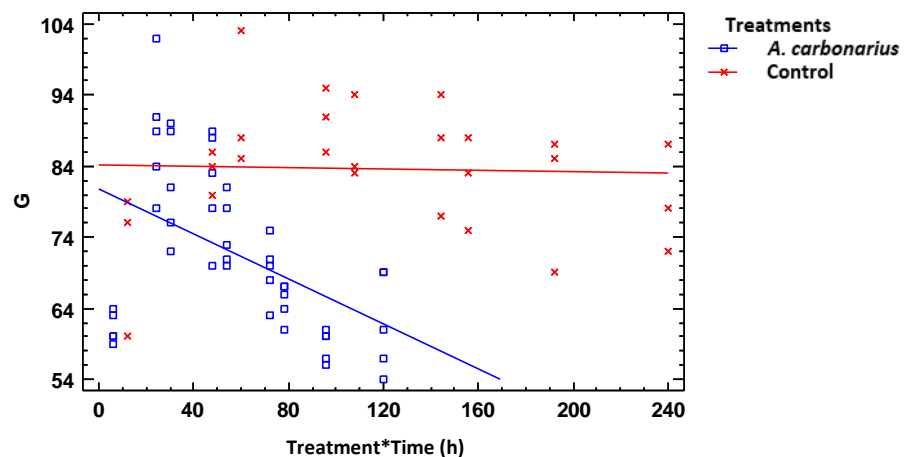


Κατά την ανάλυση της εικόνας αφαιρέθηκαν από τις μολυσμένες ράγες όσες δεν είχαν μολυνθεί επιτυχώς, ενώ από τους μάρτυρες όσες ράγες επιμολύνθηκαν.

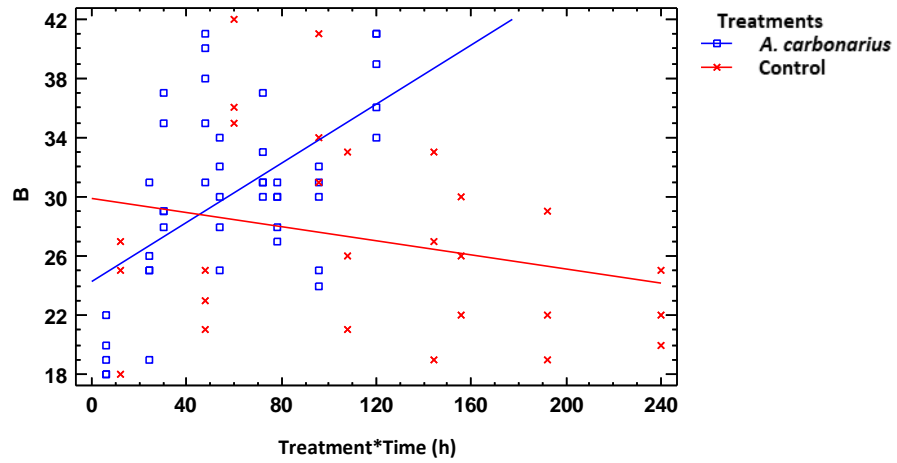
Από την ανάλυση διακύμανσης ANOVA που πραγματοποιήθηκε προέκυψε πως τα μολυσμένα σταφύλια διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ( $P_{\text{value}} \leq 0.05$ ) ως προς τις τιμές των παραγόντων: R,G, B, L\*, a\*, b\* C και h (Γραφήματα 4.7. - 4.14.).



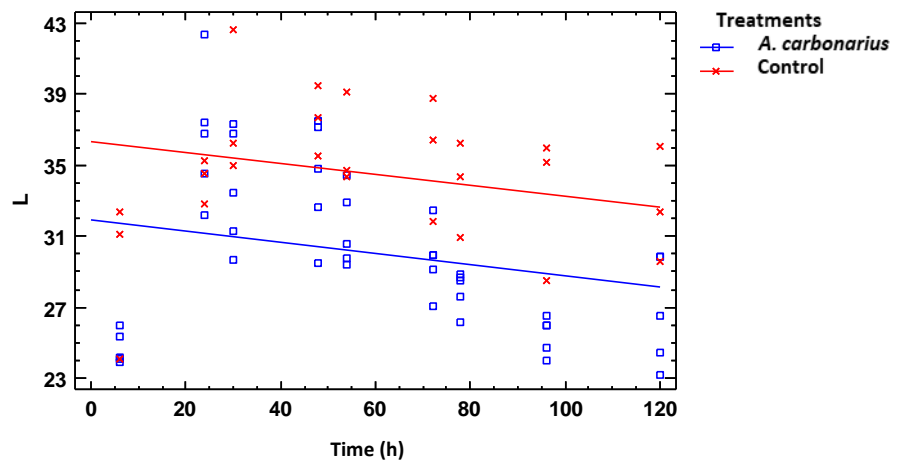
Γράφημα 4.7. Μεταβολή του κόκκινου χρώματος (R) συναρτήσει του χρόνου ανά εφαρμογή.



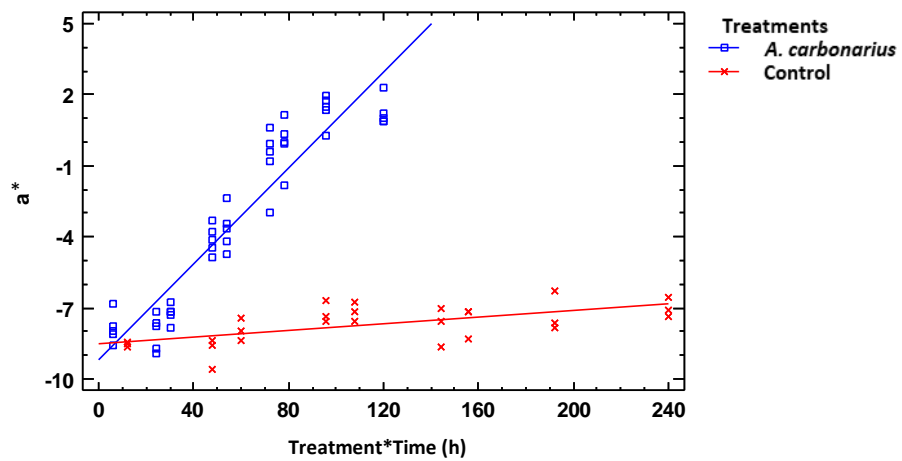
Γράφημα 4.8. Μεταβολή του πράσινου χρώματος (G) συναρτήσει της αλληλεπίδρασης εφαρμογής - χρόνου ανά εφαρμογή.



Γράφημα 4.9. Μεταβολή του μπλε χρώματος (B) συναρτήσει της αλληλεπίδρασης εφαρμογής - χρόνου ανά εφαρμογή

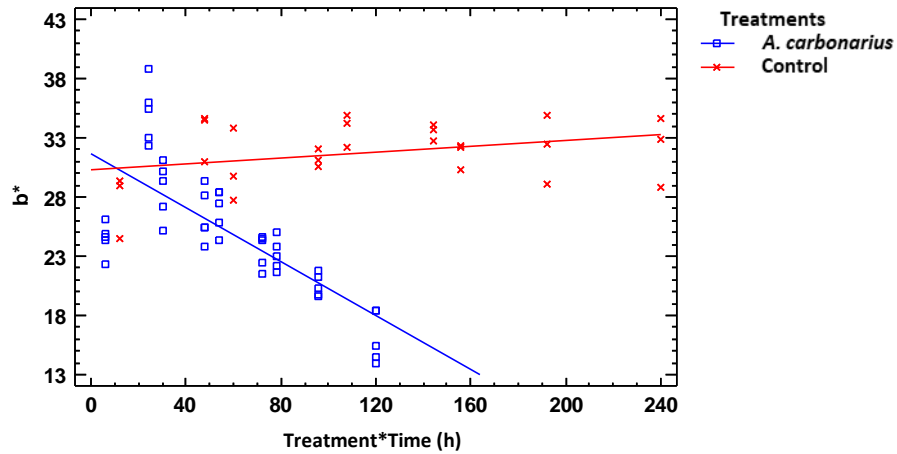


Γράφημα 4.10. Μεταβολή της φωτεινότητας (L) συναρτήσει του χρόνου ανά εφαρμογή

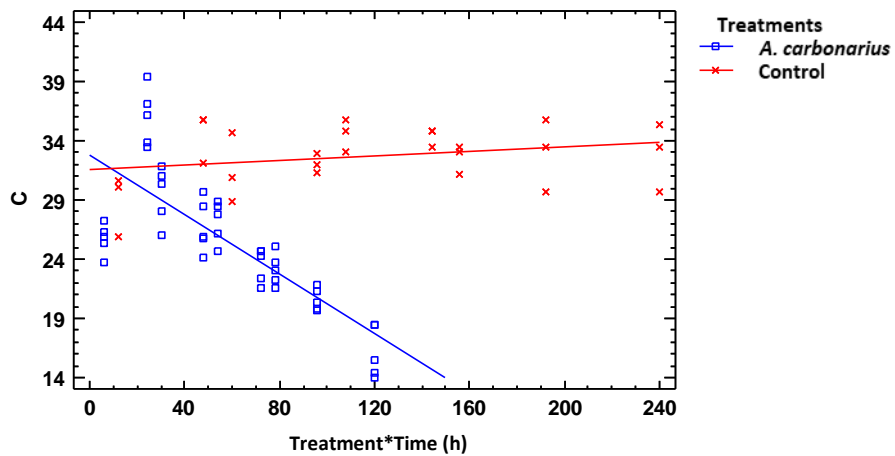


Γράφημα 4.11. Μεταβολή του παράγοντα πράσινο - κόκκινο ( $a^*$ ) χρώμα συναρτήσει της αλληλεπίδρασης εφαρμογής - χρόνου ανά εφαρμογή

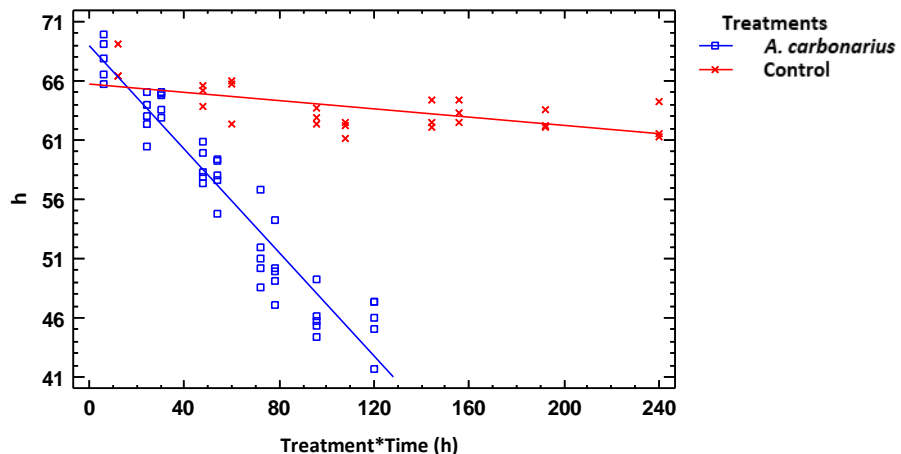




Γράφημα 4.12. Μεταβολή του παράγοντα κίτρινο - μπλε ( $b^*$ ) χρώματος της αλληλεπίδρασης εφαρμογής - χρόνου ανά εφαρμογή



Γράφημα 4.13. Μεταβολή του κορεσμού ( $C$ ) συναρτήσει της αλληλεπίδρασης εφαρμογής - χρόνου ανά εφαρμογή



Γράφημα 4.14. Μεταβολή της χροιάς συναρτήσει της αλληλεπίδρασης εφαρμογής - χρόνου ανά εφαρμογή

Σύμφωνα με τα παραπάνω γραφήματα, όλοι οι παράγοντες που εξετάστηκαν επηρεάζονται από τη μόλυνση, καθώς οι τιμές τους διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά ( $P_{value} \leq 0.05$ ) στα μολυσμένα σταφύλια σε σχέση με τα υγιή. Μάλιστα, όλοι οι παράγοντες φαίνεται να διαφοροποιούνται ως προς τις τιμές του από τα πρώτα στάδια της μόλυνσης (6

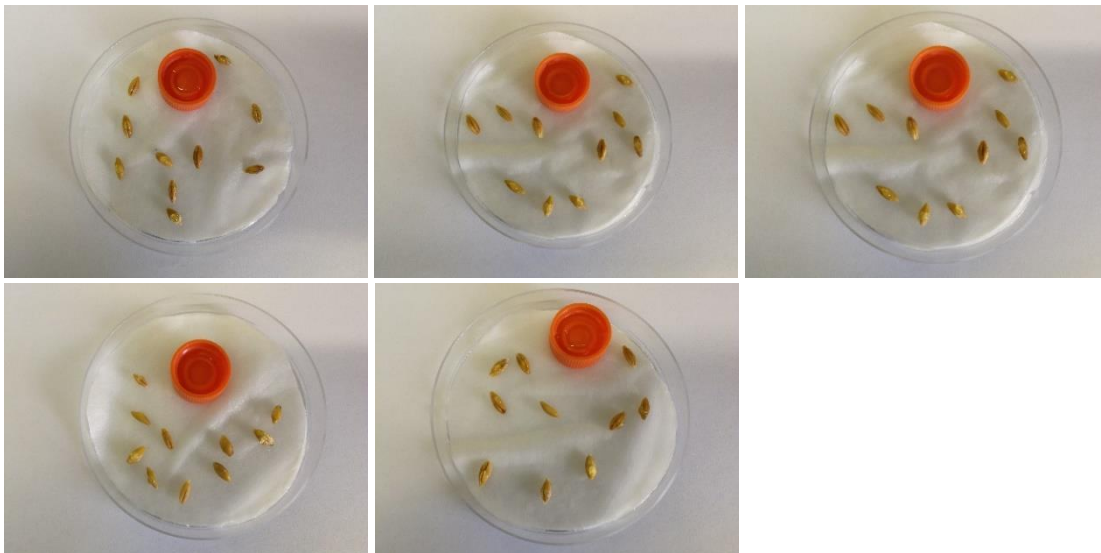
– 24 hpi), με εξαίρεση τουw παράγοντες του κόκκινου χρώματος και της φωτεινότητας, οι τιμές των οποίων διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά ( $P_{\text{value}} \leq 0.05$ ) καθ'όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Για τον παράγοντα του κόκκινου χρώματος, τα μολυσμένα σταφύλια έχουν συνεχώς χαμηλότερες τιμές σε σχέση με τον μάρτυρα. Οι τιμές παραμένουν σταθερές καθ'όλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Όσον αφορά τον παράγοντα της φωτεινότητας, οι τιμές του μειώνονται με την πάροδο του χρόνου και στις δύο εφαρμογές, ωστόσο τα μολυσμένα σταφύλια χαρακτηρίζονται επίσης από χαμηλότερες τιμές καθ'όλη τη διάρκεια των μετρήσεων.

#### 4.1.3. Ανίχνευση Μολυσμένων Κριθαριών

Κατά τα χρονικά σημεία των 6, 24, 48, 72, 96 και 120 ωρών μετά την τεχνητή μόλυνση από τον μύκητα *Aspergillus flavus* (hpi), λήφθηκαν φωτογραφίες. Ενδεικτικά, κάποιες φωτογραφίες παρουσιάζονται παρακάτω:

##### 6 hpi

##### Τρυβλία με μολυσμένους σπόρους κριθαριού



##### Μάρτυρες



72 hpi

Τρυβλία με μολυσμένους σπόρους κριθαριού

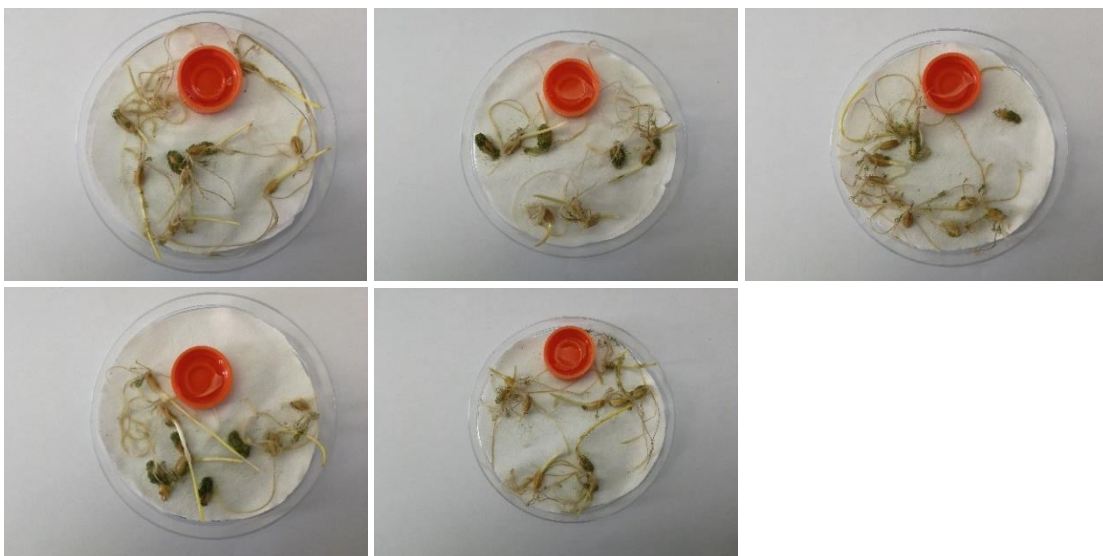


Μάρτυρες\*



120 hpi

Τρυβλία με μολυσμένους σπόρους κριθαριού

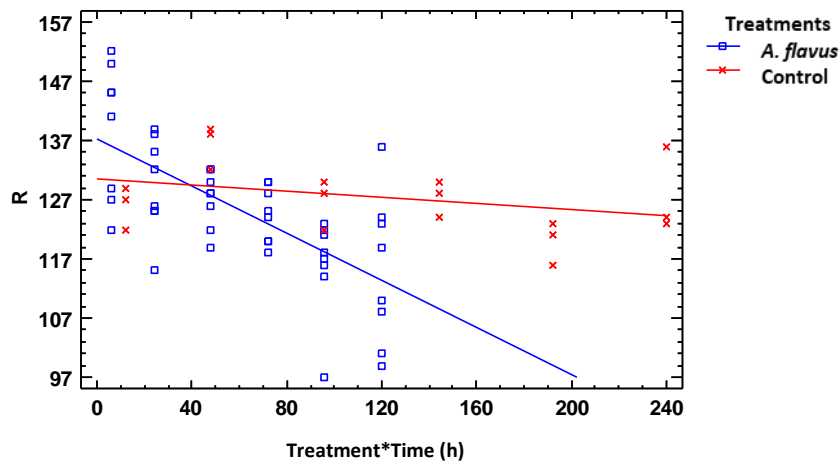


## Μάρτυρες\*

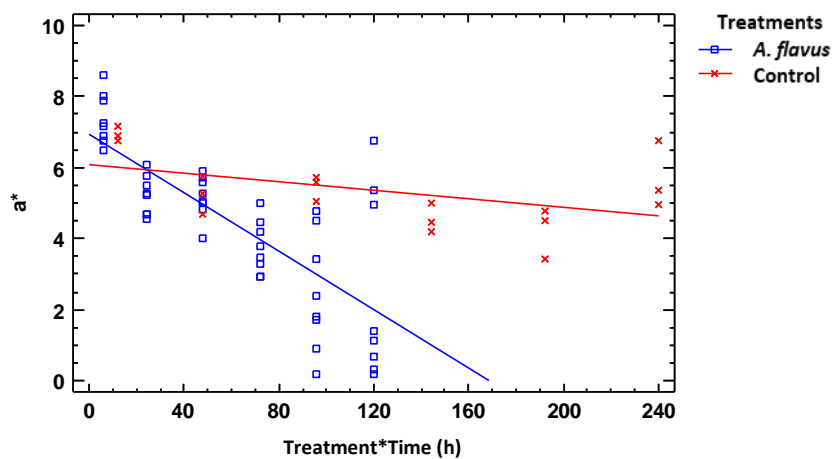


\*: Όσοι σπόροι κριθαριού από τα τρυβλία-μάρτυρες επιμολύνθηκαν κατά τη διάρκεια των φωτογραφήσεων αφαιρέθηκαν κατά την επεξεργασία εικόνας.

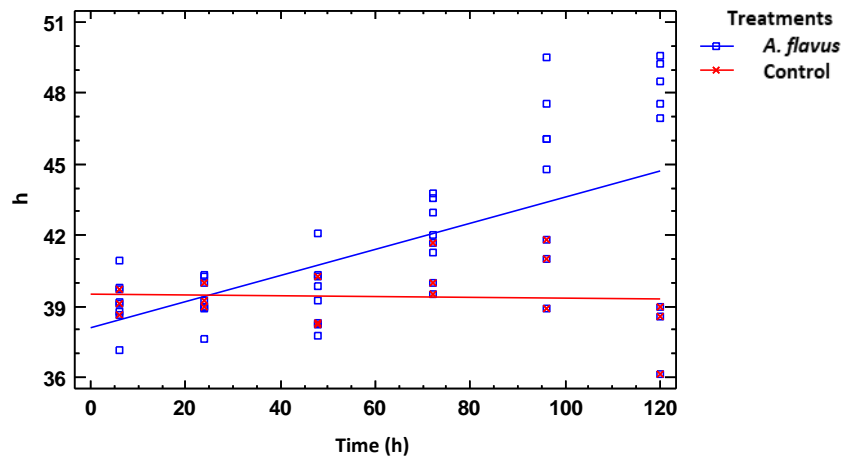
Από την ανάλυση διακύμανσης ANOVA που πραγματοποιήθηκε προέκυψε πως οι μολυσμένοι σπόροι κριθαριού διαφέρουν στατιστικά σημαντικά ( $P_{\text{value}} \leq 0.05$ ) ως προς τις τιμές των παραγόντων: R,  $a^*$  και h (Γραφήματα 4.15., 4.16. και 4.17.). Παράλληλα, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής, οι τιμές των υπολοίπων παραγόντων (G, B, L,  $b^*$ , C και  $b^*$ ) φαίνεται να επηρεάζονται μόνο από τον χρόνο και όχι από την μόλυνση με τον μύκητα (Γραφήματα 4.18. και 4.19.).



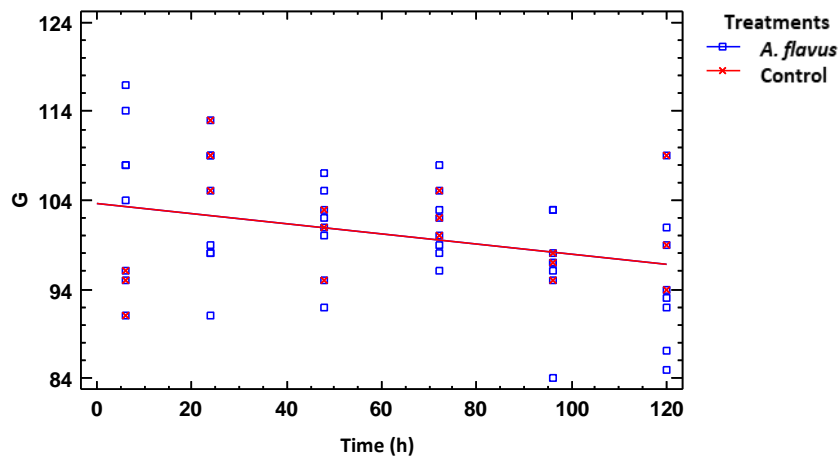
Γράφημα 4.15. Μεταβολή του κόκκινου χρώματος (R) συναρτήσει της αλληλεπίδρασης εφαρμογής - χρόνου ανά εφαρμογή



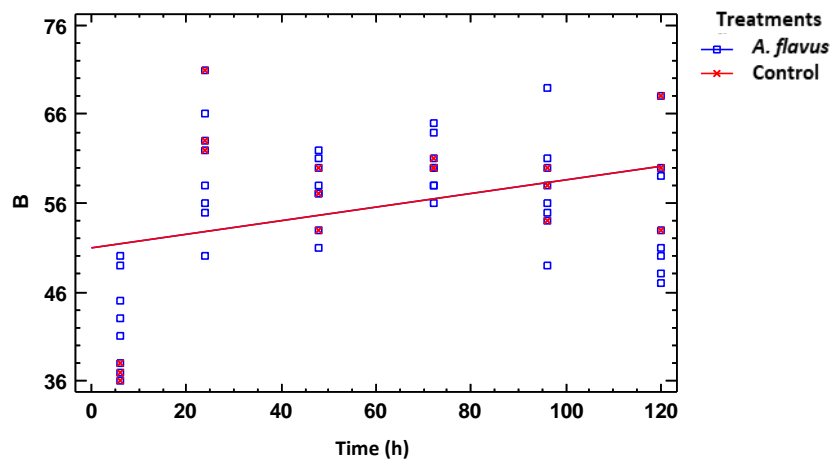
Γράφημα 4.16. Μεταβολή του παράγοντα πράσινο – κόκκινο ( $a^*$ ) χρώμα συναρτήσει της αλληλεπίδρασης εφαρμογής - χρόνου ανά εφαρμογή



Γράφημα 4.17. Μεταβολή της χροιάς (h) συναρτήσει χρόνου ανά εφαρμογή



Γράφημα 4.18. Μεταβολή του πράσινου χρώματος (G) συναρτήσει χρόνου ανά εφαρμογή



Γράφημα 4.19. Μεταβολή του μπλε χρώματος (B) συναρτήσει χρόνου ανά εφαρμογή

Σύμφωνα με τα παραπάνω γραφήματα, μόνο οι παράγοντες του κόκκινου χρώματος, του πράσινου – κόκκινου χρώματος και της χροιάς φαίνεται να επηρεάζονται στατιστικώς σημαντικά ( $P_{\text{value}} \leq 0.05$ ) από τη μόλυνση των σπόρων κριθαριού. Η μεταβολή αυτή γίνεται πιο έντονη από τις πρώτες ώρες της μόλυνσης (6 – 24 hpi), όπου οι παράγοντες R και  $a^*$  μειώνονται όσο εξελίσσεται η μόλυνση, ενώ στους μάρτυρες οι αντίστοιχες τιμές αυξάνονται.

Όσον αφορά τον παράγοντα h, οι τιμές του αυξάνονται στους μολυσμένους σπόρους κριθαριού, ενώ στους μάρτυρες οι τιμές της χροιάς μειώνονται ελαφρώς.

#### 4.1.4. Ανίχνευση Φύλλων Ελιάς με Συμπτώματα Βερτισιλλίωσης

Οι φωτογραφίες που λήφθηκαν στα πλαίσια αυτής της μελέτης είναι οι εξής:

##### Μολυσμένα φύλλα



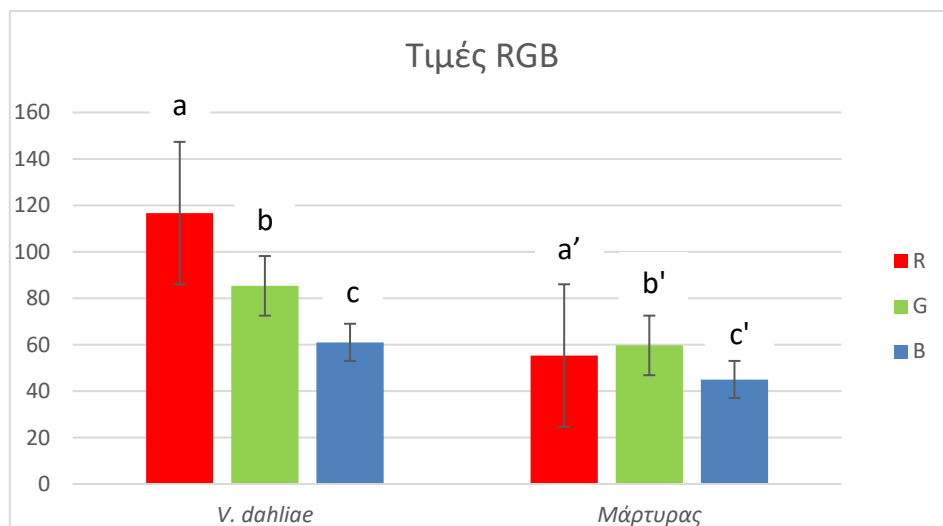
##### Υγιή φύλλα



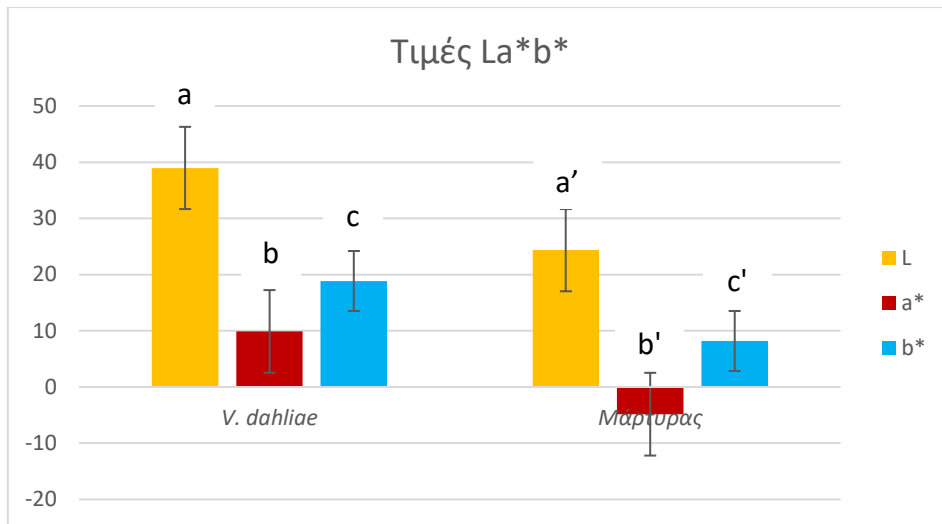
##### Μολυσμένα και υγιή φύλλα μαζί



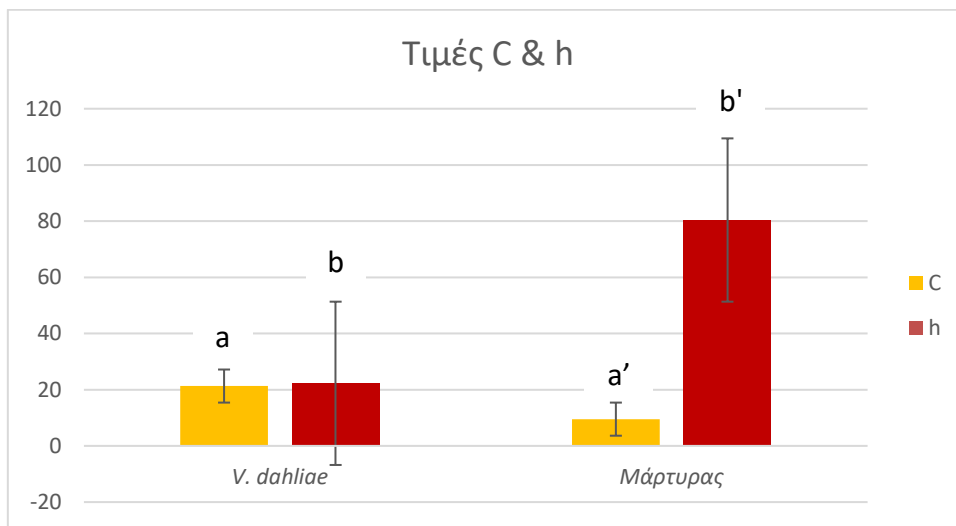
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης, οι διαφορές μεταξύ όλων των παραγόντων που εξετάστηκαν (R, G, B, L, a\*, b\*, C\* και h) ήταν στατιστικώς σημαντικές ( $P_{\text{value}} \leq 0.05$ ) ανάμεσα σε μολυσμένα και υγιή φύλλα. Τα αποτελέσματα αυτά συνοψίζονται στα παρακάτω γραφήματα (Γραφήματα 4.20, 4.21. και 4.22.).



Γράφημα 4.20. Οι τιμές κόκκινου (R), πράσινου (G) και μπλε (B) χρώματος σε φύλλα ελιάς με συμπτώματα βερτισιλλίωσης και σε υγιή φύλλα



Γράφημα 4.21. Οι τιμές φωτεινότητας (L), πράσινου-κόκκινου (a\*) και κίτρινου-μπλε (b\*) χρώματος σε φύλλα ελιάς με συμπτώματα θερτισιλίωσης και σε υγιή φύλλα



Γράφημα 4.22. Οι τιμές κορεσμού (C) και χροιάς (h) σε φύλλα ελιάς με συμπτώματα θερτισιλίωσης και σε υγιή φύλλα

Σύμφωνα με τα παραπάνω γραφήματα, όλοι οι παράγοντες που εξετάστηκαν λαμβάνουν μεγαλύτερες τιμές στα συμπτωματικά φύλλα ελιάς με εξαίρεση τους παράγοντες του κορεσμού και της χροιάς, οι οποίοι λαμβάνουν μεγαλύτερες τιμές στα υγιή φύλλα.

#### 4.1.5 Ανίχνευση Φύλλων Μελιτζάνας με Συμπτώματα Βερτισιλλίωσης

Οι φωτογραφίες που λήφθηκαν στα πλαίσια αυτής της μελέτης είναι οι εξής:

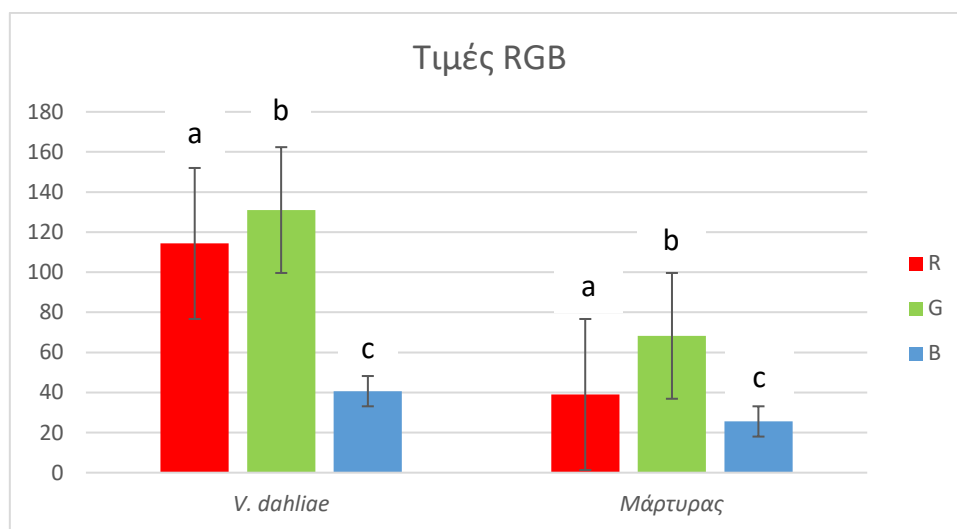
##### Μολυσμένα φύλλα



##### Υγιή φύλλα

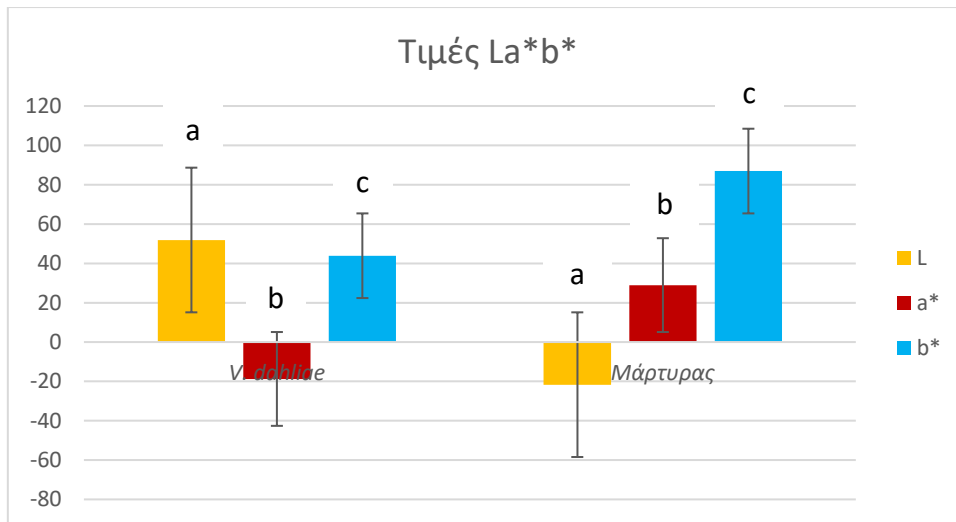


Όπως φαίνεται και από τα παρακάτω γραφήματα (4.23. – 4.25.) δεν παρατηρήθηκε στατιστική διαφορά ( $P_{\text{value}} \leq 0.05$ ) μεταξύ μολυσμένων και υγιών φύλλων.

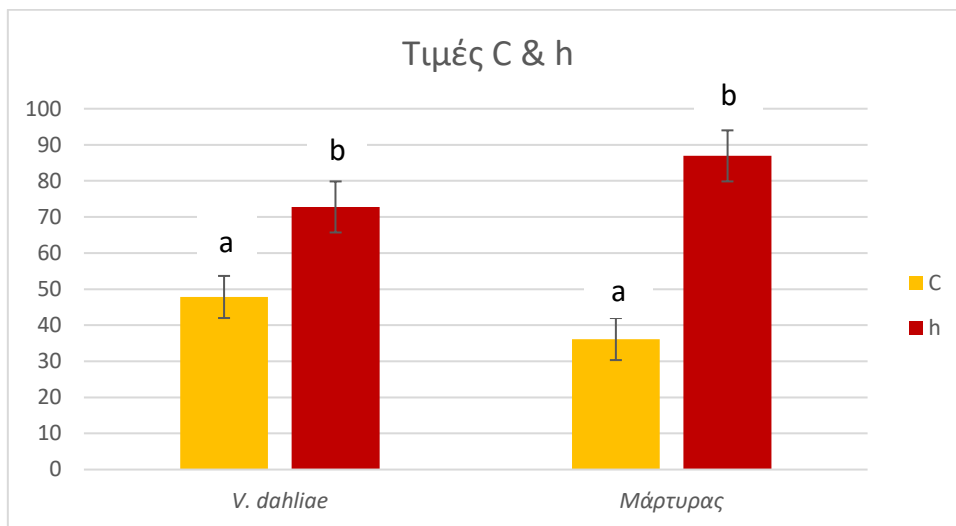


Γράφημα 4.23. Οι τιμές κόκκινου (R), πράσινου (G) και μπλε (B) χρώματος σε φύλλα μελιτζάνας με συμπτώματα βερτισιλλίωσης και σε υγιή φύλλα





Γράφημα 4.24. Οι τιμές φωτεινότητας (L), πράσινου-κόκκινου (a\*) και κίτρινου-μπλε (b\*) χρώματος σε φύλλα μελιτζάνας με συμπτώματα θερτισιλλίωσης και σε υγιή φύλλα



Γράφημα 4.25. Οι τιμές κορεσμού (C) και χροιάς (h) σε φύλλα μελιτζάνας με συμπτώματα θερτισιλλίωσης και σε υγιή φύλλα

Παρ'όλο που στα παραπάνω γραφήματα διακρίνονται κάποιες διαφορές στις τιμές των διαφόρων παραγόντων μεταξύ μολυσμένων και υγιών φύλλων, οι διαφορές αυτές δεν είναι στατιστικώς σημαντικές ( $P_{\text{value}} \leq 0.05$ ), καθώς το στατιστικό σφάλμα είναι μεγάλο.

#### 4.1.6 Ανίχνευση Συμπτωμάτων Ίσκαας σε Αμπέλια στον Αγρό

Οι φωτογραφίες που λήφθηκαν στα πλαίσια της παρούσας μελέτης είναι οι παρακάτω:

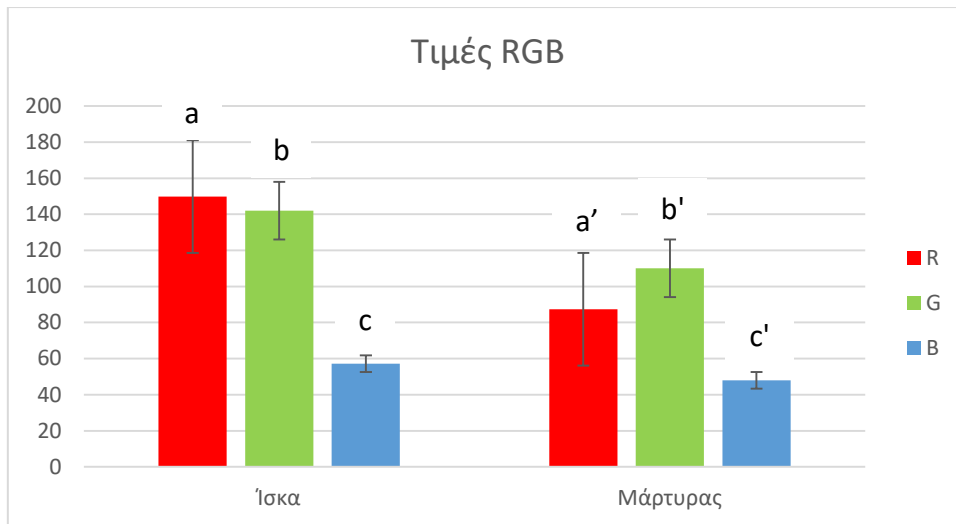
##### Συμπτωματικά φύλλα



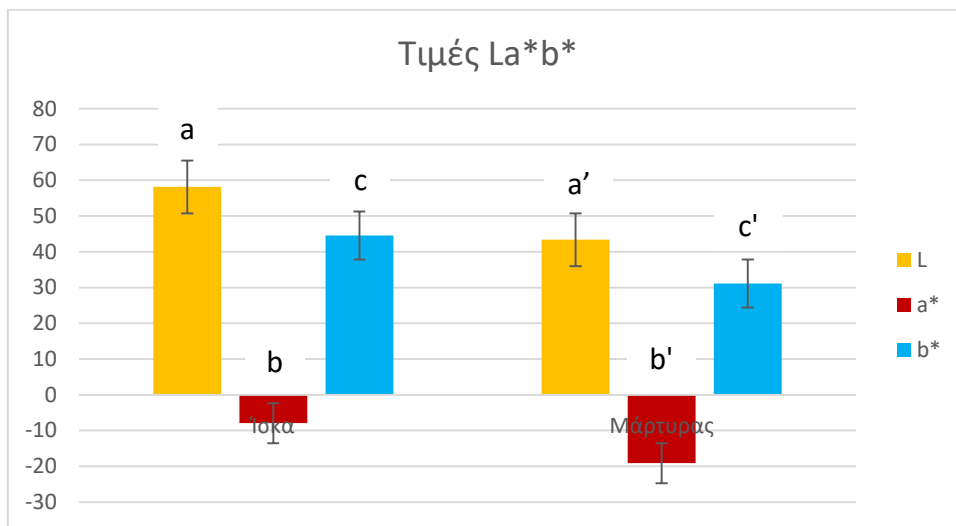
##### Υγιή φύλλα



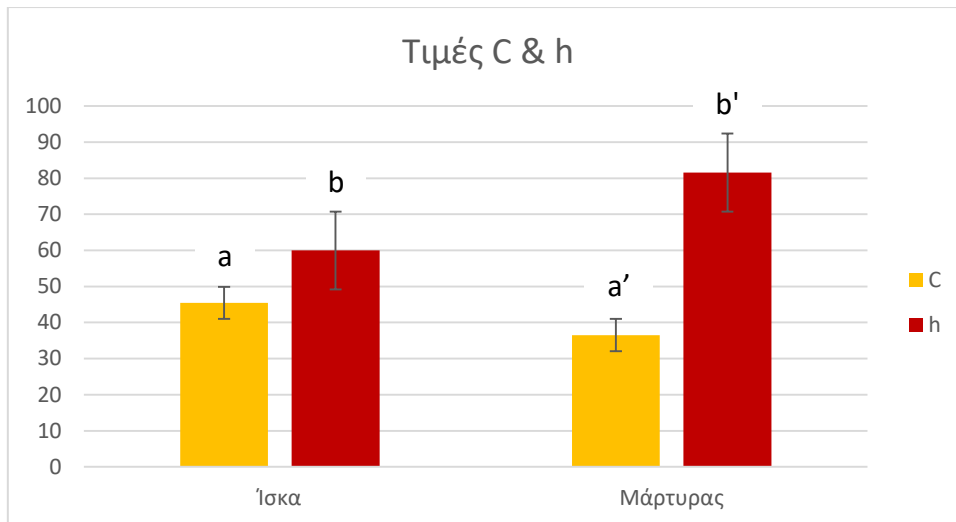
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης, οι διαφορές μεταξύ όλων των παραγόντων που εξετάστηκαν (R, G, B, L, a\*,b\*,C και h) ήταν στατιστικώς σημαντικές ( $P_{\text{value}} \leq 0.05$ ) ανάμεσα σε μολυσμένα και υγιή φύλλα. Τα αποτελέσματα αυτά συνοψίζονται στα παρακάτω γραφήματα (4.26., 4.27. και 4.28.).



Γράφημα 4.26. Οι τιμές κόκκινου (R), πράσινου (G) και μπλε (B) χρώματος σε φύλλα αμπελιών με συμπτώματα ίσκας και σε υγιή φύλλα



Γράφημα 4.27. Οι τιμές φωτεινότητας (L), πράσινου-κόκκινου (a\*) και κίτρινου-μπλε (b\*) χρώματος σε φύλλα αμπελιών με συμπτώματα ίσκας και σε υγιή φύλλα



Γράφημα 4.28. Οι τιμές κορεσμού (C) και χροιάς (h) σε φύλλα αμπελιών με συμπτώματα ίσκας και σε υγιή φύλλα

Σύμφωνα με τα παραπάνω γραφήματα, όλοι οι παράγοντες που εξετάστηκαν λαμβάνουν υψηλότερες τιμές στα συμπτωματικά φύλλα πρέμνων σε σχέση με τα υγιή φύλλα, με εξαίρεση τους παράγοντες του κορεσμού και της χροιάς, όπου λαμβάνουν υψηλότερες τιμές στους μάρτυρες.

#### 4.1.7. Ανίχνευση Συμπτωμάτων Τεφράς Σήψης σε Μαρούλια στον Αγρό

Οι φωτογραφίες που λήφθηκαν στα πλαίσια αυτής της μελέτης είναι οι εξής:

##### Ήπια συμπτώματα



##### Μέτρια συμπτώματα



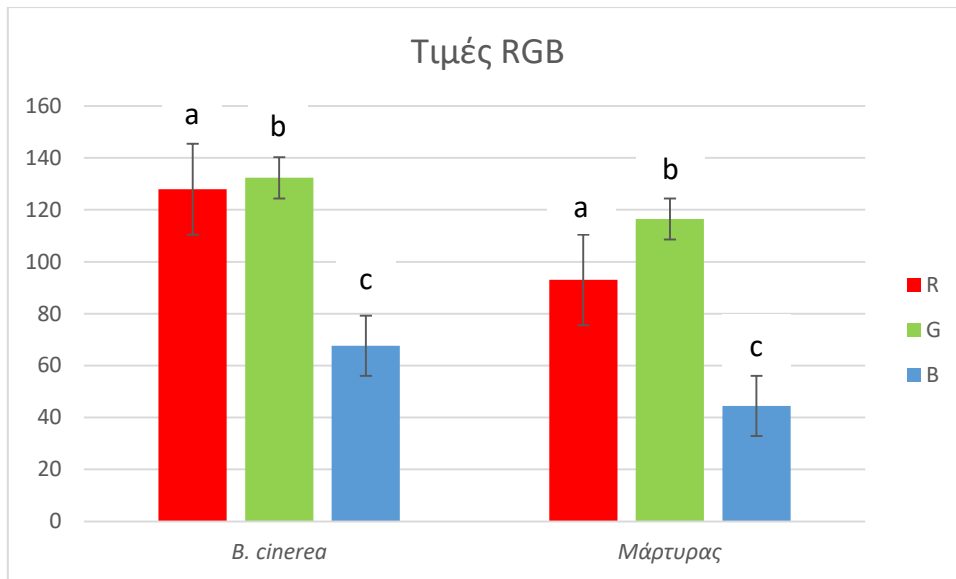
##### Σοβαρά συμπτώματα



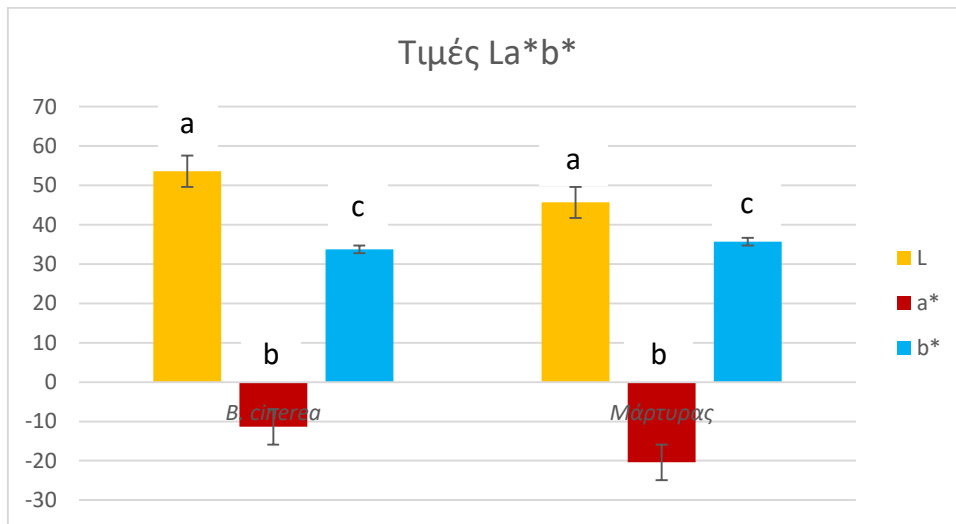
##### Υγιή μαρούλια



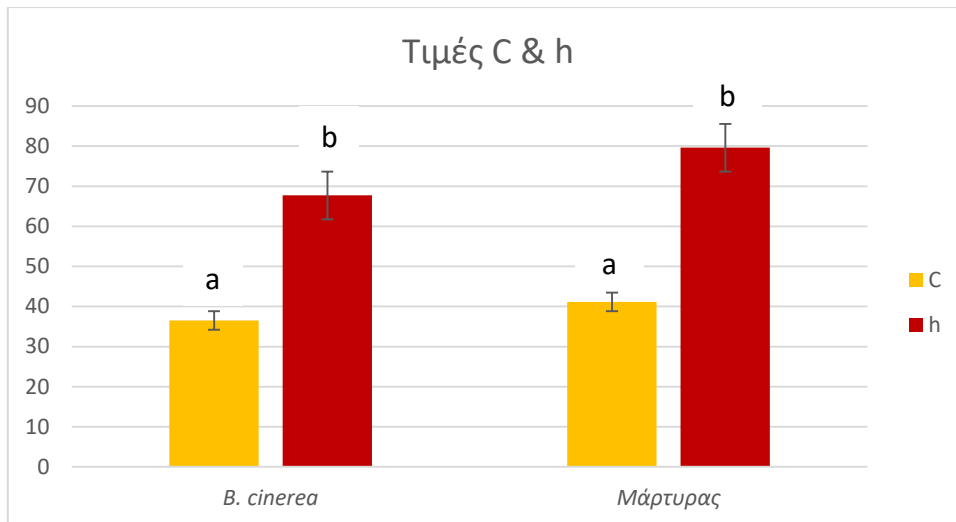
Όπως φαίνεται και από τα παρακάτω γραφήματα (4.29.-4.31.) δεν παρατηρήθηκε στατιστικώς σημαντική ( $P_{\text{value}} \leq 0.05$ ) διαφορά μεταξύ μολυσμένων και υγιών φυτών.



Γράφημα 4.29. Οι τιμές κόκκινου (R), πράσινου (G) και μπλε (B) χρώματος σε μαρούλια με συμπτώματα τεφράς σήψης και σε υγιή



Γράφημα 4.30. Οι τιμές φωτεινότητας (L), πράσινου-κόκκινου (a\*) και κίτρινου-μπλε (b\*) χρώματος σε μαρούλια με συμπτώματα τεφράς σήψης και σε υγιή



Γράφημα 4.31. Οι τιμές κορεσμού (C) και χροιάς (h) σε μαρούλια με συμπτώματα τεφράς σήψης και σε υγιή

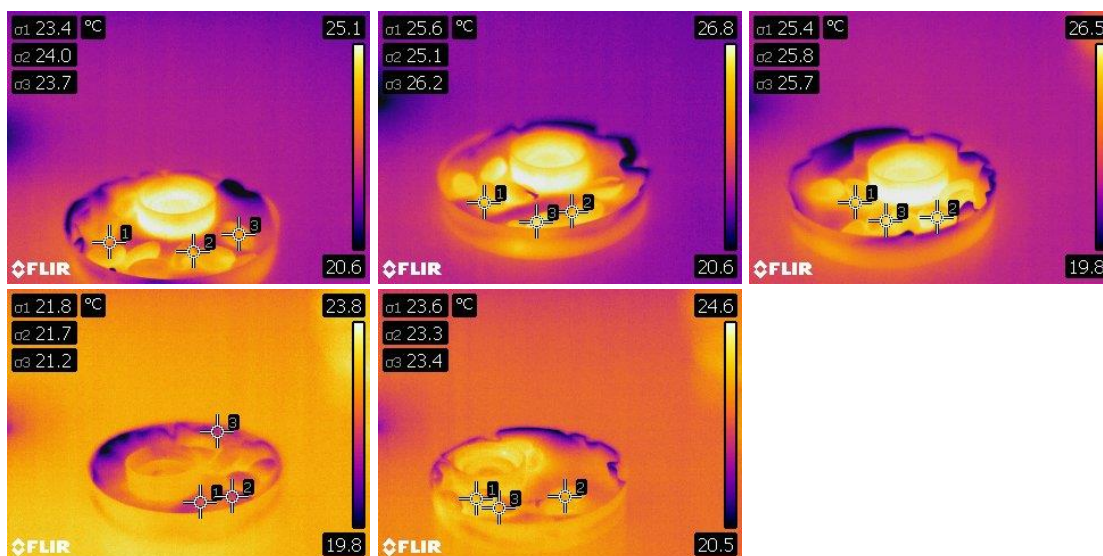
## 4.2. Ανίχνευση Συμπτωμάτων Ασθενειών των Φυτών με τη Χρήση Θερμικής Κάμερας

### 4.2.1. Ανίχνευση Μολυσμένων Κελυφωτών Φιστικιών

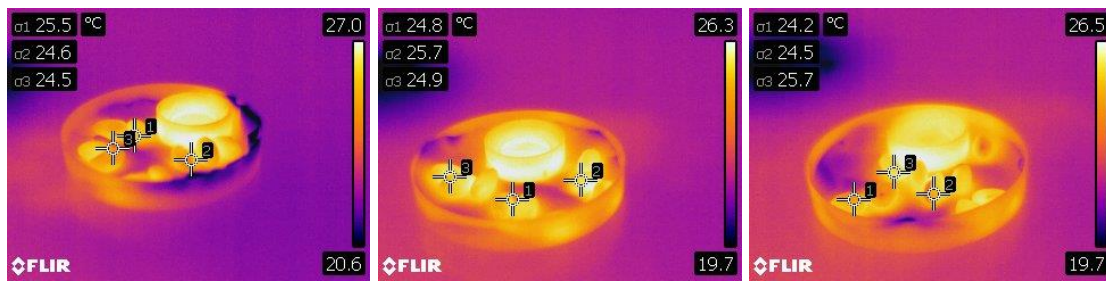
Οι φωτογραφίες που λήφθηκαν κατά τα χρονικά σημεία των 6, 24, 30, 48, 54, 72, 96 και 120 ωρών μετά την τεχνητή μόλυνση από το μύκητα *A. flavus* (hri) παρουσιάζονται παρακάτω:

#### 6 hri

##### Τρυβλία με μολυσμένα φιστίκια

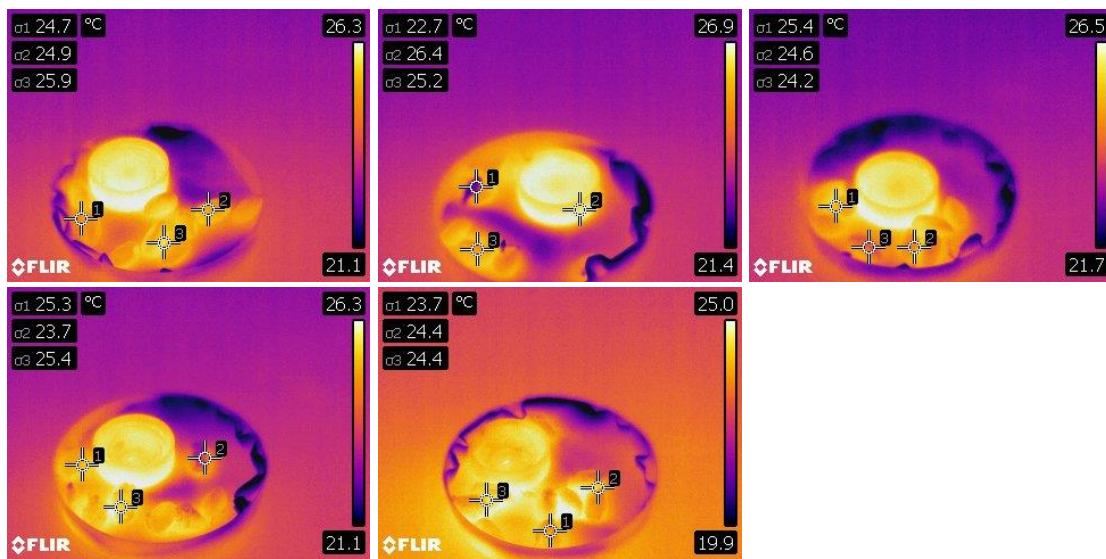


## Μάρτυρες

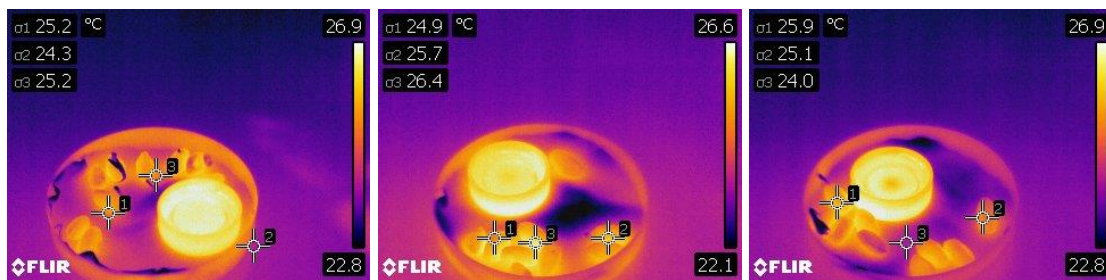


## 54 hpi

### Τρυβλία με μολυσμένα φιστίκια



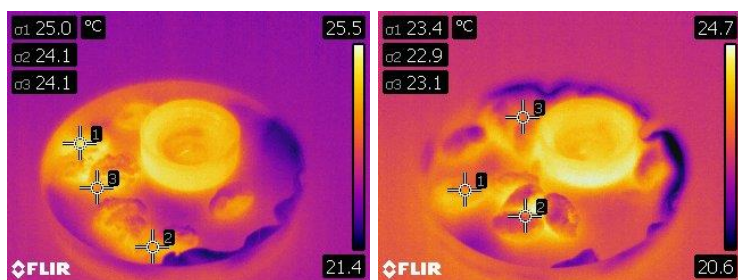
## Μάρτυρες



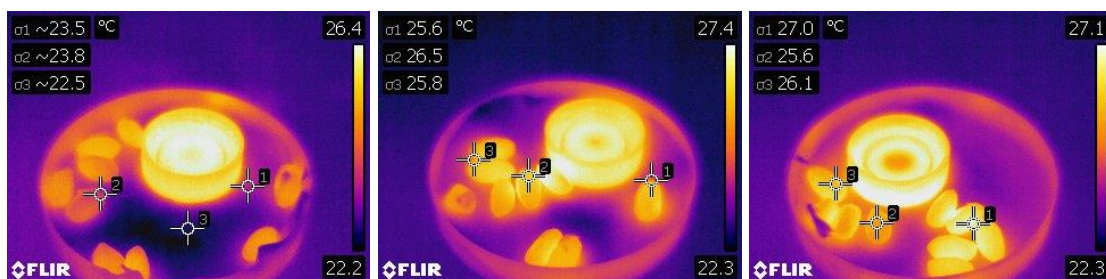
## 120 hpi

### Τρυβλία με μολυσμένα φιστίκια

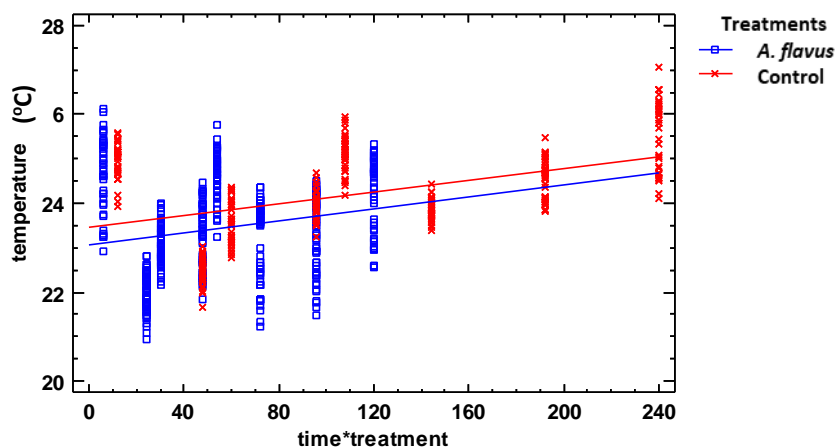




## Μάρτυρες



Σύμφωνα με τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, τα μολυσμένα κελυφωτά φιστικά έχουν στατιστικά σημαντικά ( $P_{\text{value}} \leq 0.05$ ) χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας καθόλη τη διάρκεια των μετρήσεων (Γράφημα 4.32.).



Γράφημα 4.32. Μεταβολή της θερμοκρασίας συναρτήσει της αλληλεπίδρασης εφαρμογής - χρόνου ανά εφαρμογή

Από το παραπάνω γράφημα παρατηρείται η σημαντική διαφορά μεταξύ των τιμών της θερμοκρασίας μεταξύ μολυσμένων και αμόλυντων κελυφωτών φιστικών. Οι τιμές της θερμοκρασίας εμφανίζουν την ίδια αυξητική τάση και στις δύο περιπτώσεις, ωστόσο οι τιμές αυτές είναι χαμηλότερες καθ'όλη τη διάρκεια των μετρήσεων στους μολυσμένους καρπούς.

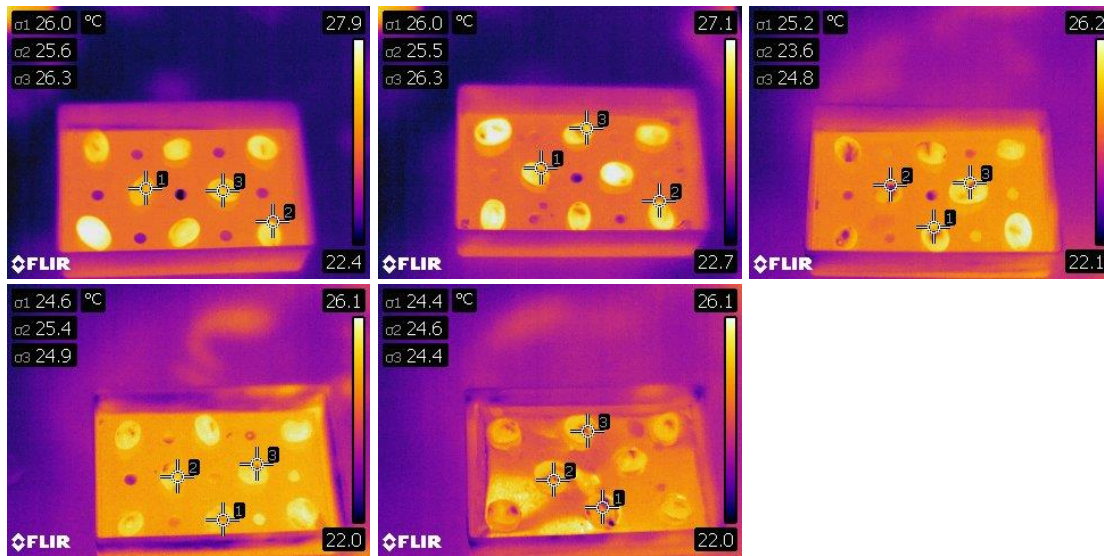
### 4.2.2. Ανίχνευση Μολυσμένων Σταφυλιών

Οι φωτογραφίες που λήφθηκαν κατά τα χρονικά σημεία των 6, 24, 30, 48, 54, 72, 76, 96 και 120 ωρών μετά την τεχνητή μόλυνση από το μύκητα *A. carbonarius* (hri) παρουσιάζονται παρακάτω:

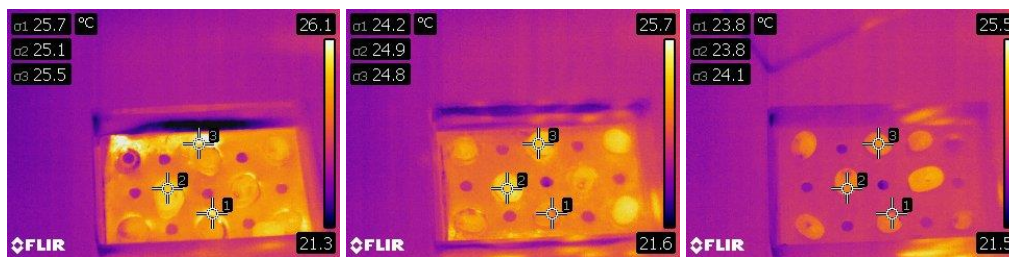


## 6 ηρι

### Μολυσμένα σαφύλια

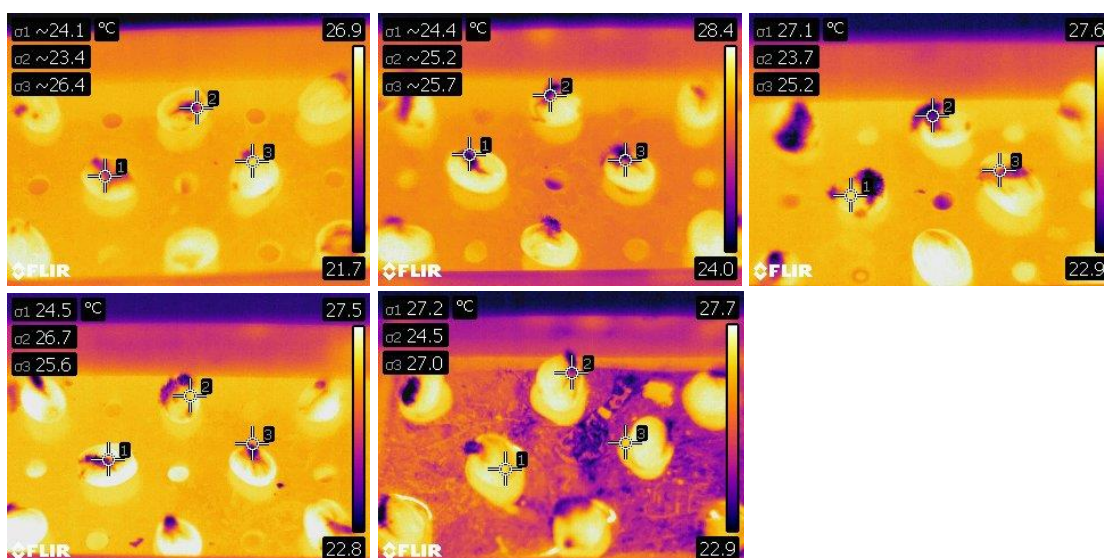


### Μάρτυρες

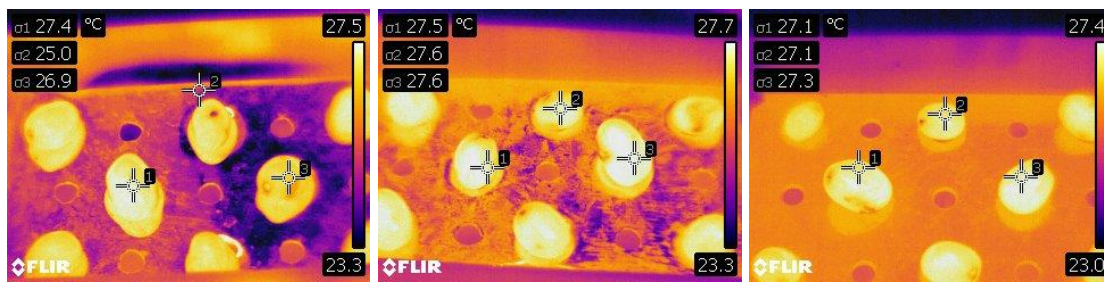


## 54 ηρι

### Μολυσμένα σαφύλια

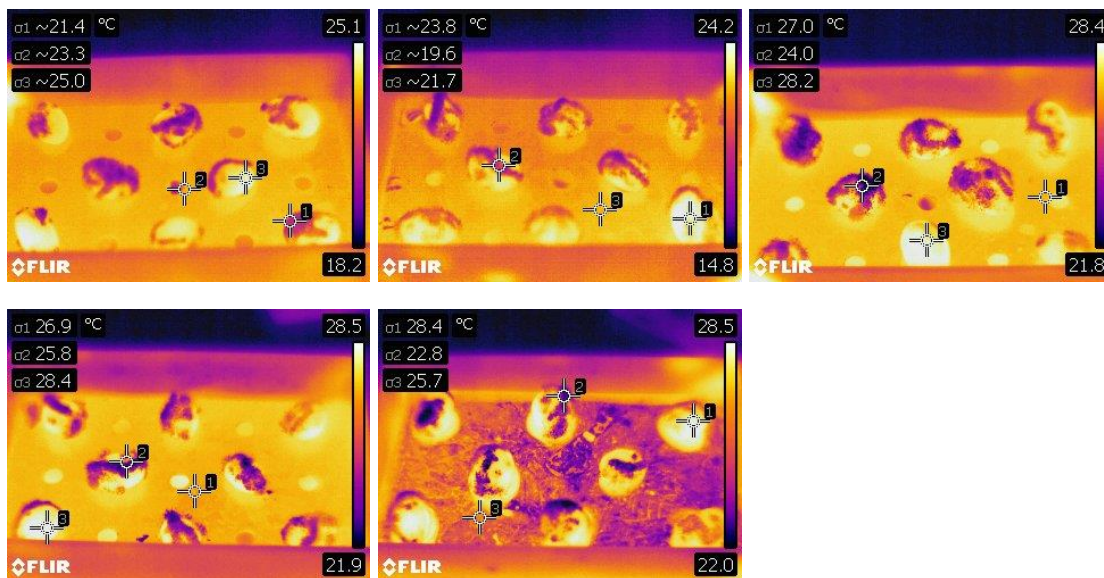


## Μάρτυρες

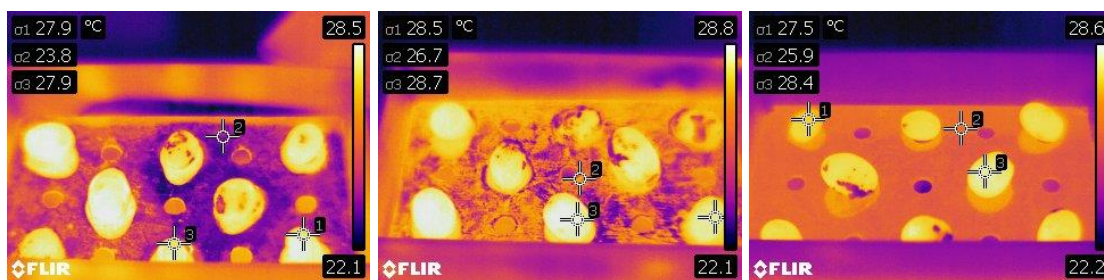


## 120 hpi

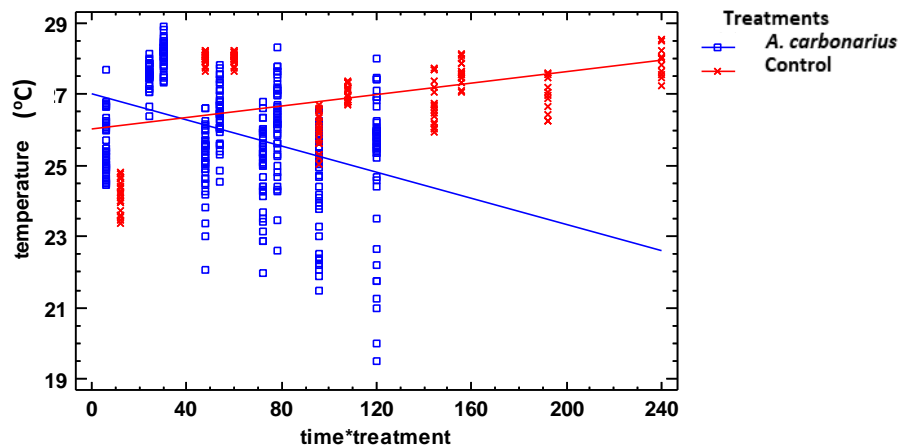
### Μολυσμένα σταφύλια



## Μάρτυρες

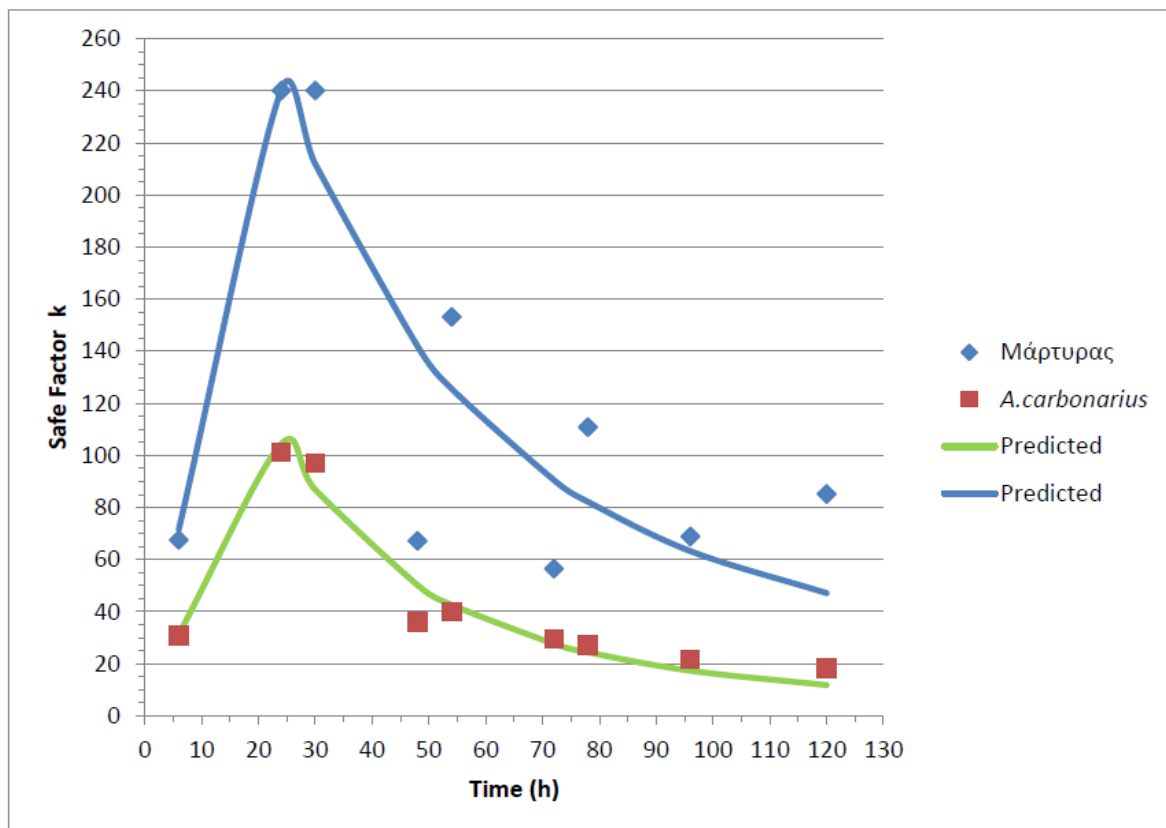


Σύμφωνα με τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, τα μολυσμένα σταφύλια έχουν στατιστικά σημαντικά ( $P_{\text{value}} \leq 0.05$ ) χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια των μετρήσεων. Πιο συγκεκριμένα, αρχικά οι μολυσμένες ράγες φαίνεται να έχουν υψηλότερη θερμοκρασία ενώ στη συνέχεια, μετά τις 30 περίπου ώρες, καθώς η θερμοκρασία των υγιών σταφυλιών αυξάνεται, η θερμοκρασία των μολυσμένων μειώνεται αισθητά (Γράφημα 4.33.).



Γράφημα 4.33. Μεταβολή της θερμοκρασίας συναρτήσει της αλληλεπίδρασης εφαρμογής - χρόνου ανά εφαρμογή

Όπως παρατηρείται στο παραπάνω γράφημα (Γράφημα 4.34.), οι τιμές της θερμοκρασίας έχουν μια τάση μείωσης στα μολυσμένα κελυφωτά φιστίκια, σε αντίθεση με τους μάρτυρες, οι τιμές θερμοκρασίας των οποίων έχουν αυξητική τάση. Μετά τις 30 ώρες από τη μόλυνση, οι διαφορές στις τιμές της θερμοκρασίας μεταξύ των εφαρμογών αυξάνονται διαρκώς.



Γράφημα 4.34. Εξέλιξη του συντελεστή k (παράγοντας υποβάθμισης) σε συνάρτηση με το χρόνο

Στο παραπάνω γράφημα φαίνεται η στατιστικώς σημαντική διαφοροποίηση της παραλλακτικότητας του παράγοντα υποβάθμισης k μεταξύ υγιών και μολυσμένων με τον μύκητα *A. carbonarius* σταφυλιών, αφού προηγουμένως αυτός υπολογίστηκε σύμφωνα με

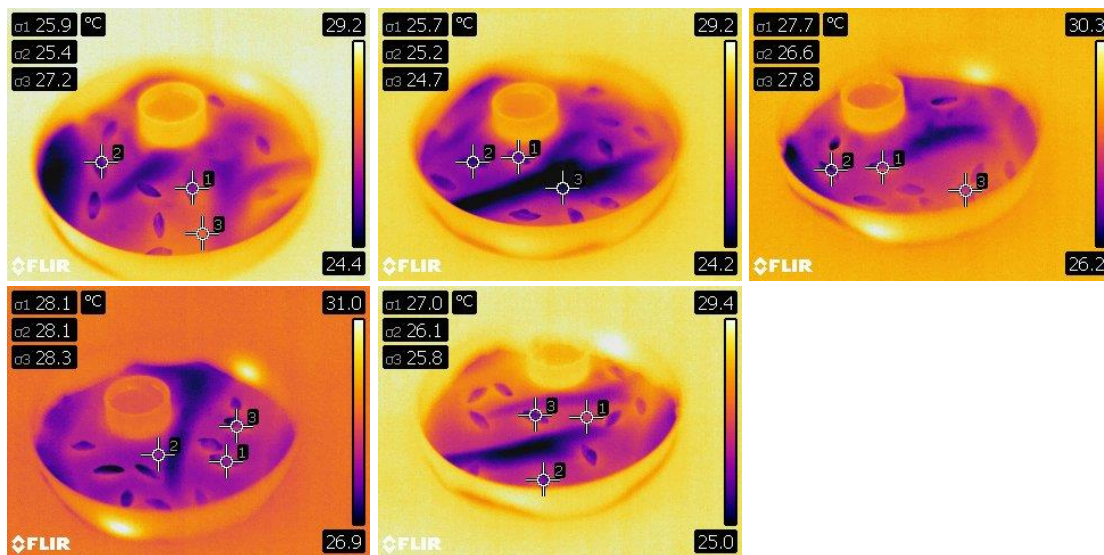
το μοντέλο Weibull. Όπως διακρίνεται, οι τιμές του συντελεστή  $k$  είναι μεγαλύτερες της μονάδας και στην περίπτωση των μολυσμένων ραγών και σε αυτή των αμόλυντων, το οποίο υποδηλώνει «γήρανση» του προϊόντος η οποία βαίνει μειούμενη με το χρόνο λόγω της υποβάθμισης του προϊόντος. Οι τιμές του παράγοντα  $k$  διαφοροποιούνται εντονότερα στις 30 ώρες, αλλά και στη συνέχεια. Στις μολυσμένες ράγες, αυτό συμβαίνει λόγω της ανάπτυξης του μύκητα και των ενζυμικών αντιδράσεων που συμβαίνουν στις ράγες, ενώ στους μάρτυρες λόγω των ενζυμικών αντιδράσεων μόνο.

#### 4.2.1. Ανίχνευση Μολυσμένων Σπόρων Κριθαριού

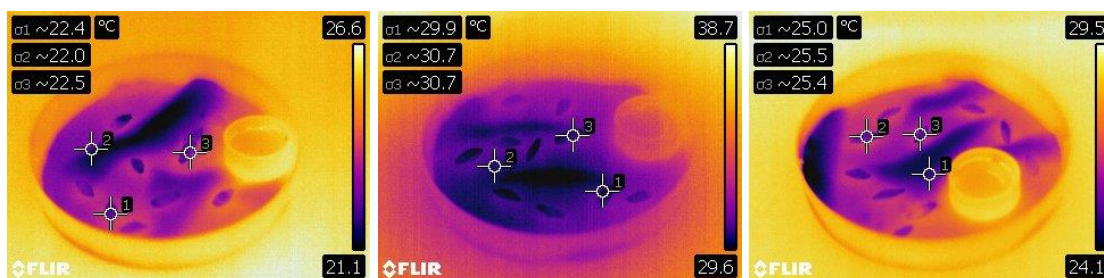
Οι φωτογραφίες που λήφθηκαν κατά τα χρονικά σημεία των 6, 24, 48, 72, 96 και 120 ωρών μετά την τεχνητή μόλυνση από το μύκητα *A. flavus* (hri) παρουσιάζονται παρακάτω:

##### 6 hri

##### Τρυβλία με μολυσμένους σπόρους κριθαριού

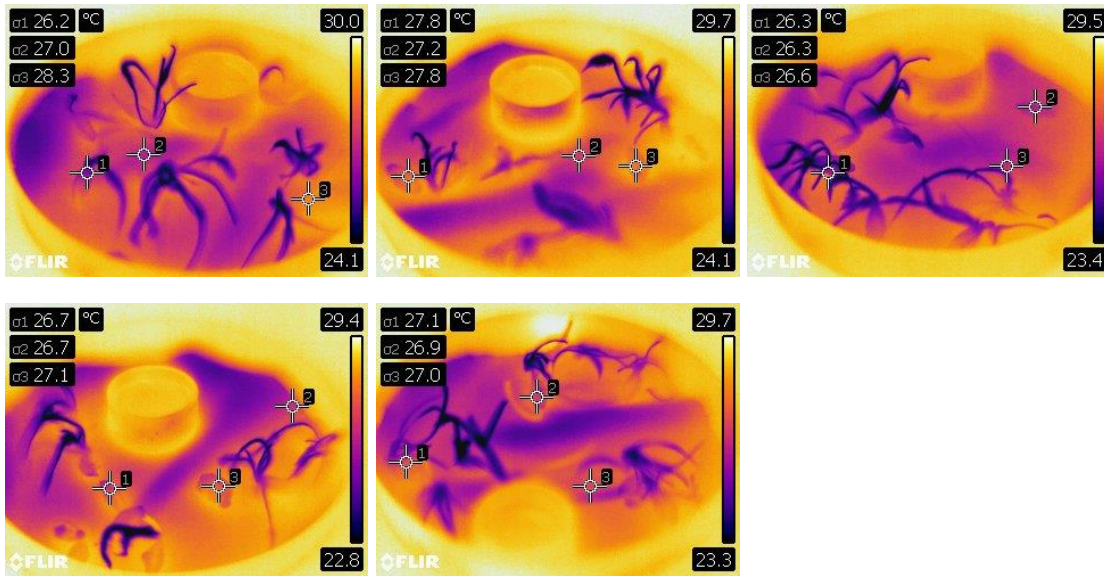


##### Μάρτυρες

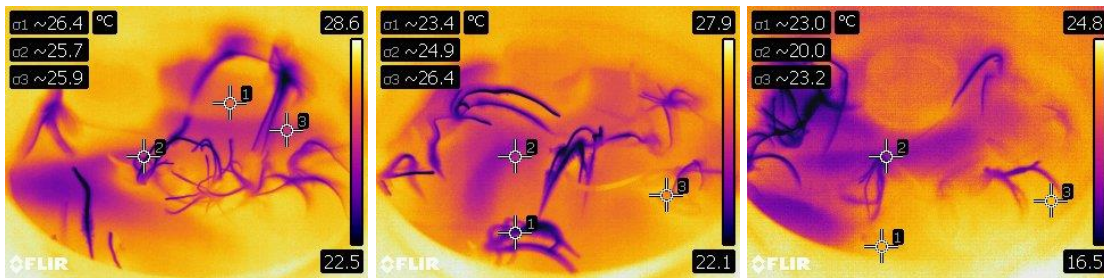


**72 hpi**

**Τρυβλία με μολυσμένους σπόρους κριθαριού**

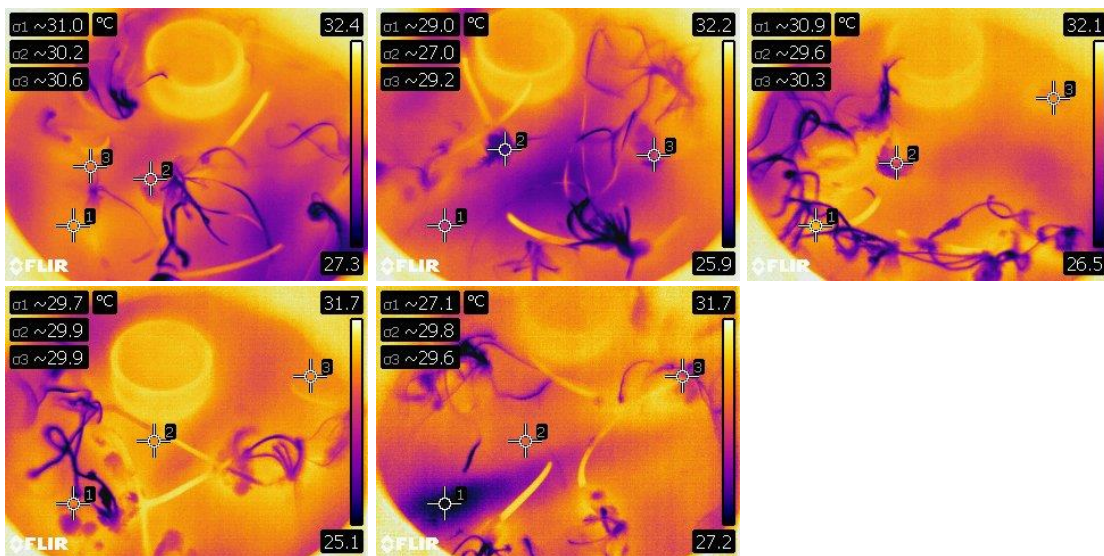


**Μάρτυρες**

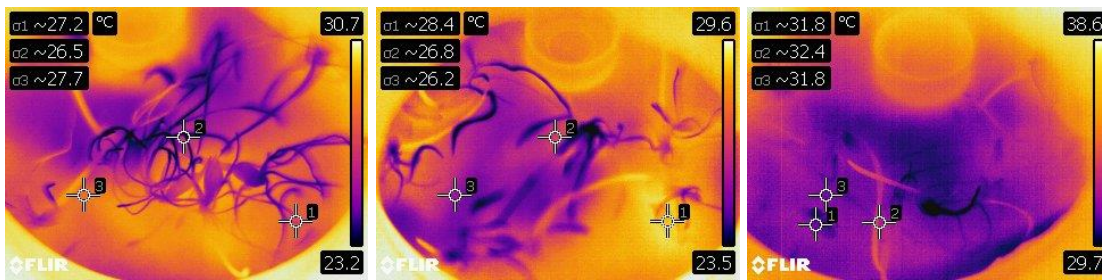


**120 hpi**

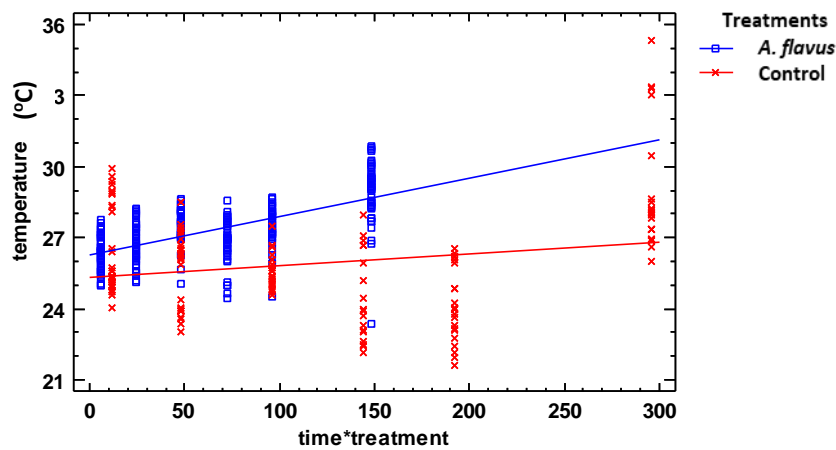
**Τρυβλία με μολυσμένους σπόρους κριθαριού**



## Μάρτυρες



Σύμφωνα με τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, οι μολυσμένοι σπόροι κριθαριού έχουν στατιστικά σημαντικά ( $P_{\text{value}} \leq 0.05$ ) υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας καθόλη τη διάρκεια των μετρήσεων (Γράφημα 4.35.). Με το πέρασ του χρόνου, η διαφορά της θερμοκρασίας μεταξύ μολυσμένων και υγιών σπόρων μεγαλώνει.



Γράφημα 4.35. Μεταβολή της θερμοκρασίας συναρτήσει της αλληλεπίδρασης εφαρμογής - χρόνου ανά εφαρμογή

Παρατηρείται πως οι τιμές της θερμοκρασίας έχουν μια αυξητική τάση και στις δύο περιπτώσεις, ωστόσο η αυξητική τάση είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση των μολυσμένων σπόρων κριθαριού. Παράλληλα, οι τιμές της θερμοκρασίας των μολυσμένων δειγμάτων είναι διαρκώς μεγαλύτερες σε σχέση με στις μάρτυρες.

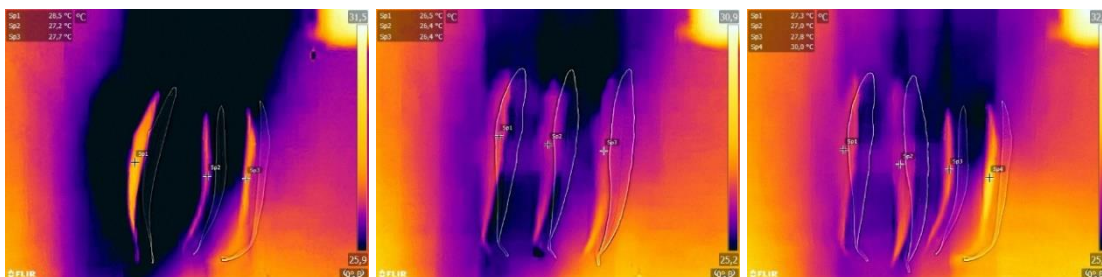
### 4.2.4. Ανίχνευση Φύλλων Ελιάς με Συμπτώματα Βερτισιλλίωσης

Οι φωτογραφίες που λήφθηκαν στα πλαίσια αυτής της μελέτης είναι οι εξής:

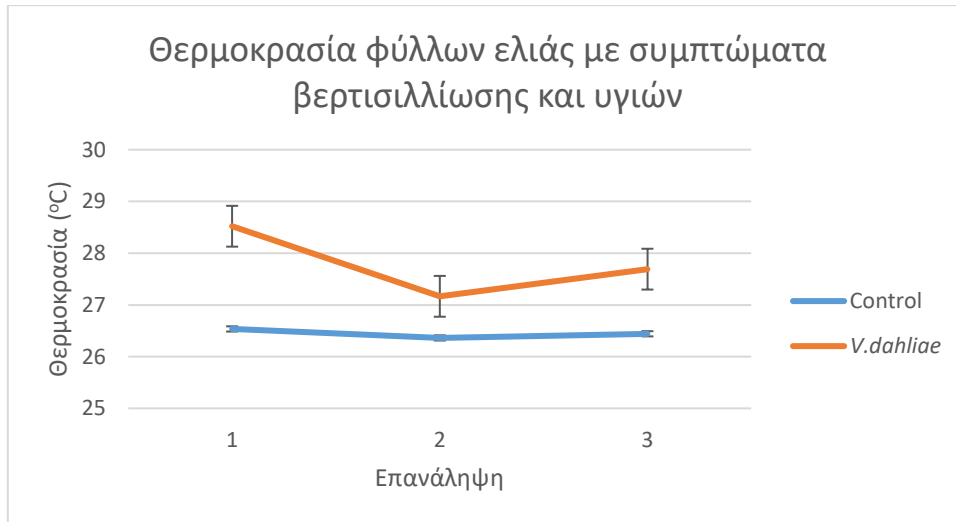
#### Μολυσμένα φύλλα

#### Μάρτυρας

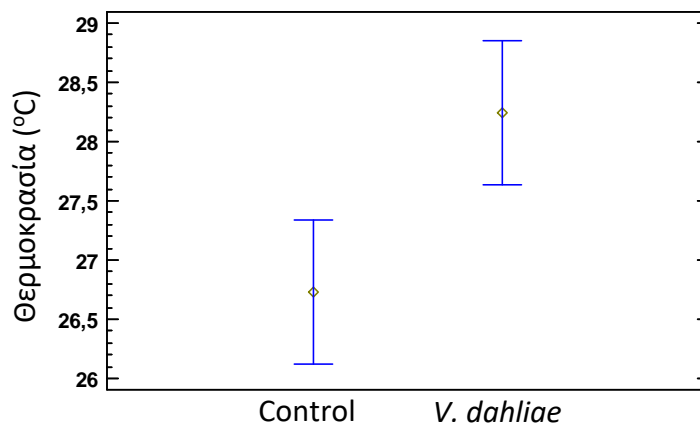
#### Μολυσμένα και υγιή φύλλα μαζί



Από την στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε προέκυψε πως τα συμπτωματικά φύλλα έχουν στατιστικά σημαντικά ( $P_{\text{value}} \leq 0.05$ ) υψηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με τα υγιή. Αυτό διαπιστώνεται και από τα παρακάτω γραφήματα (Γράφημα 4.36. και Γράφημα 4.37.):



Γράφημα 4.36. Σύγκριση τιμών θερμοκρασίας μεταξύ φύλλων ελιάς που φέρουν συμπτώματα βερτισιλλίωσης (*V.dahliae*) και υγιών φύλλων

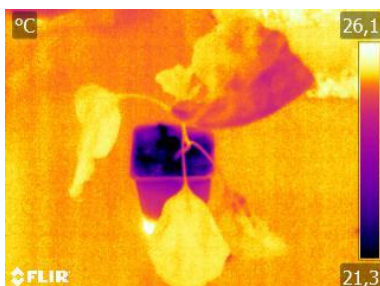


Γράφημα 4.37. Κατανομή των τιμών θερμοκρασίας μεταξύ συμπτωματικών και υγιών φύλλων ελιάς

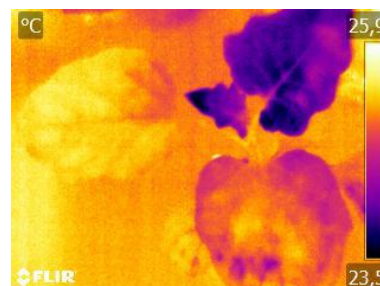
#### 4.2.5 Ανίχνευση Συμπτώματα Βερτισιλλίωσης σε Φύλλα Μελιτζάνας

Οι φωτογραφίες που λήφθηκαν στα πλαίσια αυτής της μελέτης είναι οι εξής:

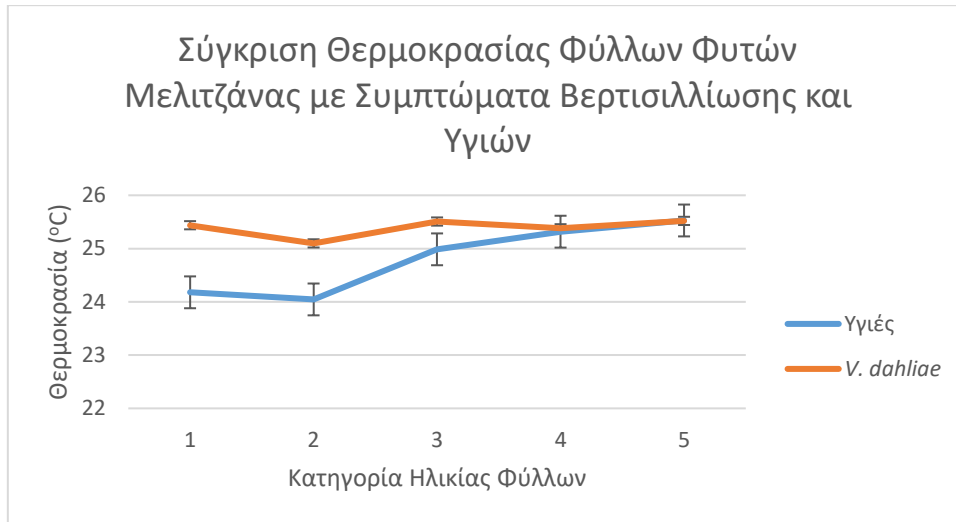
##### **Φυτό μελιτζάνας με συμπτωματικά φύλλα**



##### **Μάρτυρας**



Σύμφωνα με το Γράφημα 4.38., φαίνεται πως τα συμπτωματικά φύλλα μελιτζάνας έχουν σταθερά σχετικά υψηλή θερμοκρασία ανεξάρτητα από την ηλικία τους. Αντίθετα, τα φύλλα των υγιών φυτών φαίνεται να έχουν χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας όσο πιο νεαρά είναι, ενώ οι τιμές αυτές αυξάνονται με την ηλικία τους.



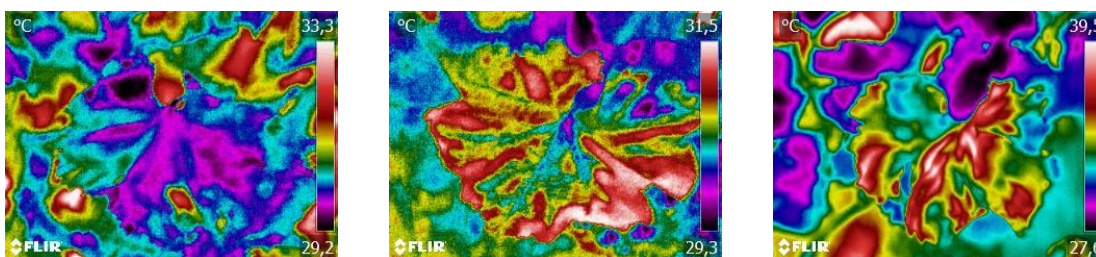
Γράφημα 4.38. Σύγκριση τιμών θερμοκρασίας φύλλων διαφορετικής ηλικίας μολυσμένων και υγιών φυτών μελιτζάνας. 1: πολύ νεαρή ηλικία, 2: νεαρή ηλικία, 3: μέση ηλικία, 4: μεγαλύτερη ηλικία 5: κοτυληδόνες

Ωστόσο, από τη στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε ( $P_{\text{value}} \leq 0.05$ ), βρέθηκε συσχέτιση μόνο μεταξύ ηλικίας φύλλου και θερμοκρασίας, με την εφαρμογή να φαίνεται να μην διαδραματίζει κάποιο ρόλο στις τιμές της θερμοκρασίας των φύλλων της μελιτζάνας.

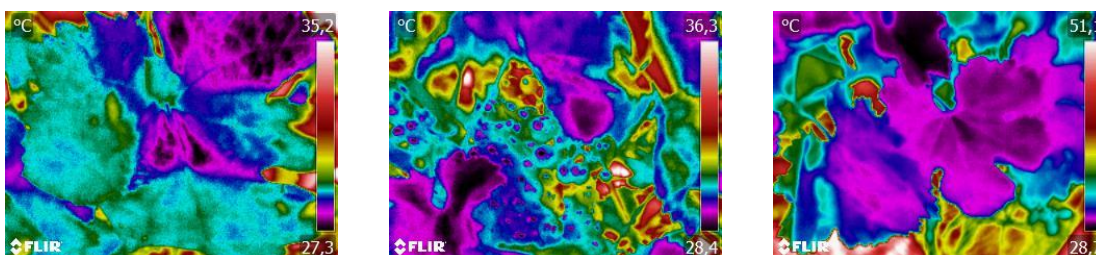
#### 4.2.6. Ανίχνευση Συμπτωμάτων Ίσκακ σε Αμπέλια στον Αγρό

Οι φωτογραφίες που λήφθηκαν στα πλαίσια αυτής της μελέτης είναι οι εξής:

##### **Αμπέλι με συμπτωματικά φύλλα**

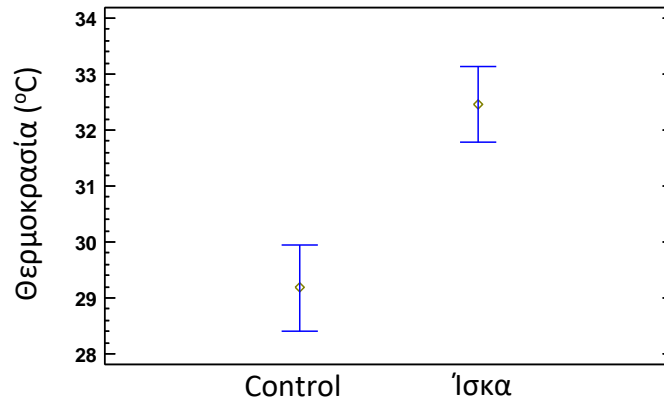


##### **Μάρτυρας**





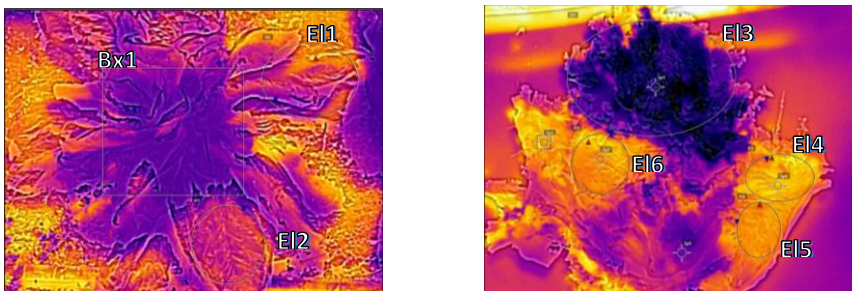
Όπως φαίνεται από το Γράφημα 4.39., τα φύλλα των ασθενών πρέμνων έχουν στατιστικά σημαντικά ( $P_{\text{value}} \leq 0.05$ ) υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας:



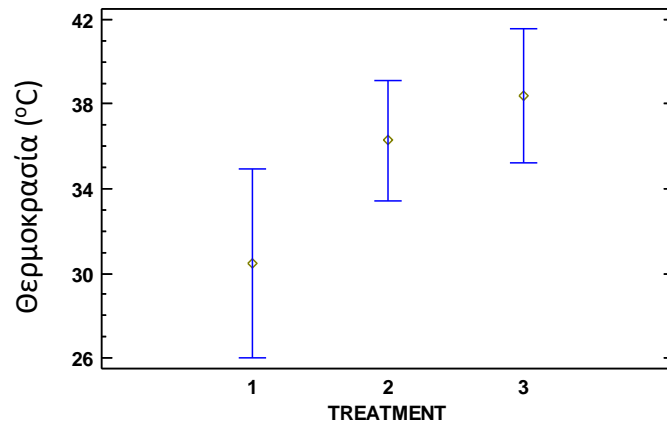
Γράφημα 4.39. Κατανομή των τιμών θερμοκρασίας μεταξύ συμπτωματικών και υγιών φύλλων αμπέλου

#### 4.2.7. Ανίχνευση Συμπτωμάτων Τεφράς Σήψης σε Μαρούλια στον Αγρό

Ενδεικτικά, κάποιες από τις φωτογραφίες που λήφθηκαν στα πλαίσια αυτής της μελέτης είναι οι εξής:



Στις παραπάνω φωτογραφίες, διαχωρίστηκαν οι συμπτωματικές από τις υγιείς περιοχές. Τα σχήματα Bx1, E3, E4 και E5 οριοθετούν υγιείς περιοχές, ενώ τα σχήματα E1, E2 και E6, περιοχές με συμπτώματα τεφράς σήψης. Ωστόσο, όπως φαίνεται από το Γράφημα 4.40., ενώ οι συμπτωματικές περιοχές που βρίσκονται υπό σκιά (3) διαφέρουν στατιστικώς σημαντικά ( $P_{\text{value}} \leq 0.05$ ) από τις υγιείς (1), έχοντας υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας, δεν συμβαίνει το ίδιο και με τις συμπτωματικές περιοχές που βρίσκονται στον ήλιο (2).



Γράφημα 4.40. Κατανομή των τιμών θερμοκρασίας ανάμεσα σε υγιείς περιοχές (1), τις συμπτωματικές περιοχές που βρίσκονται στον ήλιο (2) και συμπτωματικές περιοχές που βρίσκονται υπό σκιά (3).

## 5. Συζήτηση – Συμπεράσματα

Η ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης μπορεί να οδηγήσει σε ορισμένα συμπεράσματα σχετικά με την ανίχνευση ασθενειών των φυτών από οπτικά μέσα, όπως είναι η κάμερα ενός κινητού τηλεφώνου και η θερμική κάμερα.

Όπως αποδείχτηκε, τα δύο αυτά οπτικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη αυτή φαίνεται να έχουν τη δυνατότητα να εντοπίσουν συγκεκριμένες φαινοτυπικές μεταβολές στα φυτά - ξενιστές που προκαλούνται από φυτοπαθογόνους μικροοργανισμούς. Οι ασθένειες της σήψης των κελυφωτών φιστικιών και των σπόρων κριθαριού από το μύκητα *A. flavus*, της όξινης σήψης των σταφυλιών, της βερτισιλλίωσης της ελιάς και της ίσκας της αμπέλου προκαλούν τέτοιες εντοπίσιμες μεταβολές. Αντίθετα, η ασθένεια της βερτισιλλίωσης της μελιτζάνας και η τεφρά σήψη του μαρουλιού δεν έδειξαν να προκαλούν κάποια ανιχνεύσιμη από την κάμερα του κινητού τηλεφώνου ή τη θερμική κάμερα μεταβολή στα φυτά ξενιστές.

Συνοψίζοντας τις μεταβολές που εντοπίζονται από την κάμερα κινητού τηλεφώνου και την κάμερα υπέρυθρης ακτινοβολίας, διαπιστώνονται τα ακόλουθα:

### **Σήψη των κελυφωτών φιστικιών από *A. flavus*:**

Τόσο η κάμερα του κινητού τηλεφώνου όσο και η θερμική κάμερα φαίνεται να μπορούν να αποτελέσουν ένα οπτικό μέσο διάγνωσης της συγκεκριμένης ασθένειας. Μεταξύ μολυσμένων και αμόλυντων φιστικιών, η κάμερα του κινητού τηλεφώνου ξεκινά να εντοπίζει διαφορές στις τιμές του παράγοντα G, του  $a^*$  και του h, 24 ώρες μετά τη μόλυνση, πριν ακόμα από την εμφάνιση των κονιδιοφόρων του μύκητα. Επίσης, εντοπίζει διαφορές στη φωτεινότητα (L) καθόλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Οι διαφορές αυτές μπορούν να αποδοθούν στην επιφανειακή ανάπτυξη του μύκητα στους καρπούς, η οποία πραγματοποιείται με τη μορφή πράσινου μυκηλίου. Αντίστοιχα, η θερμική κάμερα εντοπίζει μια σταθερά μειωμένη θερμοκρασία στα μολυσμένα κελυφωτά φιστίκια, επίσης καθόλη τη διάρκεια των μετρήσεων. Συνεπώς, τα δύο αυτά οπτικά μέσα μπορούν να αποτελέσουν ένα σημαντικό εργαλείο στη διάγνωση της ασθένειας της σήψης των κελυφωτών φιστικιών από τα πρώτα κιόλας στάδια της εξέλιξής της. Το συμπέρασμα αυτό συμφωνεί με τα αντίστοιχα άλλων ερευνητών, όπως της Teena (2015), η οποία κατάφερε με ένα οπτικό σύστημα τεχνολογίας RGB να ανιχνεύσει τη μόλυνση από τον μύκητα *A. flavus* σε χουρμάδες στο Ομάν. Παράλληλα, η χρήση τεχνολογιών που χρησιμοποιούν αισθητήρες RGB έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για την ανίχνευση επιμολυσμένων με αφλατοξίνες ξηρών καρπών (Wu et al., 2018).

### **Όξινη σήψη σταφυλιών**

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, η ασθένεια της όξινης σήψης φαίνεται να προκαλεί ανιχνεύσιμες μεταβολές σε όλους τους παράγοντες που εξετάστηκαν. Όσον αφορά την κάμερα του κινητού τηλεφώνου, κατέστη δυνατό να εντοπιστούν μεταβολές

στις τιμές των εξετασθέντων παραγόντων καθόλη τη διάρκεια των μετρήσεων, όπως στις περιπτώσεις των παραγόντων R και L, ή στους υπόλοιπους παράγοντες (G, B, a\*, b\* και C\*), η μεταβολή των οποίων γίνεται πιο έντονη στις μολυσμένες ράγες από τις πρώτες ώρες της μόλυνσης (6 – 24 hpi), πριν την εμφάνιση των σημείων της ασθένειας. Οι μεταβολές αυτές που ανιχνεύονται από την κάμερα του κινητού τηλεφώνου μπορούν να αποδοθούν τόσο στην επιφανειακή ανάπτυξη του μύκητα, όσο και στις φυσιολογικές μεταβολές που προκαλούνται στη ράγα κατά την εξέλιξη της μόλυνσης (σήψης). Οι φυσιολογικές αυτές μεταβολές οδηγούν με τη σειρά τους στον αποχρωματισμό της ράγας. Παράλληλα, η θερμική κάμερα μπορεί και ανιχνεύει την αύξηση της θερμοκρασίας των μολυσμένων ραγών από τα αρχικά στάδια της μόλυνσης. Αυτό είναι κάτι που μπορεί να εξηγηθεί από την απώλεια του ύδατος που προκαλείται στις ράγες ως απόρροια της καταπόνησης που προκαλείται στις ράγες λόγω της μόλυνσης από τον μύκητα *A. carbonarius*. Συνεπώς, τα δύο οπτικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη φαίνεται πως μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμα εργαλεία για τη διάγνωση της όξινης σήψης των σταφυλιών. Παράλληλα, χρειάζεται περαιτέρω έρευνα προκειμένου να διερευνηθεί κατά πόσο είναι δυνατό οι τεχνολογίες αυτές να χρησιμοποιηθούν σε συνθήκες αγρού.

#### **Σήψη σπόρων κριθαριού από το μύκητα *A. flavus***

Όπως και στις περιπτώσεις των ασθενειών της σήψης των κελυφωτών φιστικιών και της όξινης σήψης των σταφυλιών, η κάμερα του κινητού τηλεφώνου φαίνεται να εντοπίζει διαφορές και στους μολυσμένους από τον μύκητα *A. flavus* σπόρους κριθαριού σε σχέση με τους μάρτυρες. Ωστόσο, οι διαφορές αυτές αφορούν λιγότερους παράγοντες (R, a\*, h). Αυτό πιθανώς οφείλεται στο γεγονός πως παράλληλα με την εξέλιξη της ασθένειας, οι σπόροι κριθαριού άρχισαν να βλαστάνουν, γεγονός που κατέστησε πιο περίπλοκη την επεξεργασία της εικόνας. Όσον αφορά τη θερμική κάμερα, αυτή κατέστη δυνατό να εντοπίσει μια συνεχώς αυξανόμενη θερμοκρασία στους μολυσμένους σπόρους σε σχέση με τους αμόλυντους. Συνεπώς, φαίνεται πως ενώ και τα δύο οπτικά μέσα ανιχνεύουν ορισμένες μεταβολές στους εξετασθέντες παράγοντες που προκαλούνται από την ασθένεια της σήψης από *A. flavus*, η θερμική κάμερα μάλλον αποτελεί το πιο αξιόπιστο μέσο εκ των δύο. Η διαπίστωση αυτή ενισχύεται από το γεγονός πως και άλλοι ερευνητές έχουν καταφέρει να εντοπίσουν διάφορες μυκητολογικές ασθένειες με θερμική κάμερα σε ένα άλλο σιτηρό, το σιτάρι (Chelladurai et al., 2010).

#### **Βερτισιλλίωση της ελιάς**

Τόσο η κάμερα του κινητού τηλεφώνου, όσο και η θερμική κάμερα που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν δυνατό να εντοπίσουν σημαντικές διαφορές μεταξύ συμπτωματικών και υγιών φύλλων ελιάς σε όλους τους παράγοντες που εξετάστηκαν. Συνεπώς και τα δύο οπτικά μέσα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία για την αναγνώριση της ασθένειας της βερτισιλλίωσης της ελιάς. Ωστόσο, προκειμένου να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν τα δύο μέσα σε συνθήκες αγρού χρειάζεται περαιτέρω μελέτη, καθώς σε συνθήκες εκτός φωτογραφικού κλωβού ο «θόρυβος» στην φωτογραφία

είναι πολύ υψηλότερος. Έτσι, τα δύο αυτά οπτικά μέσα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με άλλα συστήματα οπτικών μέσων που έχουν ήδη μελετηθεί, ενισχύοντας την αποτελεσματικότητά τους. Για παράδειγμα, ο Calderón και οι συνεργάτες του (2013) έχουν χρησιμοποιήσει συστήματα αποτελούμενα από ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος (drone) και μια πολυφασματική κάμερα περιορισμένου εύρους, μια υπερφασματική κάμερα ή μια θερμική.

### **Βερτισιλλίωση της μελιτζάνας**

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, κανένα εκ των δύο οπτικών μέσων που χρησιμοποιήθηκαν δεν κατάφεραν να εντοπίσουν στατιστικώς σημαντικές ( $P_{value} \leq 0.05$ ) διαφορές σε κάποιον από τους παράγοντες που εξετάστηκαν μεταξύ μολυσμένου και υγιούς φυτού. Αυτό πιθανώς να οφείλεται στον περιορισμένο αριθμό των δεδομένων που αναλύθηκαν στατιστικά, καθώς φωτογραφήθηκε μόνο ένα μολυσμένο και ένα υγιές φυτό και η ασθένεια βρισκόταν σε αρχικά στάδια. Για να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα σχετικά με τον αν η κάμερα του κινητού τηλεφώνου ή η θερμική κάμερα μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμα εργαλεία για την διάγνωση της ασθένειας θα πρέπει να ληφθούν περισσότερες φωτογραφίες και σε περισσότερα χρονικά σημεία. Έτσι, θα καταστεί δυνατό να εξακριβωθεί το χρονικό σημείο μετά τη μόλυνση όπου οι δύο αισθητήρες ξεκινούν να αντιλαμβάνονται διαφορές που προκαλούνται από την ασθένεια.

### **Ίσκα της αμπέλου**

Η κάμερα του κινητού τηλεφώνου και η κάμερα υπέρυθρης ακτινοβολίας που χρησιμοποιήθηκαν κατάφεραν να ανιχνεύσουν διαφορές μεταξύ φύλλων με το χαρακτηριστικό σύμπτωμα της ίσκας «λωρίδες τίγρης» και φαινομενικά υγιών, για όλους του παράγοντες που εξετάστηκαν. Στην πρώτη περίπτωση, παρά το γεγονός πως μεταξύ των φύλλων υπήρχαν έντονες αλληλοσκιώσεις, διαφορετική έκθεση στον ήλιο, ενώ είχε προηγηθεί και ψεκασμός με χαλκούχο σκεύασμα (υπήρχαν υπολείμματα ψεκαστικού υγρού μπλε χρώματος), ήταν τόσο μεγάλες οι διαφορές μεταξύ συμπτωματικών και μη φύλλων που ήταν εφικτό να εντοπιστούν με την κάμερα του κινητού τηλεφώνου. Επίσης, η επιτυχής ανίχνευση της διαφοράς στη θερμοκρασία μεταξύ συμπτωματικών και μη φύλλων, πιθανότατα οφείλεται στη διαφορά του υδατικού δυναμικού των φύλλων που προκαλείται κατά την εξέλιξη των συμπτωμάτων της ασθένειας. Τα συμπτωματικά φύλλα λόγω των ξηράνσεων έχουν μειωμένη περιεκτικότητα σε νερό σε σχέση με τα φύλλα υγιών πρέμων. Έτσι, καθώς το νερό έχει μεγάλη θερμοχωρητικότητα και συνεπώς αργεί να θερμανθεί, τα υγιή φύλλα είναι πιο «δροσερά» σε σχέση με τα συμπτωματικά, τα οποία έχουν αυξημένη θερμοκρασία λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας. Παράλληλα, έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες που υποστηρίζουν την επιρροή της ασθένειας της ίσκας στο άνοιγμα των στοματίων των φύλλων των πρέμων (Letousey et al., 2009). Επίσης, άλλες έρευνες καταδεικνύουν την δυνατότητα παρακολούθησης της δραστηριότητας των στοματίων των φύλλων της αμπέλου μέσω θερμικής κάμερας, σε συνθήκες αγρού (Jones et al., 2002). Έτσι, συνδυάζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα με αυτά της παρούσας έρευνας, θα μπορούσε να προκύψει ένα

έξυπνο σύστημα διάγνωσης της ασθένειας της ίσκας της αμπέλου, αφού προηγουμένως γραφτεί ο κατάλληλος αλγόριθμος στον οποίο θα υπακούει το σύστημα αυτό. Τέτοιοι αλγόριθμοι έχουν γραφτεί στα πλαίσια ερευνών σχετικών με την ανίχνευση ασθενειών των φυτών, όπως η σήψη των χουρμάδων από τον *A. flavus* (Teena et al., 2016, Teena, 2015) ή άλλες μυκητολογικές ασθένειες σε αποθηκευμένο σιτάρι (Chelladurai et al., 2010).

### **Τεφρά σήψη του μαρουλιού**

Όπως και στην περίπτωση της βερτισιλλίωσης της μελιτζάνας, κανένα από τα δύο οπτικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν δεν ήταν δυνατό να εντοπίσουν διαφορές μεταξύ ασθενών και υγιών περιοχών. Το γεγονός αυτό μπορεί επίσης να αποδοθεί στην έλλειψη πληθώρας δεδομένων, καθώς εφόσον η μόλυνση προέκυψε με φυσικό τρόπο τα μολυσμένα μαρούλια ήταν λίγα σε αριθμό. Επίσης σημαντικό ρόλο στην αποτυχία των δύο μέσων να διαχωρίσουν συμπτωματικές από υγιείς περιοχές πιθανώς να διαδραμάτισε ο αυξημένος θόρυβος των φωτογραφιών, ο οποίος προερχόταν κυρίως από τις αλληλοσκιάσεις μεταξύ των φύλλων του μαρουλιού.

Συνοψίζοντας τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης, φαίνεται πως τόσο οι κινητές συσκευές τηλεφώνου που διαθέτουν φωτογραφική κάμερα (smart phones), όσο και οι κάμερες υπέρυθρης ακτινοβολίας, μπορούν να αποτελέσουν οικονομικά και εύκολα στη χρήση οπτικά μέσα διάγνωσης ασθενειών των φυτών. Μάλιστα, στις περιπτώσεις των ασθενειών της σήψης των κελυφωτών φιστικιών και των σπόρων κριθαριού και της όξινης σήψης των σταφυλιών, τα δύο αυτά οπτικά μέσα ήταν ικανά να εντοπίσουν διαφορές στους χρωματικούς παράγοντες που εξετάστηκαν (R, G, B, L, a\*, b\*, C\* και h) και στο θερμικό αποτύπωμα των ασθενών καρπών σε πολύ πρώιμα στάδια της ασθένειας (6 ώρες μετά τη μόλυνση). Περαιτέρω εκτενής πειραματισμός με τα διάφορα οπτικά μέσα σε πραγματικές συνθήκες μόλυνσης των καλλιεργειών στον αγρό από τα διάφορα παθογόνα που εξετάστηκαν κρίνεται απαραίτητος ώστε να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα. Οι συγκεκριμένες τεχνολογίες οπτικής ανίχνευσης ασθενειών των φυτών θα μπορούσαν μελλοντικά να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα ολοκληρωμένης διαχείρισης καλλιεργειών και γεωργίας ακριβείας. Οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο στον αγρό βοηθώντας στη διάγνωση ασθενειών των φυτών σε πραγματικό χρόνο, όσο και στη βιομηχανία τροφίμων ανιχνεύοντας και διαχωρίζοντας μολυσμένους από υγιείς καρπούς.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως στα πλαίσια της σύγχρονης γεωργίας δημιουργείται πλέον όλο και πιο έκδηλα η ανάγκη συνδυασμού της επιστήμης της Γεωπονίας και δη της Φυτοπαθολογίας με άλλες επιστήμες, όπως είναι η Μηχανολογία, η Πληροφορική, η Περιγραφική Στατιστική και η Ανάλυση Δεδομένων. Ο συνδυασμός των επιστημών αυτών μπορεί να προσφέρει στο άμεσο μέλλον έξυπνα συστήματα, τα οποία με τη βοήθεια κατάλληλων αλγορίθμων θα επεξεργάζονται δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και θα βοηθούν στην διάγνωση ασθενειών των φυτών και στη λήψη μιας απόφασης διαχείρισης, σχετικής με την αντιμετώπιση του φυτοπαθολογικού προβλήματος.

## 6. Βιβλιογραφία

### ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Aldars-García, L., Ramos, A. J., Sanchis, V., & Marín, S. (2016). Modelling the probability of growth and aflatoxin B1 production of *Aspergillus flavus* under changing temperature conditions in pistachio nuts. *Procedia Food Science*, 7, 76-79.

Baloyi, M. A., Mostert, L., & Halleen, F. (2019). Pathogenicity of ten *Phaeoacremonium* species associated with esca and Petri disease of grapevine. *Phytopathologia Mediterranea*, 57(3), 538-546.

Barreira, E., de Freitas, V. P., Delgado, J. M. P. Q., & Ramos, N. M. M. (2012). Thermography applications in the study of buildings hygrothermal behaviour. In *Infrared Thermography*. InTech.

Bauriegel, E., & Herppich, W. (2014). Hyperspectral and chlorophyll fluorescence imaging for early detection of plant diseases, with special reference to *Fusarium spec.* infections on wheat. *Agriculture*, 4(1), 32-57.

Bauriegel, E., Giebel, A., Geyer, M., Schmidt, U., & Herppich, W. B. (2011). Early detection of *Fusarium* infection in wheat using hyper-spectral imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, 75(2), 304-312.

Baylis, A. (2017). Advances in Precision Farming Technologies for Crop Protection. *Outlooks on Pest Management*, 28(4), 158-161.

Berdugo, C. A., Zito, R., Paulus, S., & Mahlein, A. K. (2014). Fusion of sensor data for the detection and differentiation of plant diseases in cucumber. *Plant Pathology*, 63(6), 1344-1356.

Bock, C. H., Poole, G. H., Parker, P. E., & Gottwald, T. R. (2010). Plant disease severity estimated visually, by digital photography and image analysis, and by hyperspectral imaging. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 29(2), 59-107.

Bramley, R.G.V. and Proffitt, A.P.B. (1999). Managing variability in agricultural production. *The Australian Grapegrower and Winemaker*, 427, 11-16.

Bravo, C., Moshou, D., West, J., McCartney, A., & Ramon, H. (2003). Early disease detection in wheat fields using spectral reflectance. *Biosystems Engineering*, 84(2), 137-145.

Calderón, R., Navas-Cortés, J. A., & Zarco-Tejada, P. J. (2015). Early detection and quantification of *Verticillium* wilt in olive using hyperspectral and thermal imagery over large areas. *Remote Sensing*, 7(5), 5584-5610.

Calderón, R., Navas-Cortés, J. A., Lucena, C., & Zarco-Tejada, P. J. (2013). High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early detection of *Verticillium* wilt of olive

using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices. *Remote Sensing of Environment*, 139, 231-245.

Camargo, A., & Smith, J. S. (2009). Image pattern classification for the identification of disease causing agents in plants. *Computers and Electronics in Agriculture*, 66(2), 121-125.

Camargo, A., & Smith, J. S. (2009). Image pattern classification for the identification of disease causing agents in plants. *Computers and Electronics in Agriculture*, 66(2), 121-125.

Castillejo-González, I. L., López-Granados, F., García-Ferrer, A., Peña-Barragán, J. M., Jurado-Expósito, M., de la Orden, M. S., & González-Audicana, M. (2009). Object-and pixel-based analysis for mapping crops and their agro-environmental associated measures using QuickBird imagery. *Computers and Electronics in Agriculture*, 68(2), 207-215.

Chaerle, L., Hagenbeek, D., De Bruyne, E., Valcke, R., & Van Der Straeten, D. (2004). Thermal and chlorophyll-fluorescence imaging distinguish plant-pathogen interactions at an early stage. *Plant and Cell Physiology*, 45(7), 887-896.

Chelladurai, V., Jayas, D. S., & White, N. D. G. (2010). Thermal imaging for detecting fungal infection in stored wheat. *Journal of Stored Products Research*, 46(3), 174-179.

Chen, W. (Ed.). (2012). *Neonatal monitoring technologies: design for integrated solutions: design for integrated solutions*. IGI Global.

Cloete, M., Fischer, M., Mostert, L., & Halleen, F. (2015). Hymenochaetales associated with esca-related wood rots on grapevine with a special emphasis on the status of esca in South African vineyards.

Dimakopoulou, M., Tjamos, S. E., Antoniou, P. P., Pietri, A., Battilani, P., Avramidis, N., ... & Tjamos, E. C. (2008). Phyllosphere grapevine yeast *Aureobasidium pullulans* reduces *Aspergillus carbonarius* (sour rot) incidence in wine-producing vineyards in Greece. *Biological control*, 46(2), 158-165.

Fountas, S., Wulfsohn, D., Blackmore, B. S., Jacobsen, H. L., & Pedersen, S. M. (2006). A model of decision-making and information flows for information-intensive agriculture. *Agricultural Systems*, 87(2), 192-210.

Georgiadou, M., Dimou, A., & Yanniotis, S. (2012). Aflatoxin contamination in pistachio nuts: A farm to storage study. *Food control*, 26(2), 580-586.

Gonzalez Pereyra, M. L., Rosa, C. A. R., Dalcero, A. M., & Cavaglieri, L. R. (2011). Mycobiota and mycotoxins in malted barley and brewer's spent grain from Argentinean breweries. *Letters in applied microbiology*, 53(6), 649-655.

Haboudane, D., Miller, J. R., Tremblay, N., Zarco-Tejada, P. J., & Dextraze, L. (2002). Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. *Remote sensing of environment*, 81(2-3), 416-426.



HunterLab, C. I. E. (1996). L\* a\* b\* color scale. *Applications note, Virginia, USA*.

Jones, H. G., Stoll, M., Santos, T., Sousa, C. D., Chaves, M. M., & Grant, O. M. (2002). Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. *Journal of Experimental Botany*, 53(378), 2249-2260.

Kuenzer, C., & Dech, S. (2013). Thermal infrared remote sensing. *Sensors, methods, applications, remote sensing and digital image processing (pp. 1-25)*. Springer, 17.

Lappa, I. K., Kizis, D., & Panagou, E. Z. (2017). Monitoring the temporal expression of genes involved in ochratoxin A production of *Aspergillus carbonarius* under the influence of temperature and water activity. *Toxins*, 9(10), 296.

Lasram, S., Hamdi, Z., Chenenaoui, S., Mliki, A., & Ghorbel, A. (2016). Comparative study of toxigenic potential of *Aspergillus flavus* and *Aspergillus niger* isolated from barley as affected by temperature, water activity and carbon source. *Journal of Stored Products Research*, 69, 58-64.

Letousey, P., Baillieul, F., Boulay, M., Clement, C., & Fontaine, F. (2009, April). Alteration of photosynthesis and activation of defense in grapevine before severe esca expression. In *PHYTOPATHOLOGIA MEDITERRANEA* (Vol. 48, No. 1, pp. 168-168). C/O DIPARTIMENTO DI BIOTECNOLOGIE AGRARIE, P LE DELLE CASCINE 28, FLORENCE, 50144, ITALY: MEDITERRANEAN PHYTOPATHOLOGICAL UNION.

López-Escudero, F. J., & Mercado-Blanco, J. (2011). Verticillium wilt of olive: a case study to implement an integrated strategy to control a soil-borne pathogen. *Plant and soil*, 344(1-2), 1-50.

Maenetje, P. W., & Dutton, M. F. (2007). The incidence of fungi and mycotoxins in South African barley and barley products. *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 42(2), 229-236.

Mahlein, A. K. (2016). Plant disease detection by imaging sensors—parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping. *Plant Disease*, 100(2), 241-251.

Mateo, E. M., Gil-Serna, J., Patiño, B., & Jiménez, M. (2011). Aflatoxins and ochratoxin A in stored barley grain in Spain and impact of PCR-based strategies to assess the occurrence of aflatoxigenic and ochratoxigenic *Aspergillus* spp. *International journal of food microbiology*, 149(2), 118-126.

McMullen, M., Bergstrom, G., De Wolf, E., Dill-Macky, R., Hershman, D., Shaner, G., & Van Sanford, D. (2012). A unified effort to fight an enemy of wheat and barley: Fusarium head blight. *Plant Disease*, 96(12), 1712-1728.

Medina, Á., González, G., Sáez, J. M., Mateo, R., & Jiménez, M. (2004). Bee pollen, a substrate that stimulates ochratoxin A production by *Aspergillus ochraceus* Wilh. *Systematic and applied microbiology*, 27(2), 261-267.

Miraglia, E. (2002). Scientific Cooperation Task 3.2. 7 of the European Commission. Assessment of dietary intake of ochratoxin A by the population of EU member states. [http://ec.europa.eu/food/fs/scoop/index\\_en\\_print.html](http://ec.europa.eu/food/fs/scoop/index_en_print.html).

Molto, G., Samar, M. M., Resnik, S., Martinez, E. J., & Pacin, A. (2000). Occurrence of trichothecenes in Argentinean beer: a preliminary exposure assessment. *Food Additives & Contaminants*, 17(9), 809-813.

Molyneux, R. J., Mahoney, N., Kim, J. H., & Campbell, B. C. (2007). Mycotoxins in edible tree nuts. *International Journal of Food Microbiology*, 119(1-2), 72-78.

Neumann, M., Hallau, L., Klatt, B., Kersting, K., & Bauckhage, C. (2014, August). Erosion band features for cell phone image based plant disease classification. In *Pattern Recognition (ICPR), 2014 22nd International Conference on* (pp. 3315-3320). IEEE.

Noots, I., Delcour, J. A., & Michiels, C. W. (1999). From field barley to malt: detection and specification of microbial activity for quality aspects. *Critical Reviews in Microbiology*, 25(2), 121-153.

Ohta, N., & Robertson, A. (2006). *Colorimetry: fundamentals and applications*. John Wiley & Sons.

Paul, P. A., Lipps, P. E., & Madden, L. V. (2005). Relationship between visual estimates of Fusarium head blight intensity and deoxynivalenol accumulation in harvested wheat grain: A meta-analysis. *Phytopathology*, 95 (10), 1225-1236.

Peters, J., van Dam, R., van Doorn, R., Katerere, D., Berthiller, F., Haasnoot, W., & Nielen, M. W. (2017). Mycotoxin profiling of 1000 beer samples with a special focus on craft beer. *PLoS one*, 12(10), e0185887.

Polder, G., van der Heijden, G. W., van Doorn, J., & Baltissen, T. A. (2014). Automatic detection of tulip breaking virus (TBV) in tulip fields using machine vision. *Biosystems engineering*, 117, 35-42.

Rao, D. P. (2008). Infrared thermography and its applications in civil engineering. *The Indian concrete journal*, 82(5), 41-50.

Rawlins, S. L. (1997). Precision agriculture: The state of the art and lessons from overseas for the Australian sugar industry. *Precision Agriculture—What can it offer the Australian sugar industry*, 25-33.

Ribeiro, J. M. M., Cavaglieri, L. R., Fraga, M. E., Direito, G. M., Dalcerro, A. M., & Rosa, C. A. R. (2006). Influence of water activity, temperature and time on mycotoxins production on barley rootlets. *Letters in Applied Microbiology*, 42(2), 179-184.

Sabins F. (1996). Remote Sensing: Principles and Interpretation. 3rd Edition, W. H. Freeman and Company, New York.

Sahin, S., & Sumnu, S. G. (2006). Rheological properties of foods. In *Physical properties of foods* (pp. 39-105). Springer, New York, NY.

Schanda, J. (Ed.). (2007). *Colorimetry: understanding the CIE system*. ((pp. 84-88, 261-269). John Wiley & Sons.

Shim, C. K., Kim, M. J., Kim, Y. K., & Jee, H. J. (2014). Evaluation of lettuce germplasm resistance to gray mold disease for organic cultivations. *The plant pathology journal*, 30(1), 90.

Teena M.A. (2015). Imaging techniques for detection of *Aspergillus flavus* infection in omani dates. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Soil and Water Management. Department of Soils, Water and Agricultural Engineering, College of Agricultural and Marine Sciences, Sultan Qaboos University, Sultanate of Oman.

Teena, M., Manickavasagan, A., Al-Sadi, A. M., Al-Yahyai, R., & Deadman, M. L. (2016). RGB color imaging to detect *Aspergillus flavus* infection in dates. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 683-688.

Tjamos, E. C., Biris, D. A., & Paplomatas, E. J. (1991). Recovery of olive trees with *Verticillium* wilt after individual application of soil solarization in established olive orchards. *Plant Disease*, 75(6), 557-562.

Tsitsigiannis, D. I., Dimakopoulou, M., Antoniou, P. P., & Tjamos, E. C. (2012). Biological control strategies of mycotoxigenic fungi and associated mycotoxins in Mediterranean basin crops. *Phytopathologia Mediterranea*, 158-174.

Whelan, B. M., & McBratney, A. B. (2000). The “null hypothesis” of precision agriculture management. *Precision Agriculture*, 2(3), 265-279.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data in smart farming—a review. *Agricultural Systems*, 153, 69-80.

Wu, Q., Xie, L., & Xu, H. (2018). Determination of toxigenic fungi and aflatoxins in nuts and dried fruits using imaging and spectroscopic techniques. *Food chemistry*.

Yang, C., & Everitt, J. H. (2010). Comparison of hyperspectral imagery with aerial photography and multispectral imagery for mapping broom snakeweed. *International Journal of Remote Sensing*, 31(20), 5423-5438.

Zenklusen, M. H., Coronel, M. B., Castro, M. Á., Alzamora, S. M., & González, H. H. L. (2018). Inactivation of *Aspergillus carbonarius* and *Aspergillus flavus* in malting barley by pulsed light and impact on germination capacity and microstructure. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 45, 161-168.

## **ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Γεωργιάδου Μ. (2009). Μελέτη του προβλήματος των αφλατοξινών σε κελυφωτά φιστίκια. Μεταπτυχιακή εργασία. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, Αθήνα.

Καραμάνος Α. (2008). Τα σιτηρά των ευκράτων κλιμάτων. Εκδόσεις Παπαζήση.

Κολυβά Φ. (2014). Εφαρμογή γεωργίας ακριβείας σε αμπελώνα της Νεμέας. Μεταπτυχιακή μελέτη. Τμήμα Επιστήμης και Διατροφής του Ανθρώπου – Τμήμα Φυτικής Παραγωγής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Κουνάνη Κ. (2018). Εκτίμηση ποιοτικών χαρακτηριστικών επιτραπέζιου σταφυλιού με χρήση ανάλυσης εικόνας. Πτυχιακή μελέτη. Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Μπραζιώτη Ε. (2015). Η θερμική απεικόνιση στη μελέτη αστικού περιβάλλοντος. Μεταπτυχιακή εργασία. Πολυτεχνική Σχολή Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Θεσσαλονίκη.

Ολύμπιος Χ.Μ. (2015). Η τεχνική της καλλιέργειας των υπαίθριων κηπευτικών. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης.

Παναγόπουλος Χ.Γ. (1995). Ασθένειες Κηπευτικών Καλλιεργειών. Εκδόσεις Α. Σταμούλης.

Παναγόπουλος Χ.Γ. (2007). Ασθένειες Καρποφόρων Δένδρων & Αμπέλου 4<sup>η</sup> έκδοση. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης.

Παπαδημητρίου Δ. (2015). Αξιολόγηση ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών βιολογικής και συμβατικής καλλιέργειας αμπέλου με χρήση συστήματος γεωργίας ακριβείας. Μεταπτυχιακή μελέτη. Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

Παπαμάρκος Ν. (2010). *Ψηφιακή επεξεργασία & ανάλυση εικόνας*.

Ποντίκης Κ. (2000). Ειδική Δενδροκομία. Ελαιοκομία. Τρίτος Τόμος. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης.

Σταυρακάκης Μ.Ν. (2013). Αμπελουργία. Εκδόσεις Τροπή.

Σταυρακάκης Μ.Ν. (2015). Αμπελογραφία. Εκδόσεις Τροπή.

Στεργίου Ν. και Νικολάου Η. (2009). Μετρήσεις της θερμοκρασίας λειτουργίας εναέριων υποσταθμών διανομής με χρήση θερμικής απεικόνισης. Διπλωματική Εργασία. Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Εθνικού Μετσόβειου Πολυτεχνείου, Αθήνα.

Τζάμος Ε.Κ. (2007). Φυτοπαθολογία Β' Έκδοση. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης

Χατζής Ε.Γ. (2015). Ανάπτυξη μεθόδου μέτρησης χρώματος νωπών αγροτικών προϊόντων με ανάλυση ψηφιακών εικόνων. Διδακτορική διατριβή. Σχολή Αγροτικής Υποδομών και Περιβάλλοντος, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.

### **ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ**

Adobe (2000). Internet address:

[http://dba.med.sc.edu/price/irf/Adobe\\_tg/models/main.html](http://dba.med.sc.edu/price/irf/Adobe_tg/models/main.html). CIELAB- color models technical guides.

Binder-muc (2010). Internet address:

<http://www.binder-muc.de/index.php>. CIE Lab color space.

Rite Systems (2006). Internet address:

<http://www.ritesystems.com>. An interpretation of the CIELAB system.

[www.huawei.com](http://www.huawei.com)

[www.samsung.com](http://www.samsung.com)

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>

[www.flir.com](http://www.flir.com)

www.apsnet.org. Internet address:

<https://www.apsnet.org/edcenter/intropp/topics/Mycotoxins/Pages/Aflatoxins.aspx>

Χατζής Ε. (2007). Μέτρηση χρώματος- Χρωματομετρία. Διεύθυνση διαδικτύου:

<http://www.cold.org.gr/library/>

wikipedia (2019). Internet address:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Weibull\\_distribution](https://en.wikipedia.org/wiki/Weibull_distribution)

