

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

«Δείκτες εξαφάνισης κατακερματισμένων πληθυσμών σε θηλαστικά και πτηνά»

Πτυχιακή εργασία



Χατζιωάννου Αναστασία

ΑΜ:141/2006064

Επιβλέπων καθηγητής: Κωνσταντίνος Θεοδώρου

Μυτιλήνη

Οκτώβριος 2012

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

«Δείκτες εξαφάνισης κατακερματισμένων πληθυσμών σε θηλαστικά και πτηνά»  
Πτυχιακή εργασία

Χατζηιωάννου Αναστασία

ΑΜ:141/2006064

Επιβλέπων καθηγητής: Θεοδώρου Κώστας

Μυτιλήνη

Οκτώβριος 2012

**Στον Άκη, από το κλείσιμο ενός κύκλου  
ξεκινάει ένας καινούργιος**

**Στην Άντα, στην Ανθή στη Μαρία, στη Μαρία,  
στη Σοφία και στην Εύα**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επίκουρο καθηγητή Κώστα Θεοδώρου για τη συνεργασία και την πολύτιμη βοήθειά του σε όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης της πτυχιακής εργασίας καθώς και για την υποστήριξή του σε αυτό το αποτέλεσμα.

Ευχαριστώ πολύ την οικογένειά μου για την ψυχολογική υποστήριξη σε όλη τη διάρκεια των σποδών μου στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο κατακερματισμός των ενδιαιτημάτων είναι ένας μια από τις σημαντικότερες αιτίες εξαφάνισης ειδών και κατά συνέπεια της μείωσης της βιοποικιλότητας. Σε ένα κατακερματισμένο τοπίο, οι διαδικασίες που αλληλεπιδρούν για να οδηγήσουν τα είδη σε εξαφάνιση είναι πολλαπλές και δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν. Γι αυτό το λόγο, μας χρειάζονται εύκολα μετρήσιμες παράμετροι που να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προγνωστικοί δείκτες εξαφάνισης. Με τη χρήση στοχαστικών μοντέλων ανάλυσης βιωσιμότητας, ελέγξαμε αν παράμετροι, όπως i) η φέρουσα ικανότητα των κατατμημάτων, ii) ο ρυθμός διασποράς ανάμεσα στα κατατμήματα, iii) ο ρυθμός επιβίωσης των ατόμων κατά τη διασπορά και iv) ο συγχρονισμός στις περιβαλλοντικές διακυμάνσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως προγνωστικοί δείκτες για τη πιθανότητα εξαφάνισης, το στοχαστικό ρυθμό αύξησης, τη γενετική ποικιλότητα και τον αριθμό των αλληλόμορφων γονιδίων των πληθυσμών. Οι παράμετροι αυτές είναι στενά συνδεδεμένες με τη μορφή του τοπίου τόσο εντός ενδιαιτημάτων όσο εκτός αυτών (matrix). Επιλέξαμε τέσσερα είδη, δύο πτηνά και δύο θηλαστικά με διαφορετικούς κύκλους ζωής. Η φέρουσα ικανότητα είναι η παράμετρος που δίνει την καλύτερη πρόγνωση σχετικά με την πιθανότητα εξαφάνισης, το στοχαστικό ρυθμό αύξησης, την γενετική ποικιλότητα και τον αριθμό των αλληλόμορφων. Ο ρυθμός διασποράς αλληλεπιδρά με την επιβίωση των μεταναστών καθώς και με την περιβαλλοντική συσχέτιση.

**Λέξεις κλειδιά:** κατακερματισμός, προγνωστικοί δείκτες, VORTEX, ανάλυση βιωσιμότητας πληθυσμών

## ABSTRACT

Habitat fragmentation is one of the main causes of species extinction, and therefore the loss of biodiversity. In a fragmented landscape the processes that interact are many and difficult to quantify them. For this reason we need easily measured parameters that can be used as extinction predictors. Using stochastic viability analysis models, we tested if parameters as: i) Patches carrying capacity, ii) dispersal rates between the patches, iii) Survival rate during the dispersal, iv) synchronization to environmental variations can be used as predictors of the probability of extinction, the stochastic growth rate, the genetic diversity and the number of the alleles of the populations. Those parameters are closely connected with the form of the landscape both inside the patches, as outside of them (matrix). We selected four species, two birds and two mammals with different life cycle. The habitat size and the carrying capacity can give the best prediction for the probability of extinction, the stochastic

growth rate, the genetic diversity and the number of alleles. There is difference in the prediction between birds and mammals.

**Key words:** fragmentation, predictors, VORTEX, population viability analysis (PVA)

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ / ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ / ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

### **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

- 1.1 Απώλεια ενδιαιτημάτων
- 1.2 Κατακερματισμός
- 1.3 Μέγεθος κατατμημάτων
- 1.4 Περιβαλλοντική αβεβαιότητα
- 1.5 Καταστροφές
- 1.6 Περιβάλλον χώρος (Matrix)
- 1.7 Απομόνωση-Διασπορά
- 1.8 Δείκτες εξαφάνισης
- 1.9 Ανάλυση Βιωσιμότητας πληθυσμών-PVA

### **2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

- 2.1 Επιλογή ειδών
- 2.2 Λογισμικό
- 2.3 Μεταβλητές
  - 2.3.1 Αριθμός πληθυσμών- μέγεθος πληθυσμού
  - 2.3.2 Διασπορά
  - 2.3.3 Επιβίωση μεταναστών
  - 2.3.4 Περιβαλλοντική συσχέτιση
- 2.4 Εξαρτημένες μεταβλητές
- 2.5 Μοντέλα
- 2.6 Στατιστική ανάλυση

### **3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

- 3.1 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης ANODEV
- 3.2 Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης (AIC)

### **4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ –ΣΥΖΗΤΗΣΗ**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Παρατηρούμε τα τελευταία χρόνια μία σημαντική μείωση της βιοποικιλότητας. Η μείωση αυτή οφείλεται σε πολλές παραμέτρους. Η απώλεια και ο κατακερματισμός των ενδιαιτημάτων, η κλιματική αλλαγή, οι βιολογικές εισβολές, η ατμοσφαιρική ρύπανση και ρύπανση των υδάτινων πόρων είναι οι βασικές αιτίες εξαφάνισης (IUCN, 2000, O' Grady et al., 2004, Wilcove et al. 1986). Σύμφωνα με την IUCN και το κόκκινο βιβλίο των απειλούμενων ειδών, (2000) η απώλεια και ο κατακερματισμός των ενδιαιτημάτων είναι οι βασικότερες αιτίες εξαφάνισεων των ειδών.

### **1.1 Απώλεια ενδιαιτημάτων**

Οι δύο αυτές έννοιες, της απώλειας και του κατακερματισμού, δεν μπορούν να διαχωριστούν όταν αναφερόμαστε στην απώλεια της βιοποικιλότητας (Fahrig 2003). Απώλεια είναι η μείωση της συνολικής επιφάνειας του ενδιαιτήματος. Στη μελέτη του Fahrig (2003), αποδεικνύεται ότι η απώλεια των ενδιαιτημάτων επηρεάζει μία σειρά παραμέτρων στην δομή των κοινοτήτων, όπως ο πλούτος ειδών, η δύναμη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ειδών, το μήκος της αλυσίδας τροφίμων στα δίκτυα τροφίμων, καθώς και ένα αριθμό παραμέτρων στη δομή των πληθυσμών, που συμπεριλαμβάνουν την κατανομή και της αφθονία του πληθυσμού, τη γεωγραφική κατανομή, την αναπαραγωγή, την επιτυχία αναζήτησης τροφής και τη γενετική ποικιλομορφία.

### **1.2 Κατακερματισμός**

Ο κατακερματισμός είναι η διαίρεση του ενδιαιτήματος σε διακριτά κατατμήματα. Ένας ακριβής ορισμός για τον κατακερματισμό είναι: “Μια μεγάλη έκταση ενδιαιτήματος μετατρέπεται σε έναν αριθμό μικρότερων κατατμημάτων μικρότερης συνολικής επιφάνειας απομονωμένα το ένα από το άλλο από ένα περιβάλλον χώρο διαφορετικών ενδιαιτημάτων ακατάλληλων από το αυθεντικό” (Wilcove et al. 1986). Απλούστερα μπορούμε να ορίσουμε ότι κατακερματισμός είναι μια διαδικασία, διαίρεσης μεγάλων, συνεχών ενδιαιτημάτων σε μικρότερα απομονωμένα τμήματα (Ranta et al. 1998, Franklin Noon & George, 2002). Ο κατακερματισμός είναι αποτέλεσμα της αλλαγής χρήσεων γης, που από φυσικά ενδιαιτήματα μετατρέπονται σε καλλιέργειες, βοσκότοπους και αστικούς χώρους (Ellis et al. 2010). Ο κατακερματισμός ουσιαστικά έχει δύο προεκτάσεις, αφενός την δημιουργία μικρότερων και απομονωμένων κατατμημάτων και αφετέρου τη μείωση του συνολικού ποσού ενός τύπου ενδιαιτήματος ( Wilcove et al. 1986).

Ο κατακερματισμός είναι σημαντικός τόσο σε επίπεδο τοπίου όσο και σε επίπεδο κατατμημάτων. Η κλίμακα αυτή είναι σημαντική ώστε να είναι δυνατό να παρατηρηθούν πολλές βιολογικές διεργασίες (Ewers & Didham, 2005). Οι συνέπειες του κατακερματισμού οφείλονται σε διεργασίες ανάμεσα στους πληθυσμούς μέσω της διασποράς, και σε διεργασίες στο εσωτερικό των πληθυσμών, κυρίως μέσω του μεγέθους του πληθυσμού (Μιχελάκη, 2006). Τα αποτελέσματα του



κατακερματισμού και της απώλειας των ενδιαιτημάτων εξαρτώνται από πέντε σημαντικές παραμέτρους του τοπίου (Ewers & Didham, 2005) . Αυτές οι παράμετροι είναι:

1. Το μέγεθος της κατακερματισμένης περιοχής
2. Τα φαινόμενα των άκρων
3. Το σχήμα των κατατμημάτων
4. Η απομόνωση των κατατμημάτων
5. Η ποιότητα του περιβάλλοντος χώρου (matrix)

### **1.3 Μέγεθος κατατμημάτων**

Οι μικρότερου μεγέθους πληθυσμοί είναι πιο ευαίσθητοι στην εξαφάνιση. Τα μικρά κατατμήματα επιβάλουν ένα ανώτατο όριο μεγέθους του πληθυσμού, το οποίο αφήνει τα είδη ευάλωτα στην τοπική εξαφάνιση, ανεξάρτητα από τη σχέση πυκνότητας - περιοχής (Ewers & Didham, 2005). Οι μηχανισμοί που καθορίζουν τη σχέση αυτή μπορούν να χωριστούν σε πέντε κατηγορίες

1. Περιβαλλοντική αβεβαιότητα
2. Δημογραφική στοχαστικότητα
3. Φυσικές καταστροφές
4. Μειωμένη γενετική ποικιλότητα
5. Φαινόμενο Allee

Η δημογραφική στοχαστικότητα μπορεί να οριστεί ως τυχαία διακύμανση των δημογραφικών παραμέτρων ενός πληθυσμού, όπως οι ρυθμοί γέννησης, θανάτου, η αναλογία των δυο φύλων, ακόμα και αν οι μέσοι ρυθμοί γεννήσεων και θανάτων παραμένουν σταθεροί. Η επίδραση της δημογραφικής στοχαστικότητας είναι αντιστρόφως ανάλογη με το μέγεθος του πληθυσμού (Shaffer, 1981).

Το φαινόμενο Allee είναι το κατώτατο όριο μεγέθους πληθυσμού, σε περίπτωση που ξεπεραστεί θα δημιουργηθεί αστάθεια στις κοινωνικές του δομές και θα δεν θα είναι δυνατό να λειτουργήσει (Μιχελάκη, 2006).

Οι διεργασίες αυτές σπάνια δρουν ανεξάρτητα, το καθένα χρησιμοποιεί τα άλλα προκειμένου να μεγεθύνει τα αποτελέσματα που έχει πάνω στην εξαφάνιση (Ewers & Didham, 2005). Όσο μεγαλύτερος γίνεται ένας πληθυσμός, η συσχέτιση μεταξύ περιβαλλοντικής αβεβαιότητας γίνεται όλο και πιο σημαντική σε σχέση με τη γενετική και τη δημογραφική αβεβαιότητα, συνεπώς και με τη διασπορά (Reed, 2003). Η πιθανότητα εξαφάνισης ενός πληθυσμού που ζει σε συνεχές ενδιαίτημα, είναι συχνά μικρότερη από αυτή για πολλούς απομονωμένους πληθυσμούς με την συνολικά ίση φέρουσα ικανότητα (Reed, 2003). Οι O' Grady et al στην έρευνα τους (2004) συμπεραίνουν ότι το μέγεθος του πληθυσμού είναι ο πιο προγνωστικός παράγοντας εξαφάνισης για τα σπονδυλωτά.

#### **1.4 Περιβαλλοντική αβεβαιότητα**

Η υποβάθμιση των ενδιαιτημάτων είναι αυτή που προκαλείται συνήθως από τους ανθρώπους, υπάρχει όμως και η έννοια της περιβαλλοντικής αβεβαιότητας (Robert, 2009). Περιβαλλοντική αβεβαιότητα είναι η διακύμανση των δημογραφικών μεγεθών που οφείλεται στις διακυμάνσεις των περιβαλλοντικών συνθηκών στις οποίες εκτίθεται ο πληθυσμός. Εκφράζεται ως η διασπορά στην αύξηση του πληθυσμού λόγω χρονικών ή χωρικών αλλαγών της ποιότητας του περιβάλλοντος. Ο Reed ορίζει την περιβαλλοντική αβεβαιότητα ως μια ετήσια μεταβολή στην αναπαραγωγή και την επιβίωση που προκύπτει από τις διακυμάνσεις των περιβαλλοντικών συνθηκών. Οι αλλαγές αυτές ,μπορούν να γίνονται «κανονικά», *sensu scricto* ή με τη μορφή καταστροφών, δηλαδή σπάνια επιβλαβή γεγονότα (Robert, 2009).

#### **1.5 Καταστροφές**

Οι καταστροφές είναι ακραίες περιπτώσεις περιβαλλοντικών μεταβολών, όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα. Οι καταστροφές μπορεί να εκτείνονται σε παγκόσμιο ή τοπικό επίπεδο (Reed, 2003). Είναι ευρέως διατυπωμένο (Doxa & Theodorou, 2010), ότι το πληθυσμοί με μικρό μέγεθος ή πυκνότητα οδηγούνται σε μειωμένα επίπεδα επιβίωσης και αναπαραγωγής. Σε τοπικό επίπεδο, οι παράγοντες που επηρεάζουν είναι οι δημογραφικές διακυμάνσεις, η περιβαλλοντική αβεβαιότητα, οι γενετικές διεργασίες και το φαινόμενο Allee σε εσωτερικό επίπεδο και η απώλεια και ο κατακερματισμός του ενδιαιτήματος ως εξωγενής παράγοντες. Σε επίπεδο τοπίου, οι παράγοντες που επηρεάζουν είναι η ικανότητα διασποράς του είδους, η δυναμική εξαφάνισης και επανεποίησης και ο συγχρονισμός, η χωρική δομή, η ποιότητα του περιβάλλοντος χώρου και η απομόνωση των κατατμημάτων (Doxa & Theodorou, 2010). Το ποσοστό των παγκόσμιων καταστροφών απέναντι στις τοπικές είναι ίσο το με της περιβαλλοντικής διακύμανσης (Reed, 2003).

#### **1.6 Περιβάλλον χώρος (Matrix)**

Η έννοια matrix, είναι ο περιβάλλον χώρος μεταξύ των κατατμημάτων και συνήθως ακατάλληλος και αφιλόξενος για τα είδη. Γίνεται ακόμη πιο δυσμενής όταν είναι περιοχή που διαχειρίζεται από ανθρώπους (Theodorou et al., 2009). Η ποιότητα του περιβάλλοντος χώρου είναι πολύ σημαντική για τον προσδιορισμό της αφθονίας και της σύνθεσης των ειδών μέσα στα κατατμήματα. Η διακύμανση στη ποιότητα του ενδιαιτήματος του matrix μπορεί να αυξήσει ή να μειώσει τον πλούτο ειδών μέσα στα κατατμήματα, αυξάνοντας τους πόρους ή την ανταγωνιστικότητα αντίστοιχα (Ewers & Didham, 2005).

### **1.7 Απομόνωση-Διασπορά**

Μια από τις πιο σημαντικές επιπτώσεις του κατακερματισμού είναι η απομόνωση των κατατμημάτων στο χώρο (Ewers & Didham, 2005). Η απομόνωση δεν επιτρέπει την δημογραφική ενίσχυση πληθυσμών με άτομα από γειτονικές περιοχές (Wilcove et al. 1986) και οι ανθρωπογενείς διαταραχές μπορεί να είναι καθοριστικής σημασίας για την επιβίωση του πληθυσμού. Οι συνέπειες της απομόνωσης των κατατμημάτων εξαρτώνται από τη δυνατότητα διασποράς του είδους και από την ποιότητα του περιβάλλοντα χώρου.

Σύμφωνα με τον Fahrig (2003) η απώλεια είναι σοβαρότερος κίνδυνος από τον κατακερματισμό, δεν μπορούμε όμως να εξάγουμε θετικά συμπεράσματα για την επίδραση του κατακερματισμού πάνω στη βιοποικιλότητα. Υπάρχουν όμως μελέτες που δίνουν θετική (Baz & Garcia-Boyer, 1996) ή απουσία συσχέτισης (Brose, 2003; Krauss et al., 2003) συσχέτισης μεταξύ κατακερματισμού και βιοποικιλότητας. Αυτό είναι πιθανό να συμβαίνει διότι διαφορετικά βιολογικά χαρακτηριστικά, όπως το τροφικό επίπεδο, η ικανότητα διασποράς, το μέγεθος του σώματος η ανοχή του στις περιβαλλοντικές παραμέτρους και η σπανιότητα, έχουν διαφορετική ευαισθησία απέναντι στην απομόνωση. Για παράδειγμα είδη με μεγάλο μέγεθος έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία επειδή έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις στο μέγεθος των ενδιαιτημάτων τους (Ewers & Didham, 2005).

Η διασπορά μπορεί να έχει θετικά αποτελέσματα στη μακροχρόνια διατήρηση κατακερματισμένων πληθυσμών (Theodorou et al., 2009) η διαδικασία αυτή λέγεται φαινόμενο διάσωσης (rescue effect). Σύμφωνα με τον Reed (2003) η διασπορά μεταξύ των πληθυσμών μπορεί ως ένα βαθμό να αντισταθμίσει λίγο τις αρνητικές συνέπειες του κατακερματισμού και σε ορισμένες περιπτώσεις έσωσε πληθυσμούς από την εξαφάνιση όταν η αποκατάσταση του περιβάλλοντος χώρου είχε αποτύχει. Ο υψηλός ρυθμός διασποράς φαίνεται να ευνοεί ένα μοντέλο πολλών μικρών πληθυσμών σε σχέση με έναν μεγάλο πληθυσμό με την ίδια συνολική φέρουσα ικανότητα (Robert, 2009). Η απόσταση μεταξύ των κατατμημάτων και η ποιότητα του περιβάλλοντος χώρου matrix σχετίζεται άμεσα με την θνησιμότητα των μεταναστών (Robert, 2009) και κατά συνέπεια με τη διατήρηση του πληθυσμού. Η διατήρηση του είδους σε πολλούς μικρούς πληθυσμούς, έναντι λίγων μεγάλου μεγέθους, εξαρτάτε από την απόσταση μεταξύ των κατατμημάτων και από το ποσοστό επιβίωσης των μεταναστών. Σε μεγαλύτερη απόσταση, μειώνεται το ποσοστό επιβίωσης των ατόμων που μεταναστεύουν. Σε αντίθετη περίπτωση σε matrix με υψηλή ποιότητα, το ποσοστό επιβίωσης αυξάνεται.

### **1.8 Δείκτες εξαφάνισης**

Τα αποτελέσματα του κατακερματισμού, ίσως χρειαστούν κάποιες δεκαετίες για να

διευκρινιστούν. Η συνεργιστική δράση μεταξύ κατακερματισμού και άλλων παραγόντων εξαφάνισης μπορεί να μεγεθύνει την επιβλαβή δράση του κατακερματισμού (Ewers & Didham, 2005).

Για την πρόβλεψη του κινδύνου εξαφάνισης για κατηγοριοποιημένα ήδη, χρησιμοποιούμε απλές παραμέτρους ως δείκτες (IUCN, 2000). Οι δείκτες αυτοί είναι μεταβλητές, όπως το μέγεθος των κατατμημάτων και την απομόνωση (Prugh 2008) ή τον ομομικτικό υποβιβασμό (Reed, 2003), οι οποίοι μας επιτρέπουν να βρούμε κοινές αιτίες εξαφάνισης ανά τον κόσμο και παρά τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των ειδών. Η διασπορά των ειδών χρησιμοποιείται σε διάφορες αναλύσεις ως παράμετρος που επηρεάζει την εξαφάνιση (Reed 2003, Prugh 2008, Robert 2009). Οι πιο προγνωστικοί παράγοντες είναι αυτοί που χρησιμοποιούν τόσο αιτιοκρατικές όσο και στοχαστικές απειλές σχετικά με το μέγεθος του πληθυσμού (O'Grady et al, 2004).

### **1.9 Ανάλυση Βιωσιμότητας πληθυσμών-PVA**

Στην ερευνά αυτή χρησιμοποιούνται τέσσερις παράμετροι-δείκτες. Οι παράμετροι αυτές είναι το μέγεθος του πληθυσμού, ο ρυθμός διασποράς, η επιβίωση των μεταναστών (ως μέτρο της ποιότητα περιβάλλοντα χώρου) και τέλος η περιβαλλοντική αβεβαιότητα που η περιβαλλοντική συσχέτιση ανάμεσα στα ενδιαιτήματα. Τα είδη που έχουν επιλεγεί προσπαθούν να εκπροσωπήσουν ένα παγκόσμιο εύρος της πανίδας. Έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά ώστε να μπορούν οι δείκτες να δώσουν αποτελέσματα παρά τις διαφοροποιήσεις αυτές.

Για την διερεύνηση αυτών γίνεται χρήση του λογισμικού VORTEX. Το VORTEX είναι ένα δομημένο μοντέλο προσομοίωσης πληθυσμών με τη χρήση αναλύσεων βιωσιμότητας πληθυσμών. Το πρόγραμμα αυτό δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να αντιληφθεί τις δημογραφική, περιβαλλοντική και γενετική αβεβαιότητα ή τυχαία γεγονότα στη δυναμική πληθυσμών της άγριας πανίδας (Miller et al. 2005). Οι αναλύσεις βιωσιμότητας πληθυσμών (Population Viability Analysis). χρησιμοποιούν μακροχρόνια και βραχυχρόνια εργαλεία για τη διατήρηση του πληθυσμού. Σε βραχυχρόνιο επίπεδο, έχουν στόχο την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας εξαφάνισης των ειδών (Possingham et al, 1993). Είναι ουσιαστικά η εκτίμηση των πιθανοτήτων εξαφάνισης ενός πληθυσμού, μέσα από αναλύσεις που ενσωματώνουν αναγνωρίσιμες απειλές μέσα σε μοντέλα εξαφάνισης (Lacy et al.,1993) Σε μακροχρόνιο επίπεδο προσπαθούν να διασφαλίσουν το δυναμικό του πληθυσμού σε μία εξελικτική αλλαγή χωρίς εντατική διαχείριση (Possingham et al, 1993). Το VORTEX δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να χρησιμοποιεί αυτές τις παραμέτρους, όπως και την αναλογία των φύλων, τον ρυθμό αναπαραγωγής και τον ομομικτικό υποβιβασμό. Χρησιμοποιώντας αυτά, εξάγει μία συνοπτικά στατιστικά στοιχεία, σχετικά με την ανάπτυξη του πληθυσμού, όπως η πιθανότητα εξαφάνισης, το χρόνο εξαφάνισης το μέσο μέγεθος και τη γενετική ποικιλότητα σε ήδη υπάρχοντες πληθυσμούς (Lacy et al., 1993).

Οι παράμετροι που καθορίζουν την πιθανότητα εξαφάνισης ενός πληθυσμού (περιβαλλοντική, δημογραφική, γενετική αβεβαιότητα και καταστροφές), βρίσκονται για κάθε είδος στις αναλύσεις βιωσιμότητας πληθυσμών. Αυτές περιλαμβάνουν ακόμη το σύνολο των τεχνικών μοντελοποίησης για την πρόβλεψη της πιθανότητας εξαφάνισης (Ewers & Didham, 2005). Στόχος είναι να διευκρινιστεί πόσο οι μεταβλητές που έχουν επιλεγεί μπορούν να προβλέψουν την εξαφάνιση ή όχι των επιλεγμένων ειδών και να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες σε επόμενες αναλύσεις.

## 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 2.1 Επιλογή ειδών

Η έρευνα μας επικεντρώθηκε σε θηλαστικά και πτηνά. Ο κυριότερος λόγος είναι ότι υπάρχει εκτεταμένη βιβλιογραφία για την πληθυσμιακή δυναμική των δύο αυτών ταξινομικών ομάδων. Επίσης, έχει δειχθεί ότι η ανάλυση βιωσιμότητας δίνει ακριβείς εκτιμήσεις για την πιθανότητα εξαφάνισης αυτών των ταξινομικών ομάδων. Για την συλλογή δεδομένων των δημογραφικών στοιχείων των ειδών έγινε βιβλιογραφική αναζήτηση. Οι κύριες πηγές ήταν το Science direct και δικτυακός τόπος της Conservation breeding specialist group, Apple Valley, Minnesota. Οι λέξεις κλειδιά ήταν “Population viability analysis”, “Birds”, “Mammals” “VORTEX”. Στην ιστοσελίδα της Conservation breeding specialist group, Apple Valley, Minnesota υπήρχαν αναλύσεις βιωσιμότητας ενδιαίτηματος και πληθυσμού (Population Viability and Habitat Analysis, PHVA) για θηλαστικά, πουλιά, ερπετά αμφίβια και κάποια φυτά. Εξετάστηκαν 35 είδη τα οποία ήταν πουλιά και θηλαστικά. Επιλέχθηκαν τέσσερα από αυτά. Δύο πουλιά και δύο θηλαστικά. Η επιλογή των ειδών έγινε με βάση την διαφοροποίηση που είχαν τα είδη σε σχέση με τον κύκλο ζωής τους, τον ρυθμό αναπαραγωγής και το έτος πρώτης αναπαραγωγής. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε περίπτωση ήταν τα δημογραφικά στοιχεία των ειδών.

Τα τέσσερα είδη που επιλέχθηκαν ήταν, Asiatic golden cat (*Catopuma temminckii*), Asiatic lion (*Panthera leo persica*), Puerto Rican parrot (*Amazona vittata*) Wild blue crane (*Anthropoides Paradiseus*), κάποια βασικά στοιχεία των ειδών που έχουν ενδιαφέρον για την έρευνα εμφανίζονται στον Πίνακα 1.

**Πίνακας 1:** Βασικά στοιχεία πληθυσμών

| Επιστημονικό όνομα | Κοινό όνομα | Κατάσταση IUCN | Αριθμός πληθυσμών | Αρχικό μέγεθος πληθυσμών | Φέρουσα ικανότητα | Διασπορά | Επιβίωση μεταναστών | Περιβαλλοντική συσχέτιση | Καταστροφές |
|--------------------|-------------|----------------|-------------------|--------------------------|-------------------|----------|---------------------|--------------------------|-------------|
| <i>Amazona</i>     | Puerto      | CR             | 1                 | 250                      | 500               | -        | -                   | 0,5*                     | 1           |

|                             |                    |    |    |                                |                                       |   |   |      |   |
|-----------------------------|--------------------|----|----|--------------------------------|---------------------------------------|---|---|------|---|
| <i>vittata</i>              | Rican Parrot       |    |    |                                |                                       |   |   |      |   |
| <i>Anthropoides</i>         | Wild blue crane    | VU | 3  | 2000, 6000, 12000              | 10000, 12000, 15000                   | - | - | 0,5* | 1 |
| <i>Catopuma temminckii</i>  | Asiatic golden cat | CR | 11 | 2,38,55, 2,6,10, 10,8,4, 45,15 | 15,90,110, 15,55,40, 30,45,20, 90,105 | - | - | 0,15 | 2 |
| <i>Panthera leo persica</i> | Asiatic lion       | CR | 1  | 284                            | 300                                   | - | - | 0,5* | 5 |

Όπου CR= Critically endangered, VU=vulnerable, Οι τιμές με \* δεν είχαν βιβλιογραφικά δεδομένα και έχει μπει η προεπιλεγμένη τιμή του VORTEX.

## 2.2 Λογισμικό

Η εφαρμογή των σεναρίων έγινε με το πρόγραμμα VORTEX 9.18 Stochastic population model. Η χρήση του VORTEX 9.18 (Lacy et al. 2008) γίνεται με σκοπό την αξιολόγηση των επιπτώσεων του κατακερματισμού στη δυναμική των πληθυσμών των επιλεγμένων ειδών. Οι λόγοι που επιλέχθηκε το VORTEX ήταν πολλοί. Αρχικά επιτρέπει τη μοντελοποίηση της αλληλεπίδρασης πολλών στοχαστικών διαδικασιών, όπως η περιβαλλοντική, η δημογραφική αβεβαιότητα και οι φυσικές καταστροφές, συμπεριλαμβάνοντας γενετικές διεργασίες (ομομικτικός υποβιβασμός). Αυτές οι διεργασίες έχουν αποδειχθεί σημαντικές για το προσδιορισμό της βιωσιμότητας κατακερματισμένων πληθυσμών. Έπειτα, έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως σε δημοσιευμένες αναλύσεις βιωσιμότητας πληθυσμών (PVAs). Επιπλέον το κόκκινο βιβλίο κριτηρίων της IUCN, καθορίζεται εν μέρει από μετρικές που απαιτούν μία μορφή ανάλυσης βιωσιμότητας πληθυσμών (IUCN Red List Categories, 2000). Για παράδειγμα, σύμφωνα με τα κριτήρια του Κόκκινου βιβλίου ένα είδος μπορεί να χαρακτηριστεί απειλούμενο με εξαφάνιση εάν «έχει προβλεφθεί ή υπάρχει υποψία μείωσης του πληθυσμού κατά 50% τα επόμενα δέκα χρόνια τριών γενεών» Σε μελλοντικές μελέτες, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα ώστε να δώσουν μια αξιολόγηση για ειδή που πρέπει να διατηρηθούν από τον κατακερματισμό.

Η στατιστική ανάλυση γίνεται με τα προγράμματα R 2.8.1. και SPSS 17. Οι στατιστικές αναλύσεις που έγιναν αναφέρονται αναλυτικά στο κεφάλαιο στατιστική ανάλυση.

## 2.3 Μεταβλητές

Για την ανάπτυξη του μοντέλου επιλέχθηκαν τέσσερις μεταβλητές, τις οποίες χρησιμοποιούμε σαν δείκτες για να συμπεράνουμε αν επηρεάζουν την πορεία εξαφάνισης του μεταληθυσμού. Παρακάτω

γίνεται μία εκτενής ανάλυση του τρόπου με τον οποίο χρησιμοποιήθηκαν η κάθε μία από αυτές τις παράμετροι.

6.  $N_{tot} = 1000$  Αρχικό μέγεθος του μεταπληθυσμού. Είναι σταθερά για όλα τα μοντέλα.
7.  $K_{tot} = 1000$  Το κατώφλι της φέρουσας ικανότητας σύμφωνα με την IUCN (2000) για ευάλωτα (vulnerable) είδη.
8.  $N$  = μέγεθος του πληθυσμού.
9.  $K$  = φέρουσα ικανότητα του πληθυσμού
10.  $n$  = αριθμός των πληθυσμών.
11.  $d$  = ποσοστό διασποράς
12.  $Sd$  = ποσοστό επιβίωσης των ατόμων που μεταναστεύουν
13.  $ec$  = περιβαλλοντική συσχέτιση. Στα είδη (Asiatic lion, Asiatic golden cat και Puerto Rican Parrot) εκφράζεται και μέσω των καταστροφών. Στο Wild blue crane εκφράζεται μόνο μέσω της σχετικής επιλογής στο πρόγραμμα.

### 2.3.1 Αριθμός πληθυσμών- μέγεθος πληθυσμού

Επειδή το μέγεθος του μεταπληθυσμού είναι σταθερό ( $N_{tot}$ ), το μέγεθος των ξεχωριστών πληθυσμών εξαρτάται από τον αριθμό τους. Υποθέτουμε ότι όλοι οι πληθυσμοί έχουν το ίδιο μέγεθος έτσι ώστε το  $N_{tot}$  να είναι πάντα ίσο με χίλια (1000). Οι μεταβλητές παίρνουν τις τιμές όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.

**Πίνακας 2:** Αριθμός πληθυσμών – μέγεθος πληθυσμού- φέρουσα ικανότητα

| <b>n (αριθμός πληθυσμών)</b> | <b>N (μέγεθος κάθε πληθυσμού)</b> | <b>K (φέρουσα ικανότητα)</b> |
|------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| 1                            | 1000                              | 1000                         |
| 2                            | 500                               | 500                          |
| 4                            | 250                               | 250                          |
| 8                            | 125                               | 125                          |
| 10                           | 100                               | 100                          |
| 20                           | 50                                | 50                           |
| 40                           | 25                                | 25                           |

### 2.3.2 Ρυθμός διασποράς

Οι ρυθμοί διασποράς,  $d$  (dispersal) που χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- $d=0$  (απομονωμένοι πληθυσμοί)
- $d=1$  %
- $d=2$  %
- $d=4$  %
- $d=8$  %
- $d=12$  %

Ο ρυθμός διασποράς εκφράζει το ποσοστό των ατόμων που μεταναστεύει από ένα κατάστημα προς τα υπόλοιπα. Όλα τα καταστήματα δέχονται εποίκους με την ίδια πιθανότητα ανεξάρτητα, δηλαδή, της θέσης τους (μοντέλο νήσων). Η πιθανότητα αυτή δίνεται από τη σχέση:

$$D = \frac{d}{n-1}$$

όπου :

D = το ποσοστό που βρίσκεται τελικά σε κάθε πληθυσμό

d = το ποσοστό διασποράς και

n = ο αριθμός των πληθυσμών.

**Πίνακας 3:** Διασπορά μεταξύ των πληθυσμών

| n  | d | 0% | 1%   | 2%   | 4%   | 8%   | 12%  |
|----|---|----|------|------|------|------|------|
| 1  |   | -  | -    | -    | -    | -    | -    |
| 2  |   | 0  | 1    | 2    | 4    | 8    | 12   |
| 4  |   | 0  | 0,33 | 0,67 | 1,33 | 2,67 | 4    |
| 8  |   | 0  | 0,14 | 0,29 | 0,57 | 1,14 | 1,71 |
| 10 |   | 0  | 0,11 | 0,22 | 0,44 | 0,89 | 1,33 |
| 20 |   | 0  | 0,05 | 0,11 | 0,21 | 0,42 | 0,63 |
| 40 |   | 0  | 0,03 | 0,05 | 0,10 | 0,21 | 0,31 |

### 2.3.3 Επιβίωση μεταναστών

Τα ποσοστά επιβίωσης των ατόμων που μετανάστευσαν (Sd), παίρνουν τιμές:

- Sd=90 %
- Sd=80 %
- Sd= 60 %

Η μεταβλητή αυτή χρησιμοποιείται ως μέτρο της ποιότητας του περιβάλλοντα χώρου (matrix). Όσο καλύτερη είναι η ποιότητα του περιβάλλοντα χώρου, τόσο μεγαλύτερη είναι η επιβίωση των μεταναστών.

### 2.3.4. Περιβαλλοντική συσχέτιση

Οι τιμές της περιβαλλοντικής συσχέτισης στα είδη Asiatic lion, Asiatic golden cat και Puerto Rican Parrot εκφράζεται μέσω των καταστροφών, στο είδος Wild blue crane εκφράζεται μόνο μέσω της sensu scrito περιβαλλοντικής συσχέτισης. Σε ένα μεταπληθυσμό, το ποσοστό των γενικών καταστροφών, σε σχέση με των τοπικών, ισούται με τη συσχέτιση της περιβαλλοντικής μεταβολής (Reed 2003). Στην καρτέλα του VORTEX για τις καταστροφές, η συχνότητα της καταστροφής πολλαπλασιάζεται με το ποσοστό περιβαλλοντικής συσχέτισης και ορίζεται ως γενική καταστροφή.



Μια γενική καταστροφή ερμηνεύεται σαν μια η οποία επηρεάζει εξίσου όλους τους πληθυσμούς του μοντέλου.

Ταυτόχρονα ορίζεται και μία ακόμη καταστροφή η οποία πολλαπλασιάζεται με  $(1-ec)$ , η οποία ορίζεται ως τοπική καταστροφή και επηρεάζει έναν τον κάθε πληθυσμό ξεχωριστά. Τα ποσοστά της περιβαλλοντικής συσχέτισης ( $ec$ ), έχουν τις παρακάτω τιμές.

6.  $ec=0$  (δεν υπάρχει περιβαλλοντική συσχέτιση)
7.  $ec=0,4$  (0,4 global, 0,6local)
8.  $ec=0,8$  (0,8 global, 0,2local)

Αν για παράδειγμα η περιβαλλοντική συσχέτιση είναι  $ec=0,4$ , τότε η εξίσωση με την οποία προκύπτει το ποσοστό της παγκόσμιας και της τοπικής καταστροφής είναι:

$$\begin{aligned}Gc &= 0,4 \times c \\Lc &= 1 - (0,4 \times c)\end{aligned}$$

Όπου,

$Gc$  = global catastrophe, ποσοστό παγκόσμιας καταστροφής

$Lc$  = local catastrophe, ποσοστό καταστροφής σε τοπική κλίμακα

$c$  = catastrophe, συνολικό ποσοστό καταστροφής, όπως αναφέρεται στα δεδομένα

## 2.4 Εξαρτημένες μεταβλητές

Θα αξιολογηθούν οι επιπτώσεις του κατακερματισμού στη δυναμική των πληθυσμών, όσων αφορά τους παρακάτω παράγοντες:

- $stoc-r$ : Ο στοχαστικός ρυθμός ανάπτυξης υπολογίζεται κάθε χρόνο της προσομοίωσης πριν από κάθε μείωση του μεγέθους του πληθυσμού, όταν υπερβαίνει τη φέρουσα ικανότητα.
- $PE$ : Η πιθανότητα εξαφάνισης ορίζεται ως η αναλογία των επαναλήψεων που οδηγήθηκε στην εξαφάνιση μετά από μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Η γενετική ποικιλομορφία εκφράζεται μέσα από το VORTEX με δύο μεταβλητές:

- $GeneDiv$ : η μέση αναλογία ετερωζυγωτων ανά γενετικό τόπο που παραμένουν στον πληθυσμό έπειτα από συγκεκριμένη χρονική περίοδο, εκφράζεται ως ένα ποσοστό της αρχικής γενετικής ποικιλότητας του πληθυσμού.
- $AlleN$ : Ο μέσος αριθμός αλληλόμορφων γονιδίων είναι αυτός που παραμένει ενός των υφιστάμενων πληθυσμών. Το VORTEX υποθέτει ότι κατά την αρχική γενιά όλα τα άτομα έχουν δυο διακριτά αλληλομορφα ανά γενετικό τόπο, δηλαδή υπάρχουν  $2 \times N$  διακριτά

αλληλόμορφα σε ένα πληθυσμό  $N$  ατόμων και ετεροζυγωτία ίση με ένα.

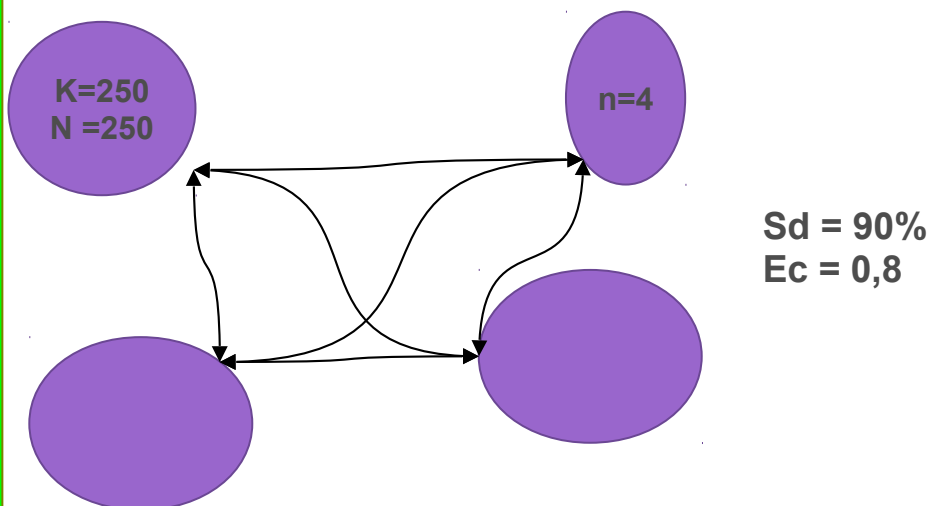
## 2.5 Μοντέλα

Οι προσομοιώσεις ήταν δύο τύπων. Οι βασικές προσημειώσεις και τα σενάρια. Κάθε είδος είχε μία βασική προσομοίωση στην οποία τα στοιχεία χρησιμοποιούνται έτσι ακριβώς όπως δίνονται από τη βιβλιογραφία. Με άξονα τις βασικές προσομοιώσεις δημιουργήθηκαν τα σε σενάρια-μοντέλα. Τα σενάρια αυτά ήταν βασισμένα στις βασικές προσομοιώσεις αλλά στο κάθε ένα άλλαζε μία μεταβλητή.

Οι παράμετροι που δεν χρησιμοποιήσαν πραγματικά στοιχεία ήταν ο αριθμός των ετών της προσομοίωσης και ο αριθμός των επαναλήψεων που έτρεξε το κάθε μοντέλο. Τόσο στις βασικές προσομοιώσεις όσο και στο σενάρια-μοντέλα, ο χρόνος εφαρμογής ήταν εκατό (100) χρόνια και η προσομοίωση επαναλαμβανόταν πεντακόσιες (500) φορές. Η αιτία εξαφάνισης τόσο για τις βασικές προσομοιώσεις όσο και για τα μοντέλα ήταν να απομείνουν άτομα μόνο ενός φύλου. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τις βασικές προσομοιώσεις εμφανίζονται αναλυτικά στο Παράρτημα.


Στο παράδειγμα παρακάτω εμφανίζεται ο τρόπος με το οποίο χτίστηκαν τα σενάρια. Το κάθε μοντέλο αποτελείται από όλες αυτές τις μεταβλητές κάθε ένα όμως διαφοροποιείται σε μία. Για παράδειγμα το σενάριο με όνομα: *n4 d8 sd90 ec0,8* ερμηνεύεται ως εξής:


Υπάρχουν ( $n=4$ ) τέσσερις πληθυσμοί, με αρχικό μέγεθος πληθυσμού ( $N=250$ ) διακόσια πενήντα άτομα. Η φέρουσα ικανότητα ( $K$ ) των πληθυσμών είναι ίση με το αρχικό μέγεθος του πληθυσμού, δηλαδή διακόσια πενήντα άτομα, έτσι ώστε η συνολική φέρουσα ικανότητα να είναι ίση με χίλια (1000). Η διασπορά μεταξύ τους είναι 8%, δηλαδή προς κάθε πληθυσμό μεταναστεύει ποσοστό 2,67. Από τα άτομα που μεταναστεύουν, επιβιώνει και φτάνει σε κάποιον άλλο πληθυσμό το 90%. Η περιβαλλοντική συσχέτιση του συστήματος είναι 80%. Υπάρχει μία γενική καταστροφή η συχνότητα της οποίας είναι πολλαπλασιασμένη με 0,8 και μία τοπική καταστροφή της οποίας συχνότητα είναι πολλαπλασιασμένη με 0,2. Το παράδειγμα απεικονίζεται στο Σχήμα 1.

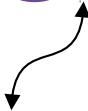


**Σχήμα 1** : Σχηματική απεικόνιση του μοντέλου n4d8Sd90ec0,8

Όπου:

 = Matrix υψηλού επιπέδου

 = καταταμήματα

 = διασπορά

Οι μεταβλητές αυτές είναι οι ίδιες για όλους τους πληθυσμούς αυτού του μοντέλου.

Δημιουργείτε με αυτό τον τρόπο ένα δίκτυο στο οποίο κάθε τιμή μιας μεταβλητής θα βρεθεί στο ίδιο μοντέλο με όλες τις τιμές όλων των υπόλοιπων παραμέτρων για το κάθε είδος. Συνολικά και για τα τέσσερα είδη έτρεξαν 1633 σενάρια.

## 2.6 Στατιστική ανάλυση

Όπως αναφέρεται προηγούμενα, τα μοντέλα ορίστηκαν από τον αριθμό των καταταμημάτων ( $n$ ), το ρυθμό διασποράς ( $d$ ), το ποσοστό επιβίωσης των μεταναστών ( $Sd$ ) και το συγχρονισμό της περιβαλλοντικής αβεβαιότητας μεταξύ των καταταμημάτων ( $ec$ ). Συγκεντρωνόμαστε στις επιπτώσεις τις κάθε παραμέτρου στην πιθανότητα εξαφάνισης, στο στοχαστικό ρυθμό αύξησης, στη γενετική ποικιλότητα και στον μέσο αριθμό των αλληλόμορφων. Οι παράμετροι αυτοί ορίζουν τη διατήρηση των ειδών και κάθε μία από τις εξαρτημένες μεταβλητές. Εκτός από την κάθε παράμετρο ξεχωριστά, εξετάστηκαν επίσης οι επιδράσεις αλληλεπίδρασης μεταξύ των παραμέτρων ( $n*d*Sd*Ec$ ,  $n*d$ ,  $n*Sd$ ,  $n*Ec$ ,  $d*Sd$ ,  $d*Ec$ ,  $Sd*Ec$ ) και τα προσθετικά αποτελέσματα των παραμέτρων ( $n+d+Sd+Ec$ ,  $n+d$ ,  $n+Sd$ ,  $n+Ec$ ,  $d+Sd$ ,  $d+Ec$ ,  $Sd+Ec$ ).

Με τη μέθοδο Shapiro-Wilk, αποδείχτηκε ότι οι τιμές δεν ακολουθούν κανονική κατανομή (Berima, 2009) με τη χρήση του SPSS. Επειδή δεν ακολουθούν κανονική κατανομή, δεν μπορεί να γίνει χρήση γραμμικής παλινδρόμησης. Η στατιστική ανάλυση γίνεται λοιπόν με τη χρήση των γενικευμένων γραμμικών μοντέλων, generalized linear models (GLM) (Hagle et al. 1992).

1. Η πρώτη ανάλυση είναι η ανάλυση της απόκλισης (analysis of deviance, ANODEV). Το συνολικό ποσό της απόκλισης εξηγείται από το  $pseudoR^2$ , αναπαριστώντας την ικανότητα του αριθμού των καταταμημάτων, του ρυθμού διασποράς, του ποσοστού επιβίωσης των μεταναστών και του συγχρονισμού της περιβαλλοντικής συσχέτισης μεταξύ των καταταμημάτων, να προβλέψουν τη διατήρηση των ειδών. Το  $pseudoR^2$  υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση (Prugh

2008), (Hagle et al. 1992):

$$pR^2 = \frac{\text{null deviance} - \text{residual deviance}}{\text{null deviance}}$$

Η μηδενική και η εναπομένουσα απόκλιση είναι ανάλογες με το άθροισμα των τετραγώνων των εκτιμήσεων της γραμμικής παλινδρόμησης. Τα μοντέλα με την υψηλότερη  $pR^2$  είναι αυτά που εξηγούν περισσότερο τη μεταβολή στην πιθανότητα εξαφάνισης, στο στοχαστικής ρυθμό ανάπτυξης, στην γενετική ποικιλότητα και στο μέσο αριθμός των αλληλόμορφων. Παρόλο που το  $pR^2$  δεν έχει όλες τις στατιστικές ιδιότητες των ελαχίστων τετραγώνων, παρέχει ανάλογες εκτιμήσεις καλής εφαρμογής.

2. Για την εύρεση του καλύτερου στατιστικού μοντέλου χρησιμοποιούμε το Akaike Information Criterion (AIC). Τα πιο αντιπροσωπευτικά μοντέλα έχουν χαμηλό AIC. Ο τύπος από το οποίο προκύπτει είναι:

$$-2 \times \log(\text{πιθανότητα}) + 2 \times (\text{αριθμός παραμέτρων})$$

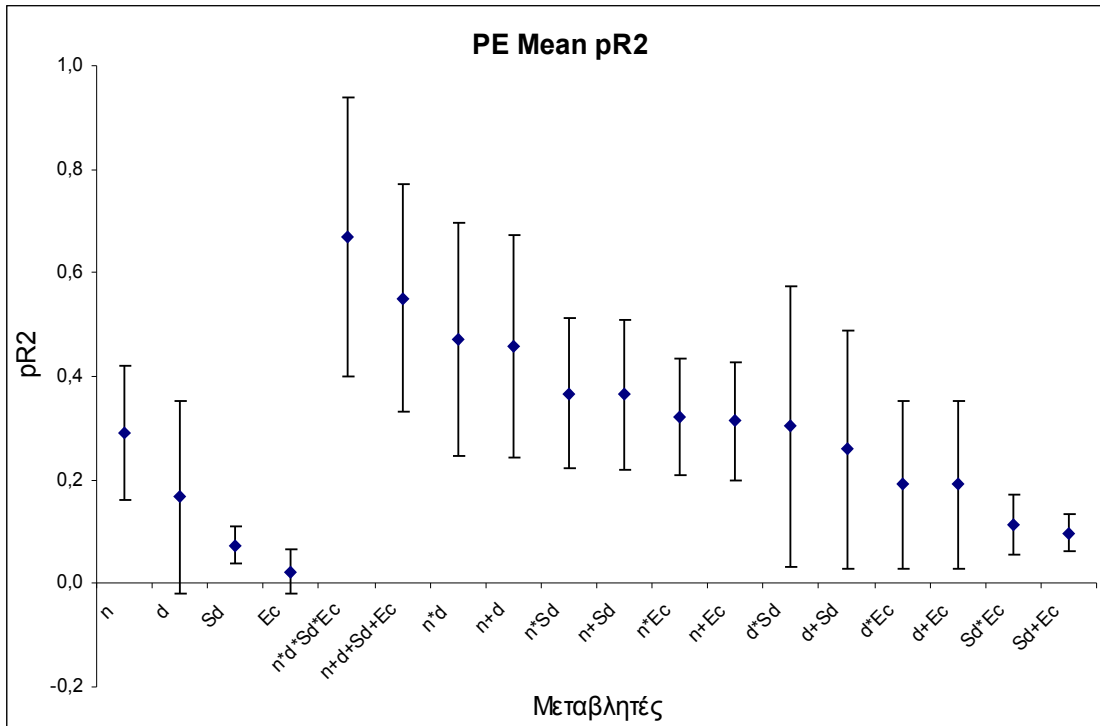
Όπου η πιθανότητα δείχνει το πόσο το μοντέλο μας “ταιριάζει” στα δεδομένα. Άρα όσο μικρότερο είναι τόσο τα εξηγεί καλύτερα. Ο αριθμός των παραμέτρων από την άλλη πρέπει να είναι μικρός ώστε να μην αυξηθεί ο δεύτερος όρος της εξίσωσης. Είναι λοιπόν στόχος με τις λιγότερες δυνατές παραμέτρους να έχουμε τη μεγαλύτερη δυνατή προσαρμογή στα δεδομένα, ώστε το AIC τελικά να είναι μικρό.

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

#### 3.1 Αποτελέσματα στατιστικής ανάλυσης ANODEV

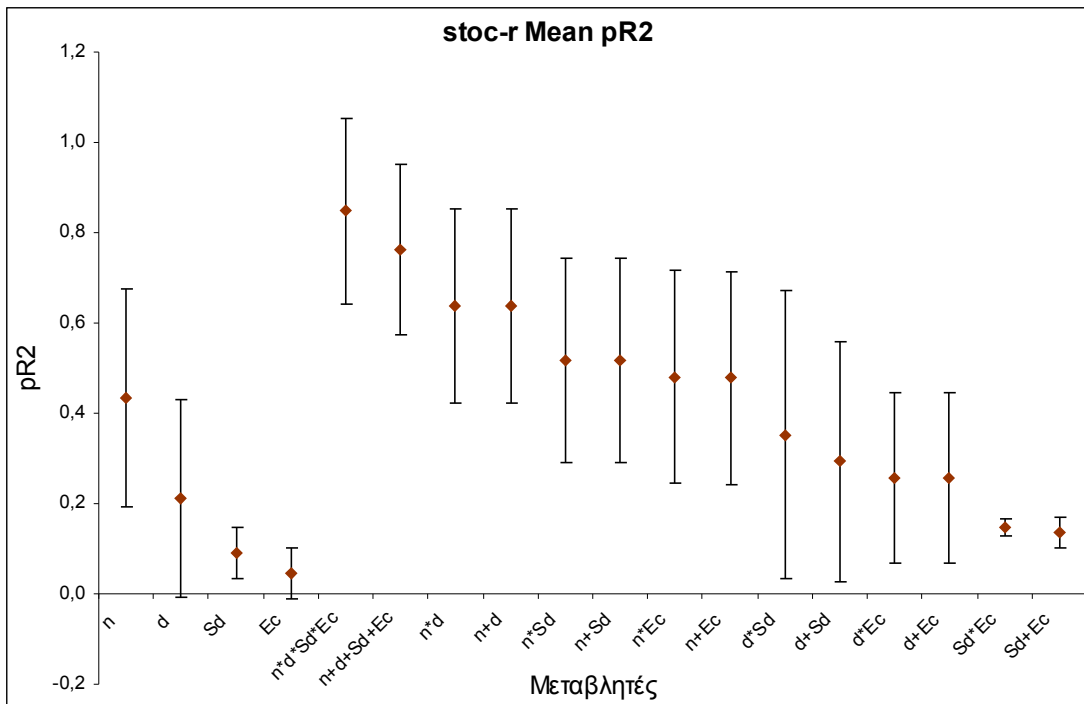
Όπως είναι προφανές από όλα τα γραφήματα παρακάτω (Γράφημα -), όλες οι μεταβλητές επηρεάζονται από τον αριθμό των πληθυσμών - καταταμημάτων ( $n$ ) και κατά συνέπεια από το μέγεθος του πληθυσμού ( $N$ ). Ο αριθμός των πληθυσμών εξηγεί το 29% της διασποράς της πιθανότητας εξαφάνισης, το 43% της διασποράς του στοχαστικού ρυθμού αύξησης, το 43% της διασποράς της γενετικής ποικιλότητας και το 44% της διασποράς στον μέσο αριθμό αλληλόμορφων.. Η δεύτερη ως προς το ποσοστό εξήγησης της διασποράς των εξαρτημένων μεταβλητών είναι ο ρυθμός διασποράς... με τιμές και μετά πάλι με τιμές. Στα μοντέλα με την αλληλεπίδραση πολλών παραγόντων, το μοντέλο συσχέτισης και των τεσσάρων των παραγόντων

ταυτόχρονα ( $n*d*Sd*Ec$ ) είναι αυτό που δίνει το μεγαλύτερο  $pR^2$ . Για το στοχαστικό ρυθμό αύξησης 85% για τον αριθμό των αλληλ όμορφων 82% για τη γενετική ποικιλότητα 68%, για την πιθανότητα εξαφάνισης 67%.



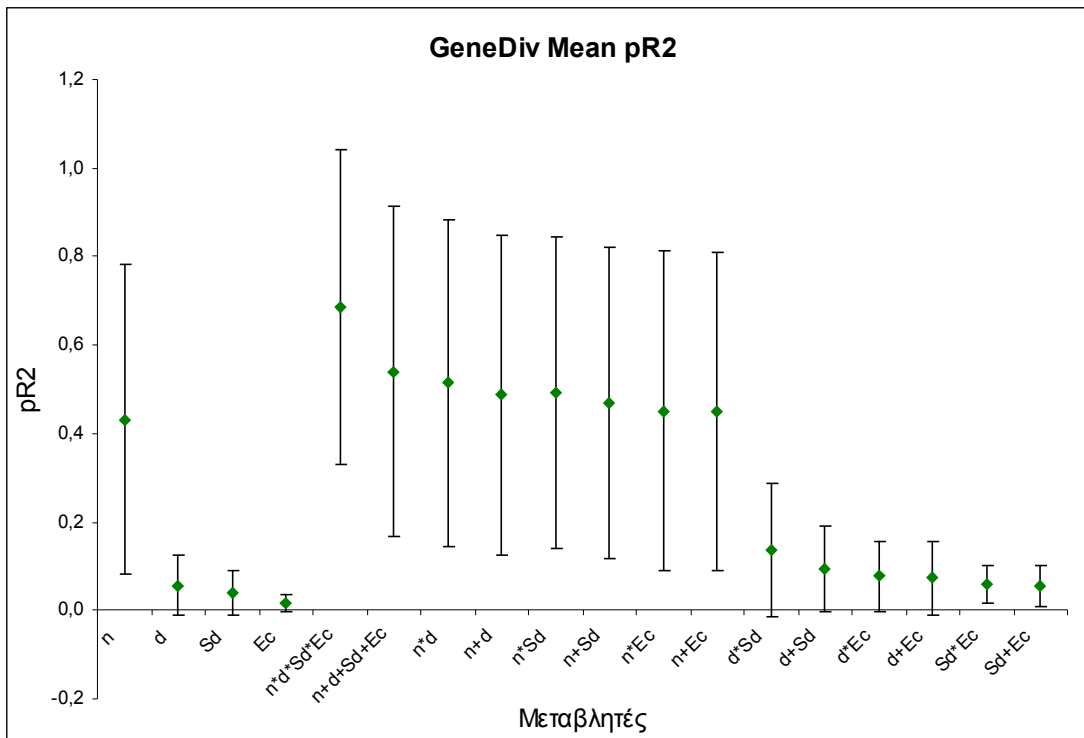
**Γράφημα 1 :** Ποσοστό της διασποράς στη πιθανότητα εξαφάνισης (PE) που εξηγείται από τις επιλεγμένες μεταβλητές καθώς και από τη συνδυαστική δράση τους ( $pR^2$ )κάθε παραμέτρου καθώς και της συνδυαστικής προσθετικής τους δράσης για το πως προβλέπουν την τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής PE

Συγκεκριμένα, στη περίπτωση της πιθανότητας εξαφάνισης, παρατηρούμε μεγάλη  $pR^2$  στο συνολικό μοντέλο συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών. Ο αριθμός των πληθυσμών (n) είναι ο πιο προγνωστικός παράγοντας με ποσοστό 29%. Η συσχέτιση όμως όλων των παραγόντων δίνει υψηλότερη τιμή (67%) σε σχέση με την προσθετική τους δράση (36%) Παρατηρούμε ότι τα ζεύγη μεταβλητών n,Sd,Ec έχουν πολύ κοντινές τιμές στη συσχέτισή τους και στη προσθετική τους δράση, n+Sd (36%), n\*Sd (36%) και n+Ec (32%), n\*Ec(31%) . Αυτή η συμπεριφορά δηλώνει ότι δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των μεταβλητών n και Sd καθώς και Sd με Ec αντίστοιχα. Το ποσοστό διασπορά δίνει χαμηλό ποσοστό  $pR^2$  (17%) με υψηλή τυπική απόκλιση (18%), από την άλλη πλευρά η περιβαλλοντική συσχέτιση με μικρό ποσοστό 4%, έχει αναλογικά μικρή τυπική απόκλιση 0,2.



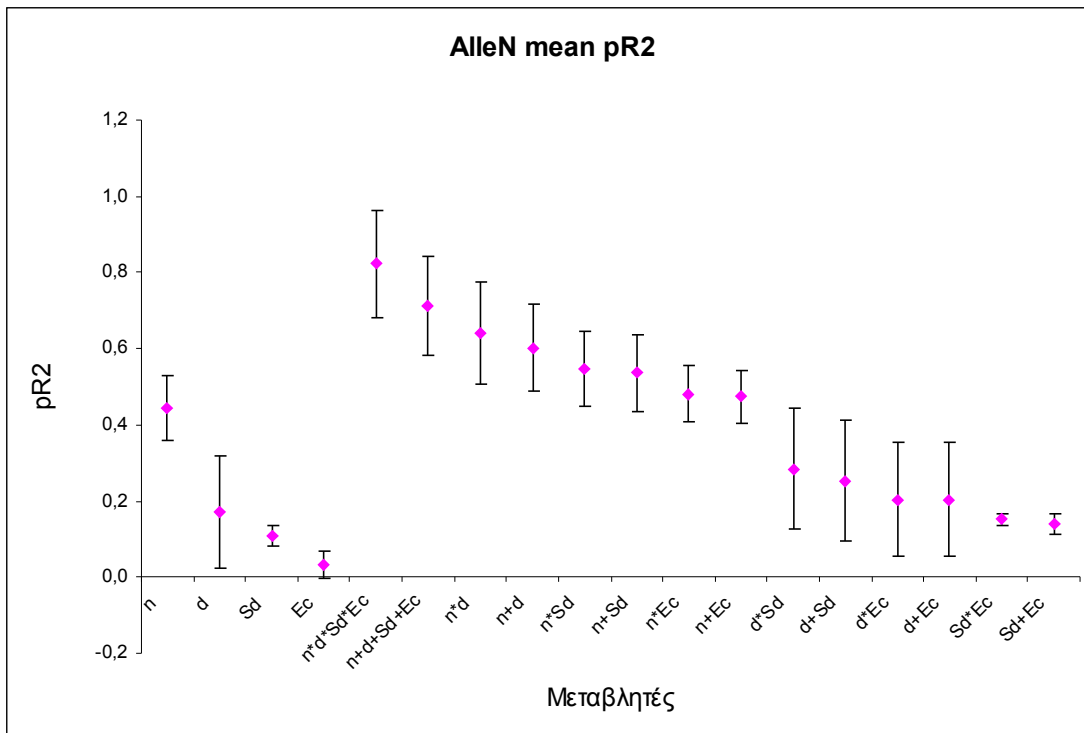
**Γράφημα 2 :** Ποσοστό της διασποράς στον στοχαστικό ρυθμό αύξησης (stoch-r) που εξηγείται από τις επιλεγμένες μεταβλητές καθώς και από τη συνδυαστική δράση τους ( $\text{prR}^2$ )κάθε παραμέτρου καθώς και της συνδυαστικής και προσθετικής τους δράσης για το πως προβλέπουν την τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής stoc-r

Ο στοχαστικός ρυθμός ανάπτυξης περιγράφεται, όπως και όλες οι άλλες μεταβλητές από το μοντέλο συσχέτισης όλων των παραγόντων,  $n*d*Sd*Ec$  (85%). Το ποσοστό που το μοντέλο συσχέτισης περιγράφει το στοχαστικό ρυθμό αύξησης είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο των άλλων μεταβλητών. Όπως παρατηρήθηκε στην περίπτωση της πιθανότητας εξαφάνισης, έτσι και στο στοχαστικό ρυθμό αύξησης, όλα τα ζεύγη συσχέτισης και πρόθεσης παραμέτρων έχουν τα ίδια ποσοστά. Το αποτέλεσμα αυτό φαίνεται ξεκάθαρα στο Γράφημα 2.



**Γράφημα 3 :** Ποσοστό της διασποράς στον στοχαστικό ρυθμό αύξησης (GeneDiv) που εξηγείται από τις επιλεγμένες μεταβλητές καθώς και από τη συνδυαστική δράση τους ( $pR^2$ )κάθε παραμέτρου καθώς και της συνδυαστικής και προσθετικής τους δράσης για το πως προβλέπουν την τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής GeneDiv

Στην περίπτωση της γενετικής ποικιλότητας (Γραφημα), ο αριθμός των κατατημάτων είναι ο κύριος προγνωστικός παράγοντας με μεγάλη διαφορά από τους υπόλοιπους. Όπως αναφέρθηκε στη Μεθοδολογία, ο αριθμός των κατατημάτων καθορίζει και το μέγεθος του πληθυσμού άρα, όσο περισσότεροι - μικρότεροι πληθυσμοί τόσο μικρότερη θα είναι και η γενετική ποικιλότητα.



**Γράφημα 4 :** Ποσοστό της διασποράς στον στοχαστικό ρυθμό αύξησης (AlleN) που εξηγείται από τις επιλεγμένες μεταβλητές καθώς και από τη συνδυαστική δράση τους (pR<sup>2</sup>)κάθε παραμέτρου καθώς και της συνδυαστικής και προσθετικής τους δράσης για το πως προβλέπουν την τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής AlleN

Τον αριθμό των αλληλόμορφων, όπως και τις υπόλοιπες μεταβλητές, μοντέλο που έχει την καλύτερη εφαρμογή στα δεδομένα είναι αυτό της συσχέτισης του αριθμού των πληθυσμών, τη διασπορά, την επιβίωση των μεταναστών και τη περιβαλλοντική συσχέτιση (82%). Στα μοντέλα μίας παραμέτρου ο αριθμός των πληθυσμών (44%) είναι αυτός που εξηγεί περισσότερο τον αριθμό των αλληλόμορφων γονιδίων.

Στα πτηνά η πιθανότητα εξαφάνισης και ο στοχαστικός ρυθμός αύξησης και η πιθανότητα εξαφάνισης εκφράζονται σε μεγαλύτερο ποσοστό από ότι στα θηλαστικά. Συγκεκριμένα, για το μέγεθος των ενδιαιτημάτων των πτηνών η πρόβλεψη είναι 30% ενώ στα θηλαστικά είναι 2%.Ο στοχαστικός ρυθμός αύξησης των πτηνών, στο μοντέλο αλληλεπίδρασης όλων των παραγόντων, είναι 98% ενώ των θηλαστικών στο ίδιο μοντέλο είναι 71%.

Στη περίπτωση της γενετικής ποικιλότητας, τα ποσοστά pR<sup>2</sup> είναι υψηλότερα στα θηλαστικά από τα πτηνά. Στο επικρατέστερο μοντέλο πρόβλεψης, το ποσοστό που εκφράζεται στα θηλαστικά είναι 87% σε σχέση με τα πτηνά που είναι 50%. Ο αριθμός των αλληλόμορφων αν και στο βασικό μοντέλο πρόβλεψης στα πτηνά εκφράζεται κατά 93% και στα θηλαστικά με 72%, σε όλα τα υπόλοιπα μοντέλα πρόβλεψης το μέσο pR<sup>2</sup> είναι σε αντίστοιχα επίπεδα και στις δύο ταξινομικές ομάδες.



### 3.2 Αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης Akaike Information Criterion (AIC)

Το πιο αποτελεσματικά μοντέλα σύμφωνα με το AIC για την κάθε μία από τις μεταβλητές είναι:

$$PE=0,1414+0,0095\times n+0,1155\times d+0,1052\times Sd+0,032\times Ec$$
$$-0,12\times(d\times Sd)-0,043\times(Sd\times d)$$

$$stocr=-0,0141-0,0013\times n-0,0088\times d+0,0307\times Sd+0,0464\times Ec$$
$$+0,0084\times(d\times Sd)+0,0425\times(Sd\times Ec)$$

$$GeneDiv=1,2248-0,0119\times n+0,1018\times d-0,2205\times Sd-1,2830\times Ec$$
$$-0,1204\times(d\times Sd)+1,5340\times(Sd\times Ec)$$

$$AlleN=31,944-1,172\times n-6,2971\times d+33,6654\times Sd+25,6061\times Ec$$
$$+6,3488\times(d\times Sd)-23,088\times(Sd\times Ec)$$

Στο στοχαστικό ρυθμό αύξησης, οι στατιστικά σημαντικοί συντελεστές με εύρος 0,001 είναι αυτοί του αριθμού πληθυσμών, διασποράς, και της συσχέτισης μεταξύ διασποράς και επιβίωσης μεταναστών. Η περιβαλλοντική συσχέτιση είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο 0,01. Η επιβίωση των μεταναστών και η συσχέτισή της με την παράμετρο της περιβαλλοντικής συσχέτισης είναι στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο 0,05. Η πιθανότητα εξαφάνισης έχει στατιστικά σημαντικούς συντελεστές στον αριθμό των πληθυσμών, στη διασπορά και στη συσχέτιση μεταξύ διασποράς και επιβίωσης μεταναστών. Το επίπεδο σημαντικότητας είναι 0,001. Η γενετική ποικιλότητα έχει στατιστικά σημαντικό συντελεστή το μέγεθος του πληθυσμού σε επίπεδο σημαντικότητας 0,001. Ο αριθμός των αλληλόμορφων έχει στατιστικά σημαντικούς συντελεστές τον αριθμό των πληθυσμών, τη διασπορά, την επιβίωση των μεταναστών και τη συσχέτιση διασποράς και επιβίωσης σε επίπεδο 0,001. Η περιβαλλοντική συσχέτιση είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο 0,1.

Τα μοντέλα αυτά δείχνουν τον τρόπο που πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι μεταβλητές ώστε να προβλέψουν την πιθανότητα εξαφάνισης, το ρυθμό αύξησης, τη γενετική ποικιλότητα και τον αριθμό των αλληλόμορφων. Παρατηρούμε ότι όλα τα μοντέλα χρησιμοποιούν όλες τις ανεξάρτητες μεταβλητές. Η συσχέτιση μεταξύ διασποράς και επιβίωσης μεταναστών καθώς και επιβίωσης μεταναστών και περιβαλλοντικής συσχέτισης, περιέχεται σε όλα τα μοντέλα με διαφορετικό συντελεστή ( $d*Sd$ ), ( $Sd*Ec$ ). Ο στοχαστικός ρυθμός αύξησης επηρεάζεται αρνητικά όταν αυξάνεται ο αριθμός των πληθυσμών και ο ρυθμός διασποράς. Είναι καλύτερο για τη διατήρηση του πληθυσμού να έχουμε ένα μοντέλο λίγων ενδιαιτημάτων με μεγάλη φέρουσα ικανότητα παρά πολλών ενδιαιτημάτων με μικρή φέρουσα ικανότητα το καθένα.

#### 4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ –ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα είδη, ώστε να παρατηρηθεί η επίδραση του κατακερματισμού στη βιωσιμότητα των πληθυσμών.

Οι βασικοί στόχοι της έρευνας ήταν να αποδειχθεί αν ο αριθμός των ενδαιτημάτων, η διασπορά, η επιβίωση των μεταναστών και η περιβαλλοντική συσχέτιση μπορούν να προβλέψουν την πιθανότητα εξαφάνισης και τον στοχαστικό ρυθμό αύξησης του πληθυσμού και να διευκρινιστεί αν μπορούν αυτές οι παράμετροι να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες πρόβλεψης σε επόμενες μελέτες.

Στην εισαγωγή είχε γίνει εκτενής αναφορά για το ότι ο κατακερματισμός των ενδαιτημάτων είναι σημαντική αιτία μείωσης της βιοποικιλότητας (Ewers & Didham, 2005). Η πρόταση αυτή αποδεικνύεται και από αυτή την μελέτη. Ο αριθμός των ενδαιτημάτων ήταν η μεταβλητή με τη μεγαλύτερη ικανότητα πρόβλεψης τόσο της δυναμικής του μεταπληθυσμού (πιθανότητα εξαφάνισης και στοχαστικός ρυθμός αύξησης) όσο και της γενετικής ποικιλότητας (ετεροζυγωτία και αριθμός αλληλόμορφων), στα μοντέλα πρόβλεψης ενός παράγοντα.

Με χρήση των αποτελεσμάτων μπορούμε να εξάγουμε διάφορα συμπεράσματα για το πώς λειτουργούν το μέγεθος του πληθυσμού, η διασπορά, η επιβίωση των μεταναστών και η περιβαλλοντική συσχέτιση ως δείκτες εξαφάνισης του πληθυσμού. Φαίνεται μέσα από τις τιμές των γραφημάτων, ο αριθμός των πληθυσμών και η διασπορά να μην έχουν κάποια συσχέτιση και η δράση τους να είναι μόνο προσθετική. Ταυτόχρονα όμως, υπάρχει συσχέτιση στο σύνολο των παραγόντων, απόδειξη είναι ότι αυτό είναι και το επικρατέστερο μοντέλο πρόβλεψης για το στοχαστικό ρυθμό αύξησης, την πιθανότητα εξαφάνισης, τη γενετική ποικιλότητα και τον αριθμό των αλληλόμορφων γονιδίων.

Το μεγάλο ποσοστό πρόβλεψης του μεγέθους του πληθυσμού είναι καλύτερος παράγοντας σε σχέση με τους άλλους επειδή τα τρία από τα είδη που μελετήθηκαν επηρεάζονται από ομομικτικό υποβιβασμό. Φαίνεται έτσι ότι σε κατατμήματα με περιορισμένο αριθμό ατόμων ο ομομικτικός υποβιβασμός έχει σημαντική επίδραση πιθανότητα εξαφάνισης και στο στοχαστικό ρυθμό αύξησης.

Μπορούν να αναγνωριστούν κάποιες αδυναμίες στην έρευνα. Επιλέχθηκαν τέσσερα είδη πάνω στα οποία διερευνήθηκε η λειτουργία των δεικτών εξαφάνισης. Τα είδη αυτά ήταν πουλιά και θηλαστικά με διαφορετικό ρυθμό αναπαραγωγής, θανάτου και γεννήσεων καθώς και διαφορετική ικανότητα διασποράς. Προσπάθεια ήταν παρά τις διαφοροποιήσεις να βρεθεί κοινό μοντέλο πρόβλεψης. Για την εφαρμογή του

μοντέλου έγιναν κάποιες υποθέσεις. Όλοι οι πληθυσμοί είχαν το ίδιο μέγεθος και την ίδια απόσταση μεταξύ τους, γεγονός που δεν συμβαίνει στη φύση. Επίσης δεν μελετήθηκε το φαινόμενο Allee μέσα από τη μεταβλητή density dependence στο VORTEX.

Παρά το γεγονός ότι τα μοντέλα που πραγματοποιήθηκαν ήταν πολλά και το εύρος των τιμών ήταν μεγάλο, δεν μπόρεσαν να αντισταθμίσουν τον μικρό αριθμό των ειδών. Σε αντίστοιχες μελέτες λαμβάνεται αρκετά μεγαλύτερος αριθμός ειδών. Ανιχνεύονται λιγότεροι, (Prugh, 2008) ή και περισσότεροι (O'Grady et al. 2004, Berrima, 2009) παράμετροι. Σε κάθε περίπτωση η απώλεια και ο κατακερματισμός των ενδιαιτημάτων συνεχίζουν να είναι απειλή για τη βιοποικιλότητα (Ewers & Didham, 2005). Καθώς οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν δίνουν καλύτερη πρόβλεψη για την πιθανότητα εξαφάνισης και τον στοχαστικό ρυθμό αύξησης των πτηνών, μπορούν οι δείκτες να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες για έρευνες σχετικά με μεγέθη της δυναμικής των πληθυσμών πτηνών. Στα θηλαστικά οι ίδιοι δείκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόγνωση γενετικών διεργασιών. Η έρευνα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μία προκαταρκτική μελέτη πάνω στην αναζήτηση χαρακτηριστικών δεικτών εξαφάνισης σε θηλαστικά και σε πτηνά ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο αποτέλεσμα διατήρησης της βιοποικιλότητας.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ξενόγλωσση βιβλιογραφία**

1. Ashraf N.V.K., Chellam R., Molur S., Sharma D., Walker S. (1993) Asiatic lion *Panthera leo persica* Population and Habitat Viability Assessment, P.H.V.A. and Global Animal Survival Plan Workshops, Baroda, India
2. Baz, A. & Garcia-Boyero, A. (1995). The effects of forest fragmentation on butterfly communities in central Spain. *Journal of Biogeography* 22, 129–140.
3. Brook, B.W., Tonkyn, D.W., O'Grady, J.J., Frankham, R., 2002. Contribution of inbreeding to extinction risk in threatened species. *Conservation Ecology* 6 (1), 16 [online] URL: Available from <<http://www.consecol.org/vol6/iss1/art16>>. [ Τελευταία επίσκεψη 27/4/2012]
4. Berrima A. (2009) Predictors of extinction risk in fragmented populations. Master 2 BGAE Research project, University of the Aegean, Greece University Montpellier II France
5. Brose, U. (2003). Island biogeography of temporary wetland carabid beetle

- communities. *Journal of Biogeography* 30, 879–888.
6. Doxa A., Theodorou K., Hatzilacou D., Crivelli A., Robert A. (2010), Joint effects of inverse density-dependence and extreme environmental variation on the viability of a social bird species. *Ecoscience* 17. pp 203-215
  7. Ewers R. M., Didham R. K. (2005) Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation *Biol. Rev* 1-26
  8. Ellis E. C., Goldewijk K.K, Siebert S., Lightman D., Ramankutty N. (2010) Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000 *Global Ecology and Biogeography* 19, 589–606
  9. Fahrig L. (2003) Effects of habitat fragmentation on biodiversity *Annual Reviews* 34 pp.487–515
  10. Franklin, A. B., Noon, B. R. & Geogre, T. L. (2002). What is habitat fragmentation? In *Effects of habitat fragmentation on birds in western landscapes: contrasts with paradigms from the eastern United States*. *Studies in Avian Biology* No. 25 (eds. T. L. George and D. S. Dobkin), pp. 20–29. Cooper Ornithological Society.
  11. Hagle, T. M., and G. E. Mitchell. 1992. Goodness-of-Fit Measures for Probit and Logit. *American Journal of Political Science* 36:762-784.
  12. IUCN, 2000. The 2000 IUCN Red List of Threatened Species. Species Survival Commission, IUCN, Gland
  13. Krauss, J., Steffan -Dewenter, I. & Tschardtke, T. (2003). Local species immigration, extinction, and turnover of butterflies in relation to habitat area and habitat isolation. *Oecologia* 137, 591–602.
  14. Lacy R. C., Flesness N. R., and Seal U.S.(1989) Puerto Rican Parrot *Amazona vittata* Population Viability Analysis and Recommendations Captive Breeding Specialist Group/ Species Survival Commission /IUCN
  15. McCann K., Morrison K., Byers A., Miller P., Friedman Y., (2002) Population and Habitat Viability Assessment for the blue crane, *Anthropoides Paradiseus*, Villiersdorp, South Africa
  16. Miller, P.S., and R.C. Lacy. 2005. *VORTEX: A Stochastic Simulation of the Extinction Process*. Version 9.50 User's Manual. Apple Valley, MN: Conservation Breeding Specialist Group (SSC/IUCN).
  17. O'Grady J. J., Reed D. H., Brook B. W, Frankham R. (2004). What are the best correlates of predicted extinction risk? *Biological Conservation* 118 pp. 513–

18. Prugh L. R., Hodges K. E., Sinclair A. R. E., and Brashares J. S (2008) Effect of habitat area and isolation on fragmented animal populations. Apple Valley, MN: Conservation Breeding Specialist Group (SSC/IUCN).
19. Ranta P., Blom, T., Niemela, J., Joensuu, E. & Siitonen, M. (1998). The fragmented Atlantic rain forest of Brazil : size, shape and distribution of forest fragments. *Biodiversity and Conservation* 7, 385–403.
20. Reed D. H. (2004) Extinction risk in fragmented habitats. *Animal Conservation* 7 pp. 181–191
21. Robert A. (2009) The effects of spatially correlated perturbations and habitat configuration on metapopulation persistence, *Oikos* 118 pp 1590\_1600
22. Traylor-Holzer, K., D. Reed, L. Tumbelaka, N. Andayani, C. Yeong, D. Ngoprasert, and P. Duengkae (2005). Asiatic Golden Cat in Thailand Population and Habitat Viability Assessment: Final Report. IUCN/SSC Conservation Breeding Specialist Group, Apple Valley, MN.
23. Theodorou K., Souan H. \_ & Couvet D. (2009) Metapopulation persistence in fragmented landscapes: significant interactions between genetic and demographic processes?
24. Wilcove D.S., McLellan C.H., Dodson A.P.(1986), Habitat fragmentations in the temperate zone. In *Conservation biology. The science of scarcity and diversity*. Pp.237-256. Edited by M.E. Soul & Sinauer Ass, Sunderland

### **Ελληνική βιβλιογραφία**

1. Μιχελάκη Σ. (2006) Βιωσιμότητα πληθυσμών σε ένα κατακερματισμένο τοπίο. Αλληλεπίδραση δημογραφικών και γενετικών διαδικασιών. Μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 4: Βασική προσομοίωση Asiatic Golden Cat (Taylor et al., 2005)

| Parameter                                   | Value  |
|---|--|
| Species Name                                | Asiatic golden cat, <i>Catopuma temminckii</i> |
| Scenario name                               | 1st simulation                                 |
| Num of Iterations                           | 500  |
| Num of years                                | 100  |
| Populations                                 | 11   |
| Inbreeding depression                       | Y  |
| Lethal equivalents                          | 6  |
| EV concordance of reproduction and survival | Y (0,15)                                       |
| Catastrophes                                | 2  |
| Mating system                               | LTP  |
| Female breeding age                         | 2  |
| Male breeding age                           | 3  |
| Max breeding age                            | 13   |
| Max number of broods per year               | 1  |
| Max litter size                             | 4  |
| Sex ratio                                   | 50   |
| Density Dependent Reproduction              | N  |
| %adult female breeding                      | 76   |
| EV in breeding                              | 8,95   |
| Use Normal distribution approximat          | N  |
| 1 offspring                                 | 40   |
| 2 offspring                                 | 35   |
| 3 offspring                                 | 20   |
| 4 offspring                                 | 5  |
| F Mortality 0                               | 46,6   |
| EV  | 16,75  |
| F Mortality 1                               | 20,55  |
| EV  | 13,7   |
| F Mortality Adult                           | 17,5   |
| EV  | 7,7  |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| M Mortality 0              | 46,6  |
| EV                         | 16,75 |
| M Mortality 1              | 20,55 |
| EV                         | 13,7  |
| M Mortality 2              | 17,5  |
| EV                         | 7,7   |
| M Mortality Adult          | 17,5  |
| EV                         | 7,7   |
| Males in breeding pool     | 100   |
| Stable age distribution    | Y     |
| Initial Population Size 1  | 2     |
| Initial Population Size 2  | 38    |
| Initial Population Size 3  | 55    |
| Initial Population Size 4  | 2     |
| Initial Population Size 5  | 6     |
| Initial Population Size 6  | 10    |
| Initial Population Size 7  | 10    |
| Initial Population Size 8  | 8     |
| Initial Population Size 9  | 4     |
| Initial Population Size 10 | 45    |
| Initial Population Size 11 | 15    |
| Carrying capacity K 1      | 15    |
| EV                         | 0     |
| Carrying capacity K 2      | 90    |
| EV                         | 0     |
| Carrying capacity K 3      | 110   |
| EV                         | 0     |
| Carrying capacity K 4      | 15    |
| EV                         | 0     |
| Carrying capacity K 5      | 55    |
| EV                         | 0     |
| Carrying capacity K 6      | 40    |
| EV                         | 0     |
| Carrying capacity K 7      | 30    |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| EV                     | 0   |
| Carrying capacity K 8  | 45  |
| EV                     | 0   |
| Carrying capacity K 9  | 20  |
| EV                     | 0   |
| Carrying capacity K 10 | 90  |
| EV                     | 0   |
| Carrying capacity K 11 | 105 |
| EV                     | 0   |
| Change in K            | N   |
| Harvest                | N   |
| Supplement             | N   |
| Other simulation       | N   |

**Πίνακας 5 :**Βασική προσομοίωση Asiatic lion (Ashraf et al.)

| <b>Παράμετρος</b>                           | <b>Τιμή</b>                               |
|---|---|
| Species name                                | Asiatic lion, <i>Panthera leo persica</i> |
| Scenario name                               | 1 <sup>st</sup> simulation                |
| Number of iterations                        | 500                                       |
| Number of years                             | 100                                       |
| Populations                                 | 1   |
| Inbreeding depression                       | Y   |
| Lethal equivalents                          | 3,14                                      |
| Percent due to recessive lethals            | 50  |
| EV concordance of reproduction and survival | Y   |
| Catastrophes                                | 5   |
| Mating system                               | Polygynous                                |
| Female breeding age                         | 4   |
| Male breeding age                           | 5   |
| Max breeding age                            | 15  |
| Max number of broods per year               | 1   |
| Max litter size                             | 5   |
| Sex ratio                                   | 38  |
| Density Dependent Reproduction              | N   |



|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| % adult female breeding               | 40   |
| EV in breeding                        | 12,5 |
| Use Normal distribution approximation | N    |
| 1 offspring                           | 20   |
| 2 offspring                           | 37,5 |
| 3 offspring                           | 25   |
| 4 offspring                           | 15   |
| Female mortality 0                    | 50   |
| EV in mortality 0                     | 33,3 |
| Female mortality 1                    | 10   |
| EV in mortality 1                     | 3    |
| Female mortality 2                    | 10   |
| EV in mortality 2                     | 3    |
| Female mortality 3                    | 10   |
| EV in mortality 3                     | 3    |
| Female mortality adult                | 10   |
| EV in mortality adult                 | 3    |
| Male mortality 0                      | 50   |
| EV in mortality 0                     | 33,3 |
| Male mortality 1                      | 10   |
| EV in mortality 1                     | 3    |
| Male mortality 2                      | 10   |
| EV in mortality 2                     | 3    |
| Male mortality 3                      | 10   |
| EV in mortality 3                     | 3    |
| Male mortality 4                      | 10   |
| EV in mortality 4                     | 3    |
| Male mortality adult                  | 10   |
| Male mortality adult                  | 3    |
| Frequency of catastrophe 1            | 1    |
| Severity reproduction                 | 1    |
| Severity survival                     | 0,68 |
| Frequency of catastrophe 2            | 1    |
| Severity reproduction                 | 1    |
| Severity survival                     | 1    |

|                            |      |
|----------------------------|------|
| Frequency of catastrophe 3 | 1    |
| Severity reproduction      | 1    |
| Severity survival          | 0,38 |
| Frequency of catastrophe 4 | 1    |
| Severity reproduction      | 1    |
| Severity survival          | 0,23 |
| Frequency of catastrophe 5 | 1    |
| Severity reproduction      | 1    |
| Severity survival          | 0,07 |
| Males in breeding pool     | 50   |
| Stable age distribution    | Y    |
| Initial population size    | 284  |
| Carrying capacity          | 300  |
| EV in carrying capacity    | 0    |
| Future change in K         | N    |
| Harvest                    | N    |
| Supplement                 | N    |
| Other simulation           | N    |

**Πίνακας 6:** Βασική προσομοίωση Puerto rican parrot (Brook et al., 2002)

| <b>Παράμετρος</b>                           | <b>Τιμή</b>                                 |
|---|---|
| Species name                                | Puerto rican parrot, <i>Amazona vittata</i> |
| Scenario name                               | 1 <sup>st</sup> simulation                  |
| Number of iterations                        | 500   |
| Number of years                             | 100   |
| Populations                                 | 1   |
| Inbreeding depression                       | Y   |
| Lethal equivalents                          | 3,14  |
| Percent due to recessive lethals            | 50  |
| EV concordance of reproduction and survival | Y   |
| Catastrophes                                | 1   |
| Mating system                               | Monogamous                                  |
| Female breeding age                         | 4   |
| Male breeding age                           | 4   |

|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| Max breeding age                      | 15   |
| Max number of broods per year         | 1    |
| Max litter size                       | 5    |
| Sex ratio                             | 50   |
| Density Dependent Reproduction        | N    |
| % adult female breeding               | 30,7 |
| EV in breeding                        | 0    |
| Use Normal distribution approximation | N    |
| 1 offspring                           | 29,6 |
| 2 offspring                           | 26   |
| 3 offspring                           | 37,1 |
| 4 offspring                           | 3,7  |
| 5 offspring                           | 3,6  |
| Female mortality 0                    | 32,5 |
| EV in mortality 0                     | 3,3  |
| Female mortality 1                    | 15,2 |
| EV in mortality 1                     | 1,5  |
| Female mortality 2                    | 15,2 |
| EV in mortality 2                     | 1,5  |
| Female mortality 3                    | 15,2 |
| EV in mortality 3                     | 1,5  |
| Female mortality adult                | 8,7  |
| EV in mortality adult                 | 0,9  |
| Male mortality 0                      | 32,5 |
| EV in mortality 0                     | 3,3  |
| Male mortality 1                      | 15,2 |
| EV in mortality 1                     | 1,5  |
| Male mortality 2                      | 15,2 |
| EV in mortality 2                     | 1,5  |
| Male mortality 3                      | 15,2 |
| EV in mortality 3                     | 1,5  |
| Male mortality adult                  | 8,7  |
| Male mortality adult                  | 0,9  |
| Frequency of catastrophe 1            | 3    |
| Severity reproduction                 | 0    |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| Severity survival       | 0,5 |
| Males in breeding pool  | 100 |
| Stable age distribution | Y   |
| Initial population size | 250 |
| Carrying capacity       | 500 |
| EV in carrying capacity | 0   |
| Future change in K      | N   |
| Harvest                 | N   |
| Supplement              | N   |
| Other simulation        | N   |

**Πίνακας 7:** Βασική προσομοίωση Wild blue crane(McCann et al. )

| <b>Παράμετρος</b>                           | <b>Τιμή</b>                                     |
|---|---|
| Species name                                | Wild blue crane, <i>Anthropoides Paradiseus</i> |
| Scenario name                               | 1 <sup>st</sup> simulation                      |
| Number of iterations                        | 500   |
| Number of years                             | 100   |
| Populations                                 | 1   |
| Inbreeding depression                       | N   |
| Lethal equivalents                          | -   |
| Percent due to recessive lethals            | Y   |
| EV concordance of reproduction and survival | Y   |
| Catastrophes                                | 0   |
| Mating system                               | Monogamous                                      |
| Female breeding age                         | 4   |
| Male breeding age                           | 4   |
| Max breeding age                            | 25  |
| Max number of broods per year               | 1   |
| Max litter size                             | 2   |
| Sex ratio                                   | 50  |
| Density Dependent Reproduction              | Y   |
| Breeding at P(0)                            | 50  |

|                                       |                               |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| Breeding at P(K)                      | 50                            |
| Allee Parameter A                     | 1                             |
| Steepness Parameter, B                | 2                             |
| % adult female breeding               | Υπολογίζεται από το πρόγραμμα |
| EV in breeding                        | 12,5                          |
| Use Normal distribution approximation | Y                             |
| 1 offspring                           | 87                            |
| 2 offspring                           | 13                            |
| Female mortality 0                    | 70                            |
| EV in mortality 0                     | 10                            |
| Female mortality 1                    | 10                            |
| EV in mortality 1                     | 3                             |
| Female mortality 2                    | 10                            |
| EV in mortality 2                     | 3                             |
| Female mortality 3                    | 10                            |
| EV in mortality 3                     | 3                             |
| Female mortality adult                | 5                             |
| EV in mortality adult                 | 3                             |
| Male mortality 0                      | 70                            |
| EV in mortality 0                     | 10                            |
| Male mortality 1                      | 10                            |
| EV in mortality 1                     | 3                             |
| Male mortality 2                      | 10                            |
| EV in mortality 2                     | 3                             |
| Male mortality 3                      | 10                            |
| EV in mortality 3                     | 3                             |
| Male mortality adult                  | 5                             |
| Male mortality adult                  | 3                             |
| Males in breeding pool                | 100                           |
| Stable age distribution               | Y                             |
| Initial population size               | 2000, 6000,12000              |
| Carrying capacity                     | 10000,12000,15000             |
| EV in carrying capacity               | 0                             |
| Future change in K                    | Y                             |
| How many years                        | 5                             |

|                   |                            |
|-------------------|----------------------------|
| % annual increase | -2,5 (στον πρώτο πληθυσμό) |
| Harvest           | N                          |
| Supplement        | N                          |
| Other simulation  | N                          |

