

ΙΟΝΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών στην Πληροφορική



Διπλωματική Εργασία

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΩΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ
ΑΣΘΕΝΕΙΩΝ ΤΟΥ ΕΛΑΙΩΝΑ**

Άγγελος Προβατάς

Αριθμός Μητρώου : ΠΜ201609

Επιβλέπων: Μάρκος Αυλωνίτης

Κέρκυρα, Σεπτέμβριος 2018

Επιβλέπων

Μάρκος Αυλωνίτης, Επίκουρος Καθηγητής

Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Τριμελής Επιτροπή

Μάρκος Αυλωνίτης, Επίκουρος Καθηγητής

Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Κάτια Κερμανίδου, Επίκουρη Καθηγήτρια

Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Αλέξανδρος Πανάρετος, Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό ΕΔΙΠ (ΠΕ)

Ιόνιο Πανεπιστήμιο

Αυτή η προσπάθεια αφιερώνεται στην οικογένεια μου για την υπομονή που έκανε όλο αυτό
το διάστημα και στην Αθηνά για την αμέριστη στήριξη και συμπαράσταση

Περίληψη

Η δυναμική πληθυσμών, και ειδικότερα η μοντελοποίηση και προσομοίωσή τους στη βιοποικιλότητα, είναι ένα πεδίο που απασχολεί διαχρονικά την επιστημονική κοινότητα. Αρκετές έρευνες έχουν ξεκινήσει, σχετικά πρόσφατα, στον τομέα της μοντελοποίησης της δυναμικής πληθυσμών βασισμένες στην ανάδυση των νέων τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνιών, στηριζόμενες σε ακριβέστερες μετρήσεις των δεδομένων, είτε αυτά είναι περιβαλλοντολογικά είτε πληθυσμιακά. Παράλληλα, η επεξεργασία των δεδομένων και η δημιουργία μοντέλων παρέχουν μία καλύτερη εικόνα του πληθυσμού και της συμπεριφοράς του.

Στην παρούσα διπλωματική διατριβή γίνεται μια προσπάθεια πρόβλεψης, μέσω στοχαστικών αλγόριθμων, της δυναμικής του πληθυσμού του εντόμου Δάκου, με σκοπό την έγκυρη ανίχνευση και πρόγνωση πληθυσμιακών του εξάρσεων, ώστε να προστατευθεί ο καρπός των ελαιοδέντρων. Ο αλγόριθμος που προτείνεται στη συγκεκριμένη διπλωματική προσομοιώνει την εξέλιξη του πληθυσμού του δάκου, με δεδομένα που συλλέχτηκαν με τη μέθοδο της παρατήρησης από παγίδες που είχαν στηθεί για το σκοπό αυτό, συνυπολογίζοντας παράγοντες, όπως το μικροκλίμα της εκάστοτε περιοχής και τα τοπολογικά δεδομένα.

Η κύρια ιδέα βασίζεται στη γενίκευση του γνωστού στοχαστικού πληθυσμιακού μοντέλου του Verhulst, στη συνάρτηση διακύμανσης από τα τυχαία πεδία και τέλος στη θεωρία του τυχαίου περιπατητή. Ο παραπάνω αλγόριθμος εφαρμόζεται για την ανίχνευση των εξάρσεων στον πληθυσμό του εντόμου του δάκου, ο οποίος αποτελεί μεγάλο πρόβλημα στην παραγωγή του καρπού της ελιάς. Τέλος, η συλλογή των δεδομένων που έγινε η επεξεργασία συλλέχθηκαν με τη μέθοδο της παρατήρησης από παγίδες δάκου συνυπολογίζοντας παράγοντες όπως το μικροκλίμα και η τοπολογία της εκάστοτε περιοχής.

Πρόλογος και Ευχαριστίες

Η παρούσα Διπλωματική διατριβή εκπονήθηκε στο πλαίσιο του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Πληροφορική» του τμήματος Πληροφορικής του Ιονίου Πανεπιστημίου. Για τη συλλογή των δεδομένων το καλοκαίρι του 2017 τοποθετήθηκαν 8 δακοπαγίδες στην ευρύτερη περιοχή της Παλαιοκαστρίτσας, στο δυτικό τμήμα του νησιού της Κέρκυρας. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν με τη μέθοδο της παρατήρησης, μετρώντας αρσενικούς και θηλυκούς δάκους ανά δακοπαγίδα κάθε 5-7 ημερολογιακές ημέρες.

Η δομή της διπλωματικής διατριβής βασίζεται σε έξι (6) κεφάλαια.

Στο Κεφάλαιο Α' γίνεται μια εισαγωγή στις έννοιες του ελαιόδεντρου και του εχθρών και ασθενειών του ελαιώνα και πιο συγκεκριμένα στο έντομο *Bactrocera Oleae*, γνωστό και ως Δάκος της Ελιάς.

Στο κεφάλαιο Β' εξετάζονται ορισμένα Μαθηματικά Μοντέλα Δυναμικής Πληθυσμών Και Πληθυσμιακών Εξάρσεων μελετώντας μοντέλα ανάπτυξης ενός, δύο ή περισσότερων ειδών πληθυσμού καθώς και πληθυσμιακές εξάρσεις.

Στο Κεφάλαιο Γ' παρουσιάζονται ανάλογες εφαρμογές Πληροφορικής και άλλες υφιστάμενες πρωτοβουλίες.

Στο κεφάλαιο Δ' παρατίθεται ο προτεινόμενος αλγόριθμος πρόβλεψης πληθυσμιακών εξάρσεων.

Στο κεφάλαιο Ε' παρουσιάζεται το πειραματικό μέρος της Διπλωματικής με τις μετρήσεις των δεδομένων και την εφαρμογή του αλγορίθμου σε προγραμματιστικό περιβάλλον.

Κλείνοντας, στο Κεφάλαιο ΣΤ' γίνεται επισκόπηση της παρούσης διατριβής και παρατίθενται απαραίτητες προτάσεις και συμπεράσματα.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή μου, Μάρκο Αυλωνίτη, για τη στήριξη και τη βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της συγγραφής της διατριβής, την Αθηνά για τη φιλολογική επιμέλεια του κειμένου καθώς και την Καλλιόπη, το Στέλιο, το Χρήστο και το Δημήτρη για την πολύτιμη συνεισφορά τους.

Κέρκυρα, Σεπτέμβριος 2018

Άγγελος Προβατάς

Περιεχόμενα

Περίληψηi

Πρόλογος και Ευχαριστίες.....ii

Περιεχόμενα.....iii

Κεφάλαιο Α'. Εισαγωγή.....1

A'1 Το ελαιόδεντρο1

A'1.1 Οι ασθένειες της ελιάς.....1

A'.1.2 Οι εχθροί της ελιάς.....2

A'2 Ο δάκος της ελιάς.....2

A'.2.1 Περιγραφή – Ανατομία.....2

A'.2.2 Στάδια ανάπτυξης – Βιολογικός κύκλος.....3

A'2.3 Σύζευξη δάκου.....7

A'2.4 Μετακίνηση και διασπορά.....7

A'2.5 Εχθροί του δάκου.....8

A'.2.6 Καταπολέμηση του δάκου.....8

A'.2.6.1 Προληπτική μέθοδος – Δολωματικοί ψεκασμοί.....10

A'.2.6.2 Κατασταλτική – Θεραπευτική μέθοδος – Καθολικοί
ψεκασμοί.....10

Κεφάλαιο Β'. Μαθηματικά Μοντέλα Δυναμικής Πληθυσμών και Πληθυσμιακών Εξάρσεων.....11

B'1 Πληθυσμιακά μοντέλα ενός είδους.....11

B'.1.1 Εκθετικό ή Μαλθουσιανό μοντέλο.....12

B'.1.2 Εξίσωση Gompertz.....	13
B'.1.3 Λογιστικό μοντέλο ή μοντέλο Verhulst.....	14
B'.1.4 Εξίσωση von Bertalanffy.....	16
B'.2 Πληθυσμιακά μοντέλα δύο ειδών.....	16
B'.2.1 Μοντέλο θηράματος – θηρευτή ή Lotka – Volterra μοντέλο.....	17
B'.3 Πληθυσμιακές εξάρσεις.....	19
B'.3.1 Αλυσίδες Markov.....	19
B'.3.2 Markov Decision Process.....	21
B'.3.3 Hidden Markov Models.....	21
B'.4 Περαιτέρω μελέτη πληθυσμιακών εξάρσεων.....	22
 Κεφάλαιο Γ'. Εφαρμογές Πληροφορικής – Υφιστάμενες	
Πρωτοβουλίες.....	25
Γ'.1 Ενίσχυση της παραγωγής ελαιολάδου με τη χρήση καινοτόμων ΤΠΕ – Εφαρμογή e – olive.....	25
Γ'.1.1 Σκοπός και στόχος προγράμματος.....	25
Γ'.1.2 Συλλογή δεδομένων.....	28
Γ'.1.3 Παρατηρητήριο τιμών ελαιολάδου.....	30
Γ'.1.4 Παρατηρητήριο δάκων και e – olive εφαρμογή.....	31
Γ'.1.5 Εικονικό εργαστήριο.....	33
 Κεφάλαιο Δ'. Το πρόβλημα της έγκαιρης ανίχνευσης πληθυσμιακών εξάρσεων χρησιμοποιώντας στοχαστικά διαφορικά μοντέλα.....	
Δ'.1 Στοχαστικά μοντέλα και πληθυσμιακές εξάρσεις.....	37
Δ'.1.1 Βασικές διαστάσεις στοχαστικών διαφορικών μοντέλων.....	38

Δ'.1.2 Προτεινόμενο στοχαστικό διαφορικό μοντέλο.....	39
Δ'.1.3 Συνάρτηση συσχέτισης.....	40
Δ'.1.4 Χρονοσειρές και λευκός θόρυβος.....	42
Δ'.1.4 Κατανομή Νόμου – Δύναμης (Power – Law).....	43
Δ'.2 Εφαρμογή αλγορίθμου.....	44
Κεφάλαιο Ε'. Πιλοτική Εφαρμογή.....	48
Ε'.1 Μέθοδοι και υλικά.....	48
Ε'.2 Ευρήματα.....	50
Ε'. 2.1 Δακοπαγίδες.....	51
Ε'. 2.2 Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις.....	58
Ε'.3 Εφαρμογή Αλγορίθμου σε πειραματικά δεδομένα.....	59
Ε'. 3.1 Συμπεράσματα.....	62
Κεφάλαιο ΣΤ'. Επίλογος.....	63
ΣΤ'.1 Σύνοψη.....	63
ΣΤ'.2 Συμπεράσματα.....	63
ΣΤ'.3 Προτάσεις.....	64
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	65
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	68

Κεφάλαιο Α'

Εισαγωγή

Α'.1 Το ελαιόδεντρο

Η ελιά ή ελαιόδενδρο ή λιόδεντρο (επιστ. Ελαία, *Olea*) είναι γένος καρποφόρων δέντρων της οικογένειας των Ελαιοειδών (*Oleaceae*), το οποίο συναντάται πολύ συχνά στην Ελλάδα. Είναι φυτό, της συνομοταξίας αγγειόσπερμων (*Magnoliophyta*), της ομοταξίας δικοτυλήδων (*Magnoliopsida*), της τάξης χοιραδιωδών (*Scrophulariales*), της οικογένειας ελαιοειδών (*Oleaceae*). Ο καρπός του ονομάζεται επίσης ελιά και από αυτόν παράγεται το ελαιόλαδο.

Η ελιά ως αυτοφυές δέντρο υπήρχε στη ζώνη της Μεσογείου προ χιλιάδων ετών. Στον ελλαδικό χώρο υπήρχε τουλάχιστον από το 6.000 π.Χ., όπως προκύπτει από μελέτη των απολιθωμάτων. Η ελιά, όμως, εμφανίζεται και στη Μ. Ασία, καθώς και στην Αβησσυνία και στην Αίγυπτο, Λίβανο, Συρία, Ισραήλ ήδη εδώ και χιλιάδες χρόνια, και μάλιστα η Ανατολική Μεσόγειος θεωρείται η πατρίδα της *O. europaea*.

Η καλλιεργούμενη ελιά (*Olea europaea* L.) προήλθε από τη διασταύρωση τροπικών και υποτροπικών ειδών κάτω από διαφορετικές κλιματικές συνθήκες. Από την Ευρώπη η καλλιέργεια της ελιάς μεταφέρθηκε στην Καλιφόρνια, τη Ν. Αμερική, την Αυστραλία και την Κίνα. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η καλλιέργεια της ελιάς είναι εφικτή στην εύκρατη και υποτροπική ζώνη, όπου η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 15-20° C (ελάχιστη -4° C και μέγιστη 40° C).

Πρώτη στην παγκόσμια κατάταξη στην παραγωγή ελαιολάδου είναι η Ισπανία, δεύτερη η Ιταλία και τρίτη η Ελλάδα. Στην Ελλάδα είναι το δένδρο που καλλιεργείται περισσότερο από κάθε οπωροφόρο. Στην Ελλάδα καλλιεργείται σε ολόκληρη την επικράτεια, αλλά κυρίως (με γνώμονα τη συνολική έκταση καλλιεργήσιμων εκτάσεων) στην Κρήτη την Πελοπόννησο, τη Στερεά Ελλάδα, την Κέρκυρα και τη Ζάκυνθο.

Α'.1.1 Οι ασθένειες της ελιάς

Δεν είναι λίγες οι ασθένειες που προσβάλλουν την ελιά. Οι σοβαρότερες είναι: το κυκλόνιο που οφείλεται στο μύκητα *Cycloconium oleaginum*, η καπνιά που οφείλεται σε ομάδα μυκήτων, η αδρομύκωση ή βερτισιλλίωση που οφείλεται στο μύκητα *Verticillium dahliae*, που ξεραίνει τα φύλλα και κλαδιά της, η ξεροβούλα που οφείλεται στο μύκητα *Macrophoma dalmatica*, το γλοισπόριο (*Gleosporium olivarum*), που οφείλεται στο μύκητα *Colletotrichum*

gloeosporioides και προκαλεί σήψη του καρπού, η κομμίωση που οφείλεται στο μύκητα *Omphalotus olearius*, η φόμα που οφείλεται στο μύκητα *Phoma incorta*, ο καρκίνος που οφείλεται στο βακτήριο *Pseudomonas savastanoi*, το καμαροσπόριο (*Camarosporium dalmatica*), η ξυλέλλα ελιάς που οφείλεται στο βακτήριο *Xylella Fastidiosa*, η κερκοσπόρα που οφείλεται στο μύκητα *Mycocentrospora cladosporioides* κ.λ.π. Από τις ασθένειες αυτές η εμφάνιση του γλοιοσπόριου και της ξεροβούλας είναι στενά συνδεδεμένες με την ύπαρξη του δάκου της ελιάς.

Α'.1.2 Οι εχθροί της ελιάς

Η καλλιέργεια της ελιάς έχει πολλούς εχθρούς: ο πυρηνотρήτης, η ψύλλα, ο ρυγχίτης, η μαργαρόνια, ο θρίπας, ο φλοιοτρίβης, ο φλοιοφάγος, το λεκάνιο, ο ασπιδωτός, η βαμβακάδα. Ο σοβαρότερος, όμως, εχθρός της ελιάς είναι ο δάκος (*Bactrocera* [*Dacus*] *oleae*).

Α'.2 Ο δάκος της ελιάς

Ο δάκος ανήκει στο βασίλειο των ζώων, στη συνομοταξία αρθρόποδων, στην ομοταξία εντόμων, στην τάξη δίπτερων, στην οικογένεια τεφριτίδων. Ο δάκος της ελιάς (*Bactrocera* [*Dacus*] *oleae* – *Diptera*: *Tephritidae*) είναι το έντομο που συνιστά τον επιβλαβέστερο εχθρό της ελιάς παγκοσμίως. Εμφανίζεται περισσότερο στις Μεσογειακές περιοχές, αλλά δεν περιορίζεται σε αυτές. Μέχρι πρόσφατα στις περιοχές όπου η ελιά είχε εισαχθεί από τον άνθρωπο (Αμερική, Κίνα, Αυστραλία) δεν εμφανιζόταν, πρόσφατα, όμως, εμφανίστηκε στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ και στο Μεξικό. Ο δάκος μπορεί να επιβιώσει όπου βρίσκονται ελιές, καθότι οι προνύμφες του είναι μονοφάγες με αποκλειστική τροφή τους το μεσοκάρπιο του ελαιοκάρπου.

Οι συνέπειες του δάκου στη σοδειά από τα ελαιόδεντρα είναι πολλαπλές. Καταστρέφεται ο καρπός της ελιάς και έτσι είναι αδύνατη η χρήση τους ως επιτραπέζιων ελιών, καταστρέφεται, όμως, και η ποιότητα του ελαιολάδου, διότι αποκτά πολύ υψηλή οξύτητα εξαιτίας της προσβολής του ελαιοκάρπου από το δάκο.

Α'.2.1 Περιγραφή – Ανατομία

Ο δάκος έχει αρσενικό και θηλυκό γένος. Ο ενήλικος δάκος είναι μία μύγα μήκος 4-5 χιλιοστών. Έχει πτερύγια με άνοιγμα μήκους 12 χιλιοστών, που στα θηλυκά είναι διαφανή, ιριδίζοντα με ένα σκοτεινό στίγμα στην άκρη. Η κεφαλή του έχει ανοιχτό καστανό χρώμα και οι σύνθετοι οφθαλμοί του πρασινωπές μεταλλικές ανταύγειες. Το κάτω τμήμα του θώρακα έχει χρώμα καστανό και το νωτιαίο τμήμα του σκούρο μαύρο με 2-4 γκρι ή μαύρες ταινίες κατά μήκος. Η μεσαία ταινία επιμηκύνεται λίγο προς τα πίσω.



Εικόνα Α'.1 Αρσενικός Δάκος

Τα θηλυκά φέρουν ευδιάκριτο ωοθέτη στην άκρη της κοιλιάς.

Ο δάκος θεωρείται μονοφάγο έντομο, καθότι, όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω, η προνύμφη τρέφεται και αναπτύσσεται αποκλειστικά από και στο μεσοκάρπιο της ελιάς. Αντιθέτως ο ενήλικος δάκος (αρσενικό και θηλυκό) τρέφεται με διάφορες οργανικές ουσίες που βρίσκονται όχι μόνο στα ελαιόδεντρα, αλλά και σε άλλα φυτά.

Α'.2.2 Στάδια ανάπτυξης - Βιολογικός κύκλος

Το αυγό του δάκου είναι στενόμακρο μήκους περίπου 0,7 χιλιοστών και διαμέτρου περίπου 0,2 χιλιοστών, οξύ στον ένα του πόλο, λευκό.

Η προνύμφη είναι άποδη, λευκή και στο τέλος του τρίτου σταδίου έχει μήκος περίπου 7 – 8 χιλιοστά. Η κεφαλή της είναι τραπεζοειδής και στο μπροστινό μέρος της φέρει δύο κεραίες (στοματικά άγκιστρα) σκούρου χρώματος. Το μπροστινό μέρος του σώματός της είναι στενότερο από το πίσω μέρος.



Εικόνα Α'.2 Προνύμφη Δάκου

Η νύμφη έχει σχήμα ελλειψοειδές, έχει χρώμα ανοιχτό καστανό και έχει ως περίβλημα το σκληρυμένο δερμάτιο της ανεπτυγμένης προνύμφης.



Εικόνα Α'.3 Νύμφη Δάκου

Ο δάκος είναι πολυκυκλικό έντομο, δηλαδή ολοκληρώνει περισσότερους από έναν βιολογικούς κύκλους ανά έτος. Οι κύκλοι μπορεί να ανέρχονται από 2 έως 7 ανά έτος. Ο αριθμός αυτός εξαρτάται από τις συνθήκες (ύπαρξη κατάλληλου καρπού για ωοτοκία, κατάλληλη θερμοκρασία και υγρασία κλπ). Εφόσον οι συνθήκες είναι οι κατάλληλες μπορεί οι κύκλοι – γενιές να διαδέχονται ο ένας τον άλλον χωρίς διακοπή. Πάντως, στην Ελλάδα στις περισσότερες περιοχές αναπτύσσονται περί τις 3-4 γενεές ανά έτος, μπορεί, όμως, να φτάσουν και τις 7. «Στην Κεντρική Ελλάδα η πρώτη γενεά ξεκινάει τους μήνες Ιούνιο-Ιούλιο

και οι επόμενες δύο αναπτύσσονται κατά την διάρκεια του φθινοπώρου ή ακόμη και τον Δεκέμβριο ενώ, στην Κέρκυρα υπάρχει μία επιπλέον γενεά στα τέλη Μαΐου (σύνολο 4 γενεές), στους καρπούς που παρέμειναν στα δέντρα μετά την συγκομιδή των ώριμων καρπών» (Tzanakakis, 2006; Fletcher & Karatos, 1981).

Ο δάκος είναι έντομο ολομετάβολο. Το πρώτο στάδιο είναι το αβγό. Ακολουθούν τρία στάδια προνύμφης, στη συνέχεια το στάδιο της νύμφης (pupa) ή βομβικίου με μεταμόρφωση και τέλος το ενήλικο (με τη δεύτερη μεταμόρφωση). Κατά το μεγαλύτερο μέρος του έτους η προνύμφη αναπτύσσεται μέσα στον καρπό της ελιάς, και μόνο κατά το 3^ο στάδιο της μεταμόρφωσής της εγκαταλείπει τον καρπό και πραγματοποιεί τη μεταμόρφωσή της στο έδαφος έως και 10 εκ. κάτω από την επιφάνεια ή σε σχισμές του ελαιοδέντρου. «Σε περιοχές με ήπιο χειμώνα (παράλια νότιας Ελλάδας και ορισμένων νησιών) όταν υπάρχει στα δέντρα κατάλληλος καρπός, είναι δυνατόν να συνυπάρχουν στον ελαιώνα όλα τα στάδια του εντόμου» (Τζανακάκης & Κατσόγιαννος, 2003). Η μετακίνηση αυτή πιστεύεται ότι οφείλεται στην προσπάθεια ανεύρεσης των ευνοϊκότερων δυνατών περιβαλλοντικών συνθηκών, καθώς η προνύμφη παραμένοντας κατά τους θερινούς μήνες εντός του ελαιόκαρπου αποφεύγει τις υψηλές (μη ευνοϊκές για την ανάπτυξή της) θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην επιφάνεια του εδάφους, και αντιθέτως κατά το μήνα Οκτώβριο αποφεύγει με τη μετακίνησή της στο έδαφος από τον καρπό την «επίθεση» από πουλιά που τρώνε τον ώριμο καρπό της ελιάς. Ο δάκος από τέλη άνοιξης έως μέσα καλοκαιριού παύει να αναπαράγεται, δηλαδή τα θηλυκά άτομα δεν έχουν γόνιμα ωάρια παρόλο που οι θερμοκρασίες μπορεί να μην είναι απαγορευτικές για την αναπαραγωγή του.

Η διαδικασία της ωοτοκίας είναι η εξής: Σε ώριμο καρπό, δηλαδή καρπό που έχει αποκτήσει το τελικό του μέγεθος (συνήθως αρχές Ιουλίου στην Ελλάδα) και έχει μαλακώσει αρκετά, το ενήλικο θηλυκό με τη βοήθεια του ωοθέτη ανοίγει μία οπή στην επιφάνεια του καρπού και προς το κέντρο αυτού και τοποθετεί τα αβγά στη σάρκα του καρπού. Στη συνέχεια από τους χυμούς του καρπού που βγαίνουν από την οπή που έχει ανοίξει ρουφά το ενήλικο θηλυκό ένα μέρος τους και αφού κάνει την τοποθέτηση του αβγού, τους ρίχνει πάνω από την οπή, έτσι ώστε να έχει σηματοδέσει τον καρπό δημιουργώντας αποτρεπτική ένδειξη ότι υπάρχει αβγό τοποθετημένο εντός του, καθώς η ανάπτυξη προνυμφών του δάκου της ελιάς είναι ανταγωνιστικού τύπου. Ένα θηλυκό μπορεί να γεννήσει 12-40 αβγά την ημέρα και συνολικά 250 αβγά (Πατσιάς Α., 2005). Εάν ο αριθμός των δάκων είναι μεγάλος και των ελαιοκάρπων μικρός μπορεί να τοποθετηθούν και δύο αβγά στον καρπό. Στη συνέχεια η προνύμφη που εκκολάπτεται δημιουργεί στοά στον καρπό και τρέφεται από αυτόν. Μεταμορφώνεται στη συνέχεια σε νύμφη, το καλοκαίρι μέσα στον καρπό ενώ το φθινόπωρο και χειμώνα εντός του εδάφους (αφού έχει εγκαταλείψει τον καρπό) και σε απόσταση έως 10 εκατοστών από την

επιφάνειά του. Αν ο καρπός δεν είναι δεκτικός προσβολής η εξέλιξη του εντόμου ανακόπτεται, όμως, στην οπή που δημιουργείται κατά την τοποθέτηση του αυγού στον καρπό μπορεί να αναπτυχθεί ο μύκητας *Macrophoma*, δημιουργώντας στον καρπό μαύρες νεκρωτικές κηλίδες. Παρακάτω, στην εικόνα Α'4, παρουσιάζεται η στιγμή που θηλυκός δάκος εναποθεί τα αυγά του σε καρπό ελιάς.



Εικόνα Α'4 Θηλυκός δάκος τη στιγμή που τοποθετεί τα αυγά του σε ελαιόκαρπο

Η διάρκεια του σταδίου της προνύμφης ανάλογα με τις συνθήκες μπορεί να κυμαίνεται από 9 ημέρες στους 30° C έως 37 ημέρες στους 12,5° C. Η ταχύτητα ανάπτυξής της επίσης εξαρτάται και από το βαθμό ωριμότητα του καρπού της ελιάς, με αυξανόμενο το ρυθμό ανάπτυξης σε ωριμότερους καρπούς. Γενικά με ευνοϊκές συνθήκες (σχετική ζέστη και υγρασία) ο βιολογικός κύκλος του δάκου της ελιάς συμπληρώνεται σε ένα μήνα. Αυτό συμβαίνει κυρίως διότι η υγρασία λειτουργεί καταπραϋντικά σε σχέση με την επίδραση της υψηλής θερμοκρασία στο έντομο του δάκου και επιπλέον συμβάλλει στην αύξηση του μεγέθους και καθιστά πιο ευπρόσβλητους τους καρπούς. Επιπλέον η υγρασία προκαλεί αύξηση της εκροής του μελιτώματος του δέντρου της ελιάς και άλλων φυτών από το οποίο τρέφονται οι ενήλικοι δάκοι. Αποτρεπτικές συνθήκες ανάπτυξης του εντόμου είναι οι εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες, οι οποίες καθίστανται θνησιγόνες από τους 33-34° C και η χαμηλή ατμοσφαιρική υγρασία. Αυτό συμβαίνει κυρίως διότι υπό αυτές τις συνθήκες ο καρπός της ελιάς συρρικνώνεται και αφυδατώνεται με αποτέλεσμα να μην συνιστά ξενιστή κατάλληλο για την ανάπτυξη των ανήλικων σταδίων του δάκου.

Πίνακας Α'.1 Όρια Θερμοκρασιών Ανάπτυξης Δάκου¹

Στάδιο	Κατώτατη Θερμοκρασία	Ανώτατη θερμοκρασία
Αβγό	6,1° C – 7,7° C	35° C – 37,7° C
Προνύμφη	3,8° C – 7,7° C	35° C
Νύμφη	5° C – 8,8° C	30° C
Ενήλικος Δάκος	4,4° C	38,8° C*

*Οι τιμές στην κλίμακα Κελσίου αναγράφονται κατόπιν μετατροπής τους από τις τιμές που αναγράφονται στην κλίμακα Φαρενάιτ στην πηγή του συγκεκριμένου πίνακα, όπου η αναγωγή σταματά στον πρώτο δεκαδικό.

Α'.2.3 Σύζευξη δάκου

Η σύζευξη του δάκου της ελιάς πραγματοποιείται κυρίως τις απογευματινές ώρες. Ο αρσενικός δάκος δονεί τις πτέρυγές του σε μία ομάδα τριχών στην πλευρά του τρίτου κοιλιακού τεργίτη παράγοντας ένα χαρακτηριστικό ήχο. Έκλυση φερομόνης φύλου πραγματοποιείται από το θηλυκό δάκο, την οποία παράγει από την πρώτη μέρα της ζωής του από τους αδένες του. Περί την 3^η – 6^η μέρα της ζωής του ο θηλυκός δάκος έχει αύξηση στη συγκέντρωση φερομόνης η οποία κορυφώνεται την 9^η μέρα ζωής του. Από την άλλη πλευρά, τα παρθένα αρσενικά ανταποκρίνονται στην φερομόνη των θηλυκών από την Τρίτη μέρα της ζωής τους με κορύφωση της ανταπόκρισης αυτής την 6^η μέρα της ζωής τους. Οι θηλυκοί δάκοι μπορούν να συζευχθούν αρκετές φορές κατά τη διάρκεια της ζωής τους (3 ή και παραπάνω), το δε χρονικό διάστημα μεταξύ των δύο συζεύξεων και η γονιμότητα του θηλυκού μπορεί να εξαρτάται από τις συνθήκες ανάπτυξης, την προέλευση, την ηλικία, την προηγούμενη δραστηριότητα, τη διατροφή. Αντιθέτως οι αρσενικοί δάκοι είναι πολυγαμικοί και μπορούν να προχωρούν σε σύζευξη καθημερινά.

Α'.2.4 Μετακίνηση και διασπορά

Η μετακίνηση του δάκου μπορεί να είναι είτε σε κοντινές σχετικά αποστάσεις εντός της κόμης του δέντρου ή εντός του ελαιώνα και σε μακρινές αποστάσεις λόγω παρηνιαυτοφορίας του ελαιοδέντρου, οπότε υποχρεώνεται να αναζητήσει σε άλλο ελαιώνα καρπό ελιάς. Στην τελευταία περίπτωση η μετακίνηση γίνεται την άνοιξη, όταν σε μία περιοχή με μεγάλη παραγωγή καρπού εξέλθει μεγάλος αριθμός ενηλίκων, έτσι ώστε κατά τη νέα περίοδο στην ίδια περιοχή να μην υπάρχουν διαθέσιμοι καρποί για ωοτοποθέτηση. Για τη διαπίστωση του λόγου αυτού της διασποράς έγινε πείραμα από τους Fletcher & Karatos το 1977 στην Κέρκυρα. Επίσης ο δάκος μπορεί να μετακινηθεί από πεδινές περιοχές σε ορεινότερες λόγω

¹ University of California, UC Plant Protection Quarterly, vol. 10, Number 3, July 2000

έλλειψης καρπού ή και το αντίστροφο. (Σκούρας) Παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά τη ικανότητα του δάκου να πετάει είναι η πρόσβαση ή μη σε επαρκείς ποσότητες νερού και υδρογονανθράκων. Η έλλειψή τους περιορίζει σημαντικά αυτήν του την ικανότητα. Εξάλλου παρατεταμένη τέτοια έλλειψη οδηγεί στο θάνατο του δάκου.

Α'.2.5 Εχθροί του δάκου

«Οι σημαντικότεροι εχθροί του δάκου είναι ορισμένα Υμενόπτερα που παρασιτούν στις προνύμφες. Τα κυριότερα είναι τα *Opius concolor* Szepi. (Braconidae), *Eupelmus urozonus* Dalm. και *Eupelmus martellii* Masi (Eupelmidae), *Pnigalio mediterraneus* Ferr and Del. (Eulophidae), *Eurytoma martellii* Dorn. (Eurytomidae) και *Cyrtotypx latipes* Rond (Pteromatidae). Τα αυγά προσβάλλονται από το *Prolasioptera berlesiana* Paoli (Cecidomyiidae). Εχθροί του δάκου είναι και άλλα έντομα όπως μυρμήγκια, Δερμάπτερα, ορισμένα Carabidae και Staphylinidae, και άλλα ζώα όπως πουλιά και διάφορα Scolopendridae και Lithobiidae, που επιτίθενται κυρίως στα βομβύκια στο έδαφος» (Katsoyiannos 1992).

Α'.2.6 Καταπολέμηση του δάκου

Η καταπολέμηση του δάκου γίνεται χημικά με ψεκασμούς δολωματικούς (προληπτική μέθοδος) ή καθολικούς (θεραπευτική/ κατασταλτική μέθοδος). Η αποτελεσματικότητα των ψεκασμών εξαρτάται από την καταλληλότητα του χρόνου τέλεσής τους και από την εφαρμογή τους επί ομαδικής βάσης. Ο χρόνος διάρκειας του ψεκασμού ιδανικά σε μία περιοχή πρέπει να είναι έως 7 ημέρες.



Εικόνα Α'.5 Ψέκασμα Ελαιοδέντρου

Η καταλληλότητα του χρόνου του ψεκασμού κρίνεται με τα ακόλουθα κριτήρια:

(α) Πήξη του πυρήνα της ελιάς. Για να είναι προσβλητός από το δάκο ο καρπός της ελιάς πρέπει να έχει πήξει ο πυρήνας του.

(β) Υπολογισμός του πληθυσμού των δάκων στην περιοχή: Για το σκοπό αυτό τοποθετούνται παγίδες περί τις αρχές Ιουνίου, πριν την έναρξη των ψεκασμών, σε δέντρα με καρπό και στο ύψος του ανθρώπου. Οι παγίδες τοποθετούνται περίπου 1 ανά 800 δέντρα και ελέγχονται κάθε 7 ημέρες. Κατά τον έλεγχο της δακοπαγίδας μετρώνται και σημειώνονται οι αριθμοί των αρσενικών των θηλυκών δάκων χωριστά και αθροιστικά. Επίσης μπορεί να εξακριβωθεί εάν είναι γόνιμοι ή στείροι.

Υπάρχουν δύο είδη δακοπαγίδων, η παγίδα McPhail, που φέρει ως δόλωμα διάλυμα Υδρολελυμένης Πρωτεΐνης 3% ή θεϊκής αμμωνίας στην ίδια περίπου αναλογία ή και τα δύο, και η κίτρινη κολλητική παγίδα, που φέρει τη φερομόνη του δάκου ως ελκυστικό.



Εικόνα Α'.6 Δακοπαγίδα τοποθετημένη σε Ελαιόδεντρο

(γ) 7 δάκοι ανά παγίδα ανά 7 ημέρες. Όταν εντοπίζονται ένας οι περισσότεροι δάκοι την ημέρα (7 δάκοι ανά επτά ημέρες που γίνεται έλεγχος της παγίδας) σε μία παγίδα σημαίνει ότι πρέπει να γίνει ψεκασμός στην περιοχή. Όταν ο καιρός είναι πιο δροσερός (μέσα Σεπτεμβρίου και έπειτα) ο αριθμός των δάκων που σηματοδοτεί την ανάγκη ψεκασμού ανά παγίδα ανά 7 ημέρες είναι 5.

Α'.2.6.1 Προληπτική μέθοδος – Δολωματικοί ψεκασμοί

Το δόλωμα ψεκάζεται έγκαιρα κατά τις ενδείξεις των δακοπαγίδων και ομαδικά σε όλη την περιοχή των ελαιόδέντρων. Μπορεί να γίνει ψεκασμός σε κάθε δέντρο σε αραιές φυτείες, σε κάθε δεύτερο δέντρο σε μέτριας πυκνότητας και σε κάθε τρίτο δέντρο σε κανονικής

πυκνότητας. Όταν ο πληθυσμός στις δακοπαγίδες είναι μεγάλος ψεκάζονται όλα τα δέντρα. Το δόλωμα πρέπει να ψεκάζεται στο εσωτερικού του δέντρου από τη βόρεια πλευρά του σε χοντρές σταγόνες και σε 300 κ.εκ. ανά δέντρο. Η πίεση του ψεκαστήρα πρέπει να είναι 1 ατμ.. Ο ψεκασμός πρέπει να επαναλαμβάνεται κάθε 10-15 ημέρες μέχρι τη συγκομιδή του καρπού.

Α'.2.6.2 Κατασταλτική – Θεραπευτική μέθοδος – Καθολικοί ψεκασμοί

Γίνονται εφόσον έχει προσβληθεί ο ελαιόκαρπος ή όταν εντοπίζεται στις δακοπαγίδες μεγάλος πληθυσμός δάκων. Εκτός του μεγαλύτερου κόστους που έχουν σε σχέση με τους δολωματικούς ψεκασμούς, καλό είναι να αποφεύγονται επιπλέον και διότι μειώνουν και τους πληθυσμούς των ωφέλιμων εντόμων, αυξάνουν τους πληθυσμούς ορισμένων κοκκοειδών εντόμων και επιβαρύνουν το περιβάλλον. Είναι δυνατός και ο συνδυασμός των δύο μεθόδων (Πατσιάς Α., 2005).

Κεφάλαιο Β'

Μαθηματικά Μοντέλα Δυναμικής Πληθυσμών και Πληθυσμιακών Εξάρσεων

Σκοπός μιας μαθηματικής μοντελοποίησης είναι η προσομοίωση, η ανάλυση και, εν τέλει, η αναπαράσταση ενός φαινομένου με σκοπό την εξήγηση και απώτερο στόχο την πρόβλεψη της εξέλιξης του εκάστοτε φαινομένου. Το μοντέλο αναπαριστά φαινόμενα, διαδικασίες ή και ολόκληρα οικολογικά συστήματα.

Μια αρχική διάκριση των μαθηματικών μοντέλων ανάλογα και με το σύστημα το οποίο μελετάται είναι η ακόλουθη².

- *Μοντέλα ασθενειών*, που μελετούν την εξέλιξη μολυσματικών ασθενειών στο χώρο και στο χρόνο
- *Μοντέλα διάχυσης*, που μελετούν τη διάχυση συγκεκριμένων πληθυσμών-μεταβλητών σε συγκεκριμένο χώρο και χρόνο και
- *Πληθυσμιακά Μοντέλα*, που μελετούν την εξέλιξη του αριθμού των πληθυσμού. Εδώ, μπορεί να πραγματοποιηθεί και μια υποδιαίρεση σε μοντέλα ενός πληθυσμού και μοντέλα αλληλεπιδρώντων πληθυσμών.

Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης διπλωματικής διατριβής, θα πραγματοποιηθεί μελέτη της εξέλιξης και τη δυναμικής των πληθυσμών ενός οικοσυστήματος

Για την περιγραφή ενός μοντέλου εξέλιξης πληθυσμού που εξελίσσεται σε βάθος χρόνου, ένα από τα κύρια εργαλεία μας είναι οι συνήθειες ή/και μερικές διαφορικές εξισώσεις, οι οποίες συνδέουν το ρυθμό μεταβολής ενός φυσικού μεγέθους με το ποσοτικά άγνωστο αυτό μέγεθος.

Τα μαθηματικά μοντέλα δυναμικής πληθυσμών χωρίζονται σε 2 πολύ βασικές κατηγορίες. Τα μοντέλα δυναμικής ενός πληθυσμιακού είδους και τα μοντέλα που εξετάζουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ δύο ή και περισσότερων ειδών.

Β'.1 Πληθυσμιακά μοντέλα ενός είδους

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τα δυο πιο σημαντικά (καθώς και κάποιες προεκτάσεις/γενικεύσεις τους) μοντέλα ανάπτυξης ενός είδους, το Εκθετικό ή Μαλθουσιανό μοντέλο καθώς και το Λογιστικό ή Μοντέλο του Verhulst, με τη βοήθεια μη γραμμικών

² Μαθηματική Μοντελοποίηση - Μια Σπουδή στις Θετικές Επιστήμες

συνήθων διαφορικών εξισώσεων μιας ή περισσότερων μεταβλητών. Τα μοντέλα αυτά είναι ιδιαίτερος χρήσιμα, ιδιαίτερα σε εργαστηριακό περιβάλλον, ταυτόχρονα όμως διαθέτουν και αρκετούς περιορισμούς.

B'.1.1 Εκθετικό ή Μαλθουσιανό μοντέλο

Το πρώτο και πιο απλό μοντέλο πρόβλεψης του πληθυσμού διατυπώθηκε από τον Άγγλο Thomas Malthus (1766-1864) στην αμφιλεγόμενη εργασία του “An Essay on the Principle of Population” το 1798. Ο Malthus ήταν ο πρώτος που μελέτησε την αύξηση του ανθρώπινου πληθυσμού της γης.

Έστω ότι $N(t)$ ο πληθυσμός των ανθρώπων σε χρόνο t [N_0 και t_0 γνωστά μεγέθη] και οι παράγοντες που επηρεάζουν τον πληθυσμό της γης είναι ο ρυθμός γεννήσεων, ο ρυθμός θανάτων και η μετανάστευση. Η μετανάστευση δε λαμβάνεται υπόψη αφού περιγράφει τις μετακινήσεις των ανθρώπων σε άλλα μέρη της γης. Υποθέτουμε ότι το ποσοστό των γεννήσεων είναι x και το ποσοστό των θανάτων y . Πρακτικά, μας ενδιαφέρει ο πληθυσμός $N(t)$ σε χρόνο $t=t_1$. Άρα, ο νέος πληθυσμός $N(t+\Delta t)$ θα είναι ίσος με τον προηγούμενο πληθυσμό $N(t)$ συν τη διαφορά γεννήσεων και θανάτων τη χρονική στιγμή Δt . Άρα

$$N(t+\Delta t) = N(t) + x N(t)\Delta t - y N(t)\Delta t$$

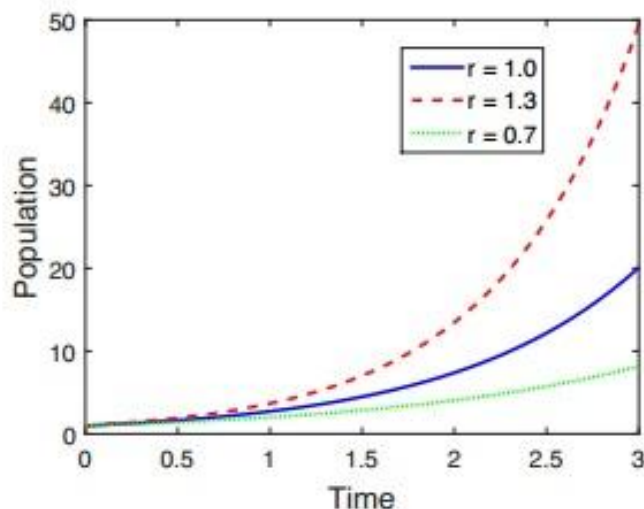
ή αλλιώς

$$\frac{dN}{dt} = xN - yN \rightarrow \frac{dN}{dt} = r N, \text{ με } r > 0 \text{ και σταθερά.}$$

Η λύση της διαφορικής αυτής εξίσωσης είναι η ακόλουθη

$$N(t) = N_0 e^{rt} \text{ όπου } N_0 \text{ η αρχική τιμή του πληθυσμού.}$$

Σύμφωνα με το μαλθουσιανό μοντέλο, ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού σε ιδανικές συνθήκες, είναι εκθετικός και μάλιστα αναλόγως τη σταθερά r , η γραφική παράσταση παρουσιάζεται στην εικόνα B'.1



Εικόνα Β'.1 Ρυθμός Αύξησης

Το μαλθουσιανό μοντέλο προβλέπει ότι ο ρυθμός αύξησης της γης σε ιδανικές συνθήκες, είναι εκθετικής μορφής. Στην πράξη, βέβαια, και δεδομένης της εκθετικής του μορφής, το μοντέλο μπορεί να λειτουργήσει αρκετά καλά όταν η διάρκεια του χρόνου είναι μικρή μιας και σε μεγάλες χρονικές περιόδους ο αριθμός πρόβλεψης γίνεται εξωπραγματικά μεγάλος ακόμη και με πολύ μικρό r . Επίσης, το μοντέλο δε λαμβάνει υπόψη του εξωγενείς παράγοντες όπως απρόβλεπτα γεγονότα της ανθρώπινης ζωής (ασθένειες κτλ) τα οποία λειτουργούν ανασταλτικά στην εκθετική αύξηση του πληθυσμού για αυτό και αποτυγχάνει σε μεγάλες χρονικές περιόδους. Παρόλα αυτά, αποτελεί το πρώτο προσεγγιστικό μοντέλο για πληθυσμιακές προβλέψεις.

Β'.1.2 Εξίσωση Gompertz

Το 1825, ο B. Gompertz επιχείρησε να επεκτείνει το μαλθουσιανό μοντέλο για την περιγραφή του ρυθμού αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού, λαμβάνοντας υπόψη του παράγοντες όπως η θνησιμότητα. Προσπάθησε δηλαδή, να βελτιώσει το μαλθουσιανό μοντέλο χρησιμοποιώντας χρονοσειρές θνησιμότητας, και με την υπόθεση πως όσο αυξάνεται η ηλικία ενός ανθρώπου, τόσο μειώνεται η «αντίσταση» του στη θνησιμότητα. Έτσι, ο Gompertz κατέληξε στην εξίσωση

$$N(t) = N_0 \exp \{-c(e^{at} - 1)\}$$

όπου N_0 ο αρχικός πληθυσμός και c, a σταθερές. Το μοντέλο αυτό βρήκε εφαρμογή σε ασφαλιστικές εταιρίες για υπολογισμό ασφαλιστρών ζωής, στη μοντελοποίηση αύξησης καρκινικών όγκων και αλλού.

B'.1.3 Το λογιστικό μοντέλο ή μοντέλο Verhulst

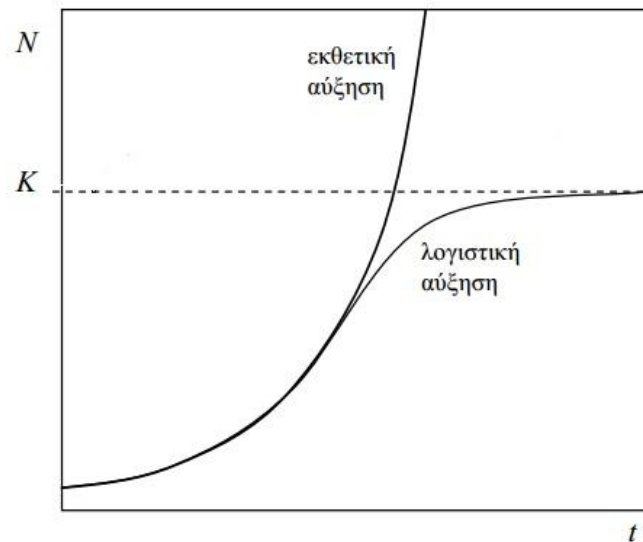
Όπως διαπιστώσαμε, το μαλθουσιανό μοντέλο μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά για αποτελέσματα σε μικρό χρονικό διάστημα, με την πάροδο όμως του χρόνου, η ακρίβεια του μοντέλου υστερεί σημαντικά και τα αποτελέσματα αποκλίνουν εκθετικά από την πραγματικότητα.

Σε πραγματικές συνθήκες, ο πληθυσμός της γης εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες που το μοντέλο δε λαμβάνει υπόψη του όπως η έλλειψη χώρου πάνω στον πλανήτη, η έλλειψη τροφής αρκετής για να θρέψει όλον το πληθυσμό, λοιμώδης νόσους που ξεσπούν ανά χρονικά διαστήματα, πόλεμοι μεταξύ των ανθρώπων και πολλοί άλλοι απρόβλεπτοι παράγοντες. Εμπειρικά, αναγνωρίζουμε πως η αύξηση του πληθυσμού αναστέλλεται από τους ρυθμιστικούς μηχανισμούς του ίδιου του περιβάλλοντος αφού ο υπερπληθυσμός συχνά συνεπάγεται αύξηση της υπογεννητικότητας καθώς και αύξηση της θνησιμότητας.

Για τους παραπάνω λόγους, ο Βέλγος μαθηματικός *Pierre Verhulst* πρότεινε ένα βελτιωμένο μοντέλο πληθυσμιακής εξέλιξης και αυτή ονομάστηκε *λογιστική εξίσωση*. Σύμφωνα με τη λογιστική εξίσωση, υπάρχει ένα «κατώφλι» που όταν ο πληθυσμός πλησιάζει σε αυτό τότε ο ρυθμός της αύξησης του πληθυσμού συνεχώς ελαττώνεται μέχρι κάποια στιγμή να μηδενιστεί. Πιο συγκεκριμένα,

$$\frac{dN(t)}{dt} = rN(t) \left(1 - \frac{N(t)}{K} \right)$$

Όπου r είναι η *παράμετρος του Malthus* ή αλλιώς ο ρυθμός της μέγιστης δυνατής εξέλιξης του πληθυσμού και K ο συντελεστής που σχετίζεται με τη δυνατότητα του οικοσυστήματος να συντηρήσει συγκεκριμένο αριθμό του πληθυσμού (*carrying capacity*). Η λογιστική εξίσωση, είναι μια διαφορικής εξίσωση χωριζομένων μεταβλητών. Παρακάτω, στην εικόνα B'.2 παρουσιάζεται η διαφορά της λογιστικής με την εκθετική αύξηση του πληθυσμού.



Εικόνα Β'.2 Καμπύλες αύξησης

Η καμπύλη της λογιστικής αύξησης ονομάζεται *λογιστική καμπύλη* και παρουσιάζει σιγμοειδή μορφή.

Συνεχίζοντας, η γενικής λύση της λογιστικής εξίσωσης έχει τη μορφή

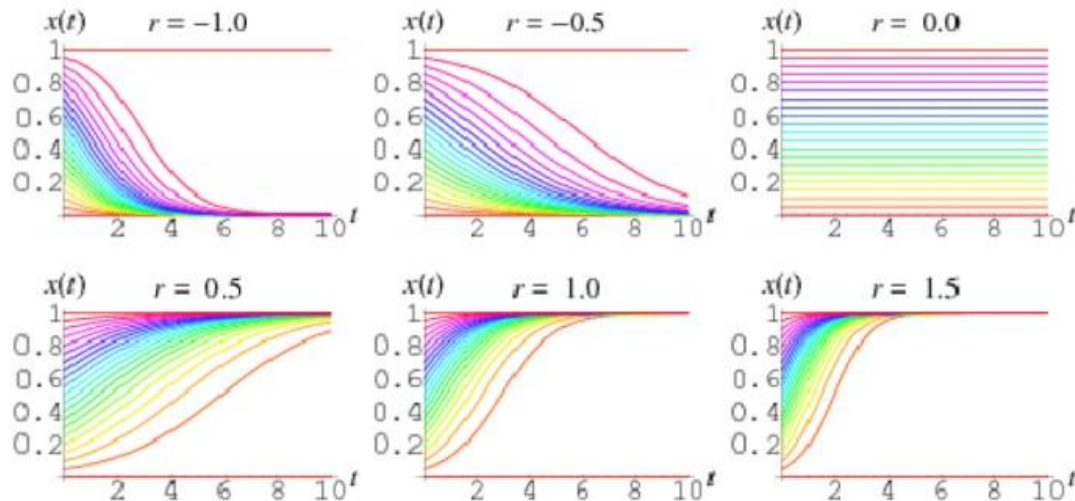
$$N(t) = \frac{K}{1 + \frac{1}{c} e^{-rt}}$$

και για $t = 0$ και $N(0) = N_0$ έχουμε $\frac{N_0}{K - N_0} = h$ και με αντικατάσταση προκύπτει ότι

$$N(t) = \frac{K}{1 + (\frac{K}{N_0} - 1) e^{-rt}}$$

Τέλος, εξετάζοντας τις γραφικές παραστάσεις της παραπάνω εξίσωσης και θέτοντας

$\chi(t) = \frac{N(t)}{K}$ παρατηρούμε πως για τις διαφορετικές τιμές του r μεταβάλλονται και οι γραφικές παραστάσεις, εικόνα Β'.3.



Εικόνα Β'.3 [Πηγή: ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΣΤΙΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ: ΜΙΑ ΜΙΚΡΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ].

Οι γραφικές παραστάσεις είναι οι αναμενόμενες αφού όσο μεγαλύτερο είναι ο ρυθμός αύξησης r τόσο πιο γρήγορα η συνάρτηση προσεγγίζει την οριακή της τιμή.

Β'.1.4 Εξίσωση von Bertalanffy

Το 1938, ο von Bertalanffy γενίκευσε τη λογιστική εξίσωση στη μορφή

$$\frac{dN(t)}{dt} = r(N_{\infty} - N(t)) \quad \text{όπου } N \rightarrow \infty$$

με N_{∞} η τιμή του πληθυσμού σε πολύ μεγάλους χρόνους, σε χρόνους δηλαδή που τείνουν στο άπειρο. Η εξίσωση αυτή είναι η πιο συνηθισμένη και χρησιμοποιείται περισσότερο στη μελέτη πληθυσμών των ψαριών και έχει σα λύση την

$$N(t) = N_{\infty}(1 - e^{-r(t-t_0)})$$

Β'.2 Πληθυσμιακά μοντέλα δύο ειδών

Ένα από τα ζητήματα που τίθενται με τα πληθυσμιακά μοντέλα που ήδη εξετάστηκαν είναι πως βασίζονται στην υπόθεση ότι υπάρχει ένα και μοναδικό είδος που εξετάζεται πληθυσμιακά. Στην πράξη αυτό είναι σχεδόν αδύνατο, μιας και σε ένα οικοσύστημα δύο ή και περισσότερα ήδη αλληλεπιδρούν, με αποτέλεσμα ο πληθυσμός τους να είναι απόρροια αυτής της αλληλεπίδρασης. Για το λόγο αυτό, παρακάτω θα εξεταστούν τέτοια μοντέλα αλληλεπίδρασης πληθυσμών δύο ή περισσότερων ειδών, με πιο γνωστό και απλό το μοντέλο Θηράματος – Θηρευτή ή Lotka – Volterra μοντέλο.

Β'.2.1 Μοντέλο Θηράματος – Θηρευτή ή Lotka – Volterra μοντέλο

Το μοντέλο Θηράματος – Θηρευτή είναι ένα ζεύγος μη γραμμικών διαφορικών εξισώσεων πρώτης τάξης, που συχνά χρησιμοποιούνται για τη περιγραφή της δυναμικής των πληθυσμών ενός οικοσυστήματος με την αλληλεπίδραση δύο ειδών, το ένα γνωστό ως Θήραμα και το άλλο ως Θηρευτή. Οι εξισώσεις αυτές αναπτύχθηκαν από τον Αμερικανό μαθηματικό και στατιστικό Alfred J. Lotka και τον Ιταλό μαθηματικό Vito Volterra το 1926, με σκοπό την περιγραφή των πληθυσμών δύο ειδών ψαριών της Αδριατικής.

Θεωρούμε $x(t)$ τον αριθμό των θηραμάτων και $y(t)$ τον αριθμό των θηρευτών σε χρόνο t . Το μοντέλο κάνει κάποιες υποθέσεις και κάποιες παραδοχές σύμφωνα με τις οποίες

- i. Τα θηράματα μπορούν να έχουν ατελείωτους πόρους ως τροφή
- ii. Οι θηρευτές έχουν ατελείωτη όρεξη και ταυτόχρονα ο μοναδικός πόρος τροφής είναι το θήραμα
- iii. Αν δεν υπάρχουν θηρευτές, ο πληθυσμός των θηραμάτων αυξάνεται εκθετικά, ενώ, αν υπάρχουν, ο πληθυσμός μειώνεται εκθετικά
- iv. Η αύξηση του πληθυσμού των θηρευτών είναι ανάλογη με τις «συναντήσεις» με τα θηράματα, ενώ ταυτόχρονα το ίδιο ισχύει και για τα θηράματα, με μείωση, όμως, του δικού τους πληθυσμού
- v. Το περιβάλλον δε μεροληπτεί υπέρ κάποιου είδους και τυχόν γενετικές μεταλλάξεις δε λαμβάνονται υπόψη.

Έτσι, με τις παραπάνω υποθέσεις και παραδοχές, το μοντέλο περιγράφεται ως εξής

$$\frac{dx}{dt} = x(a - \beta y)$$

$$\frac{dy}{dt} = y(\gamma x - \delta)$$

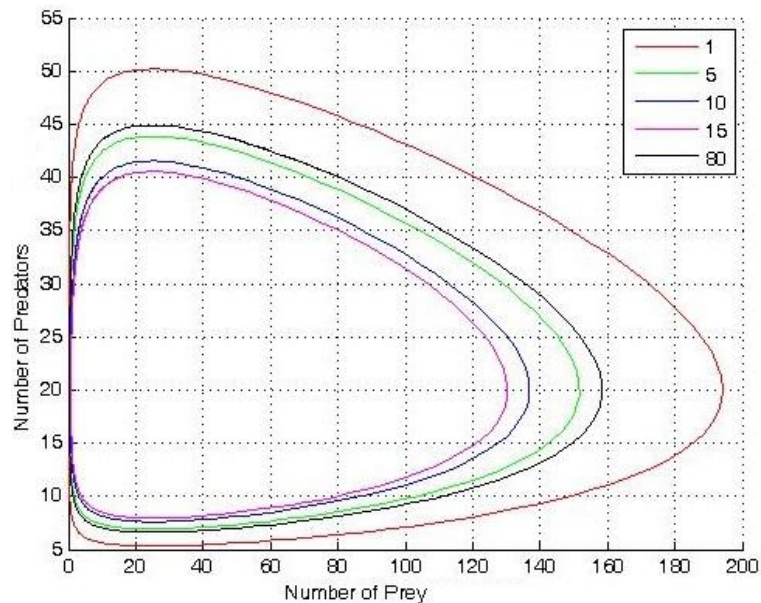
με $a, \beta, \gamma, \delta > 0$ και σταθερές.

Συνεχίζοντας, αν θέσουμε $\frac{dx}{dt} = 0$ και $\frac{dy}{dt} = 0$, μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε τα κρίσιμα σημεία του συστήματος καταλήγοντας στα $(0, 0)$ και $(\gamma/\delta, a/\beta)$. Οι αντίστοιχοι πίνακες ευστάθειας των σημείων αυτών είναι $A(0, 0) = \begin{pmatrix} a & 0 \\ 0 & \gamma \end{pmatrix}$ και $A(\gamma/\delta, a/\beta) = \begin{pmatrix} 0 & \beta\gamma/\delta \\ a\delta/\beta & 0 \end{pmatrix}$. Αν θεωρήσουμε αντίστοιχο γραμμικοποιημένο σύστημα γύρω από το σημείο $(0, 0)$ με ιδιοτιμές $\lambda_1 = a$ και $\lambda_2 = -\gamma$, καταλήγουμε ότι το σημείο $(0, 0)$ είναι ασταθές και, αφού $\lambda_1 \lambda_2 < 0$, το σημείο είναι και σαγματικό. Αντιθέτως, για το δεύτερο πίνακα ευστάθειας

παρατηρούμε ότι $\lambda_{1,2} = \pm i\sqrt{a\gamma}$, δηλαδή το σημείο $(\gamma/\delta, \alpha/\beta)$ αποτελεί ευσταθές σημείο του συστήματος. Αν τώρα γίνει απαλοιφή του χρόνου t στις εξισώσεις Lotka – Volterra, καταλήγουμε στο $\frac{dx}{ax-\beta xy} = \frac{dy}{\gamma x-\delta xy}$ και ολοκληρώνοντας καταλήγουμε στο

$$\alpha \ln(y) + \gamma \ln(x) - \beta y - \delta x = k, k > 0.$$

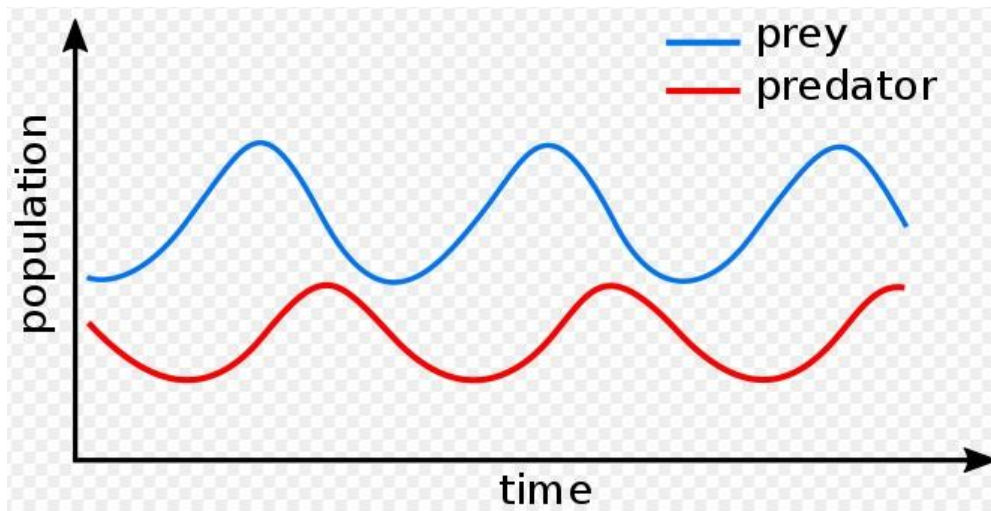
που, από την παραπάνω εξίσωση, καταλήγουμε στη γραφική παράσταση των εξισώσεων, εικόνα Β'.4



Εικόνα Β'.4 Lotka – Volterra [ΠΗΓΗ:

https://en.wikipedia.org/wiki/Lotka%E2%80%93Volterra_equations]

Το κυρίως πρόβλημα του συγκεκριμένου μοντέλου έγκειται στο γεγονός ότι οι λύσεις δεν είναι σταθερές, δηλαδή με μια μικρή διαταραχή του συστήματος η λύση είναι τελείως διαφορετική από την αρχική, μιας και οι πληθυσμοί των θηραμάτων και των θηρευτών ακολουθούν περιοδική συμπεριφορά στο χρόνο, εικόνα Β'.5. Παρόλα αυτά, το μοντέλο βρίσκει εφαρμογές σε πραγματικά, και όχι μόνο, εργαστηριακά οικοσυστήματα.



Εικόνα Β'.5 Περιοδική συμπεριφορά μοντέλου [ΠΗΓΗ:
https://en.wikipedia.org/wiki/Lotka%E2%80%93Volterra_equations]

Άλλα πληθυσμιακά μοντέλα δύο ή περισσότερων ειδών, που, όμως, δεν απαιτείται περεταίρω μελέτη στη συγκεκριμένη διατριβή, είναι το μοντέλο των *Ανταγωνιζόμενων Ειδών*, το οποίο περιγράφει οικοσυστήματα που δύο ή περισσότερα είδη ανταγωνίζονται για να τραφούν από τους ίδιους τροφικούς πόρους, καθώς και το μοντέλο *Συμβίωσης*, που δύο ή περισσότερα είδη συμβιώνουν αρμονικά, συχνά δε με αμοιβαία οφέλη συμβίωσης.

Β'.3 Πληθυσμιακές εξάρσεις

Μέχρι τώρα, έχουν μελετηθεί μοντέλα που περιγράφουν την πληθυσμιακή δυναμική ενός οικοσυστήματος. Κανένα από αυτά, όμως, δεν περιγράφει (και δεν προβλέπει) τις εκάστοτε πληθυσμιακές εξάρσεις κάποιου είδους και ταυτόχρονα της συμπεριφορά και τις μεταβολές του είδους στο οικοσύστημα.

Η πρόβλεψη πληθυσμιακών εξάρσεων, επιχειρείται μέσω στοχαστικών διαδικασιών, αφού η τυχαίότητα και η αβεβαιότητα που διέπει τις πληθυσμιακές αλλαγές, καθώς και μετακινήσεις, ενός δείγματος μέσα στο οικοσύστημα, ενώ ταυτόχρονα είναι συνάρτηση πολλών και διαφορετικών παραγόντων, πρακτικά καθιστά αδύνατη την προσέγγιση με τρόπο ντετερμινιστικό. Μια από τις στοχαστικές διαδικασίες που χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς ενός πληθυσμού, της πληθυσμιακής εξάρσης με άλλα λόγια, είναι οι *Αλυσίδες Markov* ή αλλιώς, *μαρκοβιανές αλυσίδες*.

Β'.3.1 Αλυσίδες Markov

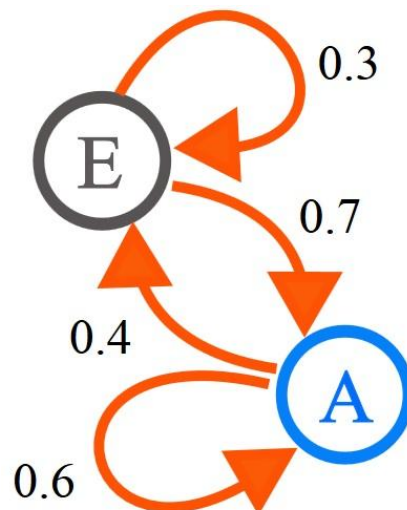
«Μια μαρκοβιανή αλυσίδα είναι ένα μαθηματικό σύστημα που μεταβάλλεται από μια κατάσταση σε μια άλλη, ανάμεσα σε ένα πεπερασμένο αριθμό καταστάσεων. Είναι μια τυχαία διαδικασία που δε διατηρεί μνήμη για τις προηγούμενες μεταβολές. Η επόμενη κατάσταση

εξαρτάται μόνο από την τωρινή κατάσταση και σε καμιά περίπτωση από αυτές που προηγήθηκαν»³. Διαφορετικά, μια σειρά τυχαίων μεταβλητών (χρονοσειρά) για την οποία η πιθανότητα μετάβασης σε μια νέα κατάσταση εξαρτάται μόνο από τη δεδομένη κατάσταση της σειράς. Η *μαρκοβιανή ιδιότητα* είναι η ιδιότητα των καταστάσεων να μην εξαρτώνται από προηγούμενες καταστάσεις. Η μαρκοβιανή αλυσίδα είναι διαδικασία στοχαστική και αναφέρεται στην ακολουθία (αλληλουχία) των καταστάσεων μέσα στο σύστημα στη μορφή βημάτων. Τα βήματα αυτά αναφέρονται συνήθως σε χρόνο, χωρίς αυτό όμως να είναι δεσμευτικό.

Σε μαθηματικούς όρους, μια μαρκοβιανή αλυσίδα πρώτης τάξης είναι μια ακολουθία τυχαίων μεταβλητών $X_1, X_2, X_3, \dots, X_L$ με τη μαρκοβιανή ιδιότητα, με τις μεταβλητές αυτές να παίρνουν τιμές σε ένα χώρο πιθανών καταστάσεων, αναλόγως με το εκάστοτε εξεταζόμενο σύστημα και να συμβολίζουν την κατάσταση στην οποία βρίσκεται στο σύστημα τη χρονική στιγμή i . Η δεσμευμένη κατανομή των μελλοντικών παρατηρήσεων $X_{i+1}, X_{i+2}, X_{i+3}$ δεδομένου του παρελθόντος $X_1, X_2, \dots, X_i$, εξαρτάται μόνο από το παρελθόν μόνο μέσω του x_i . Δηλαδή,

$$P(X_i | X_{i-1}, X_{i-2}, \dots, X_1) = P(X_i | X_{i-1})$$

ακολουθώντας τις κλασσικές ιδιότητες των πιθανοτήτων. Απλά αναφέρεται πως μπορεί να γίνει και γενίκευση της πρώτης τάξης σε k-τάξη αλυσίδα. Οι Μαρκοβιανές Αλυσίδες συχνά περιγράφονται από ένα πίνακα μετάβασης καθώς και από κατευθυνόμενο γράφημα που οι άκρες του επιγράφουν τις πιθανότητες μετάβασης από τη μια κατάσταση στις άλλες.



Εικόνα Β'.6 Κατευθυνόμενο Αριθμημένο Γράφημα δύο καταστάσεων

³ Πηγή: https://el.wikipedia.org/wiki/Αλυσίδα_Μάρκοφ

B'.3.2 Markov Decision Process

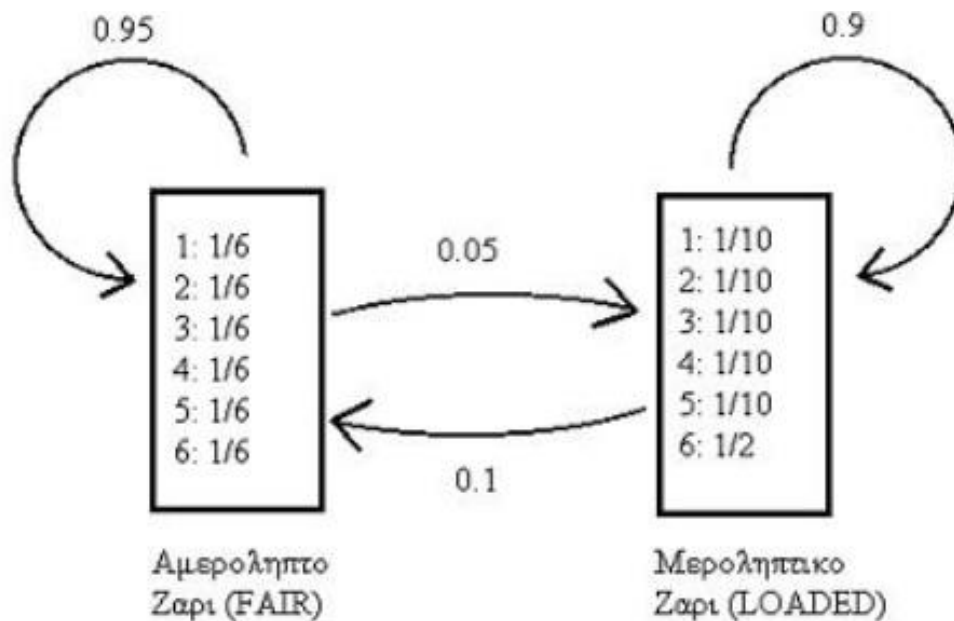
Κατά τη Διαδικασία Πρόβλεψης του Markov εισάγονται και ενέργειες μεταξύ των καταστάσεων του συστήματος. Με τις ενέργειες αυτές αναπτύσσονται σενάρια καταστάσεων και γίνεται πρόβλεψη μελλοντικών καταστάσεων. Η μελέτη και η επεξεργασία των σεναρίων αυτών μπορεί να οδηγήσει σε επιθυμητές καταστάσεις, καθώς και στην αποτροπή απευκαταστάσεων.

Όταν μια ενέργεια εφαρμόζεται σε μια συγκεκριμένη διαδικασία, προκύπτει μια τιμή (πχ αριθμός πληθυσμού), ενώ η διαδικασία συνεχίζει να εξελίσσεται στοχαστικά. Έτσι, στην επόμενη κατάσταση θα εφαρμοστεί μια καινούρια ενέργεια, για να προκύψει μια νέα τιμή κοκ. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να γίνει η μελέτη ενός σεναρίου «καλής» και «κακής» περίπτωσης και να προληφθούν τυχόν κακές συνέπειες σεναρίων.

B'.3.3 Hidden Markov Models (HMM)

Τα HMM θεωρούνται σαν επέκταση των απλών μαρκοβιανών μοντέλων και αποτελούν ένα ισχυρό στατιστικό εργαλείο για την πρόβλεψη μελλοντικών καταστάσεων ενός συστήματος με τρόπο στοχαστικό. Στα απλά μαρκοβιανά μοντέλα το πλήθος των καταστάσεων ενός μοντέλου είναι ίσο με το πλήθος των διακριτών παρατηρήσεων, μιας και σε κάθε κατάσταση αντιστοιχεί μόνο μια παρατήρηση. Τα HMM, όμως, περιγράφουν την από κοινού πιθανότητα ενός πεπερασμένου συνόλου από μη ορατές καταστάσεις – εξ ου και ο τίτλος αυτών των μοντέλων – και ενός συνόλου από παρατηρούμενες διακριτές μεταβλητές. Τα HMM είναι στοχαστικά μοντέλα για σειριακά δεδομένα καταστάσεων, ενώ περιέχουν και ένα πεπερασμένο αριθμό κρυφών καταστάσεων. Το μοντέλο αυτό αποτελείται από ένα σύνολο κρυφών καταστάσεων, ένα σύνολο από παρατηρούμενα σύμβολα και δύο σύνολα πιθανοτήτων, την πιθανότητα μετάβασης και την πιθανότητα εκπομπής συμβόλου.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα HMM που αναφέρεται στη βιβλιογραφία (Durbin, et al., 1998) είναι αυτό του «ανέντιμου καζίνο ή πειραγμένου ζαριού». Σύμφωνα με αυτό, το καζίνο μπορεί να χρησιμοποιεί κανονικά ζάρια, με πιθανότητα εμφάνισης κάθε συμβόλου (αριθμού) $1/6$, αλλά ταυτόχρονα, μπορεί να αλλάζει και το ζάρι, χωρίς να το γνωρίζει ο παίχτης, με πιθανότητες ευνοϊκές προς το ίδιο με πιθανότητες εμφάνισης του αριθμού “6” να είναι $1/2$, ενώ οι πιθανότητες των υπόλοιπων αριθμών να είναι $1/10$. Ταυτόχρονα, οι πιθανότητες να αλλάξει το ζάρι από αμερόληπτο σε μεροληπτικό είναι 0.05 , ενώ οι πιθανότητες αλλαγής από μεροληπτικό σε αμερόληπτο είναι 0.1 . Στην εικόνα B'.7, περιγράφεται και σχηματικά η παραπάνω διαδικασία.



Εικόνα Β'.7 Ανέντιμο Καζίνο

Το μοντέλο αυτό ονομάζεται κρυφό, γιατί το μόνο που μπορεί να δει ο παίχτης κάθε φορά είναι το αποτέλεσμα του ζαριού, χωρίς να ξέρει πιο ζάρι χρησιμοποιείται κάθε φορά ή ποια η πιθανότητα αλλαγής κατάστασης του ζαριού. Η πραγματική κατάσταση, δηλαδή, του ζαριού είναι κρυμμένη από τον παίχτη.

Ένα άλλο παράδειγμα / αναφορά HMM στη βιβλιογραφία είναι το παράδειγμα της πρόβλεψης των καιρικών συνθηκών χωρίς άμεση πρόσβαση στον έξω κόσμο (Shun-Zheng Yu, 2010). Σύμφωνα με αυτό, ένας άνθρωπος είναι κλεισμένος σε ένα δωμάτιο χωρίς παράθυρα και η μόνη του επαφή με τον έξω κόσμο είναι ένας δεύτερος άνθρωπος που φέρνει το γεύμα στον πρώτο. Οι καιρικές συνθήκες αποτελούνται από τρεις διαφορετικές καταστάσεις {Ηλιόλουστος, Συννεφιασμένος, Βροχερός}, είναι καταστάσεις κρυφές από τον άνθρωπο στο δωμάτιο και το μόνο στοιχείο που διαθέτει ο τελευταίος είναι η παρατήρηση του ανθρώπου που φέρνει το γεύμα για το αν κρατάει ομπρέλα ή όχι. Έτσι, γνωρίζοντας τις πιθανότητες αλλαγής του καιρού, καθώς και την πιθανότητα να κρατάει ομπρέλα ο διανομέας, μπορούμε να κάνουμε κάποιες προβλέψεις για τον καιρό των επόμενων ημερών.

Β'.4 Περεταίρω μελέτη πληθυσμιακών εξάρσεων

Σε τρεις βασικές κατηγορίες μοντέλων χωρίζει η υπάρχουσα βιβλιογραφία τις διαδικασίες πρόβλεψης δυναμικής πληθυσμών. i. Τα ντετερμινιστικά μοντέλα, ii. Τα στοχαστικά μοντέλα και iii. Τα χωροχρονικά μοντέλα.

Οι Lega et al (2016), προτείνουν μια μέθοδος πρόβλεψης έξαρσης λοιμωδών ασθενειών, η οποία βασίζεται συλλογή δεδομένων και εφαρμόζεται με αθροιστικές αναφορές για τη εκτίμηση της διάρκειας, της μέγιστης τιμής, καθώς και του συνολικού μεγέθους της έξαρσης. Το μαθηματικό μοντέλο που προτείνεται είναι απλό και δεν απαιτεί γνώση ή εκτίμηση παραμέτρων μετάδοσης, ενώ είναι και ανθεκτικό στο θόρυβο, καθώς και σε εξωγενείς παράγοντες, ενώ μοντελοποιείται κιόλας.

Η μελέτη και η πρόβλεψη εξάρσεων ασθενειών είναι επίσης το αντικείμενο έρευνας των Costa et al. Οι συγγραφείς του άρθρου χρησιμοποιούν μια διαφορετική κατηγορία μοντέλων για τη μελέτη και πρόβλεψη μολυσματικών ασθενειών, αυτή των τυπικών SEIR (Susceptible – Exposed – Infectious – Recovered) μαθηματικών μοντέλων. Γίνεται προσπάθεια συνδυασμού των μαθηματικών μοντέλων με τα περιστατικά λοίμωξης, για να γίνει μια σταθερή εκτίμηση της εξέλιξης των ασθενειών.

Ο Shaman J. (2016), μοντελοποιεί τον κύκλο της Ινφλουέντσας και προσπαθεί να προβλέψει μεμονωμένες εξάρσεις της ασθένειας “εκπαιδευόντας” δεδομένα σε σύστημα Τεχνητής Νοημοσύνης.

Τέλος, οι King et al (2015), εξετάζουν το ζήτημα της πρόβλεψης πληθυσμιακών εξάρσεων υπό το πρίσμα της αποφυγής συχνών λαθών που συμβαίνουν. Επισημαίνουν τα λάθη στα οποία μπορεί να οδηγήσουν ντετερμινιστικές μέθοδοι και προτείνουν ως εναλλακτική λύση στοχαστικές μεθόδους πρόβλεψης εξάρσεων.

Εκτός, όμως από τα παραπάνω, υπάρχει μια πληθώρα άρθρων τα οποία προσεγγίζουν το ζήτημα της δυναμικής των πληθυσμών και των πληθυσμιακών εξάρσεων, με τρόπο στοχαστικό χρησιμοποιώντας μαρκοβιανές αλυσίδες και κρυφά μαρκοβιανά μοντέλα.

Οι Lu et al, ανέπτυξαν έναν αλγόριθμο ανίχνευσης πληθυσμιακών εξάρσεων βασιζόμενοι σε εναλλασσόμενα μαρκοβιανά μοντέλα και, για να αντιμετωπίσουν σποραδικές οριακές τιμές, χρησιμοποίησαν φίλτρο για να ελαττώσει τις αρνητικές επιπτώσεις.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το άρθρο των Koepke et al (2015), στο οποίο όλο το σύστημα αντιμετωπίζεται από τους συγγραφείς ως ένα συνεχές κρυφομαρκοβιανό μοντέλο, που **ως** κρυφές μαρκοβιανές καταστάσεις θεωρεί τους ανθρώπους οι οποίοι είναι ύποπτοι, νοσούν ή αναρρώνουν από χολέρα, ενώ οι καταστάσεις παρατήρησης είναι ο αριθμός καταγεγραμμένων κρουσμάτων χολέρας.

Τέλος, οι Husin et al (2006), πραγματοποιούν σύγκριση τριών μοντέλων πρόβλεψης εξάπλωσης του Δάγκειου Πυρετού: το μοντέλο Νευρωνικών Δικτύων, το κρυφό μαρκοβιανό μοντέλο και το μοντέλο Παλινδρόμησης, αναλύοντας τα υπέρ και τα κατά κάθε μοντέλου.

Στην περίπτωση του Δαγκείου Πυρετού, το μοντέλο που προκρίθηκε από τους συγγραφείς ήταν αυτό των Νευρωνικών Δικτύων.

Κεφάλαιο Γ'

Εφαρμογές Πληροφορικής – Υφιστάμενες Πρωτοβουλίες

Η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή επιχειρεί μια state of the art ανάλυση των υφιστάμενων πρωτοβουλιών για την καταγραφή, πρόληψη και αντιμετώπιση ασθενειών του ελαιώνα με τη χρήση νέων τεχνολογιών ΤΠΕ στον πρωτογενή τομέα.

Γ'.1 Ενίσχυση της παραγωγής ελαιολάδου με τη χρήση καινοτόμων ΤΠΕ – Εφαρμογή e – olive

Το τμήμα Πληροφορικής του Ιονίου Πανεπιστημίου συμμετέχει ήδη σε καινοτόμες δράσεις στα πλαίσια του έργου «Ενίσχυση της Παραγωγής Ελαιολάδου με τη χρήση καινοτόμων ΤΠΕ», που έχουν ως σκοπό δράσεις με τις οποίες παρακολουθείται ο πληθυσμός των δάκων στον κερκυραϊκό ελαιώνα, με προοπτικές εφαρμογής αντίστοιχων δράσεων και σε άλλες περιοχές της Ελλάδας. Αναπτύχθηκε ένα λογισμικό που επιτυγχάνει την πρόβλεψη της προσβολής των ελαιόδεντρων από δάκο. Το λογισμικό χρησιμοποιεί δεδομένα μετρήσεων που έχουν γίνει με τη μέθοδο της παρατήρησης, από αισθητήρες ατμόσφαιρας και από δακοπαγίδες. Οι πληροφορίες αυτές, αφού αξιοποιηθούν από το συγκεκριμένο λογισμικό, μπορούν να προβλέψουν εάν θα υπάρξει έξαρση του πληθυσμού του δάκου, έτσι ώστε να αξιοποιηθεί από τους παραγωγούς πρακτικά αυτή η πληροφορία και να αποφασίσουν αν θα πρέπει να προχωρήσουν σε ψεκασμούς, ώστε να αποφύγουν της προσβολή των ελαιόδεντρων. Φυσικά, το λογισμικό αυτό είναι προσαρμοσμένο στα δεδομένα του νησιού της Κέρκυρας μιας και ο κάθε ελαιώνας έχει το δικό του μικροκλίμα και τη δική του ποικιλία ελιάς. Μπορεί, όμως, εύκολα να παραμετροποιηθεί στο πλαίσιο διαφορετικών συνθηκών σε άλλα μέρη της Ελλάδας. Παρακάτω επιχειρείται μια αναλυτική παρουσίαση του συγκεκριμένου λογισμικού.

Γ'.1.1 Σκοπός και στόχος προγράμματος

Το λογισμικό αυτό, γνωστό με την ονομασία *e-olive*, αναπτύχθηκε από το τμήμα Πληροφορικής του Ιονίου Πανεπιστημίου στο πλαίσιο του Διασυνοριακού προγράμματος IPA “Ελλάδα – Αλβανία 2007-2013” και η επίσημη ιστοσελίδα του είναι η <http://www.e-olive-project.eu/>.

Το πρόγραμμα στοχεύει στην ανάπτυξη μιας ολιστικής και ολοκληρωμένης μεθόδου για την αποτελεσματική διαχείριση της παραγωγής ελαιολάδου με την εισαγωγή των αναδυόμενων εργαλείων Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών (ΤΠΕ). Η αλυσίδα παραγωγής και εφοδιασμού του ελαιολάδου κατέστη λιγότερο ανταγωνιστική στην Ελλάδα και την Αλβανία

λόγω της χρήσης παρωχημένων πρακτικών τόσο στον ελαιώνα όσο και στην αγορά ελαιοκομικών προϊόντων. Η σημαντικότερη πρόκληση για το πρόγραμμα είναι να συγκεντρώσει επιστήμονες από διαφορετικούς κλάδους μαζί με τους παραγωγούς ελαιολάδου, προκειμένου η Ελλάδα και η Αλβανία να εισαγάγουν με αποτελεσματικό τρόπο τις αναδυόμενες Τεχνολογίες Πληροφορικής και Επικοινωνιών, τόσο στην αλυσίδα παραγωγής όσο και στην εφοδιαστική αλυσίδα ελαιολάδου, και να ενισχύσουν την ανταγωνιστικότητά τους. Για το σκοπό αυτό το πρόγραμμα υιοθετεί μια διασυνοριακή προσέγγιση, που προάγει τη διασταύρωση εμπειριών παραγωγής και εφοδιαστικής αλυσίδας με τις εμπειρίες των δύο συμμετεχουσών χωρών.

Το πρόγραμμα αναπτύσσει ένα σύνολο εργαλείων ΤΠΕ, πρακτικών και κατευθυντήριων γραμμών, που μπορούν να εφαρμοστούν στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, και θα εξορθολογήσει την παραγωγή προϊόντων ελαιόλαδου (και των αντίστοιχων υποπροϊόντων). Ειδικότερα, στο πλαίσιο του προγράμματος καθορίζονται οι ακόλουθοι κύριοι στόχοι:

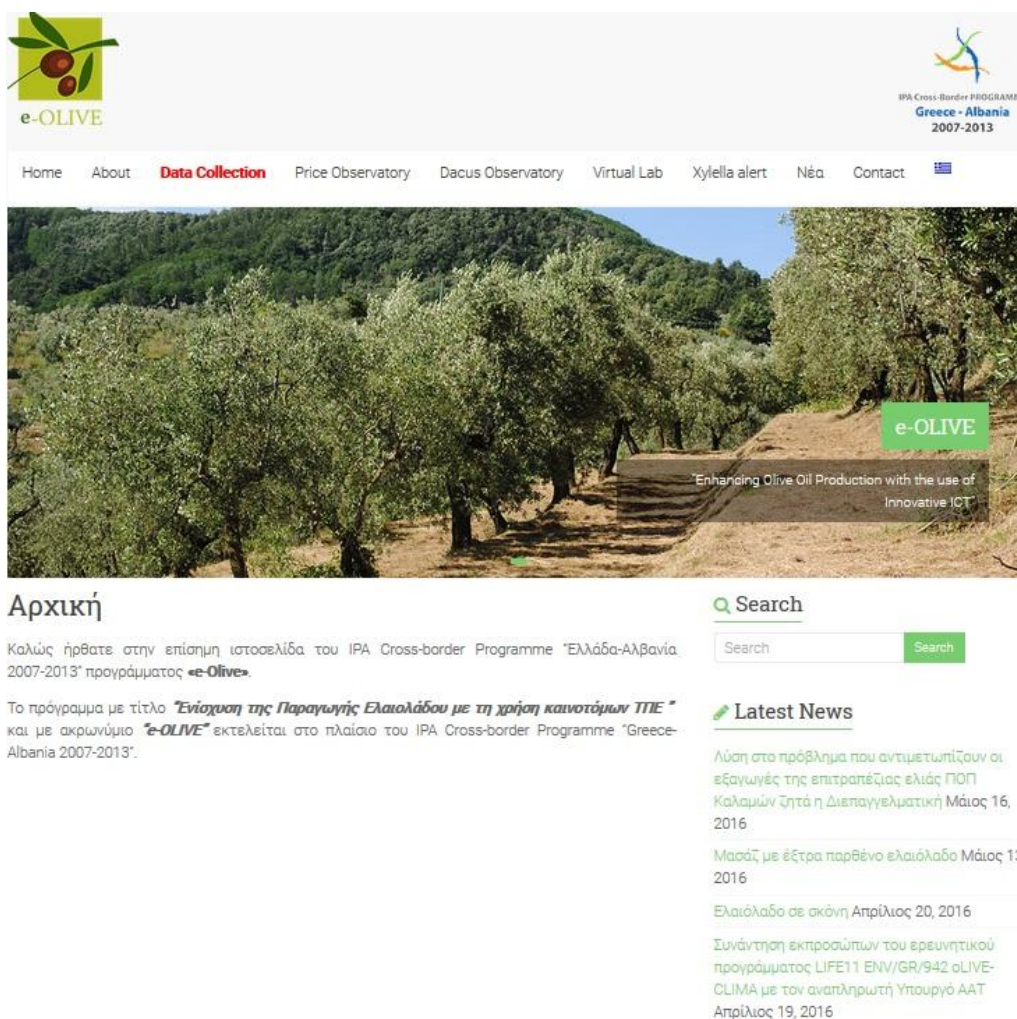
- a) η εισαγωγή εργαλείων ΤΠΕ στη χαρτογράφηση και τη μοντελοποίηση της ανάπτυξης ελαιώνων
- b) η εισαγωγή εργαλείων ΤΠΕ στη διαδικασία παρακολούθησης και πρόβλεψης ασθενειών ελαιολάδου, καθώς και επιβλαβών εντόμων (πχ δάκος, *Xylella Fastidiosa* κτλ) που επηρεάζουν την παραγωγή και την ποιότητα του ελαιολάδου, με σκοπό την ακριβή χαρτογράφηση και την παρακολούθηση των κινδύνων παραγωγής
- c) η εισαγωγή εργαλείων ΤΠΕ για την ενίσχυση της προβολής των παραγωγών ελαιολάδου των συμμετεχόντων με την ανάπτυξη μηχανισμών για την καλύτερη παρακολούθηση των τιμών των προϊόντων και τη διοχέτευσή τους σε κανάλια αγοράς.

Οι σημερινές κινητές πλατφόρμες (όπως τα smartphones, τα tablets κ.λπ.) προσφέρουν μια μοναδική ευκαιρία για άμεση και έγκυρη συλλογή σημαντικών πληροφοριών σχετικά με τους κινδύνους της παραγωγής ελαιολάδου (όπως οι ασθένειες των ελαιόδεντρων ή / και πληθυσμιακές εξάρσεις επιβλαβών εντόμων). Ομοίως και τα κοινωνικά δίκτυα για τη βελτίωση της προώθησης των προϊόντων. Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα του προγράμματος μπορούν να συνοψιστούν στα εξής:

- i. Σχεδίαση και εφαρμογή ενημερωμένων πληροφοριών για το περιβάλλον και βάσεις δεδομένων GIS για τη χαρτογράφηση με ακρίβεια περιβαλλοντικών πληροφοριών των ελαιώνων
- ii. Σχεδίαση και λειτουργία μια εφαρμογής κινητών συσκευών για την αναφορά κινδύνων παραγωγής σε πραγματικό χρόνο

- iii. Μελέτη για πρακτικές προστασίας του περιβάλλοντος, ιδίως όσον αφορά τη βέλτιστη διαχείριση των αποβλήτων
- iv. Μέτρα εκμετάλλευσης των ελαιώνων, όσον αφορά την ανάπτυξη νέων προϊόντων, τις καλύτερες πρακτικές εμπορίας και την υιοθέτηση προτύπων
- v. Ανάπτυξη μία δικτυακής πύλης ενημέρωσης, προκειμένου να διαδοθεί η γνώση και τα επιστημονικά αποτελέσματα του σχεδίου.

«Στόχος του e-olive είναι η ανάπτυξη ICT εργαλείων, πρακτικών και οδηγιών, που θα εφαρμόζονται στην περιοχή της Μεσογείου, με σκοπό την βελτιστοποίηση της παραγωγής των ελαιοκομικών προϊόντων (και των αντίστοιχων υποπροϊόντων). Η σημαντικότερη πρόκληση για το παρόν έργο είναι να φέρει σε επαφή επιστήμονες από διαφορετικούς επιστημονικούς κλάδους, μαζί με τους παραγωγούς ελαιολάδου, προκειμένου να εισαχθούν με ένα αποτελεσματικό τρόπο αναδυόμενες τεχνολογίες πληροφοριών και επικοινωνίας, τόσο στον τομέα της παραγωγής όσο και στην αλυσίδα εφοδιασμού του ελαιολάδου».⁴



Εικόνα Γ'.1 Αρχική Σελίδα

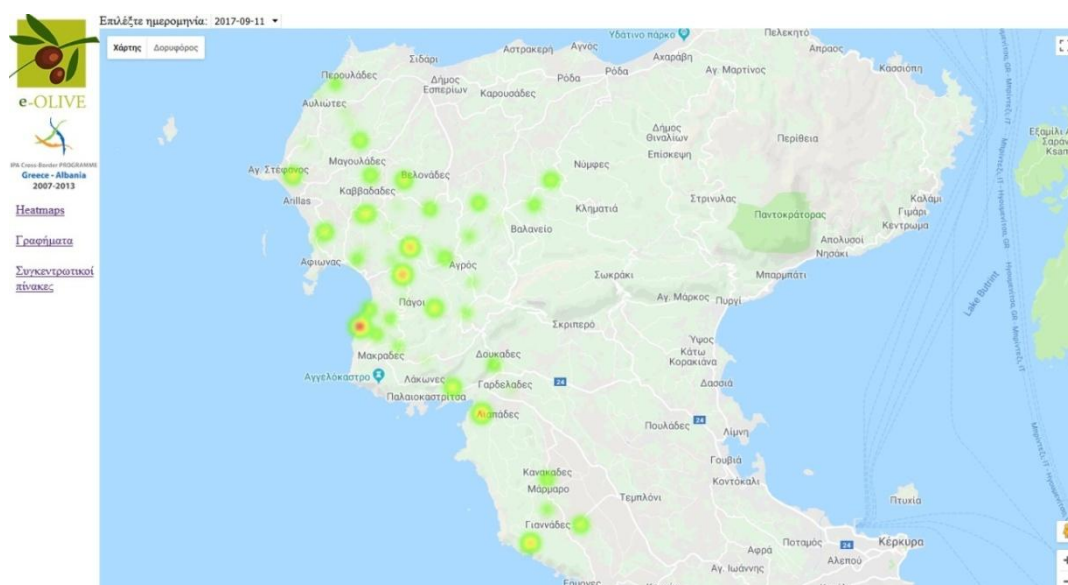
⁴ <http://events.di.ionio.gr/diold/content/research/e-olive/>

Γ'.1.2 Συλλογή δεδομένων

Η συλλογή δεδομένων (αριθμός δάκων) πραγματοποιείται με τη μέθοδο της παρατήρησης των δακοπαγίδων ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα τα οποία κυμαίνονται από 5 έως και 10 ημέρες. Τα χρονικά διαστήματα παρατήρησης εξαρτώνται από την εποχή, τη θερμοκρασία, την υγρασία, τη βροχή και διάφορους άλλους κλιματολογικούς παράγοντες οι οποίοι και καθορίζουν τελικά την περιοδικότητα της μεθόδου της παρατήρησης. Τα δεδομένα, αφού συλλεχθούν, επεξεργάζονται, αναλύονται και οργανώνονται από τους διαχειριστές του συστήματος και τελικά παρουσιάζονται στην πλατφόρμα σε τρεις διαφορετικές μορφές.

- i. *Heatmaps*, κατά την οποία αναλόγως με τον αριθμό των δεδομένων «ζωγραφίζονται» οι αντίστοιχες περιοχές του χάρτη με το ανάλογο χρώμα
- ii. *Γραφήματα*, κατά την οποία παρουσιάζονται τα δεδομένα κάθε δακοπαγίδας σε μορφή γραφήματος και
- iii. *Συγκεντρωτικοί Πίνακες*, κατά την οποία παρουσιάζονται τα δεδομένα κάθε δακοπαγίδας σε μορφή συγκεντρωτικών πινάκων

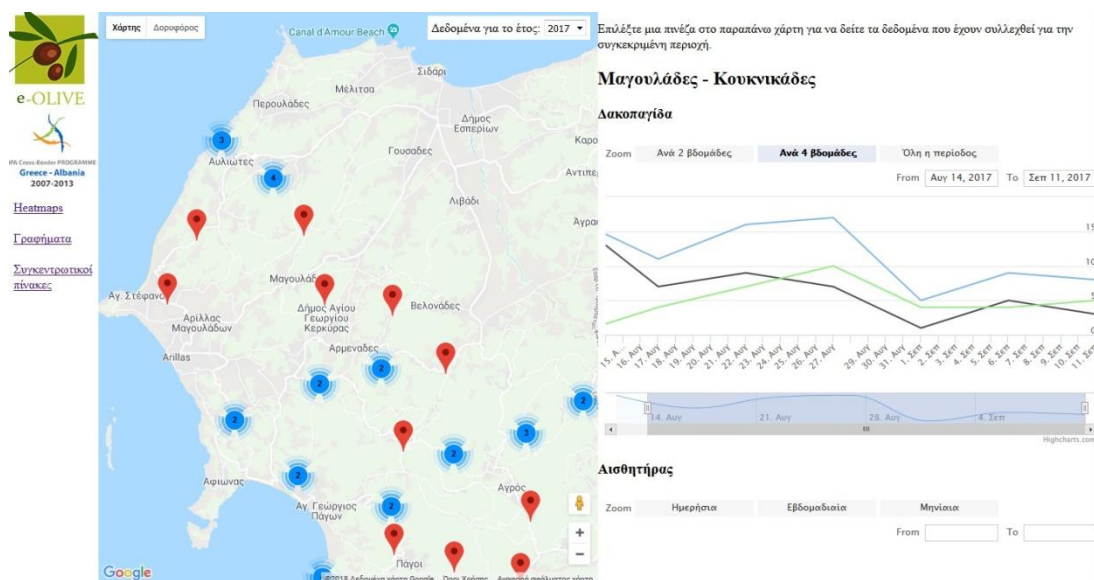
Πιο συγκεκριμένα, η μορφή *heatmaps* δίνει πληροφορίες για την ευρύτερη περιοχή των δακοπαγίδων και αναλόγως με τον αριθμό των δάκων το χρώμα της περιοχής παρουσιάζεται ως πράσινο για περιοχές χωρίς κανένα ή με λίγα ευρήματα δάκων και, όσο ο αριθμός ευρημάτων αυξάνεται, τόσο πιο κόκκινο γίνεται και το χρώμα της περιοχής στο χάρτη. Στην παρακάτω εικόνα γίνεται παρουσίαση της *heatmaps* μορφής με τις αντίστοιχες χρωματικές διακυμάνσεις.



Εικόνα Γ'.2 Heatmaps

Παρατηρούμε πως στις περιοχές με πιο σκούρο χρώμα τα ευρήματα δάκων είναι υψηλά. Ταυτόχρονα, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα (πάνω αριστερά στη σελίδα) να επιλέξει την ημερομηνία που ενδιαφέρεται να παρακολουθήσει με τα αντίστοιχα ευρήματα.

Στη μορφή των γραφημάτων ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει συγκεκριμένη δακοπαγίδα και να ανακτήσει τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε μορφή γραφημάτων με τις απόλυτες τιμές των μετρήσεων, καθώς και με το διαχωρισμό μεταξύ αρσενικών και θηλυκών δάκων ως επιπλέον πληροφορία. Αφού γίνει η επιλογή της χρονολογίας, παρέχεται και η επιλογή των αποτελεσμάτων ανά δύο ή τέσσερις εβδομάδες εντός ορισμένου χρονικού διαστήματος που ενδιαφέρει το χρήστη. Στην εικόνα Γ'.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δακοπαγίδας στους Κουκνικάδες της ΒΔ Κέρκυρας, το έτος 2017, ανά 4 εβδομάδες, από τις 14 Αυγούστου έως τις 11 Σεπτεμβρίου.



Εικόνα Γ'.3 Γράφημα Δακοπαγίδας

Τέλος, στη μορφή των Συγκεντρωτικών Πινάκων ο χρήστης, αφού επιλέξει την ημερομηνία που τον ενδιαφέρει, μπορεί να ανακτήσει τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα όλων των δακοπαγίδων της συγκεκριμένης ημερομηνίας, καθώς και το συνολικό άθροισμα του αριθμού των δάκων, εικόνα Γ'.4

Επιλέξτε ημερομηνία: 2017-09-11 ▾



IPA Cross Border Programme
Greece - Albania
2007-2013

[Heatmaps](#)

[Γραφήματα](#)

[Συγκεντρωτικοί πίνακες](#)

Τοποθεσία	# Θυληκά	# Αρσενικά	Σύνολο
Τρουμπέτα-Λακωνίας	1	0	1
Αγιος Γεώργιος (Fisherman)	6	1	7
Αγιος Γεώργιος Πάγων	2	2	4
Επαρ. Οδός Περουλάδων	6	3	9
Αυλιώτες	1	0	1
Παγοί-Αγιος Γεωργιος	16	8	24
Αυλιώτες 2	0	1	1
Αυλιώτες 3	1	0	1
Αυλιώτες 4	2	2	4
Πρινύλας 1	2	2	4
Fisherman 2	20	13	33
Αφιώνας 2	5	5	10
Αφιώνας 1	1	0	1
Καβαδάδες - Μαγουλάδες	5	2	7
Αγ. Στέφανος - Αυλιώτες	0	0	0
Αγ. Αθανάσιος	0	0	0
Αρκαδάδες - Βατωνιές	0	3	3
Μονή Καμαρέλλα	2	0	2
Μονή Αγ. Δημητρίου	0	0	0
Μονή - 1 (Αγ. Αθανάσιος)	0	0	0
Μονή - 2 (Αγ. Αθανάσιος)	0	0	0
Μονή Αγ. Δημητρίου - 2	0	0	0
Ραχτάδες	0	0	0
Μονή Αγ. Δημητρίου - 3	0	0	0
Πάγοι - Βατωνιές	8	4	12
Δάφνη	0	0	0
Olive grove	3	2	5

Εικόνα Γ'.4 Συγκεντρωτικός Πίνακας

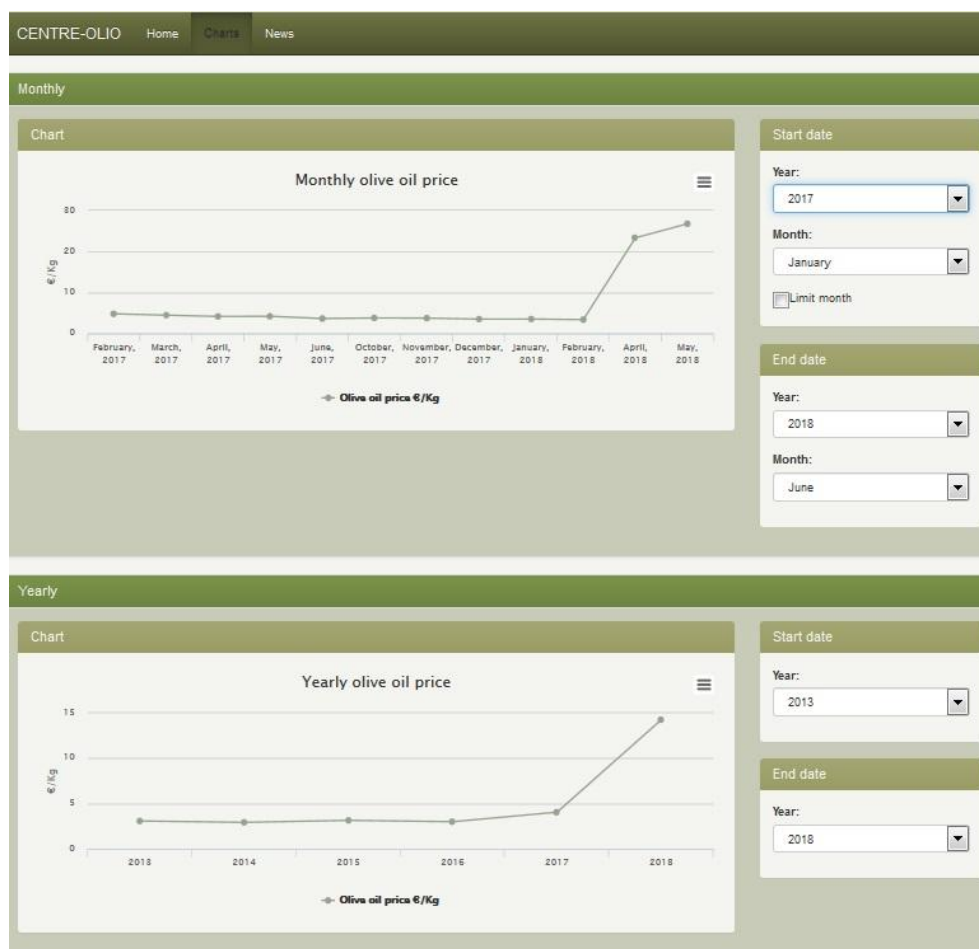
Γ'.1.3 Παρατηρητήριο τιμών ελαιολάδου

Στο πλαίσιο της ενίσχυσης της προβολής των συμμετεχόντων παραγωγών ελαιολάδου και της ανάπτυξης μηχανισμών για την καλύτερη παρακολούθηση των τιμών των προϊόντων, το e-olive διαθέτει παρατηρητήριο τιμών ελαιολάδου. Το εργαλείο αυτό έχει αναπτυχθεί με σκοπό την παρακολούθηση της τιμής του ελαιολάδου και αυτό το επιτυγχάνει με τα εξής βήματα.

Βήμα 1: Το εργαλείο παρακολούθησης τιμών συλλέγει δεδομένα από διαφορές πηγές του διαδικτύου, όπως ελληνικές και ευρωπαϊκές ιστοσελίδες που παρέχουν δεδομένα για τις τρέχουσες τιμές του ελαιολάδου.

Βήμα 2: Τα δεδομένα αυτά επεξεργάζονται αναλύονται και αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων.

Βήμα 3: Το εργαλείο παρακολούθησης τιμών ελαιολάδου παράγει αυτόματα γράφους βασισμένους σε επιλεγμένες ημερομηνίες (εικόνα Γ'.5)

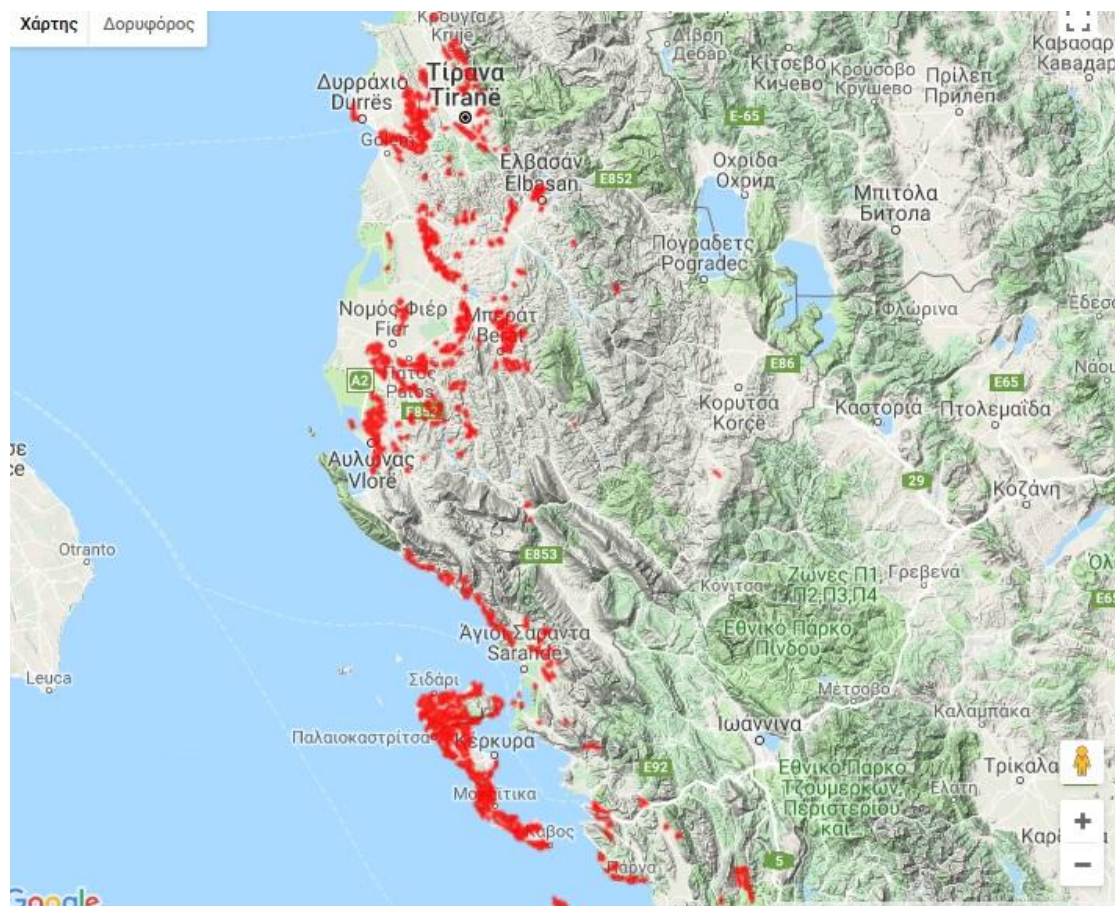


Εικόνα Γ'.5 Παρατηρητήριο τιμών Ελαιολάδου

Κύριο Πλεονέκτημα του συγκεκριμένου εργαλείου είναι πως παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την τρέχουσα τάση των τιμών του ελαιολάδου στους παραγωγούς. Βάσει των πληροφοριών αυτών, οι παραγωγοί μπορούν να αποφασίσουν εάν θα πωλήσουν τα προϊόντα τους ή όχι.

Γ'.1.4 Παρατηρητήριο δάκων και e-Olive εφαρμογή

Ταυτόχρονα με το παρατηρητήριο τιμών, το e-olive ενσωματώνει και παρατηρητήριο δάκων στην περιοχή της Κέρκυρας, της Αλβανίας καθώς και στις παράκτιες περιοχές της Ηπείρου. Όπως παρατηρείται στην εικόνα Γ'.6 με το κόκκινο χρώμα στο χάρτη, το έντομο του δάκου έχει παρατηρηθεί σε όλες τις περιοχές που υπάρχουν οι ελαιώνες και στις τρεις γεωγραφικές περιοχές παρακολούθησης.

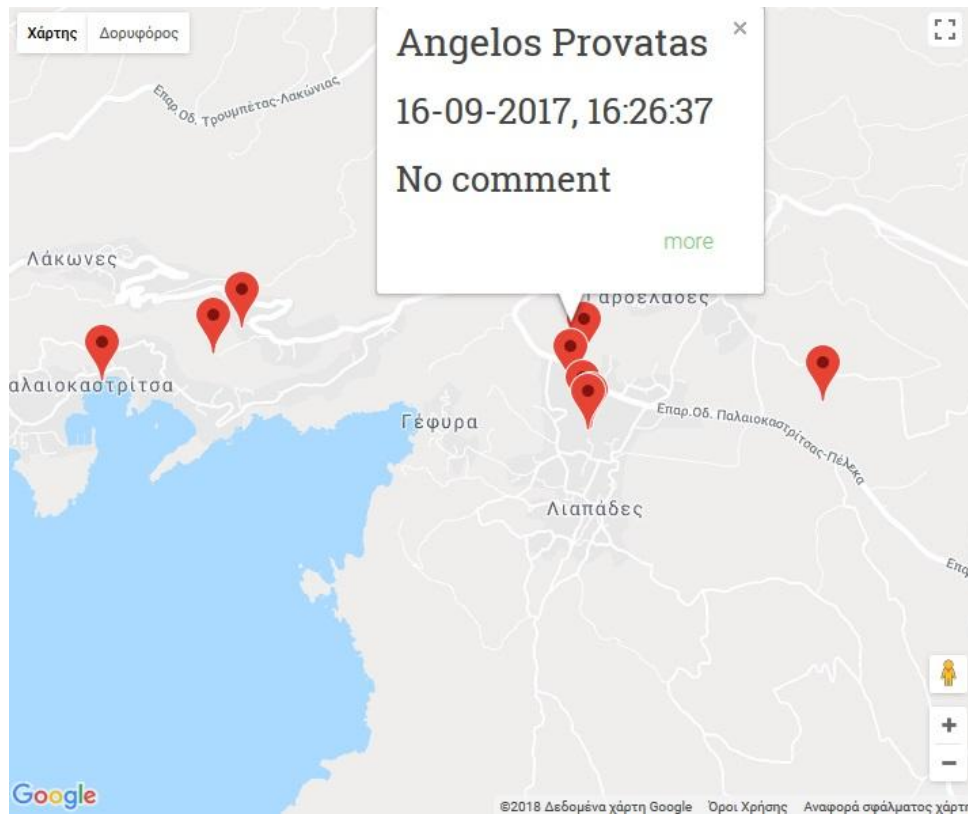


Εικόνα Γ'.6 Παρατηρητήριο Δάκου

Σε αυτό το σημείο, είναι πολύ σημαντικό να αναφερθεί η συμβολή της εφαρμογής e-olive που έχει αναπτυχθεί για τα λειτουργικά κινητών πλατφόρμων τόσο του Android της Google όσο και του ios της Apple.

Η Εφαρμογή αυτή αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος e-Olive και στοχεύει στη συλλογή και την αμφίδρομη διάδοση πληροφοριών σχετικά με το δάκο αλλά και τη γενικότερη καλλιέργεια της Ελιάς. Η εφαρμογή επιτρέπει την υποβολή πληροφοριών σχετικά με το δάκο που αφορά εμφανίσεις δάκου, εξάρσεις πληθυσμού δάκου κτλ στους κεντρικούς εξυπηρετητές του προγράμματος, έτσι ώστε οι εμπλεκόμενοι επιστήμονες και οι τοπικές αρχές να μπορούν να προγραμματίσουν απαραίτητες δράσεις εναντίον στη δραστηριότητα του εντόμου. Επιπλέον, υποστηρίζει ενημερώσεις προς τους χρήστες της εφαρμογής με σχετικές πληροφορίες και συναφή θέματα από τους εμπλεκόμενους επιστήμονες τις και τοπικές αρχές. Οι πληροφορίες που χρειάζεται κάποιος για την εγγραφή του στην εφαρμογή είναι το όνομα, το επώνυμο, η ημερομηνία γέννησης και το e-mail του. Η ενεργοποίηση της υπηρεσίας GPS είναι εξίσου σημαντική για τη γεωγραφική τοποθεσία των φωτογραφιών που «ανεβάζει» ο ενδιαφερόμενος στους εξυπηρετητές. Στην εικόνα Γ'.7, παρουσιάζεται η αναφορά την οποία ανεβάζει ο χρήστης της εφαρμογής με το ονοματεπώνυμο, την ώρα και

την ημερομηνία, καθώς και τυχόν σχόλια από τις παρατηρήσεις, ώστε να αποτελέσουν αντικείμενο εξέτασης από τους φορείς του προγράμματος.

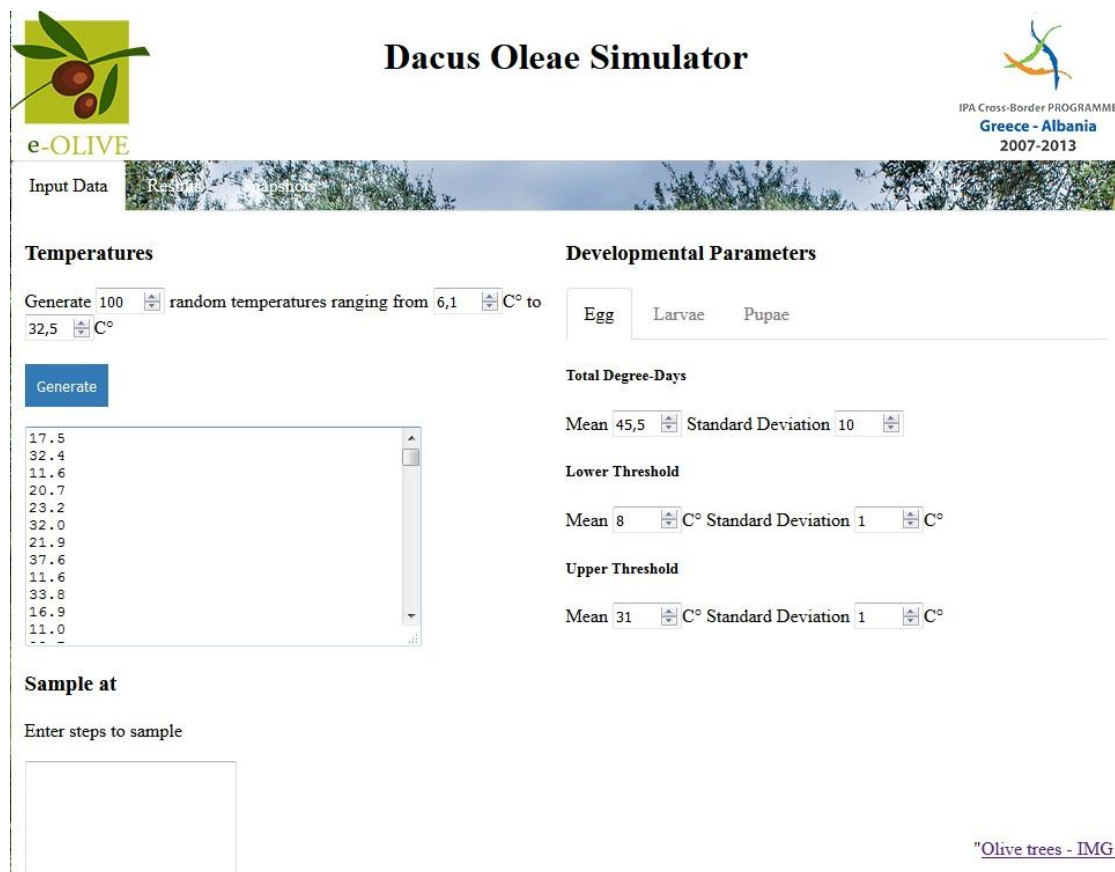


Εικόνα Γ'.7 Αναφορά e-olive εφαρμογής

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί πως το τμήμα Πληροφορικής του Ιονίου Πανεπιστημίου ανέπτυξε και μια εφαρμογή κινητών συσκευών για το Android λειτουργικό σύστημα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ειδοποιεί τους επιστήμονες και τους τοπικούς φορείς για την πιθανή εξάπλωση ενός άλλου βλαβερού εντόμου για τα ελαιόδεντρα, την *Xylella Fastidiosa*. Το έντομο αυτό έχει καταστρέψει χιλιάδες εκτάρια από ελαιόδεντρα στην ελαιοπαραγωγική περιοχή της Νότιας Ιταλίας.

Γ'.1.5 Εικονικό εργαστήριο

Στο πρόγραμμα e-olive υπάρχει και ένα πρότυπο εικονικό εργαστήριο προσομοίωσης και μοντελοποίησης της δυναμικής του πληθυσμού των δάκων. Πρακτικά, ο χρήστης εισάγει δεδομένα με συγκεκριμένες παραμέτρους, οι οποίες έχουν επίδραση στη δυναμική του πληθυσμού του δάκου. Ο χρήστης, με μια γεννήτρια τυχαίων αριθμών, έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει τυχαίες τιμές θερμοκρασιών στο εύρος θερμοκρασίας που ο ίδιος θα επιλέξει και να προσομοιώσει έτσι έναν πληθυσμό δάκων, εικόνα Γ'.8



Dacus Oleae Simulator

IPA Cross-Border PROGRAMME
Greece - Albania
2007-2013

Input Data

Generate 100 random temperatures ranging from 6,1 C° to 32,5 C°

Generate

17.5
32.4
11.6
20.7
23.2
32.0
21.9
37.6
11.6
33.8
16.9
11.0
--

Developmental Parameters

Egg Larvae Pupae

Total Degree-Days

Mean 45,5 Standard Deviation 10

Lower Threshold

Mean 8 C° Standard Deviation 1 C°

Upper Threshold

Mean 31 C° Standard Deviation 1 C°

Sample at

Enter steps to sample

"Olive trees - IMG

Εικόνα Γ'.8 Προσομοιωτής πληθυσμού Λάκου

Εκτός, όμως, από το εικονικό εργαστήρι, υπάρχει και το πραγματικό στην έδρα του τμήματος Πληροφορικής του Ιονίου Πανεπιστημίου. Το εργαστήρι αυτό περιλαμβάνει υποδομές σε ανθρώπινο δυναμικό, καθώς και υλικοτεχνικό εξοπλισμό, όπως ηλεκτρονικούς υπολογιστές, εξυπηρετητές, δακοπαγίδες τύπου McPhail, Smart Citizens πολυαισθητικούς σταθμούς κλπ. Πιο συγκεκριμένα, με τους Smart Citizen σταθμούς οι άνθρωποι του εργαστηρίου έχουν δημιουργήσει ένα δίκτυο σταθμών που παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως πίεση, θερμοκρασία, υγρασία, ύψος βροχής, κάλυψη ηλιοφάνειας. Στην εικόνα Γ'.9 διακρίνεται ο σταθμός Smart Citizen προσαρμοσμένος σε ελαιόδεντρο καθώς και η κίτρινη δακοπαγίδα τύπου McPhail.



Εικόνα Γ'.9 Δακοπαγίδα τύπου McPhail και σταθμός Smart Citizen
ΠΗΓΗ: <http://www.e-olive-project.eu/smart-citizen-multisensor-network/>

Τέλος, στην ιστοσελίδα του προγράμματος υπάρχει ειδικό τμήμα αφιερωμένο στην ενημέρωση των χρηστών, καθώς και επιστημονικές δημοσιεύσεις. Επιστημονικός υπεύθυνος του προγράμματος είναι ο Επίκουρος Καθηγητής του Ιονίου Πανεπιστημίου κ. Μάρκος Αυλωνίτης.

Κεφάλαιο Δ’

Το πρόβλημα της έγκαιρης ανίχνευσης πληθυσμιακών εξάρσεων χρησιμοποιώντας στοχαστικά διαφορικά μοντέλα

Η πηγή έμπνευσης της συγκεκριμένης διπλωματικής διατριβής είναι το άρθρο “*On the problem of early detection of user interactions via stochastic differential models*” [Avlonitis M. 2016]. Ο αλγόριθμος που προτείνει ο συγγραφέας του άρθρου, αν και η αρχική εφαρμογή του είναι για θέμα εντελώς διαφορετικό από αυτό της διπλωματικής διατριβής, αποτελεί τον κύριο αλγόριθμο της εξέτασης των πληθυσμιακών εξάρσεων του δάκου.

Το διαδίκτυο έχει γίνει πλέον ένα πολύ διαδεδωμένο μέσο, όπου η πληροφορία αυξάνεται διαρκώς, λόγω της εμφάνισης διαδικτυακών μέσων κοινωνικής δικτύωσης και του πλούσιου περιεχομένου του, που παράγεται από τους χρήστες του. Η έρευνα που αφορά την αλληλεπίδραση ανθρώπου – υπολογιστή (human - computer interaction – HCI) μελετά την εμφάνιση χρονικών μοτίβων της διάδρασης του χρήστη εξετάζοντας τη σχέση μεταξύ σχολιασμού και συγκεκριμένου περιεχομένου που παράγεται από το χρήστη, έτσι ώστε να διαφανεί η χρονική δυναμική του περιεχομένου του διαδικτύου. Όμως, το να εντοπίσει κανείς μοτίβα χρονικής διακύμανσης στο Διαδίκτυο είναι αρκετά δύσκολο, διότι η διάδραση των χρηστών με το περιεχόμενο του διαδικτύου είναι αρκετά απρόβλεπτη και η χρονική διακύμανση ανταπόκρισης είναι μία τυχαία διαδικασία. Επιπλέον, το τυχαίο της διάδρασης των χρηστών ποικίλει ανάλογα με τις διάφορες πηγές των περιεχομένων, όπως, για παράδειγμα, άρθρα ειδήσεων, αναρτήσεις σε blogs, βίντεο και αναρτήσεις σε διαδικτυακές πλατφόρμες συνομιλιών.

Η εμφανιζόμενη δυνατότητα κλιμάκωσης χρονικών μοτίβων στη διάδραση μεταξύ των χρηστών έχει άμεση συνέπεια την ανίχνευση και πρόβλεψη εξάρσεων. Για παράδειγμα, στο Twitter κάποια κομμάτια του περιεχομένου του γίνονται δημοφιλή εντός ολίγων λεπτών. Εξάρσεις διαδικτυακού περιεχομένου μπορεί να έχουν τη μορφή είτε συλλογής αντιδράσεων ανεξάρτητων χρηστών ή πολύ σχετιζόμενων αντιδράσεων ομάδων χρηστών που οφείλονται στη διάδραση μεταξύ ατόμων (προσωπικά blogs και λογαριασμοί Twitter, επαγγελματίες bloggers, ιστοσελίδες που αντιδρούν άμεσα σε γεγονότα, τηλεοπτικοί σταθμοί, μεγάλες εφημερίδες, πρακτορεία ειδήσεων, όλα αυτά παράγουν περιεχόμενο και το διοχετεύουν σε άλλους χρήστες) με αποτέλεσμα την εξάπλωση της δημοτικότητας του περιεχομένου. Αυτή η δυναμική παράγει μία σύνθετη συνισταμένη δυναμικών, καθώς και σύνθετα μοτίβα διάδρασης χρηστών στο χρόνο. Παρά τις εκτεταμένες μελέτες σε σχετικά θέματα, λίγο έχει μελετηθεί το ζήτημα των εξάρσεων της διάδρασης των χρηστών.

Αντιθέτως, το ζήτημα των εξάρσεων έχει μελετηθεί εκτενώς σε άλλους επιστημονικούς τομείς και κυρίως στον τομέα των μολυσματικών ασθενειών, δεδομένης της σημαντικής ανάγκης πρόβλεψης τέτοιου είδους εξάρσεων για την πρόληψη και έγκαιρη αντιμετώπισή τους. Από το 1931 έχουν αναπτυχθεί διάφορα μαθηματικά μοντέλα για την προσέγγιση του προβλήματος της ανίχνευσης ενδεχόμενων εξάρσεων, και ειδικότερα ανίχνευση εξάρσεων που προκύπτουν επαρκώς έγκαιρα, ώστε να είναι δυνατά αποτελεσματικά μέτρα ελέγχου. Αυτά τα μοντέλα είναι κυρίως στατιστικές μεθοδολογίες για την ανίχνευση ανωμαλιών και ασυνήθιστων μοτίβων σε σειρές δεδομένων. Ειδικότερα, τα μοντέλα παλινδρόμησης γενικεύουν το διάγραμμα Shewhart και διακρίνονται σε παραμετρικά και ημι-παραμετρικά βάσει της ύπαρξης μίας οριακής τιμής, ενώ υπάρχουν και άλλα μοντέλα τα οποία δε βασίζονται σε οριακές τιμές. Επιπλέον μεθοδολογίες χρονοσειρών και άλλα ανάλογα μοντέλα έχουν εμφανιστεί και στη βιβλιογραφία, όπου τα δεδομένα των χρονοσειρών αναλύονται με έννοιες όπως η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης (autocorrelation function), καθώς και μέσω μπαγιεσιανών (Bayesian models) και κρυμμένων μαρκοβιανών μοντέλων (Hidden Markov models). Ταυτόχρονα, αναφέρονται και στατιστικά μοντέλα που πηγάζουν από τον έλεγχο της στατιστικής διαδικασίας, καθώς και μοντέλα τα οποία εξετάζουν δεδομένα χωρικής δυναμικής ή σειρές δεδομένων με παραπάνω από μία μεταβλητή. Η ανωτέρω πολυπλοκότητα που έχει εμφανιστεί στις πηγές πληθυσμιακών εξάρσεων καθώς και το πρόβλημα περιορισμένων σειρών δεδομένων που παρουσιάζεται στις περισσότερες εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο, έχουν ως αποτέλεσμα τη μη δημιουργία ενός καθολικού μοντέλου πρόβλεψης πληθυσμιακών εξάρσεων. Επιπλέον, η ποιότητα των διαθέσιμων δεδομένων, τα χωροχρονικά χαρακτηριστικά των δεδομένων, η χρονική κλίμακα όπου αναπτύσσεται το σύστημα καθώς και η κατάλληλη επιλογή οριακών μετρήσεων μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα αυξανόμενη πολυπλοκότητα. Για την ακρίβεια, η αδυναμία των στατιστικών μεθόδων μπορεί να οφείλεται στη γενική αδυναμία κάθε στατιστικής μεθόδου, δηλαδή το εξεταζόμενο σύστημα πάντοτε αντιμετωπίζεται ως ένα μαύρο κουτί όπου καμία γνώση για τη διαφορική χωροχρονική ανάπτυξη του συστήματος δεν είναι διαθέσιμη και μόνο το παραγόμενο αποτέλεσμα είναι, τελικά, διαθέσιμο για στατιστική ανάλυση.

Δ'.1 Στοχαστικά διαφορικά μοντέλα και πληθυσμιακές εξάρσεις

Για να επιτευχθεί ένα ισχυρό μαθηματικό μοντέλο για την εξέλιξη ενός συγκεκριμένου συστήματος υπό την παρουσία πολύπλοκων εσωτερικών διαδράσεων, καθώς και εξαρτήσεων, σε ένα μεταβαλλόμενο περιβάλλον, τα πιο κοινά μακροσκοπικά μοντέλα μπορούν να περιγραφούν με όρους μεταβλητών σταθερών X_1 υπακούοντας στην εξέλιξη εξισώσεων με τη μορφή:

$$\partial_t X(r,t) = f_\lambda(X(r,t)),$$

Όπου $X(r,t)$ και $f_\lambda(X(r,t))$ είναι οι σταθερές μεταβλητές και οι σχέσεις στη συνάρτηση δηλώνουν την τοπική εξέλιξη του X_t στον χρόνο t και χώρο r . Η παράμετρος ελέγχου λ και οι οριακές συνθήκες που επιδρούν συνιστούν τους περιορισμούς που επιβάλλονται από τον εξωτερικό κόσμο. Επιπλέον, εφόσον το εξωτερικό περιβάλλον θεωρείται μεταβαλλόμενο, η παράμετρος λ είναι επίσης μεταβαλλόμενη και μπορεί να θεωρηθεί ως στοχαστική μεταβλητή. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η παραπάνω ντετερμινιστική διαφορική εξίσωση μετατρέπεται σε στοχαστική διαφορική εξίσωση.

Δ'.1.1 Βασικές διαστάσεις των στοχαστικών διαφορικών μοντέλων

Για χάρη του συλλογισμού, ας θεωρήσουμε συστήματα που μπορούν να μοντελοποιηθούν βάσει μίας φαινομενολογικής εξίσωσης του τύπου :

$$\dot{X} = f_\lambda(X),$$

Όπου X είναι η σταθερή μεταβλητή και λ η στοχαστική παράμετρος που τυποποιεί την επίδραση ενός μεταβαλλόμενου περιβάλλοντος. Σε μία ευρεία περίπτωση εφαρμογής, η συνάρτηση $f_\lambda(X)$ είναι γραμμική στην εξωτερική παράμετρο λ , δηλαδή

$$f_\lambda(X) = h(X) + \lambda g(X),$$

Η ακόλουθη εξίσωση για την παράμετρο λ μπορεί να έχει τη μορφή

$$\lambda t = \lambda + \sigma \xi_t,$$

Όπου για τις ταχείες περιβαλλοντικές μεταβολές υιοθετήθηκε εξιδανίκευση του λευκού θορύβου ξ_t με μηδενικό μέσο όρο και τυπική απόκλιση σ^2 .

Υποκαθιστώντας στην αρχική εξίσωση εξέλιξης τους ακόλουθους δύο τύπους, που είναι διαφορετικοί αλλά ισοδύναμοι στοχαστικών διαφορικών εξισώσεων (SDE), τους SDE του Ito και του Stratonovich, το αποτέλεσμα είναι:

$$dX_t = [h(X_t) + \lambda g(X_t)] dt + \sigma g(X_t) dW_t,$$

$$dX_t = [h(X_t) + \lambda g(X_t)] dt + \sigma g(X_t) \circ dW_t,$$

Όπου οι αντίστοιχες Fokker – Planck εξισώσεις έχουν τη μορφή:

$$\partial_t p_{(y,t,X)} = - \partial_y f_{\lambda(y)} p_{(y,t,X)} + \frac{\sigma^2}{2} \partial_{yy} g_{(y)}^2 p_{(y,t,X)},$$

$$\partial_t p_{(y,t|X)} = -\partial_y [f\lambda_{(y)} + \frac{\sigma^2}{2} g'_{(y)} g_{(y)}] p_{(y,t|X)} + \frac{\sigma^2}{2} \partial_y g g'_{(y)} p_{(y,t|X)},$$

Όπου $dW_t = \xi_t dt$ και σ είναι το σύμβολο που διακρίνει το ολοκλήρωμα του Stratonovich από το ολοκλήρωμα του Ito (των οποίων η κύρια διαφορά είναι η επιλογή των σημείων αξιολόγησης των ολοκληρωμάτων).

Σε αυτό το πλαίσιο, το πρόβλημα της εξέλιξης του μη γραμμικού μακροσκοπικού συστήματος υπό την παρουσία ενός μεταβαλλόμενου περιβάλλοντος μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιμετωπίζεται αποτελεσματικά.

Δ'.1.2 Προτεινόμενο στοχαστικό διαφορικό μοντέλο

Μια από τις πιο διάσημες εφαρμογές του στοχαστικού διαφορικού μοντέλου στη βιβλιογραφία είναι η γενίκευση του αποκαλούμενου μοντέλου Verhulst, που αρχικά προτάθηκε για να περιγράψει τη ανάπτυξη ενός βιολογικού πληθυσμού με ντετερμινιστική (αιτιοκρατική) φαινομενολογική εξίσωση. Έχει την εξής μορφή:

$$\dot{X} = \lambda X - X^2$$

Όπου X είναι μία μέτρηση του μεγέθους του πληθυσμού και λ είναι η παράμετρος ανάπτυξης. Αλλαγές στο περιβάλλον επιδρούν στο σύστημα μέσω της εξωτερικής παραμέτρου λ . Σύμφωνα με τα ανωτέρω, υποθέτουμε ότι η παράμετρος λ μπορεί να γραφτεί ως $\lambda_t = \lambda + \sigma \xi_t$ όπου λ είναι η μέση τιμή, ξ_t είναι ο γκαουσιανός λευκός θόρυβος και το σ μετρά την ένταση του εξωτερικού θορύβου. Η τελική μορφή της στοχαστικής διαφορικής εξίσωσης είναι η ακόλουθη

$$dX_t = (\lambda X_t - X_t^2) dt + \sigma X_t dW_t$$

Για να προσεγγίσουμε το πρόβλημα των πληθυσμιακών εξάρσεων, σημειώνουμε ότι στην πραγματικότητα η έξαρση είναι το αρχικό στάδιο της ανάπτυξης - πολλαπλασιασμού κάποιου πληθυσμού, όπως αυτό μοντελοποιείται με το μοντέλο Verhulst. Από την άλλη, αρχικά στάδια του μοντέλου Verhulst μπορεί να ερμηνευθούν ως χρονικά μεσοδιαστήματα, όπου η μεταβλητή X της κατάστασης του πληθυσμού είναι πολύ χαμηλή. Σε αυτό το όριο $X_t^2 \ll X_t$ και ως αποτέλεσμα προτείνεται το ακόλουθο στοχαστικό διαφορικό μοντέλο, ώστε να μοντελοποιείται η εξέλιξη των εξάρσεων.

$$dX_t = \lambda X_t dt + \sigma X_t dW_t \quad (1)$$

Παρότι σε αυτή τη μορφή οι εξάρσεις πληθυσμού μοντελοποιούνται με καλά αποτελέσματα, στην πράξη δεν υπάρχει κριτήριο για την έγκυρη ανίχνευσή τους. Γι' αυτό το σκοπό, όπου $X_t \neq 0$ διαιρούμε και τα δύο μέρη με X_t .

$$dX_t/X_t = \lambda dt + \sigma dW_t$$

ή

$$d \ln X_t = \lambda dt + \sigma dW_t$$

Και με τη βοήθεια απλής άλγεβρας καταλήγουμε στην τελική εξίσωση για τη μετασχηματισμένη μεταβλητή $Z_t = \ln X_t - \lambda t$,

$$dZ_t = \sigma dW_t \quad (2)$$

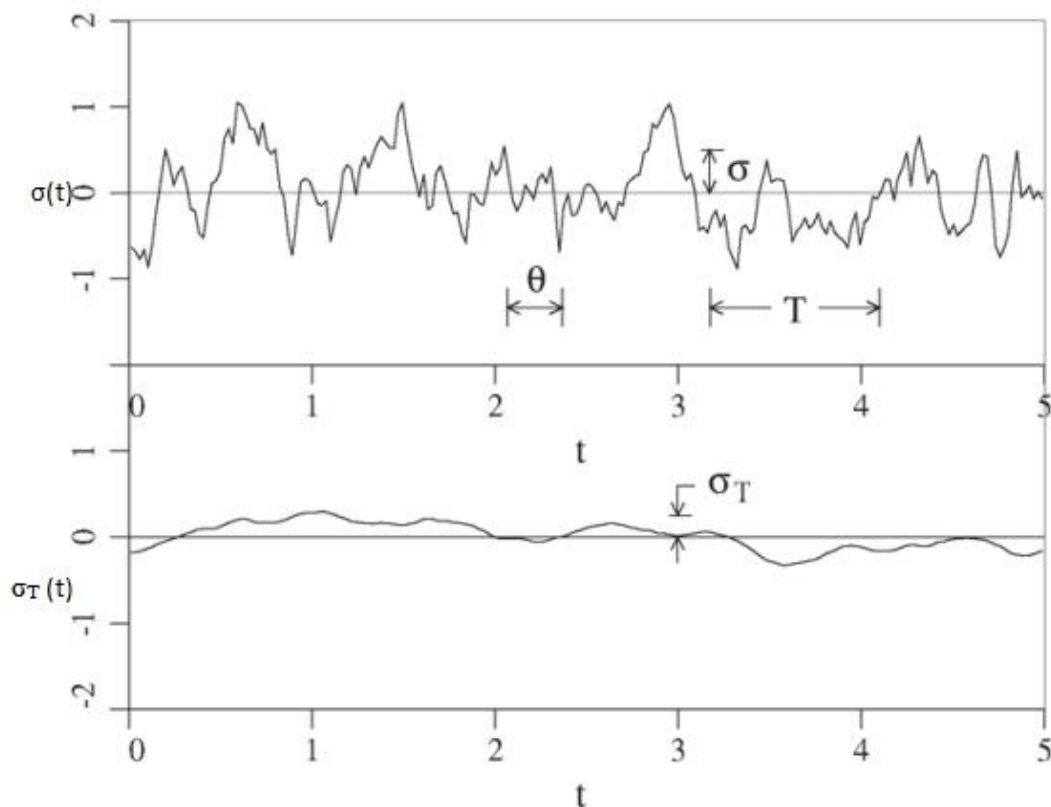
Σε αυτή τη μορφή η νέα στοχαστική μεταβλητή Z_t μπορεί να ερμηνευθεί ως μία διαδικασία του μοντέλου του τυχαίου περιπατητή. Αυτό είναι και το τελικό αποτέλεσμα της προτεινόμενης μεθοδολογίας: ενώ για τη μεταβλητή του αρχικού πληθυσμού η ανίχνευση των εξάρσεων είναι, τις περισσότερες φορές, μη εφαρμόσιμη μέσω του προτεινόμενου μετασχηματισμού, το κριτήριο με το οποίο πλέον μια έξαρση είναι ανιχνεύσιμη είναι όταν η νέα, μετασχηματισμένη, μεταβλητή για την κατάσταση του πληθυσμού εκτελεί διαδικασία τυχαίου περιπατητή, υπόθεση που μπορεί εύκολα να ελεγχθεί αφού ένας τεράστιος αριθμός σχετικών εργασιών υπάρχουν στη βιβλιογραφία.

Δ'.1.3 Συνάρτηση συσχέτισης

Στο πλαίσιο της θεωρίας των πιθανοτήτων, στατιστικοί όροι, όπως ο όρος της συσχέτισης, μπορούν να εξεταστούν με έννοιες όπως οι κινούμενοι μέσοι όροι (*moving averages*) και η συνάρτηση συσχέτισης $\gamma(T)$, όπου το T υποδηλώνει την κλίμακα της παρατήρησης (Vanmarckle, 1983). Πράγματι, από μια σταθερή τυχαία διαδικασία $r(x)$ με μέσο όρο r και διακύμανση σ^2 μια ομάδα διαδικασιών κινουμένων μέσων όρων $r_T(x)$ μπορεί να περιγραφεί από τη σχέση

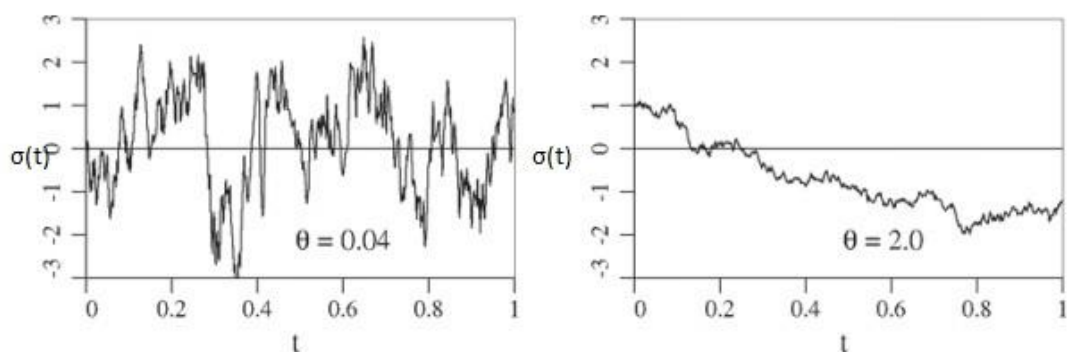
$$r_T(x) = \frac{1}{T} \int_{x-T/2}^{x+T/2} r(x) dx$$

όπου το T υποδηλώνει την κλίμακα της παρατήρησης. Η συνάρτηση διακύμανσης $\gamma(T) = \sigma^2(T) / \sigma^2$ ορίζεται ως ο λόγος των διακυμάνσεων του μέσου πρότυπου, που προκύπτει (μετά την εξομάλυνση με το T) με το αρχικό πρότυπο. Στην εικόνα Δ'.1, φαίνεται σχηματικά το μέσο και το αρχικό πρότυπο, μετά την επίδραση του T .



Εικόνα Δ'.1 Επίδραση T [ΠΗΓΗ: *Review of Probability Theory, Random Variables and Random Fields*, G.A. Fendon and D.V. Griffiths)]

Μάλιστα, το θ , που φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, είναι η μεταβλητή της κλίμακας διακύμανσης ή, όπως συχνά αναφέρεται, μήκος συσχέτισης. Γενικά, το θ ορίζεται ως η απόσταση πέραν της οποίας τα σημεία δεν έχουν καμιά συσχέτιση. Προφανώς, δύο σημεία που απέχουν μικρότερη απόσταση από τη μεταβλητή θ θεωρούνται άμεσα συσχετισμένα. Η επόμενη εικόνα (Εικόνα Δ'.2), παρουσιάζει υλοποιήσεις τυχαίων πεδίων με διαφορετική κλίμακα συσχέτισης.



Εικόνα Δ'.2 Διαφορετικές κλίμακες διακύμανσης [ΠΗΓΗ: *Review of Probability Theory, Random Variables and Random Fields*, G.A. Fendon and D.V. Griffiths)]

Το πεδίο στα αριστερά παρουσιάζει μικρότερη κλίμακα συσχέτισης ($\theta = 0.04$), για αυτό και έχει αρκετές διακυμάνσεις. Αντιθέτως, το πεδίο δεξιά, με $\theta = 2.0$, είναι πιο ομαλό, χωρίς να παρουσιάζει ιδιαίτερες διακυμάνσεις.

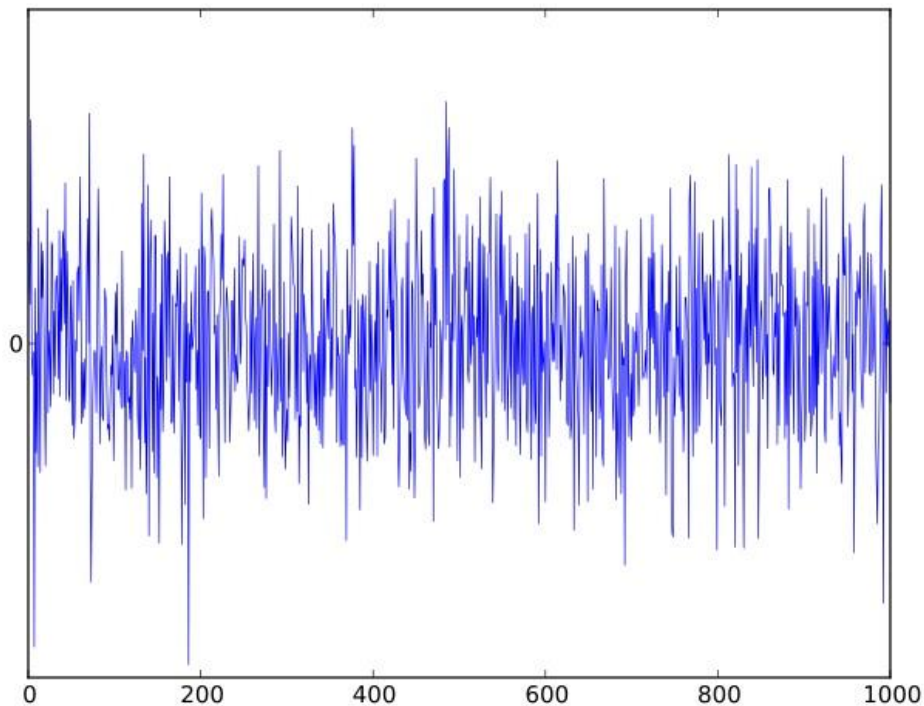
Δ'.1.4 Χρονοσειρές και λευκός θόρυβος

Αφού ήδη πραγματοποιήθηκε μελέτη της σχέσης ενός μεγέθους με άλλα μεγέθη, γίνεται μια απόπειρα μελέτης και παρατήρησης ενός μεγέθους το οποίο αλλάζει τιμές με την πάροδο του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα, πως εξαρτάται ένα μέγεθος X , σε κάποια χρονική στιγμή t , x_t , από το ίδιο το μέγεθος, σε προηγούμενες χρονικές στιγμές $x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-n}$. Ο χρόνος δειγματοληψίας του μεγέθους δεν είναι απαραίτητο να είναι σταθερός. Έτσι, μελετώντας τη δυναμική της διαδικασίας ή του συστήματος που παράγει το μέγεθος στη διάρκεια του χρόνου με τη μέθοδο της παρατήρησης, προκύπτει η έννοια της *χρονοσειράς* ή *χρονικής σειράς*, που δεν είναι τίποτα άλλο από το σύνολο των παρατηρήσεων ενός μεγέθους στην εξέλιξη του χρόνου.

Το πρόβλημα ανάλυσης μιας χρονοσειράς είναι η εκτίμηση του συστήματος που παράγει τη χρονοσειρά, καθώς και η πρόβλεψη μελλοντικών τιμών του μεγέθους που εξετάζεται. Η πρώτη, και κυριότερη, υπόθεση η οποία θα πρέπει να απορριφθεί κατά την ανάλυση μιας χρονοσειράς είναι ότι η μεταβολή των τιμών του εξεταζόμενου μεγέθους είναι εντελώς τυχαία, δηλαδή του σύστημα παρατήρησης είναι *λευκός θόρυβος*.

Θεωρώντας διαδοχικά στοιχεία μιας χρονοσειράς ως τυχαίες μεταβλητές (ή, διαφορετικά, σύστημα χρονοσειράς με μηδενικές συσχετίσεις) η χρονοσειρά αποτελείται από **ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές με ίδια κατανομή** (independent and identically distributed, iid), όταν οι $x_t, x_{t+1}, \dots, x_{t+n}$, τυχαίες μεταβλητές για $n > 1$ έχουν την ίδια κατανομή και είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Μια iid χρονοσειρά από ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές με ίδια κατανομή είναι εντελώς τυχαία και δεν περιέχει γραμμικές ή μη – γραμμικές αυτοσυσχετίσεις, συσχετίσεις, δηλαδή, μεταξύ των στοιχείων της χρονοσειράς. Μια iid χρονοσειρά ονομάζεται και λευκός θόρυβος και συμβολίζεται ως $WN(0, \sigma^2)$, με μέση τιμή 0 και διασπορά σ^2 .⁵ Επιπλέον, αν τα στοιχεία της χρονοσειράς λευκού θορύβου ακολουθούν και κανονική (γκουσιανή) κατανομή, τότε η χρονοσειρά ονομάζεται και *Γκαουσιανός λευκός θόρυβος*. Στην εικόνα Δ'.3, παρουσιάζεται μια χρονοσειρά λευκού θορύβου με στοιχεία γκαουσιανής κατανομής.

⁵ Στη βιβλιογραφία δεν υπάρχει συμφωνία στην έννοια του όρου “Λευκός Θόρυβος”. Σε κάποια συγγράμματα (κυρίως στατιστικής) ο όρος χρησιμοποιείται για χρονοσειρές ασυσχέτιστες αλλά όχι και ανεξάρτητες ενώ σε άλλα συγγράμματα (κυρίως φυσικής και μηχανικής) ο όρος ταυτίζεται με τον όρο iid. Στην παρούσα διατριβή προτιμήθηκε η δεύτερη εκδοχή.



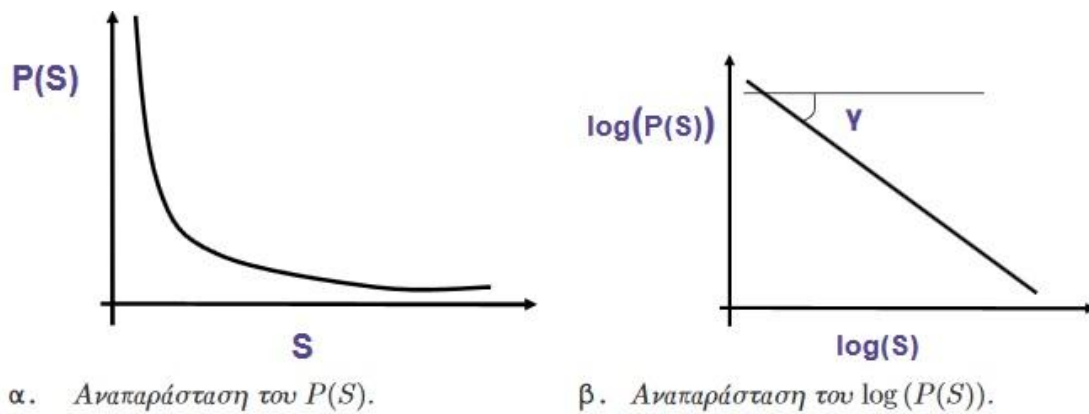
Εικόνα Δ'.3 Διάγραμμα σήματος Γκαουσιανού Λευκού Θορύβου [ΠΗΓΗ:
https://en.wikipedia.org/wiki/White_noise]

Δ'.1.5 Κατανομή Νόμου – Δύναμης (Power – Law)

Στη στατιστική, ένας νόμος δύναμης είναι μια συναρτησιακή σχέση μεταξύ ποσοτήτων, όπου μια δύναμη μεταβάλλεται ως δύναμη της άλλης⁶. Η κατανομή αυτή περιγράφει φαινόμενα που περιέχουν λίγα αλλά σημαντικά γεγονότα, καθώς και γεγονότα πολλά και ασήμαντα. Άλλες περιπτώσεις εφαρμογής της Power – Law κατανομής είναι μεγάλοι, αλλά σπάνιοι, σεισμοί καθώς και μικροί, αλλά συχνοί, σεισμοί, λίγοι άνθρωποι με πολλά χρήματα και πολλοί άνθρωποι με λίγα χρήματα και αρκετές τέτοιες περιπτώσεις που συναντάμε στην καθημερινή ζωή.

Το μοντέλο των Erdos – Renyi είναι βασισμένο στην ιδιότητα των δικτύων λίγων κόμβων που συνδέονται με πολλούς γείτονες, ενώ πολλοί κόμβοι δικτύου συνδέονται με λίγους γείτονες, ιδιότητα που «υπακούει» στην Power – Law κατανομή.

⁶https://el.wikipedia.org/wiki/Κατανομή_νόμου_δύναμης

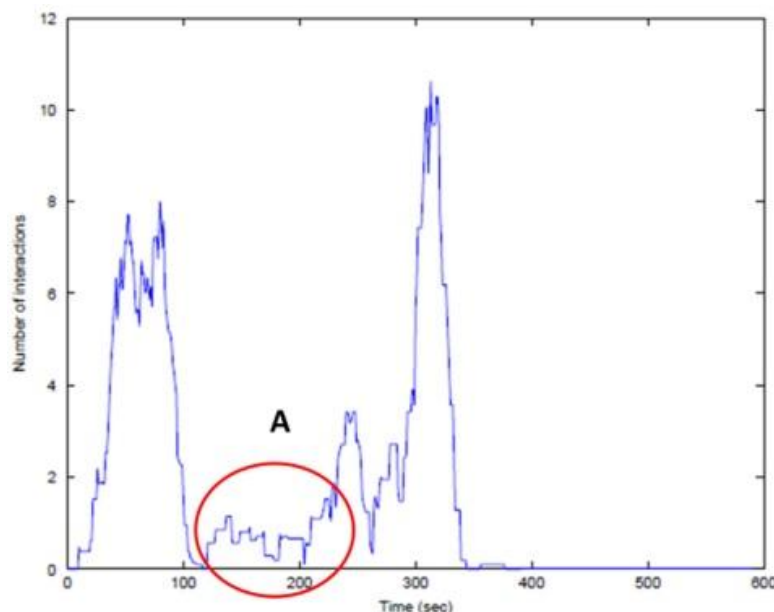


Εικόνα Δ'3 Κατανομή Power – Law βασισμένη στα δίκτυα γειτόνων [ΠΗΓΗ: Δίκτυα II, Μοντέλα Δημιουργίας των Δικτύων, Κ. Οικονόμου]

Στην εικόνα Δ'3, παρουσιάζεται μια από τις σημαντικότερες παρατηρήσεις των πολύπλοκων δικτύων. Τα δίκτυα ακολουθούν Power – Law κατανομή, όπου $P(S)$ συμβολίζει την κατανομή του αριθμού των γειτόνων ενός κόμβου.

Δ'2 Εφαρμογή αλγορίθμου

Μια πρώτη εφαρμογή της συγκεκριμένη μεθοδολογίας η οποία προτείνεται στο άρθρο αναφέρεται το πρόβλημα της ανίχνευσης εστιασμένων σκηνών της δραστηριότητας των χρηστών από την προβολή τηλεοπτικού περιεχομένου (βίντεο). Το πρόβλημα, δηλαδή, που καλείται προς εξέταση είναι η ανίχνευση της πλέον δημοφιλούς σκηνής σε ένα απόσπασμα πολυμεσικού περιεχομένου. Πραγματοποιήθηκε ελεγχόμενο πείραμα και οι χρήστες, αφού παρακολούθησαν ένα βίντεο με ρεαλιστικό περιεχόμενο στο διαδίκτυο, κλήθηκαν να επιλέξουν τις πιο σημαντικές σκηνές από το βίντεο αυτό. Πράγματι, τα αποτελέσματα ήταν αυτά που και οι ίδιοι οι ερευνητές ανέμεναν. Οι χρήστες διάλεξαν τις σκηνές που αναμενόταν, ασχέτως με το αν είχαν σχέση και με το περιεχόμενο. Στόχος, τελικώς, των ερευνητών ήταν μέσω της συγκεκριμένης μεθοδολογίας να μπορούν να προβλέπουν αυτές τις σκηνές, με τον παραλληλισμό πως, όπου υπάρχει μεγαλύτερη αλληλεπίδραση του χρήστη με το βίντεο, τόσο μεγαλύτερη είναι η πληθυσμιακή έξαρση. Στην παρακάτω εικόνα Δ'4, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, όπως αυτά παρουσιάζονται και στο εξεταζόμενο άρθρο.



Εικόνα Δ'.4 Αντιδράσεις χρηστών

Ο άξονας των x' αναφέρεται στο χρόνο, ενώ ο άξονας των y' αναφέρεται στις αλληλεπιδράσεις των χρηστών με το βίντεο. Παρατηρείται, καταρχήν, πως υπάρχουν τρεις κορυφές (σημεία υψηλής αλληλεπίδρασης) που δεν είναι ομοιόμορφες, οπότε και συνάγεται εύκολα το συμπέρασμα πως ορισμένα τμήματα του βίντεο είναι αυτά που χρήστες επέλεξαν σε μεγάλο βαθμό. Πιο συγκεκριμένα, στην μαρκαρισμένη περιοχή A της εικόνας, είναι εμφανές ότι, μετά από κάποιο χρόνο μέτριας αλληλεπίδρασης των χρηστών με το βίντεο, η δραστηριότητα αρχίζει και γίνεται πιο έντονη (φτάνει σε κορυφή). Ή, με διαφορετικά λόγια, υπάρχει πληθυσμιακή έξαρση.

Σύμφωνα με το προτεινόμενο στοχαστικό μοντέλο για εξάρσεις πληθυσμών [εξίσωση (1)], η αύξηση της μεταβλητής που εκφράζει την αρχική κατάσταση του πληθυσμού X_t δεν είναι ανεξάρτητη, υπάρχει, δηλαδή, μια συγκεκριμένη τιμή του συντελεστή συσχέτισης για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από μηδέν και ως αποτέλεσμα του παραπάνω, η συνάρτηση συσχέτισης δεν ακολουθεί Power – Law κατανομή (εικόνα Δ'.5). Αντιθέτως, σύμφωνα και με την εξίσωση (2), αν ο πληθυσμός βρίσκεται εντός της κατάστασης που ορίζεται ως έξαρση, η αύξηση της μετασχηματισμένης μεταβλητής Z_t θα είναι ανεξάρτητη, δηλαδή ο συντελεστής συσχέτισης θα είναι μηδέν, με αποτέλεσμα η συνάρτηση συσχέτισης να ακολουθεί Power – Law κατανομή (εικόνα Δ'.5).

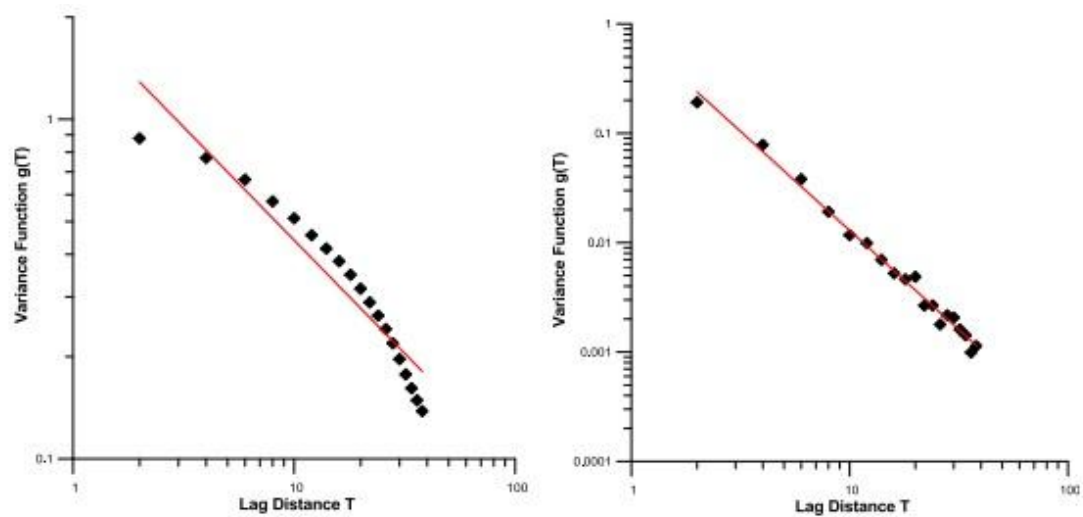
Εν τέλει, στόχος του συγκεκριμένου άρθρου είναι η απόδειξη της κανονικής λειτουργίας του προτεινόμενου στοχαστικού αλγόριθμου, όπου ακολουθώντας τα βήματα του φτάνουμε σε ένα ασφαλές αποτέλεσμα για μία επικείμενη πληθυσμιακή έξαρση. Πράγματι, και για το χρονικό διάστημα μεταξύ των δευτερολέπτων 120 και 230 (μαρκαρισμένη περιοχή A στην εικόνα

Δ'.4), ακολουθώντας τα βήματα του αλγορίθμου καταλήγει στο συμπέρασμα ότι πράγματι πραγματοποιείται πληθυσμιακή έξαρση. Στον Πίνακα Δ'.1, περιγράφονται τα βήματα του αλγορίθμου για την εφαρμογή του σε οποιοδήποτε εξεταζόμενο πληθυσμό.

Πίνακας Δ'.1 Αλγόριθμος Πληθυσμιακών Εξάρσεων

Αλγόριθμος	Πληθυσμιακών Εξάρσεων
Require: Experimental time series for $ct=L_{in}$ to L do (Detection step) $r(ct)$ the correlation coefficient (variance function) if $r(ct) \rightarrow 0$ No Outbreak (variance function $\rightarrow$ power law) end if if $r(ct) > \text{threshold}$ (variance function deviates to power law) for $w=L_{in}$ to ct do (Characterization step) transform ct to zt according to the formalism $r(zt)$ the correlation coefficient (variance function) if $r(zt) \rightarrow 0$ OUTBREAK (variance function $\rightarrow$ power law) end if end for end if end for return $r(zt)$ (returns seconds of user's activity outbreak)	

Στην εικόνα Δ'.5 δίνονται οι συναρτήσεις συσχέτισης τόσο για την αρχική μεταβλητή του πληθυσμού όσο και για τη μετασχηματισμένη μεταβλητή σύμφωνα με τα βήματα του Αλγορίθμου Έξαρσης Πληθυσμού. Είναι προφανές ότι, ενώ η συνάρτηση συσχέτισης της αρχικής μεταβλητής X_t αποκλίνει από μια μορφή Power – Law κατανομής, η συνάρτηση συσχέτισης της μετασχηματισμένης μεταβλητής Z_t συμπίπτει με μια Power – Law κατανομή, υποδηλώνοντας μια σχεδόν μηδενική συσχέτιση. Έτσι, σύμφωνα και με τον επιλεγμένο φορμαλισμό, προκύπτει η ύπαρξη ενός προσεχούς πληθυσμιακής έξαρσης, σύμφωνα και με τη συμπεριφορά της συνάρτησης που απεικονίζεται στην εικόνα Δ'.4, στη μαρκαρισμένη περιοχή Α.



Εικόνα Δ'.5 Συναρτήσεις Συσχέτισης

Κεφάλαιο Ε΄

Πιλοτική Εφαρμογή

Στην παρούσα διπλωματική διατριβή, στη μελέτη της εξέλιξης του πληθυσμού του δάκου η τοποθεσία είναι σημαντική, αφού τα έντομα ταξιδεύουν πέρα από τον τόπο γέννησης τους αναζητώντας ένα πιο κατάλληλο περιβάλλον για το ζευγάρι και την ανάπτυξή τους. Οι δύο σημαντικότεροι παράγοντες για την εξέλιξη ενός πληθυσμού, άλλωστε, είναι το κλίμα και οι περιβαλλοντολογικές συνθήκες και είναι αυτοί οι παράγοντες που τελικά καθορίζουν και την εξέλιξη του πληθυσμού στο χώρο και στο χρόνο.

Πιο συγκεκριμένα, στην παρούσα μελέτη έγινε προσπάθεια να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα της σωστής παρακολούθησης του πληθυσμού του δάκου σε συγκεκριμένο γεωγραφικό χώρο με τη χρήση ενός σχετικά μικρού αριθμού δακοπαγίδων, με τελικό σκοπό την πρόβλεψη πληθυσμιακών εξάρσεων του εντόμου. Μάλιστα, έχει υπολογιστεί πως οι εξάρσεις του πληθυσμού των δάκων έχουν ως αποτέλεσμα οικονομικές απώλειες έως και 15% της ετήσιας παραγωγής (Karatos and Fletcher, 1983). Για τον έλεγχο του πληθυσμού των δάκων κάθε χρόνο, χρησιμοποιούνται φυτοφάρμακα ως επί το πλείστον. Οι ψεκασμοί επίσης και τα ακριβά χημικά, ενώ αυξάνουν αρκετά το κόστος παραγωγής και ταυτόχρονα προκαλούν αρκετά περιβαλλοντολογικά προβλήματα (Bueno and Jones, 2002), συνήθως αποτυγχάνουν στο να ελέγξουν επαρκώς το πληθυσμό λόγω της λανθασμένης ή ασύγχρονης χρήσης των παραπάνω μεθόδων. Καταλήγοντας, υπάρχει η ανάγκη για επιλεκτικότερες και πιο στοχευμένες μεθόδους για την παρακολούθηση της χωρικής και χρονικής εξέλιξης του πληθυσμού των δάκων.

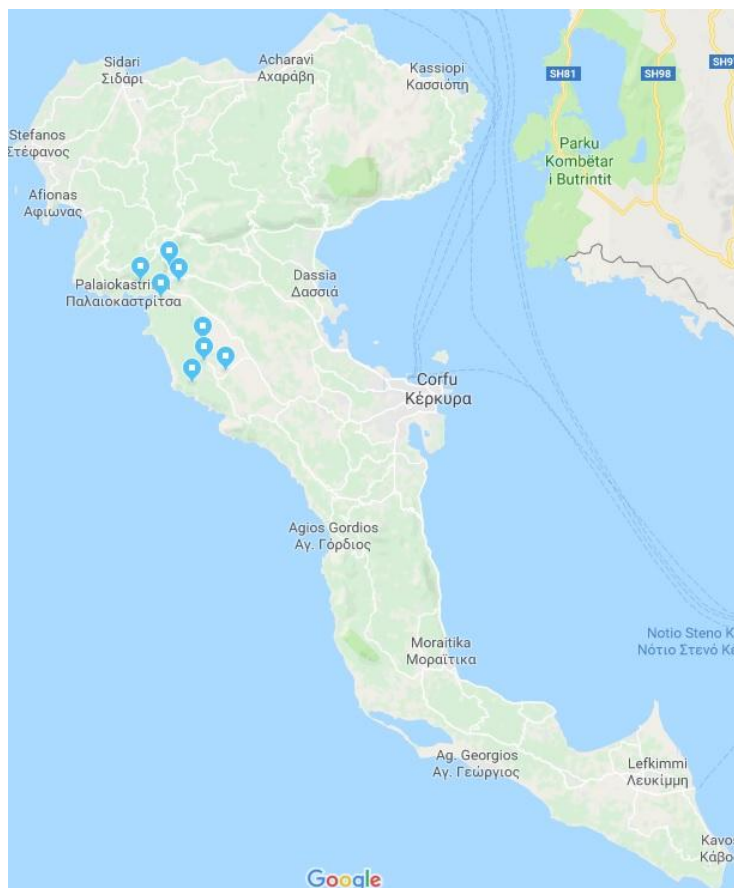
Ε΄.1 Μέθοδοι και υλικά

Το νησί της Κέρκυρας βρίσκεται στο Βόρειο και Δυτικό μέρος της Ελλάδας και το κλίμα του είναι μεσογειακό. Ο συγκεκριμένος τύπος κλίματος χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και πολύ χαμηλές βροχοπτώσεις κατά τους θερινούς μήνες. Το νησί καλύπτεται ως επί το πλείστον από ελαιόδεντρα της ποικιλίας “λιανολιάς”, η οποία ποικιλία παρουσιάζει έναν εξαμηνιαίο κύκλο παραγωγής καρπών ελιάς. Στις περισσότερες περιοχές του νησιού, η περίοδος υψηλής παραγωγικότητας των ελαιοδέντρων σε καρπούς ελιάς, ακολουθείται από μια περίοδο χαμηλής παραγωγικότητας. Ως αποτέλεσμα του παραπάνω, παρατηρείται ότι ο πληθυσμός του δάκου παρουσιάζει υψηλό βαθμό χωρικής ετερογένειας, αφού μεγάλος αριθμός ενήλικων δάκων παρατηρείται στα τέλη Μαΐου και αρχές Ιουνίου σε περιοχές που ελάχιστοι καρποί ελιάς είναι διαθέσιμοι για τους δάκους για το νέο κύκλο παράγωγης ελαιοκάρπων. Τελικά, πραγματοποιείται διασπορά του πληθυσμού του δάκου

προκειμένου να βρεθούν νέες κατάλληλες θέσεις ωτοκίας για τα έντομα (Fletcher and Karatos, 1981).

Για την παρακολούθηση της εξέλιξης του πληθυσμού του δάκου χρησιμοποιήθηκαν πλαστικές παγίδες τύπου McPhail, κίτρινου χρώματος. Η παρακολούθηση του πληθυσμού έχει μεγάλη σημασία, δεδομένου ότι πάνω από ένα κρίσιμο επίπεδο αριθμού δάκων υλοποιούνται από τον άνθρωπο παρεμβάσεις με φυτοφάρμακα και εντομοκτόνα, προκειμένου να αποφευχθεί μια πληθυσμιακή έξαρση, με δυσάρεστο αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής του ελαιοδέντρου. Το δόλωμα που χρησιμοποιήθηκε στις δακοπαγίδες ήταν διάλυμα Θεικής Αμμωνίας σε νερό, με αναλογία περίπου 30gr Θεικής Αμμωνίας σε 500ml νερού και γινόταν αλλαγή με νέο διάλυμα κάθε φορά που επιθεωρούνταν κάθε παγίδα, κατά τις πρώτες μετρήσεις. Στις τρεις τελευταίες μετρήσεις (αρχές και μέσα Οκτωβρίου), λόγω αλλαγής των καιρικών συνθηκών, μιας και οι θερμοκρασίες ήταν ήδη αρκετά χαμηλότερη από αυτή κατά τις αρχικές μετρήσεις (διαφορά θερμοκρασίας περίπου 15 βαθμών στην κλίμακα Κελσίου), το διάλυμα αντικαταστάθηκε από διάλυμα αναλογίας 500ml γλυκόζης με 10gr Βόρακα. Η επιθεώρηση των παγίδων γινόταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα των 5 ημερών στην αρχή και 7 ημερών κατά το τέλος του πειράματος. Τα έντομα που παγιδεύονταν στις παγίδες, διαχωρίζονταν επίσης σε αρσενικά και θηλυκά έντομα κατά τη διαδικασία της καταμέτρησης.

Ως περιοχή μελέτης ορίστηκε, σε συνεργασία με τον επιβλέποντα καθηγητή, η ευρύτερη περιοχή της Παλαιοκαστρίτσας της Κέρκυρας, στο Δυτικό τμήμα του νησιού. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε από τα τέλη Αυγούστου έως και τα μέσα Οκτώβρη του έτους 2017 και τα δέντρα είχαν ύψος περίπου 5-8 μέτρα. Το νησί της Κέρκυρας δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες υψομετρικές διαφορές, ενώ και τα σημεία τοποθέτησης των παγίδων δεν έχουν ιδιαίτερες αποκλίσεις ως προς το υψόμετρο. Μπορούμε με ασφάλεια να θεωρήσουμε ένα μέσω υψόμετρο 50 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας. Η περιοχή τοποθέτησης των παγίδων δεν ήταν τυχαία, αφού, εκτός από τον πυκνό ελαιώνα της περιοχής, σκοπός ήταν να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο και συνεχόμενο δίκτυο δακοπαγίδων σε μια περιοχή που καλύπτει από το βορειοδυτικό σημείο του νησιού έως και το νότιο και δυτικό τμήμα του κερκυραϊκού ελαιώνα. Συνολικά, τοποθετήθηκαν και μελετήθηκαν 8 παγίδες και στην εικόνα Ε.1 παρουσιάζονται οι ακριβείς τοποθεσίες των παγίδων με στοιχεία που συλλέχτηκαν από GPS συστήματα.



Εικόνα Ε.΄1 Σημεία Δακοπαγίδων

Πιο συγκεκριμένα, οι 3 νοτιότερες δακοπαγίδες τοποθετήθηκαν περιμετρικά του χωριού Γιαννάδες, ενώ άλλη μία λίγο βορειότερα, μεταξύ των χωριών Μάρμαρο και Κανακάδες. Οι άλλες 4 τοποθετήθηκαν πιο βόρεια, σχηματίζοντας ένα ατελές τετράγωνο στο χάρτη, στα χωριά Λιαπάδες (νοτιότερη), Λάκωνες, Γαρδελάδες και Δουκάδες (βορειότερη).

Ε΄.2 Ευρήματα

Η παρατήρηση και η μέτρηση των δάκων πραγματοποιούνταν κάθε 5 ημέρες (στην αρχή) και κάθε 7 ημέρες στο τέλος. Η τοποθέτηση των παγίδων πραγματοποιήθηκε ημέρα Τρίτη στις 22/08/2017. Πιο συγκεκριμένα, οι ημέρες και οι ημερομηνίες καταμέτρησης είναι οι ακόλουθες

- i. Κυριακή 27/08/2017
- ii. Παρασκευή 01/09/2017
- iii. Τετάρτη 06/09/2017
- iv. Δευτέρα 11/09/2017
- v. Σάββατο 16/09/2017
- vi. Πέμπτη 21/09/2017

- vii. Τρίτη 26/09/2017
- viii. Τετάρτη 04/10/2017
- ix. Τετάρτη 11/10/2017
- x. Τετάρτη 18/10/2017

Έγινε προσπάθεια να μην υπάρχουν ιδιαίτερες αποκλίσεις στις ώρες καταμέτρησης, ούτως ώστε τα αποτελέσματα να είναι όσο το δυνατόν πιο έγκυρα. Έτσι, η καταμέτρηση πραγματοποιούνταν ώρες απογευματινές (συχνότερα μεταξύ 16:00 - 19:00). Οι μέσες θερμοκρασίες περιβάλλοντος κυμάνθηκαν από 32,6 βαθμούς Κελσίου η υψηλότερη στις 27/09/2017 έως 15,3 βαθμούς Κελσίου η χαμηλότερη στις 18/10/2017, παρουσιάζοντας εύρος 17,3 βαθμών. Παρακάτω, παρουσιάζεται το διάγραμμα με τις μέσες θερμοκρασίες των ημερών καταμέτρησης.



Προσπάθεια έγινε επίσης και για συνεννόηση με τους κατόχους των αγροκτημάτων για την καλύτερη συντήρηση και φροντίδα των δακοπαγίδων, ενώ αλιεύτηκαν και χρήσιμες πληροφορίες για την κατάσταση των αγροκτημάτων και των ελαιώνων, καθώς και ιστορικά στοιχεία περασμένων χρόνων. Πολύ σημαντική πληροφορία αποτέλεσε το αν και το πότε είχε γίνει ψεκασμός στα ελαιόδεντρα, κυρίως ως προς τους πληθυσμούς του δάκου σε μικροκλίματα.

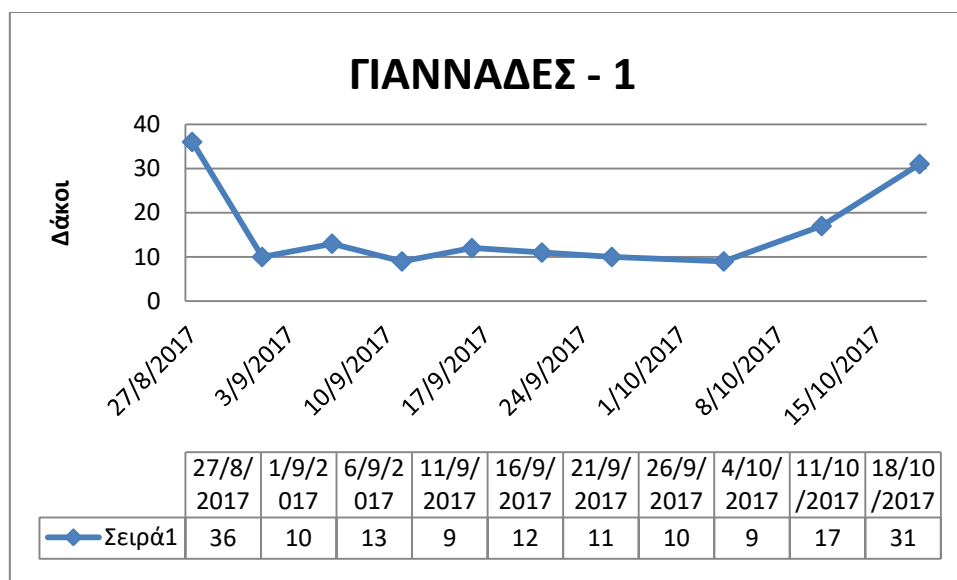
Ε'.2.1 Δακοπαγίδες

Στη συνέχεια, γίνεται μια πιο λεπτομερής περιγραφή των ευρημάτων κάθε δακοπαγίδας.

Γιαννάδες Ι

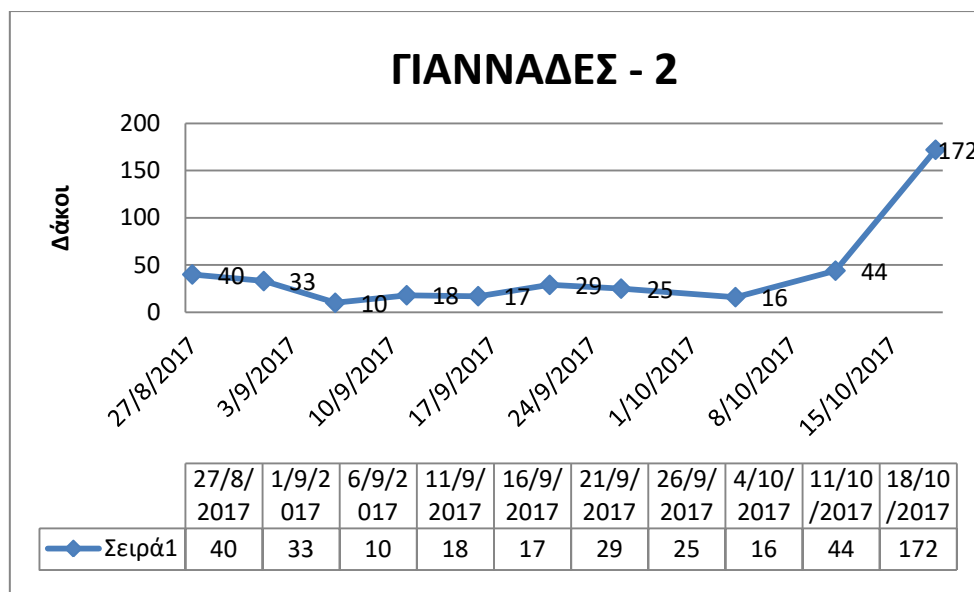
Η πρώτη δακοπαγίδα που στήθηκε στην ανατολική είσοδο του χωριού Γιαννάδες με ακριβείς συντεταγμένες 39° 63' 10" N και 19° 77' 79" E και υψόμετρο περίπου 4 μέτρα από της

επιφάνεια της θάλασσας. Η δακοπαγίδα αυτή, εκτός από δάκους παρουσίαζε συχνά ευρήματα μεσογειακών μυγών (*ceratitis capitata*) ιδιαίτερα κατά τις δύο πρώτες μετρήσεις, έντομο το οποίο μοιάζει αρκετά με το δάκο και έπρεπε να γίνει σωστός διαχωρισμός κατά τη διάρκεια της καταμέτρησης. Ο ιδιοκτήτης του αγροκτήματος μας ενημέρωσε πως δεν είχε πραγματοποιήσει ψεκασμούς στο αγρόκτημά του και πως αναλόγως τα ευρήματα, θα προχωρούσε στις ανάλογες ενέργειες. Οι αριθμοί των δάκων καθώς και το φύλο, παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα



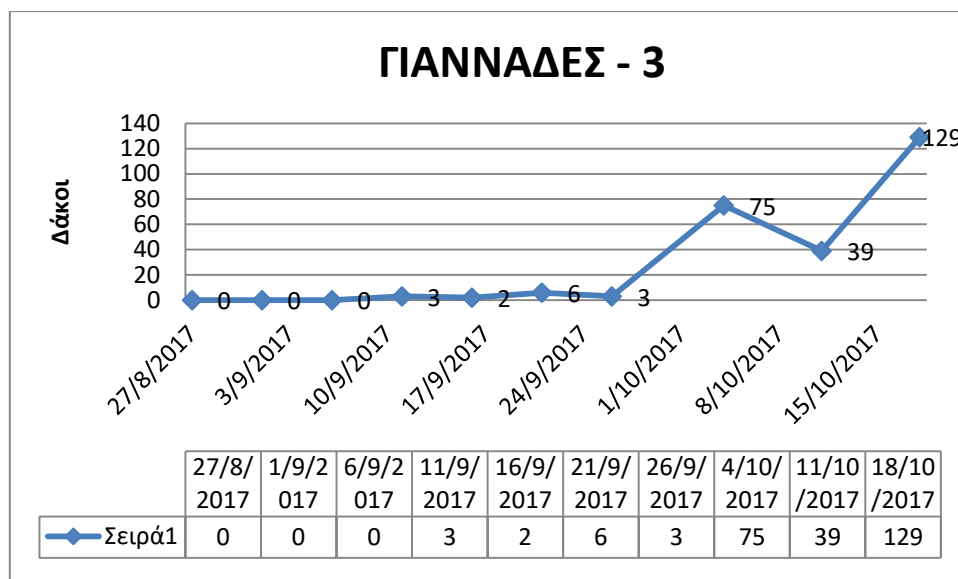
Γιαννάδες 2

Η συγκεκριμένη δακοπαγίδα τοποθετήθηκε νοτιοανατολικά του χωριού σε υψόμετρο περίπου 50 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας, αρκετά κοντά στη θάλασσα. Οι ακριβείς συντεταγμένες τις παγίδας είναι 39° 62' 45" N και 19° 75' 50" E. Βρίσκεται στις επικράτεια του ναού του Αγίου Νικολάου και ο ηγούμενος μας ενημέρωσε ότι δεν πραγματοποιούνται ψεκασμοί. Στη δακοπαγίδα δε βρέθηκαν άλλα έντομα εκτός από δάκοι. Οι αριθμοί των δάκων καθώς και το φύλο, παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα



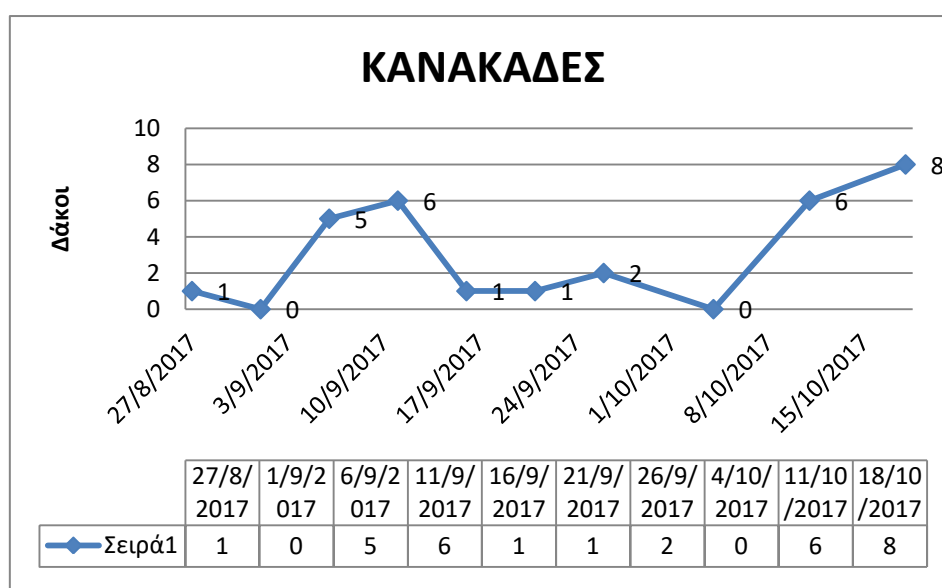
Γιαννάδες 3

Βόρεια του χωριού των Γιαννάδων (σχηματίζοντας γεωγραφικό τρίγωνο με τις πρώτες δύο δακοπαγίδες) τοποθετήθηκε η τρίτη παγίδα, σε ακριβείς συντεταγμένες $39^{\circ} 63' 61''$ N και $19^{\circ} 76' 26''$ E. Το υψόμετρο της παγίδας είναι περίπου στα 10 μέτρα από της επιφάνεια της θάλασσας. Δυστυχώς, δεν κατέσται δυνατή η επικοινωνία με τον ιδιοκτήτη του αγροκτήματος, το οποίο όμως αρχικά ήταν ραντισμένο μιας και ήταν εμφανή τα σημάδια του λιπάσματος στο δέντρο αλλά και στην παγίδα. Έτσι δικαιολογούνται και οι αρχικές μηδενικές μετρήσεις. Χαρακτηριστικό της παγίδας είναι ότι παρουσιάζονταν καθαρή και χωρίς κανένα απολύτως εύρημα από έντομο, πράγμα που πιθανά σημαίνει η επιβάρυνση της χλωρίδας και της πανίδας του αγροκτήματος από τον έντονο ψεκασμό του αγροκτήματος. Επιπλέον χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης παγίδας είναι η τεράστια αύξηση του αριθμού των δάκων κατά τις τελευταίες καταμετρήσεις. Στις δύο τελευταίες μετρήσεις, μάλιστα, παρατηρήθηκε και το φαινόμενο της παρατήρησης ζωντανών δάκων. Οι αριθμοί των δάκων καθώς και το φύλο, παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα



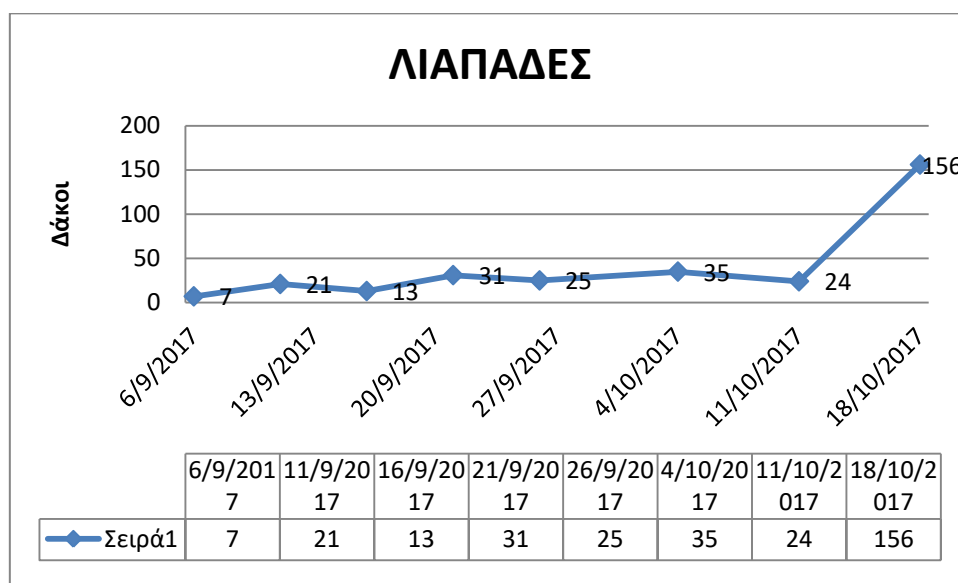
Κανακάδες

Η παγίδα αυτή τοποθετήθηκε μεταξύ των χωριών Μάρμαρο και Κανακάδες σε περιφραγμένο αγρόκτημα. Οι ακριβείς συντεταγμένες της παγίδας είναι οι 39° 64' 67" N και 19° 76' 23" E ενώ το υψόμετρο της είναι περίπου 10 μέτρα. Και σε αυτή την παγίδα δεν κατέσται δυνατή η επικοινωνία με τον ιδιοκτήτη, ήταν όμως εμφανής τα σημάδια του ραντίσματος από την πρώτη στιγμή που τοποθετήθηκε η παγίδα. Μεταξύ των μετρήσεων 26/09 και 04/10 έγινε δεύτερο ράντισμα για αυτό και η συγκεκριμένη παγίδα παρουσίασε το χαμηλότερο αριθμό καταμετρημένων δάκων. Οι αριθμοί των δάκων καθώς και το φύλο, παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα



Λιαπάδες

Το σημείο τοποθέτησης της παγίδας βρίσκεται στο δυτικό τμήμα του χωριού Λιαπάδες, ακριβώς πάνω από την παραλία της Ροβινιάς, σε πυκνούς ελαιώνες. Οι ακριβείς συντεταγμένες είναι $39^{\circ} 66' 96''$ N και $19^{\circ} 73' 34''$ E ενώ το υψόμετρο της είναι περίπου 20 μέτρα. Είναι η δακοπαγίδα που γεωγραφικά βρίσκεται πιο κοντά από όλες στη θάλασσα. Δεν παρουσίασε ιδιαίτερα ευρήματα ή έντομα εκτός από δάκους και δεν πραγματοποιήθηκαν ψεκασμοί από τον ιδιοκτήτη μιας και το μέρος είναι αρκετά δύσβατο. Οι αριθμοί των δάκων καθώς και το φύλο, παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα



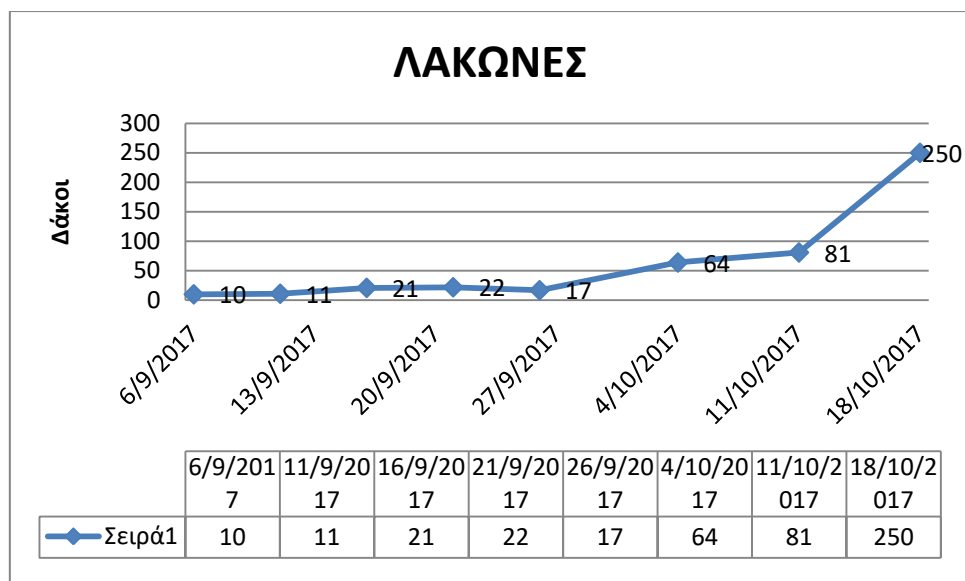
Γαρδελάδες

Στο νότιο μέρος του χωριού Γαρδελάδες τοποθετήθηκε η δακοπαγίδα με ακριβείς συντεταγμένες $39^{\circ} 67' 76''$ N και $19^{\circ} 74' 61''$ E και υψόμετρο είναι περίπου 5 μέτρα. Το ύψος που τοποθετήθηκε η παγίδα ήταν 2,5 μέτρα περίπου, το πιο χαμηλό σε σχέση με τις υπόλοιπες δακοπαγίδες. Εκτός από δάκους, παρατηρήθηκαν και άλλα έντομα όπως ακρίδες και σφήκες ενώ καμιά φορά δεν πραγματοποιήθηκε ψεκασμός από τον ιδιοκτήτη. Οι αριθμοί των δάκων καθώς και το φύλο, παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα



Λάκωνες

Σχεδόν πάνω στον κεντρικό δρόμο, λίγο έξω από το χωρίο Λάκωνες τοποθετήθηκε η προτελευταία δακοπαγίδα με ακριβείς συντεταγμένες $39^{\circ} 67' 84''$ N και $19^{\circ} 71' 99''$ E ενώ το υψόμετρο της, υψηλότερο από τις προηγούμενες παγίδες, στα 50 περίπου μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας. Ο ιδιοκτήτης μας πληροφόρησε ότι δεν πραγματοποιεί ποτέ ψεκασμούς παρόλα τα πολλά προβλήματα που δημιουργούνται από το δάκο στην παραγωγή της σοδειάς του εδώ και πολλά χρόνια μιας και η περιοχή μαστίζεται από το πρόβλημα του δάκου. Στη συγκεκριμένη δακοπαγίδα μετρήθηκε η ψηλότερη τιμή των δάκων καθώς στις τελευταία μέτρηση ο αριθμός ξεπέρασε τους 200. Ταυτόχρονα, και εδώ παρατηρήθηκαν ζωντανοί δάκοι κατά τη διαδικασία της καταμέτρησης. Οι αριθμοί των δάκων καθώς και το φύλο, παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα



Δουκάδες

Η τελευταία δακοπαγίδα τοποθετήθηκε στο νότιο τμήμα του χωριού Δουκάδες και στο υψηλότερο υψόμετρο από όλες, περίπου 120 μέτρα. Οι ακριβείς συντεταγμένες είναι 39° 68' 63" N και 19° 73' 89" E. Πάνω στο δρόμο που οδηγεί στα χωριά του Τρουμπέτα, δεν ήταν εφικτή η επικοινωνία με τον ιδιοκτήτη. Δεν υπήρξαν δείγματα ψεκασμού ενώ εκτός από δάκους παρατηρήθηκαν και αρκετές ακρίδες. Οι αριθμοί των δάκων καθώς και το φύλο, παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα



Στην παρακάτω εικόνα Ε'.2 παρουσιάζεται η δακοπαγίδα πριν την καταμέτρηση των δάκων. Διακρίνεται ο ωοθέτης στα θηλυκά έντομα, κριτήριο διαχωρισμού του φύλου κατά την καταμέτρηση.



Εικόνα Ε'.2 Δακοπαγίδα πριν την καταμέτρηση.

Ε'.2.2 Συμπεράσματα – Παρατηρήσεις

Παρατηρούμε, σε όλα σχεδόν τα διαγράμματα των αριθμών των δάκων, πως η τάση του αριθμού, είναι αυξητική. Οι παρατηρήσεις αυτές είναι “λογικές” μιας και όσο οι μετρήσεις απομακρύνονται από το καλοκαίρι και τις υψηλές θερμοκρασίες, τόσο οι αριθμοί των καταμετρήσεων αυξάνονται. Τέλη Αυγούστου και αρχές Σεπτεμβρίου, με θερμοκρασίες κοντά ή πάνω από τους 30 βαθμούς της κλίμακας Κελσίου, οι συνθήκες δεν είναι ιδανικές για την ανάπτυξη του δάκου. Απεναντίας, πάνω από τους 32-33 περίπου βαθμούς, ο δάκος σταματάει να αναπαράγεται και παρατηρείται σημαντική αδρανοποίηση του εντόμου. Αντιθέτως, όσο οι θερμοκρασίες ελαττώνονται και οι μετρήσεις βαδίζουν προς το Φθινόπωρο, ο αριθμός των δάκων αυξάνεται με γεωμετρικούς ρυθμούς. Στις τελευταίες μετρήσεις μάλιστα, με

θερμοκρασίες κοντά στους 17 βαθμούς και υγρασία υψηλή, οι συνθήκες ανάπτυξης του δάκου είναι ιδανικές γι αυτό και ο αριθμός των εντόμων είναι υψηλός – σε ορισμένες περιπτώσεις, πολύ υψηλός. Τέλος, όπως αποδεικνύεται και από τις μετρήσεις, ο ψεκασμός εναντίον του δάκου είναι αποτελεσματικός, μιας και σε όσες περιπτώσεις είχε πραγματοποιηθεί ψεκασμός, οι αριθμοί των καταμετρήσεων ήταν ιδιαίτερα χαμηλοί έως και μηδενικοί. Παρόλα αυτά, δεν πρέπει να αγνοείται και η επιβάρυνση του περιβάλλοντος και κατά προέκταση της χλωρίδας και την πανίδας της περιοχής αφού εκτός από τους δάκους, εξουδετερώνονταν και ωφέλιμα έντομα.

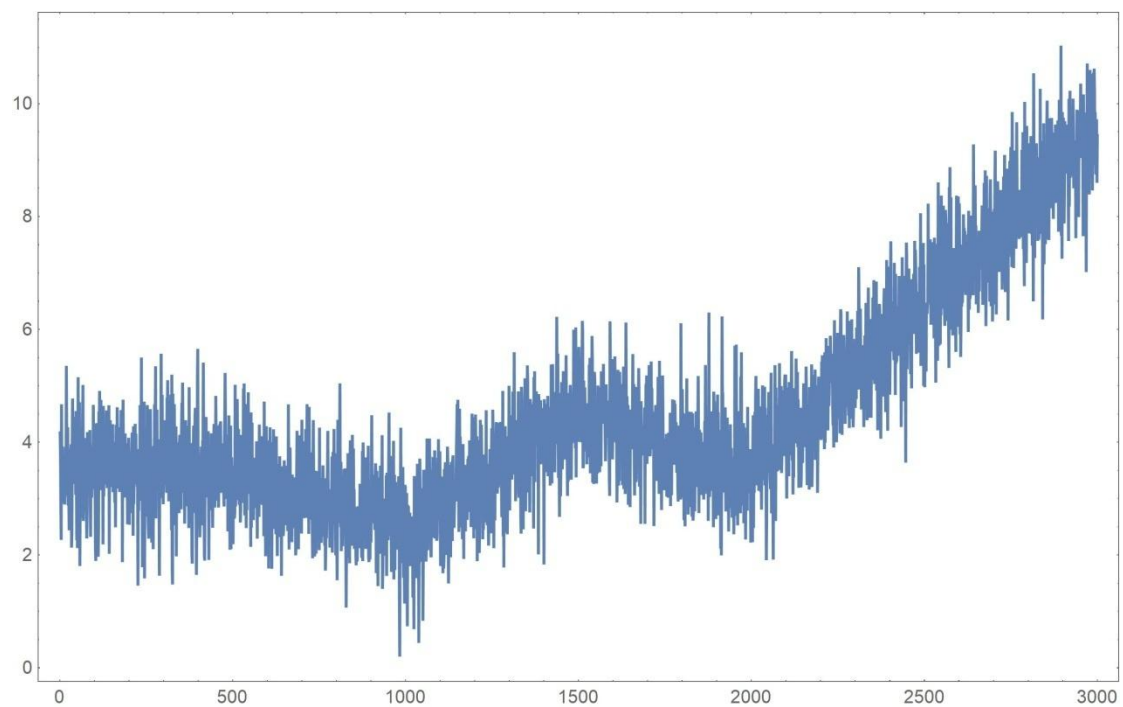
Ε'.3 Εφαρμογή αλγορίθμου σε πειραματικά δεδομένα

Για μια ακριβή απογραφή του πληθυσμού του δάκου, ιδανική διαδικασία θα ήταν να μπορούν να καταμετρηθούν όλοι οι δάκοι σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Δεδομένου, όμως, ότι κάτι τέτοιο είναι πρακτικά αδύνατον να συμβεί, χρησιμοποιήθηκε η διαδικασία της δειγματοληψίας αριθμών δάκων, προκειμένου να γίνει παρακολούθηση της παραλλαγής και τις εξέλιξης του πληθυσμού σε συγκεκριμένο χώρο και χρόνο.

Σε περιπτώσεις, μάλιστα, που η δειγματοληψία του πληθυσμού είναι μη επαρκώς πυκνή, προκειμένου να περιγραφεί η εξέλιξη του πληθυσμού, συνήθως χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι της παρεμβολής (*interpolation*) ή της παρεκβολής (*extrapolation*), ώστε να «προβλεφθούν» οι πληροφορίες που λείπουν. Η παρεμβολή, θεωρεί ως τοπικό μέγεθος μια περιοχή γύρω από το δείγμα που λείπει και συνδυάζει τα δείγματα σε αυτήν την περιοχή χρησιμοποιώντας κάποια από τις μεθόδους της (Shepard 1968, Burnett 1987, Piegl 1991) για την ανάκτηση της επιθυμητής τιμής του δείγματος. Παρόλα αυτά, η μέθοδος αυτή συχνά αποτυγχάνει να προβλέψει τις τάσεις της περιοχής. Επιπλέον, η κανονικοποίηση του δειγματοληπτικού δικτύου συχνά αποτελεί σημαντικό ζήτημα, καθώς υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που δεν επιτρέπουν τη συγκεκριμένη διαδικασία. Η παρεμβολή από ακανόνιστα χωρικά δεδομένα χρησιμοποιείται σε αρκετά επιστημονικά πεδία, όπως η οικολογία, η μετεωρολογία, η γεωλογία και αρκετά ακόμη στα οποία τα δεδομένα συλλέγονται από ακανόνιστους σταθμούς παρατήρησης των εκάστοτε φαινομένων.

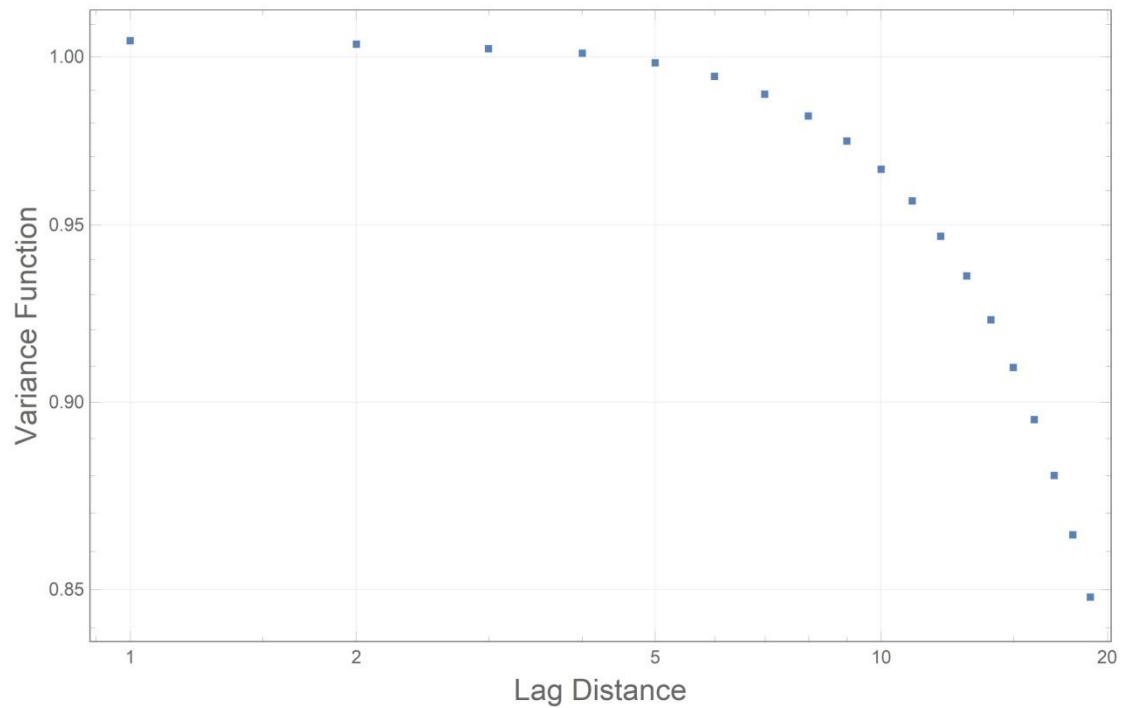
Κατά διενέργεια των εργασιών για την παρουσίαση της παρούσας διπλωματικής διατριβής, εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος σε όλες τις χρονοσειρές όλων των δακοπαγίδων που παρουσιάστηκαν παραπάνω. Ενδεικτικά, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής του αλγορίθμου στα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τη δακοπαγίδα στο χωριό Γαρδελάδες, διότι δεν είχαν ραντιστεί τα ελαιόδεντρα της περιοχής, και κατά συνέπεια είχε επηρεαστεί κατ' ελάχιστον ο πληθυσμός του δάκου από εξωγενείς παράγοντες.

Παραδοσιακά οι μετρήσεις στις δακοπαγίδες γίνονται ανά πέντε ημέρες. Λόγω του πεπερασμένου και περιορισμένου χρονικού διαστήματος του πειράματος, ο αριθμός των μετρήσεων και των δεδομένων είναι αρκετά μικρός, ώστε να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της παρεμβολής και έπειτα έγινε προσθήκη τριών χιλιάδων (3000) σημείων, τα οποία τραβήχτηκαν από γκαουσιανή κατανομή (εικόνα Ε'.3)



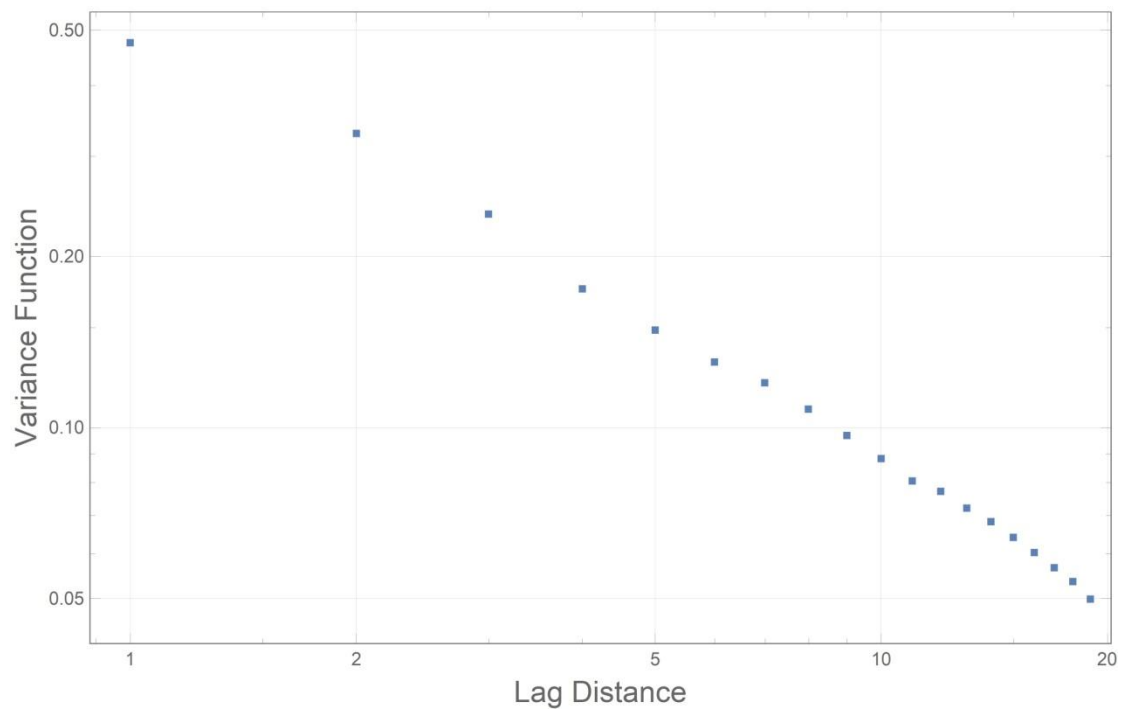
Εικόνα Ε'.3

Με την παραπάνω τροποποίηση εισάγουμε τα δεδομένα στον αλγόριθμο. Παρατηρώντας την αρχική μεταβλητή X_t πριν την έναρξη της έξαρσης η συνάρτηση διακύμανσης (variance function) ακολουθεί power law κατανομή και γι' αυτό δεν υπάρχει ακόμη πληθυσμιακή έξαρση (εικόνα Ε'.4), ενώ τη στιγμή της έναρξης της έξαρσης παρατηρούμε ότι ξεκινάει να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των τιμών και η συνάρτηση κατανομής της αρχικής μεταβλητής σταματάει να ακολουθεί power law κατανομή.



Εικόνα Ε'.4 Συνάρτηση Διακύμανσης Αρχικής Μεταβλητής X_t

Τέλος εξετάζοντας και τη μετασχηματισμένη μεταβλητή Z_t και σύμφωνα με τη προτεινόμενη θεωρία του αλγορίθμου, η συνάρτηση συσχέτισης της μεταβλητής Z_t ακολουθεί power law κατανομή (εικόνα Ε'.5), τότε πράγματι υπάρχει πληθυσμιακή εξάρση η οποία παρατηρείται πριν την 7η μέτρηση.



Εικόνα Ε'.5 Συνάρτηση Διακύμανσης Μετασχηματισμένης Μεταβλητής Z_t

Ε'.3.1 Συμπεράσματα

Η συγκεκριμένη διαδικασία ακολουθήθηκε για όλες τις χρονοσειρές των δακοπαγίδων και τα αποτελέσματα είναι σαφώς ικανοποιητικά. Επιλέχτηκε να παρουσιαστεί η χρονοσειρά της συγκεκριμένης δακοπαγίδας μιας και το σημείο το οποίο τοποθετήθηκε δε ραντίστηκε ενώ και ο πληθυσμός σύμφωνα με τις μετρήσεις, αυξανόταν ομαλά. Πράγματι, σε τυχαίες τιμές δειγματοληψίας παρατηρούταν συσχέτιση οπότε και δεν παρατηρούταν κάποια πληθυσμιακή έξαρση ενώ σε περιπτώσεις έξαρσης, η συσχέτιση αυτή χανόταν. Γενικά, ο αλγόριθμος φαίνεται να εντοπίζει τις όποιες πληθυσμιακές εξάρσεις με το μόνο μειονέκτημα, πρακτικά, να έγκειται στο γεγονός ότι η αύξηση των τιμών οφείλει να είναι σε ομαλά πλαίσια.

Κεφάλαιο ΣΤ'

Επίλογος

ΣΤ'.1 Σύννοψη

Στη διατριβή αυτή γίνεται προσπάθεια παρουσίασης ενός νέου, στοχαστικού διαφορικού μοντέλου ανίχνευσης πληθυσμιακών εξάρσεων, με χρονοσειρές οι οποίες μετρήθηκαν με τη μέθοδο της παρατήρησης και αντιπροσωπεύουν την εξέλιξη του πληθυσμού του δάκου στις περιοχές της δυτικής Κέρκυρας κατά το χρονικό διάστημα του 'Αύγουστου – Οκτωβρίου 2017.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία αντιπαρέρχεται τις γενικές αδυναμίες οποιασδήποτε στατιστικής μεθόδου, που είναι διαθέσιμη στη βιβλιογραφία, θεωρώντας ένα αυστηρά καθορισμένο στοχαστικό διαφορικό μοντέλο, το οποίο εξετάζει την εξέλιξη ενός πληθυσμιακού συστήματος στο χώρο και στο χρόνο. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία έρχεται σε αντίθεση με στατιστικά μοντέλα, στα οποία δεν υπάρχει η θεώρηση ενός συγκεκριμένου χωροχρονικού διαφορικού μοντέλου, με αποτέλεσμα το όλο σύστημα να θεωρείται ως ένα “μαύρο κουτί”, διεξάγοντας απλά στατιστικές μελέτες για χρονοσειρές που αντιπροσωπεύουν έξοδο συστήματος. Βασίζεται στο ερευνητικό πεδίο των στοχαστικών διαφορικών εξισώσεων και αποτελεί κυρίως μια στοχαστική γενίκευση του μοντέλου του Verhulst.

ΣΤ'.2 Συμπεράσματα

Η ανίχνευση πληθυσμιακών εξάρσεων μέσω στοχαστικών διαφορικών μοντέλων δεν είναι μια εύκολη υπόθεση, μιας και η πολυπαραγοντική φύση του εγχειρήματος καθιστά την προσπάθεια δύσκολα επιτεύξιμη. Η κίνηση του δάκου αυτή κάθε αυτή, η θερμοκρασία, η υγρασία, το υψόμετρο, η απόσταση από τη θάλασσα, το μικροκλίμα ορισμένων περιοχών, η πλέξη των κλαδιών της ίδια της ελιάς, η καρποφορία και αρκετοί ακόμη είναι παράγοντες που εξαρτούν την πληθυσμιακή εξέλιξη του δάκου. Οι μετρήσεις που συλλέχθηκαν σε καμιά περίπτωση δε μπορούν να θεωρηθούν αρκετές, ούτως ώστε τα συμπεράσματα να μπορούν να χαρακτηριστούν ως ασφαλή. Είναι, όμως, η βάση που, με την κατάλληλη και απαραίτητη επεξεργασία, αποτέλεσε το πρώτο βήμα για την δημιουργία ενός νέου στοχαστικού μοντέλου παρακολούθησης μιας πληθυσμιακής εξέλιξης και, στην ουσία, του πειράματος ανίχνευσης μιας έξαρσης πληθυσμιακής, ιδιαίτερα χρήσιμης για την επιλογή των βέλτιστων μεθόδων καλλιέργειας της ελιάς. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τον προτεινόμενο αλγόριθμο είναι εντυπωσιακά, αφού τα εμπειρικά συμπεράσματα από τη μελέτη ενός γραφήματος, σχεδόν, συμπίπτουν με αυτά τα αλγορίθμου.

ΣΤ'.3 Προτάσεις

Η αξιοποίηση εφαρμογών στο διαδίκτυο, καθώς και των συστημάτων θέσεων, θα μπορούσαν να αποδειχθούν πολύ χρήσιμα για τη γεωργία. Ταυτόχρονα, η τεχνητή νοημοσύνη είναι κλάδος ο οποίος θα μπορούσε να συνεισφέρει στην ανίχνευση πληθυσμιακών εξάρσεων, χρησιμοποιώντας τεχνικές εποπτευόμενης μηχανικής μάθησης, για την πρόβλεψη μελλοντικών μετρήσεων δακοπαγίδων βασισμένα σε προηγούμενες μετρήσεις.

Μια τέτοια μελλοντική ενασχόληση παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, μιας και ο συνδυασμός των στοχαστικών διαφορικών μοντέλων με την επιβλεπόμενη μηχανική μάθηση θα μπορούσε να προβλέψει, όχι μόνο πληθυσμιακές εξάρσεις, αλλά και την εξέλιξη του πληθυσμών ανά επιθυμητή χρονική μονάδα, αφού πρακτικά θα μπορούσε να προβλέψει μελλοντικές μετρήσεις δακοπαγίδων.

Τέλος, και πιο σημαντικό, η Διπλωματική, αυτή, Διατριβή, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εφαλτήριο για την κατασκευή ενός ισχυρού εργαλείου λήψης αποφάσεων για στρατιγικές πρόληψης και ελέγχου του πληθυσμού του δάκου.

Βιβλιογραφία

Amoros R., Conesa D, Martinez-Beneito M.A., Lopez-Quilez A., Statistical Methods for Detecting the Onset of Influenza Outbreaks: A Review, REVSTAT – Statistical Journal, Volume 13, Number 1, 41-62, March 2015

Avlonitis M., On a new probabilistic method for exact spatial interpolation of sampling data: Application to olive fruit fly population data, May 2008

Avlonitis M., On the problem of early detection of users interaction outbreaks via stochastic differential models. Eng. Appl. Artif. Intel. 2016

Avlonitis M., Tragoudaras D., Stefanidakis M., Papavlasopoulos C., Stochastic Processes and Insect Outbreak Systems: Application to Olive Fruit Fly, Proc. of the 3rd IASME/WSEAS Int. Conf. on Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development, Agios Nikolaos, Greece, July 24-26, 2007

Bock D., Andersson E., Frisen M., Statistical surveillance of epidemics: peak detection of onfluenza in Sweden, 71-85, 2008

Bueno A.M., Jones O., Alternative methods for controlling the olive fly, *Bactrocera oleae*, involving semiochemicals, IOBC wprs Bulletin, 25, 2002

Chatfield C., The analysis of time series: an introduction, CRC press, 2013

Costa P.J., Dunyak J.P., Mohtashemi M., Models, Prediction and Estimation of Outbreaks of Infectious Disease

Daane K.M., Johnson, M.W., Olive fruit fly: Managing an Ancient Pest in Modern Times, Annual Review of entomology vol.55, California 2010

Dimou I., Koutsikopoulos C., Economopoulos A., Lykakis J., The Distribution of Olive Fruit Fly Captures with McPhail Traps within an Olive Orchard, *Phytoparasitica* 31(2): 124-131, 2003

Economopoulos A.P., Haniotakis G.E., Michelakis S., Tsiropoulos G.J., Zervas G.A., Tsitsipis J.A., Manoukas A.G., Kiritsakis A., Kinigakis P., Population studies on the olive fruit fly, *Dacus oleae* in Western Crete

Fletcher B.S, Kapatso E.T., Dispersal of the olive fly, *Dacus oleae*, during the summer period on Corfu, Ent. Exp. Appl., 29, 1-8. Ned. Entomol. Ver. Amsterdam, 1981

Fletcher B.S, Kapatso E.T., Establishment of economic injury level for olive infestation by *Dacus oleae* in Corfu. Ent. Hell 1, 37-45, 1983

Heisterkamp S.H., Dekkers A.L.M., Heijne J.C.M, Automated detection of infectious disease outbreaks: hierarchical time series model, Statistics in Medicine, 09/2006

Husin N.A., Salim N. Ahmad A.R., Simulation of Dengue Outbreak Prediction, 2006

Johnson M.W., Wang X.G., Nadel H., Opp S.B., Patterson K.L., Stewart-Leslie J., Daane K.M., High temperatures affects olive fruit fly population in California's Central Valley, January – March, 2011

Kalamatianos R., Kermanidis K., Avlonitis M., Karydis I., Environmental Impact on Predicting Olive Fruit Fly Population Using Trap Measurements

King A.A., Domenech de Celles M., Magpanty F.M.G., Pejman P., Avoidable errors in the modeling of outbreaks of emerging pathogens, with special reference to Ebola, 2015

Koepke A.A., Longini I.M., Halloran M.E., Wakefield J. Minin V.N., Predictive Modeling of Cholera Outbreaks in Bangladesh, 2015

Lega J., Brown H.E., Data-driven outbreak forecasting with a simple nonlinear growth model (2016)

Lu H.M., Zeng D., Chen H., Prospective Infectious Disease Outbreak Detection Using Markov Switching Models, Knowledge and data engineering, IEEE transactions on 22.4, 565-577, 2010

Rice R.E., Bionomics of the Olive fruit fly *Bactrocera (Dacus) Oleae*, University of California, UC Plant Protection Quarterly, Volume 10, Number 3, July 2000

Ruebeck J., James R.G., Mahoney J.R., Crutchfield J.P., Prediction and Generation of Binary Markov Processes: Can a Finite – State Fox Catch a Markov Mouse?, Santa Fe Institute Working Paper, 1 August 2017

Shaman J., Forecasting Infectious Disease Outbreaks, 2016

Shepard D., A two-dimensional interpolation function for irregularly spaced data, Proceedings of the 1968 ACM National Conference 517-524, 1968

Vossen P., Devarenne A.K., Controlling Olive Fruit Fly at Home, University of California Cooperative Extension, 2006

Vossen P., Varela L., Devarenne A.K., Olive Fruit Fly, University of California Cooperative Extension, 2006

Voulgaris S., Stefanidakis M., Floros A., Avlonitis M., Stochastic modeling and simulation of olive fruit fly outbreaks, ScienceDirect, Procedia Technology 8 580-586, 2013

Wang X.G., Daane K.M., Johnson, M.W., Nadel H., High Summer Temperatures Affect the Survival and Reproduction of Olive Fruit Fly (Diptera: Tephritidae), Environ. Entomol. 38 (5): 1496-1504, 2009

Yokohama V.Y., Miller G.T., Stewart-Leslie J., Rice R.E., Phillips P.A., Olive Fruit Fly (Diptera: Tephritidae) Populations in Relation to Region, Trap Type, Season, and Availability of Fruit, J. Econ. Entomol. 99 (6): 2072-2079, 2006

Yokohama V.Y., Olive Fruit Fly in California: Longevity, Oviposition, and Development in Canning Olives in the Laboratory and Greenhouse, USDA – ARS, San Joaquin Valley Agricultural Sciences Center, February 2012

Zhang J., Tsui F.C., Wagner M.M., Hogan W.R., Detection of Outbreaks from Time Series Data Using Wavelet Transform, AMIA Annual Symposium Proceeding Archive, 748-752, 2003

Κομηνέας Σ., Χαρμανδάρης Ε., Μαθηματική Μοντελοποίηση, Μια σπουδή στις Φυσικές Επιστήμες, Αθήνα, 2015

Λένο Ε., Μαθηματικά Μοντέλα Πληθυσμιακής Δυναμικής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2012

Πατρώνης Τ., Ρίζος Γ., Σπανός Δ., Μαθηματικά Μοντέλα στις Επιστήμες του Περιβάλλοντος: Μια Μικρή Εισαγωγή και Παραδείγματα, Πάτρα

Πατσιάς Α., Η καταπολέμηση του δάκου της ελιάς, Τομέας δημοσιότητας κλάδου γεωργικών εφαρμογών και δημοσιότητας, Λευκωσία Κύπρος, έκδ. 6/2005

Παράρτημα

/*

Provides a calculation of correlation length

Date of last revision 16.09.18

*/

#pragma hdrstop

#include "confdefs.h"

#include <stdio.h>

#include <conio.h>

#include <iostream>

#include <math.h>

#include <fstream>

#include <stdlib.h>

#define SD 1234577

#define MBIG 1000000000

#define MSED 161803398

#define MZ 0

#define FAC (1.0/MBIG)

//-----

#pragma argsused

```

long int T,i,j,l,k,L,L1,w;

float n1,n2,v,f;

using namespace std;

int main()

{

    L=5399;

    float box[5400]={0};

    FILE *outfile1; outfile1=fopen("out_1.dat","w");

    FILE *outfile2; outfile2=fopen("test_1.dat","w");

    FILE *outfile3; outfile3=fopen("test_2.dat","w");

    FILE *outfile4; outfile4=fopen("f2_g_T.dat","w");

    ifstream in; // Create an input file stream.

    in.open("dataset1.csv"); // Use it to read from a file named data.txt.

    for(i=0;i<L;i++) { in >> box[i]; //fprintf(outfile3,"%i\t",i); fprintf(outfile3,"%f\t",box[i]);

        }

    //for(i=0;i<L;i++) { box[i]=exp(0.4685935587*i/10) * 0.1568175948; }

    float dif_box[5400]={0};

```

```

float nbox[5400]={0};

float difzbox[5400]={0};

float ndifzbox[5400]={0};

float mean[5400]={0};

float var[5400]={0};

float m[16]={0}; //Declaration and initiliazation of the means

float s[16]={0}; //Declaration and initiliazation of the variances


for(i=0;i<L;i++)          {    nbox[i]=log(box[i]);          fprintf(outfile2,"%i\t",i);
fprintf(outfile2,"%f\t",box[i]); fprintf(outfile2,"%f\n",nbox[i]);}

for(i=1;i<L;i++) { dif_box[i]=nbox[i]-nbox[i-1]; }    dif_box[0]=nbox[0];


for(i=1;i<L-1;i++)

{ cout << "*" << i << endl;

for(l=i-1;l<i+2;l++) { k=k+1; n1=n1+dif_box[l]; n2=n2+dif_box[l]*dif_box[l]; printf("n1
%f,n2 %f\n", n1, n2);}

mean[i]=n1/k;    var[i]=(n2/k)-mean[i]*mean[i];

printf("%f\t",i); printf("dif %f\n",dif_box[i]); printf("mean %f\n",mean[i]);

}

```

```
mean[0]=mean[1]; mean[L-1]=mean[L-2];
```

```
int sum=0; k=0; float meann=0;
```

```
for(i=0;i<L;i++) { k=k+1; sum=sum+mean[i]; } meann=(float)sum/(float)k;
```

```
for(i=0;i<L;i++) { difzbox[i]=dif_box[i]-mean[i];
```

```
    fprintf(outfile3,"%i\t",i);                                fprintf(outfile3,"%f\t",nbox[i-1]);
    fprintf(outfile3,"%f\t",nbox[i]);
```

```
    fprintf(outfile3,"%f\t",dif_box[i]);
```

```
    fprintf(outfile3,"%f\t",mean[i]); fprintf(outfile3,"%f\n",difzbox[i]);
```

```
    }
```

```
for (i=0;i<L;i++)
```

```
{
```

```
    fprintf(outfile1,"%i\t",i);                                fprintf(outfile1,"%f\t",mean[i]);
    fprintf(outfile1,"%f\n",var[i]);
```

```
}
```

```
int T=0; int w=0; float n=0;
```

```

for(j=0;j<8;j++)

    {   T=2*j;   w=T/2;

// Ftiaxnoume to nbox gia kathe fora


    for(i=w;i<(L-w);i++) //To w gia na min figei apo ta oria

        {   k=0; n=0;

            for(l=i-T/2;l<i+1+T/2;l++) { k=k+1; n=n+difzbox[l];}

            ndifzbox[i]=n/k;

        }

        k=0; n=0;

        for(i=w;i<(L-w);i++) {k=k+1; n=n+ndifzbox[i];}   m[T]=n/k;

printf("%i\\t",j);printf("%i\\t",T); printf("%f\\t",n); printf("%i\\t",k);

printf("%f\\t",m[T]);

        k=0; v=0;

        for(i=w;i<(L-w);i++)

            {   k=k+1;

                v=v+(ndifzbox[i]-m[T])*(ndifzbox[i]-m[T]);

```

```
        }

        s[T]=v/k;    printf("%f\n",v);

    }

    f=0;

for (j=0;j<8;j++)

    {   T=2*j; f=s[T]/s[0];

        fprintf(outfile4,"%i\t",T); fprintf(outfile4,"%f\n",f);

    }


fclose (outfile1);

fclose (outfile2);

fclose (outfile3);

fclose (outfile4);


scanf("%f",&k);

char ch;

cin >> ch;
```

```

return 0;

}

/*

for(j=0;j<L1;j++)

{   T=2*j;   w=T/2;

// Ftiaxnoume to nbox gia kathe fora

for(i=w;i<(L-w);i++) //To w gia na min figei apo ta oria

{   k=0; n=0;

for(l=i-T/2;l<i+1+T/2;l++) { k=k+1; n=n+box[l];}

nbox[i]=n/k;

// printf("%f\t",box[i]); printf("%f\n",nbox[i]);

}

k=0; n=0;

for(i=w;i<(L-w);i++) {k=k+1; n=n+nbox[i];}   m[T]=n/k;

printf("%i\t",j);printf("%i\t",T); printf("%f\t",n); printf("%i\t",k);

```

```
printf("%f\t",m[T]);

k=0; v=0;

for(i=w;i<(L-w);i++)

    { k=k+1;

      v=v+(nbox[i]-m[T])*(nbox[i]-m[T]);

    }

s[T]=v/k;    printf("%f\n",s[T]);

}

*/
```