



Πανεπιστήμιο  
Αιγαίου

Ανοικτά  
Ακαδημαϊκά  
Μαθήματα



# Δίνη εξαφάνισης και ανάλυση βιωσιμότητας πληθυσμών

## 2. Δείκτες εξαφάνισης και ανάλυση βιωσιμότητας

Κώστας Θεοδώρου, Επίκουρος Καθηγητής  
Τμήμα Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου

# Άδειες Χρήσης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, διαγράμματα, κείμενα, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα. Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.



Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

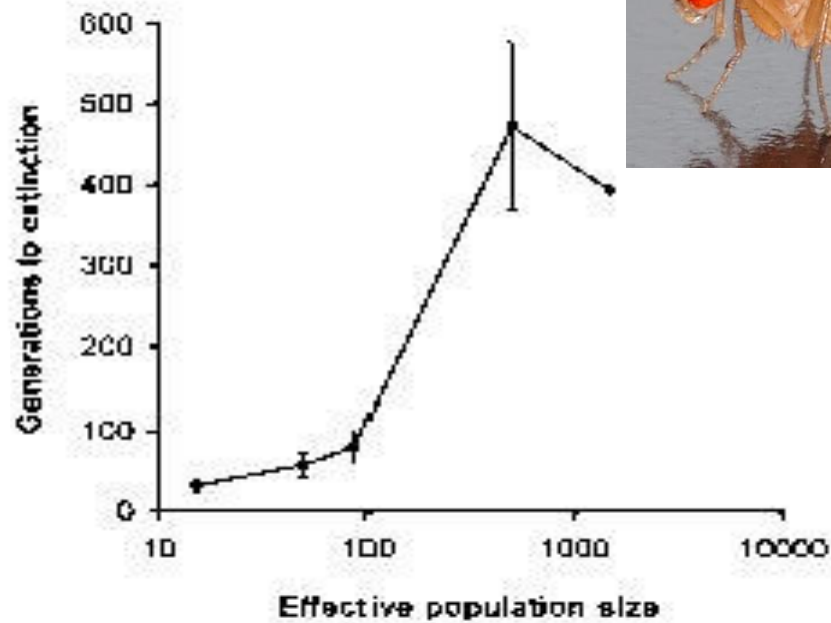


# Γενετικές διεργασίες

- Πειράματα πάνω στη μύγα *Drosophila melanogaster*

(Reed & Bryant, (2000), Animal Conservation 3, pp. 7 – 14)

## Μέσος χρόνος εξαφάνισης (σε γενιές)



Μέγεθος πληθυσμού

## Δείκτες εξαφάνισης

---

**Σημαντική ερώτηση:**

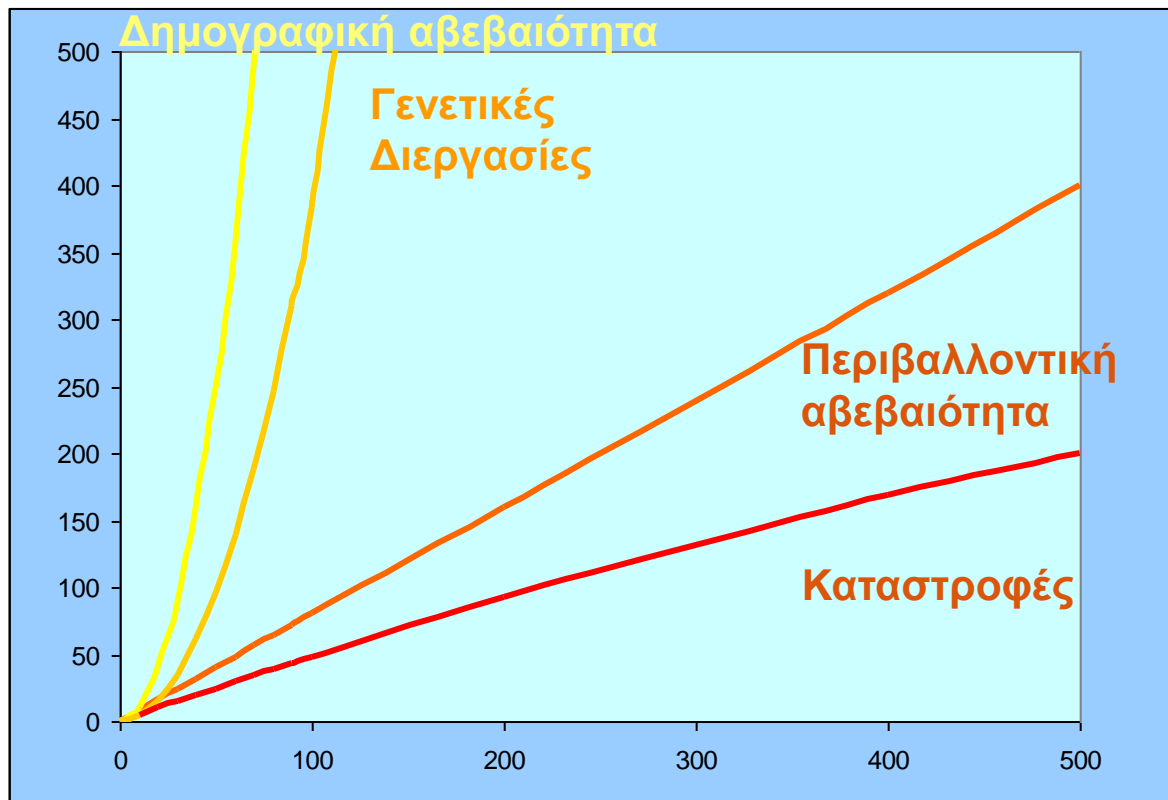
**Ποιος δείκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει την πιθανότητα εξαφάνισης;**

**Παρατήρηση:**

**Οι δείκτες χρησιμοποιούνται στη Διατήρηση για να θέσουμε προτεραιότητες**

# Δείκτες εξαφάνισης – Το μέγεθος του πληθυσμού

## Μέσος χρόνος εξαφάνισης

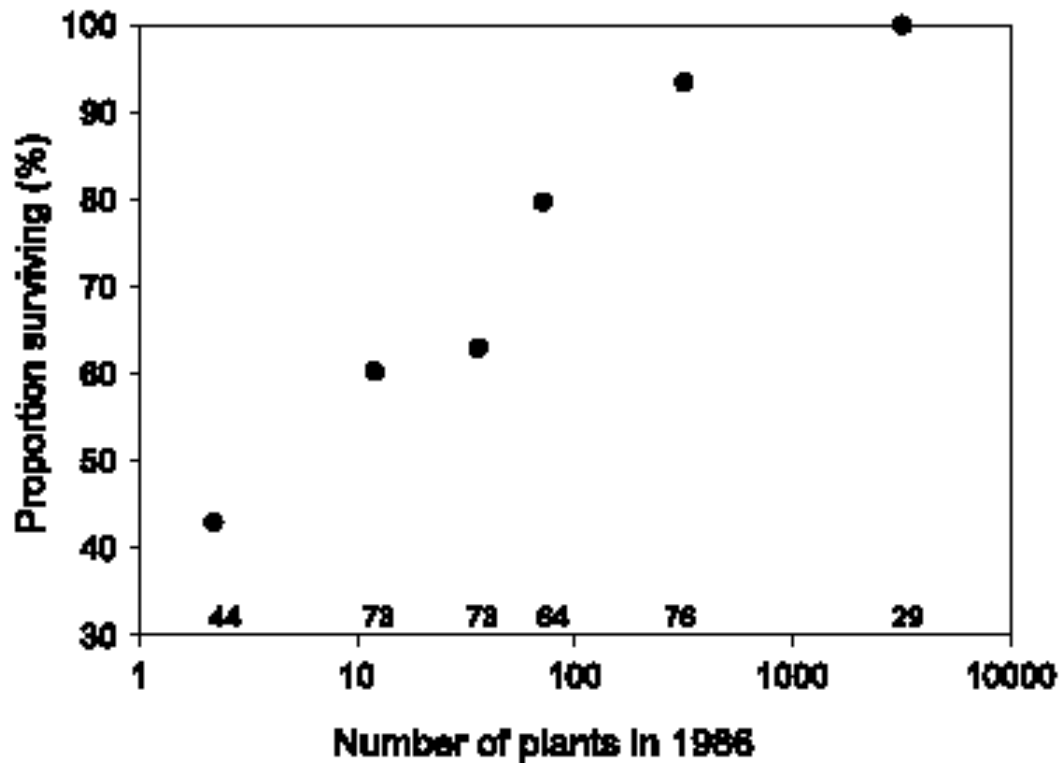


Μέγεθος πληθυσμού

# Δείκτες εξαφάνισης – Το μέγεθος του πληθυσμού

Μελέτη σε 359 πληθυσμούς 8 απειλούμενων ειδών φυτών (Γερμανία)

Ποσοστό πληθυσμών που επιβίωσαν στο διάστημα 1986-1996



Αριθμός ατόμων / πληθυσμό το 1986

# Δείκτες εξαφάνισης – Το μέγεθος του πληθυσμού

---

Συμπέρασμα:

Οι μικροί πληθυσμοί έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα εξαφάνισης



Ελάχιστο βιώσιμο μέγεθος (MVP):

Το ελάχιστο μέγεθος που εξασφαλίζει τη βιωσιμότητα του πληθυσμού

Προσοχή – Εμείς ορίζουμε:

- Την πιθανότητα εξαφάνισης – κατώφλι (π.χ.  $p < 0.05$ )
- Το χρονικό ορίζοντα (π.χ. 100 γενιές ή 100 χρόνια)



## Δείκτες εξαφάνισης – Ελάχιστο βιώσιμο μέγεθος

Μελέτη σε 359 πληθυσμούς 8 απειλούμενων ειδών φυτών (Γερμανία)

Μέγεθος πληθυσμού που εγγυάται 90% πιθανότητα επιβίωσης ( $N_{90\%}$ )

Species	$N_{90\%}$
<i>Lepidium campestre</i>	71
<i>Melampyrum nemorosum</i>	121
<i>Gentianella germanica</i>	749
<i>Rhinanthus serotinus</i>	197
<i>Gentianella ciliata</i>	291
<i>Melampyrum arvense</i>	1276
<i>Thlaspi perfoliatum</i>	245
<i>Rhinanthus minor</i>	

# Δείκτες εξαφάνισης – Το μέγεθος του πληθυσμού

Μέγεθος εξαφανισμένων και βιώσιμων πληθυσμών θηλαστικών σε εθνικά πάρκα της ΒΔ Αμερικής



	Εξαφανισμένοι (διάμεσος)	Βιώσιμοι (διάμεσος)
Λαγόμορφα	3276	70889

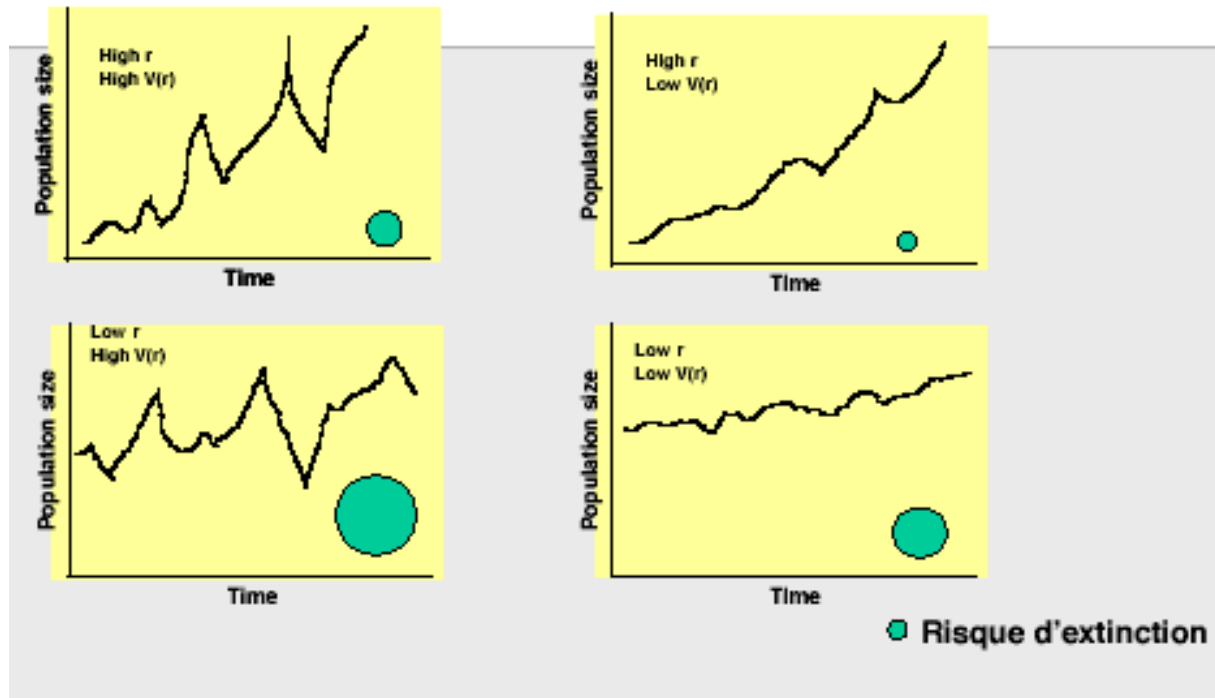


Αρτιοδάκτυλα	241	792
Μικρά θηλαστικά	256	1203
Μεγάλα θηλαστικά	24	108



# Δείκτες εξαφάνισης – Ρυθμός αύξησης

Ρυθμός αύξησης,  $r$ , και διασπορά του  $r$ ,  $var(r)$



Σχόλιο 1: Ο ρυθμός αύξησης εξαρτάται από τις δημογραφικές παραμέτρους

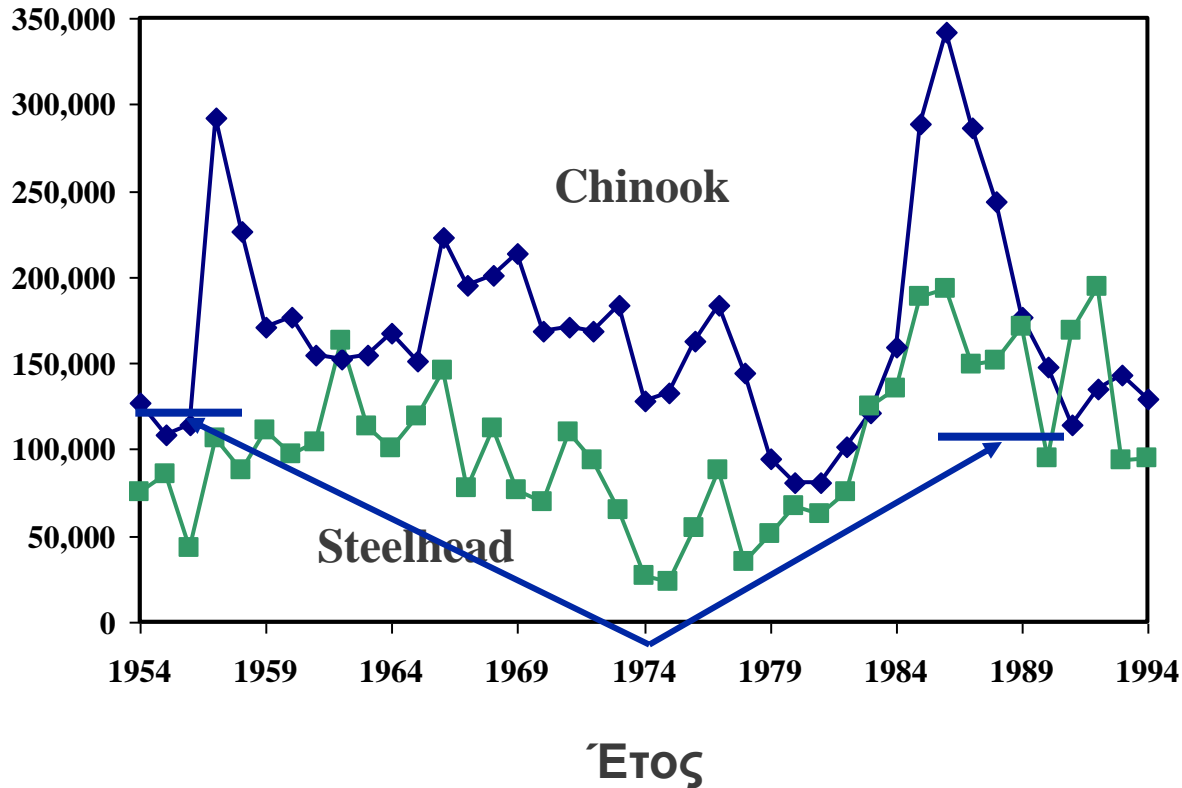


Ανάλυση ελαστικότητας για να βρούμε τη δημογραφική παράμετρο που εξηγεί καλύτερα την πιθανότητα εξαφάνισης

# Δείκτες εξαφάνισης – Ρυθμός αύξησης

Ρυθμός αύξησης,  $r$ , και διασπορά του  $r$ ,  $var(r)$

Μέγεθος Πληθυσμού



Σχόλιο 2: Η πρόβλεψη της δημογραφικής τάσης του πληθυσμού μπορεί να είναι παραπλανητική όταν βασίζεται σε μικρή περίοδο μελέτης

# Δείκτες εξαφάνισης

## Προτεινόμενοι δείκτες για την πρόβλεψη των εξαφανίσεων:

Table 2  
The parameters measured for the taxa and their originating system

Parameter	Originating system <sup>a</sup>
Change in population size	IUCN
Ecological specialization	FG&FFC
Fluctuation in population size (CV)	IUCN
Fragmentation into sub-populations	IUCN
Generation length	IUCN
Genetic uniqueness of taxon	FG&FFC
Immediacy of threat	NS
Legal protection	FG&FFC
Magnitude of threat	NS
Minimum age at which females first reproduce	FG&FFC
Number of offspring/breeding female/year	FG&FFC
Percentage of taxon in reserves	NS
Population size (mature individuals)	IUCN
Range size (area of occupancy)	IUCN
Range reduction (rate of change)	IUCN
Taxonomic level	FG&FFC

<sup>a</sup>Abbreviations: IUCN = 2000 IUCN Red List Categorisation System; FG&FFC = Florida Game and Freshwater Fish Commission's system; NS = NatureServe system.

# Δείκτες εξαφάνισης

Προτεινόμενοι δείκτες για την πρόβλεψη των εξαφανίσεων:

- 45 τάξα θηλαστικών και πτηνών
- Στοχαστική ανάλυση βιωσιμότητας
- Υπολογισμός του διάμεσου χρόνου εξαφάνισης

Table 4

Multiple regression analyses, using forward stepwise selection, of the relationship between median time to extinction in generations and 16 frequently used variables thought to reflect extinction risk with: analysis of variance – an additive model (Panel a), and the best supported model with both additive and interaction terms (Panel b)

Source	d.f.	SS	MS	F	r <sup>2</sup> (%)
<i>Panel a: Additive model</i>					
Regression	2	19.33	9.67	14.09***	40.2
Residual error	42	28.81	0.69		
<i>N</i>	1	11.45			23.8
Trend	1	7.88			16.4
<i>Panel b: Best supported regression model with additive and interaction terms</i>					
Regression	6	33.57	5.59	14.58***	69.7
Residual error	38	14.58	0.38		
<i>N</i>	1	11.45			23.8
<i>N</i> × trend	1	8.12			16.9
Taxonomic level	1	2.19			4.5
Frag × <i>N</i> × trend	1	1.98			4.1
# offspring	1	1.91			4.0
<i>N</i> × # offspring	1	7.91			16.4

\*\*\*  $p < 0.001$ .

➤ Στους μικρούς πληθυσμούς ( $N \leq 100$ ) ο ρυθμός αύξησης έχει χαμηλή επίδραση

# Ανάλυση βιωσιμότητας των πληθυσμών

---

## **Ορισμός:**

Εκτίμηση της πιθανότητας εξαφάνισης σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα

## **Σκοποί:**

- Ελαχιστοποίηση της πιθανότητας εξαφάνισης (βραχυπρόθεσμος)
- Διατήρηση του εξελικτικού δυναμικού (μακροπρόθεσμος)

## **Διαχείριση απειλούμενων πληθυσμών:**

- Σχεδιασμός έρευνας και συλλογής δεδομένων
- Ιεράρχηση διαχειριστικών μέτρων

# Ανάλυση βιωσιμότητας των πληθυσμών

---

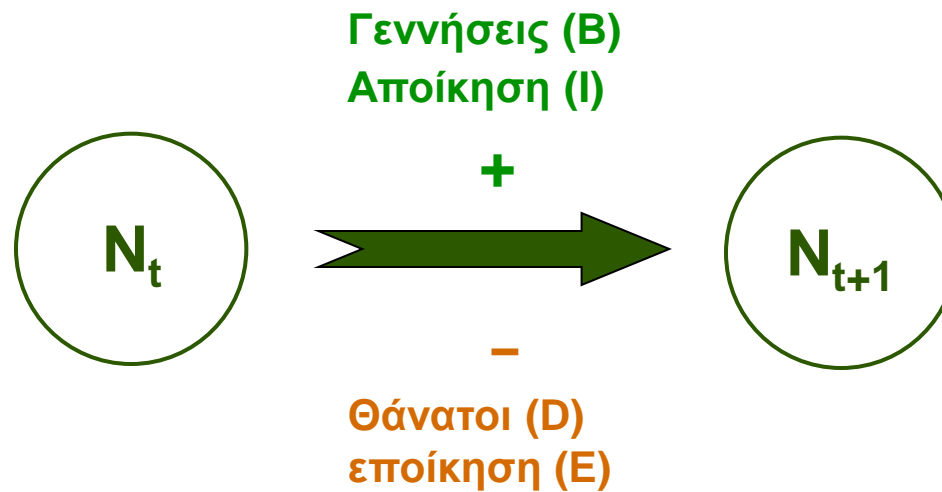
## Προσεγγίσεις μοντελοποίησης:

- Ντετερμινιστική ανάλυση ενός μοναδικού πληθυσμού
- Στοχαστική ανάλυση ενός μοναδικού πληθυσμού
- Μεταπληθυσμιακή ανάλυση



# Δυναμική πληθυσμών

---

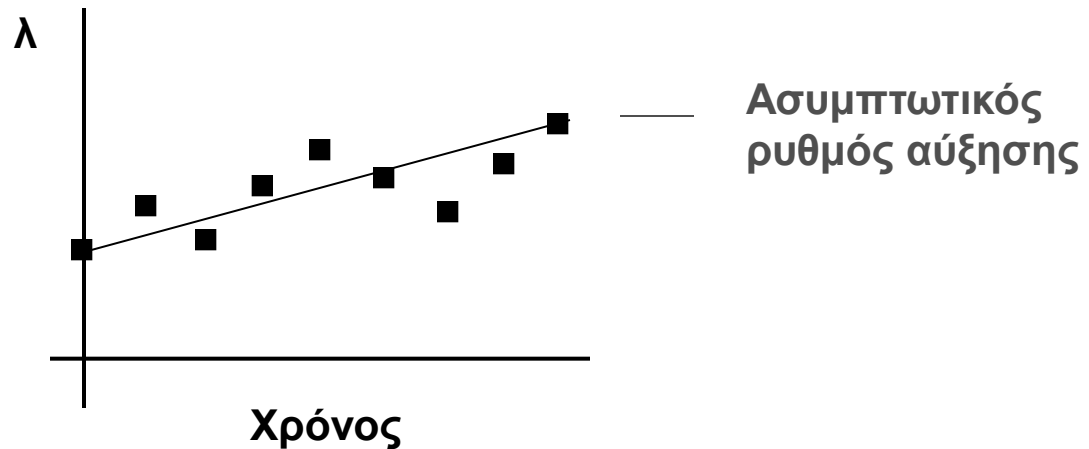
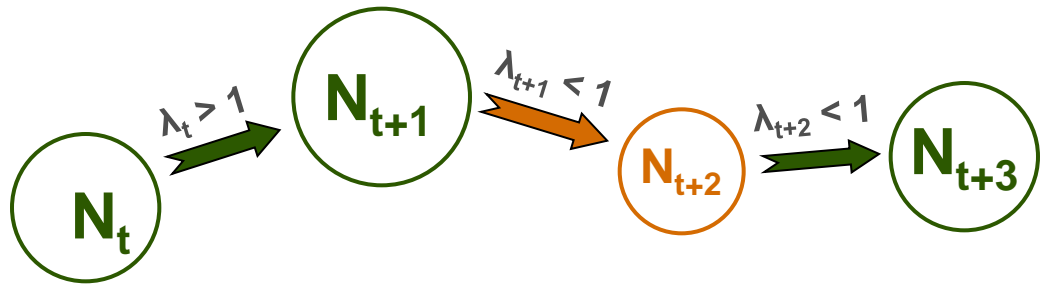
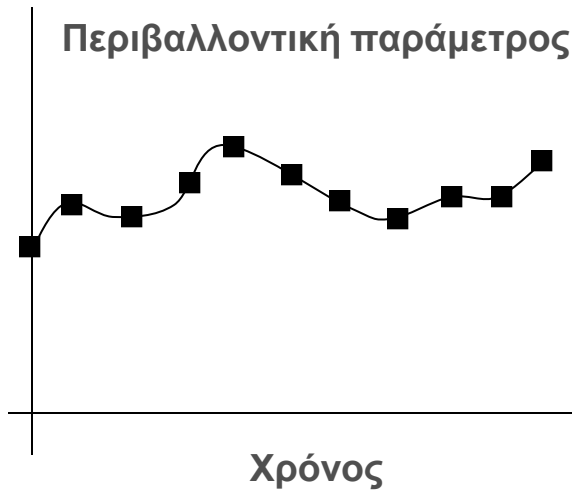


$$N_{t+1} = N_t + B + I - D - E$$

$$\Delta N = N_{t+1} - N_t = (B + I) - (D + E)$$

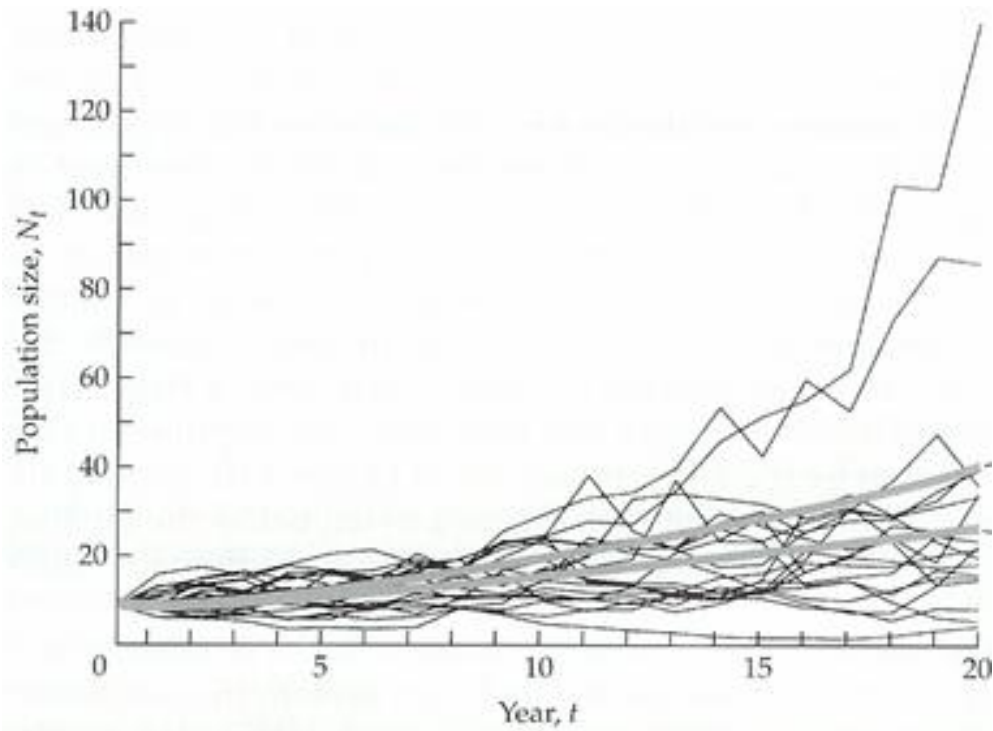
# Δυναμική πληθυσμών

- Στοχαστικά φαινόμενα



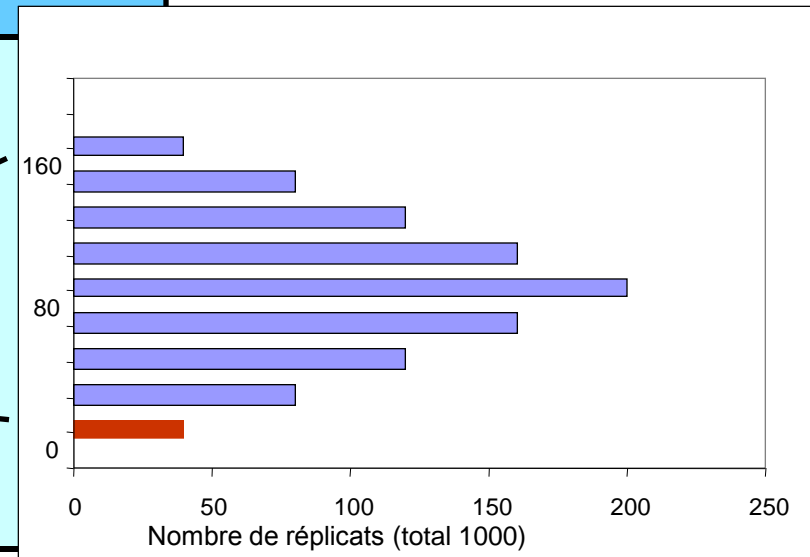
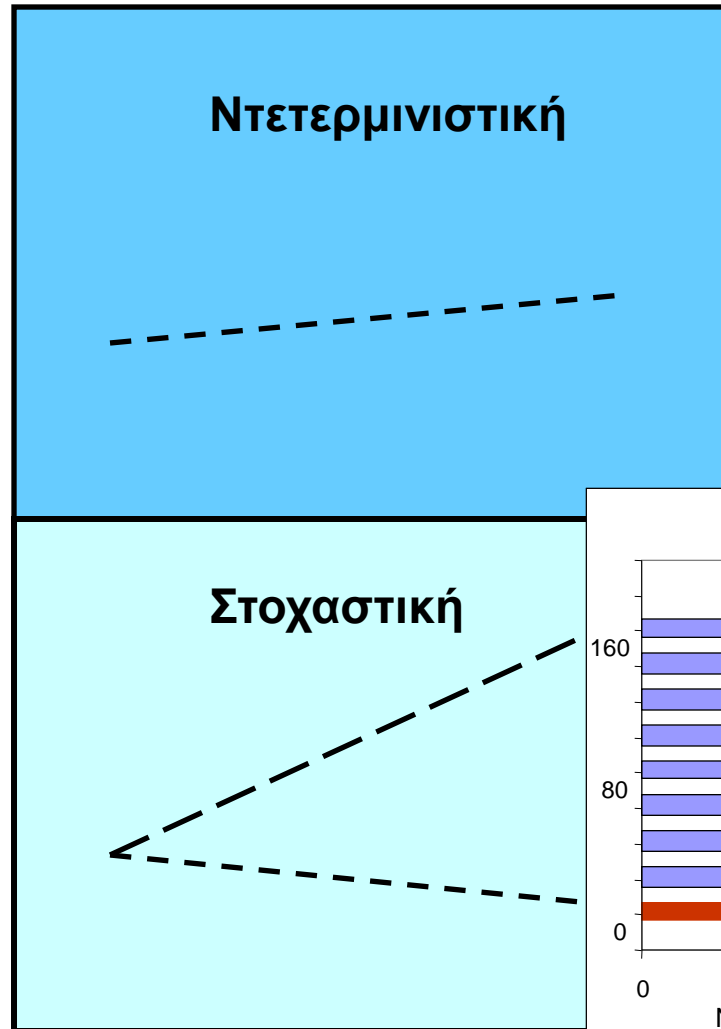
# Στοχαστική ανάλυση βιωσιμότητας

- Η επιβίωση και η αναπαραγωγή μεταβάλλονται σύμφωνα με μια κατανομή πιθανότητας
- Πληθυσμοί με τις ίδιες αρχικές συνθήκες είναι δυνατόν να εμφανίζουν δυναμικές πολύ διαφορετικές ανάλογα με την εμφάνιση των στοχαστικών γεγονότων



# Στοχαστική ανάλυση βιωσιμότητας

Μέγεθος πληθυσμού



Πιθανότητα εξαφάνισης:  $40/1000 = 0.04$  (4%)

# Στοχαστική ανάλυση βιωσιμότητας

---

## Απαραίτητα δεδομένα:

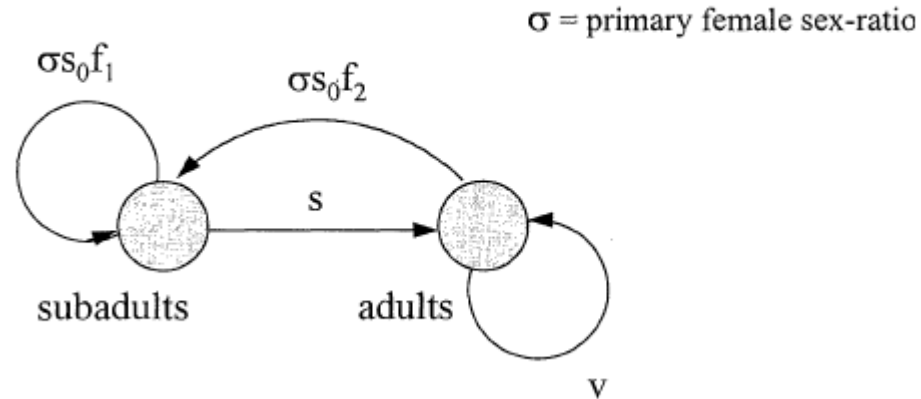
- Καθορισμός των ηλικιακών κλάσεων (ή των σταδίων του κύκλου ζωής)
- Εκτίμηση του μέσου ρυθμού επιβίωσης και αναπαραγωγικής επιτυχίας ανά κλάση

+

- Εκτίμηση της διασποράς των δημογραφικών παραμέτρων
- Εκτίμηση της συνδιακύμανσης των δημογραφικών παραμέτρων
- Εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας και των διακυμάνσεών της
- Εκτίμηση της συχνότητας και της δριμύτητας των φυσικών καταστροφών

# Μοντελοποίηση των στοχαστικών διαδικασιών

Κύκλος ζωής ενός στρουθιόμορφου:



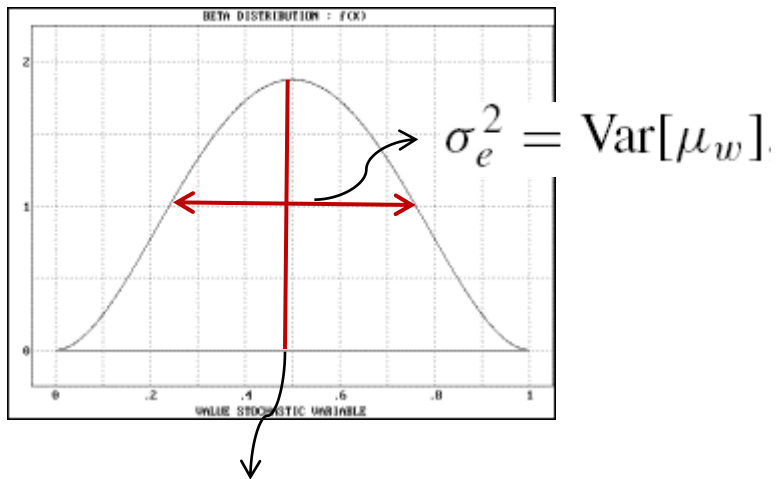
$$\begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \end{pmatrix}_{t+1} = \begin{pmatrix} \sigma s_0 f_1 & \sigma s_0 f_2 \\ s & v \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \end{pmatrix}_t$$

# Μοντελοποίηση των στοχαστικών διαδικασιών

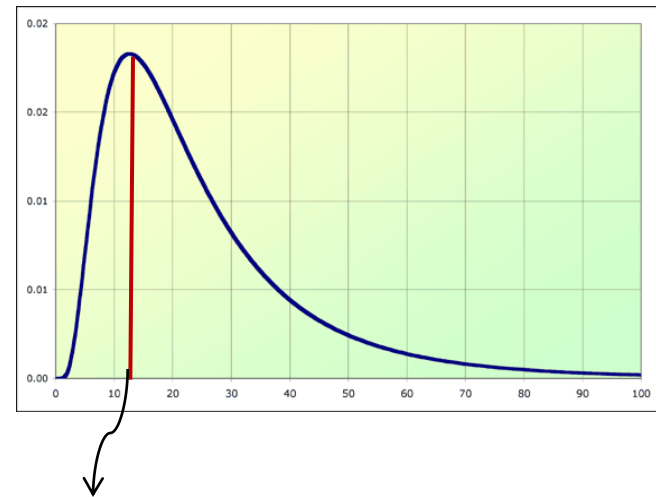
Κύκλος ζωής ενός στρουθιόμορφου:

Παρατηρήσεις:

- Επιβίωση των i) νεαρών, ii) υπο-ενηλίκων, iii) ενηλίκων
- Αναπαραγωγή των i) υπο-ενηλίκων, ii) ενηλίκων



$$\mu_w = s_o, s, v$$



$$\mu_w = f_1, f_2$$

# Μοντελοποίηση των στοχαστικών διαδικασιών

---

Κύκλος ζωής ενός στρουθιόμορφου:

Μοντελοποίηση:

- «Τραβάμε» τυχαίες τιμές για την επιβίωση και την αναπαραγωγή σύμφωνα με τις παρατηρούμενες κατανομές
- Εκτιμούμε το μέγεθος στο χρόνο  $t + 1$  σύμφωνα με τις τιμές που τραβήξαμε

$$\begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \end{pmatrix}_{t+1} = \begin{pmatrix} \sigma s_0(t) f_1(t) & \sigma s_0(t) f_2(t) \\ s(t) & v(t) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \end{pmatrix}_t$$

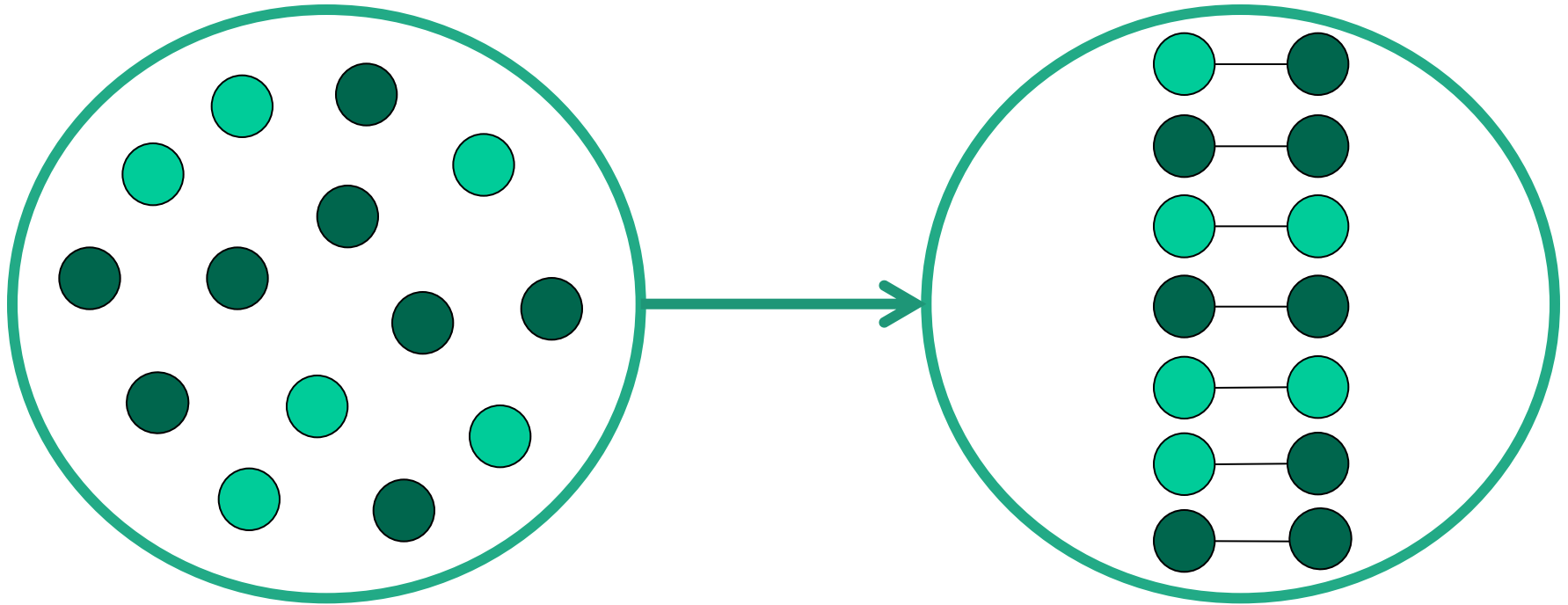
- Τραβούμε εκ νέου τυχαίες τιμές για να υπολογίσουμε το μέγεθος στο χρόνο  $t + 2$
- ....
- Επαναλαμβάνουμε την προηγούμενη διαδικασία (πολλές φορές) ώστε να εξάγουμε μία μέση μεταβολή του μεγέθους



# Στοχαστικές διαδικασίες: ατομοστραφή μοντέλα

Κύκλος ζωής ενός στρουθιόμορφου:

Μοντελοποίηση: αναπαραγωγή



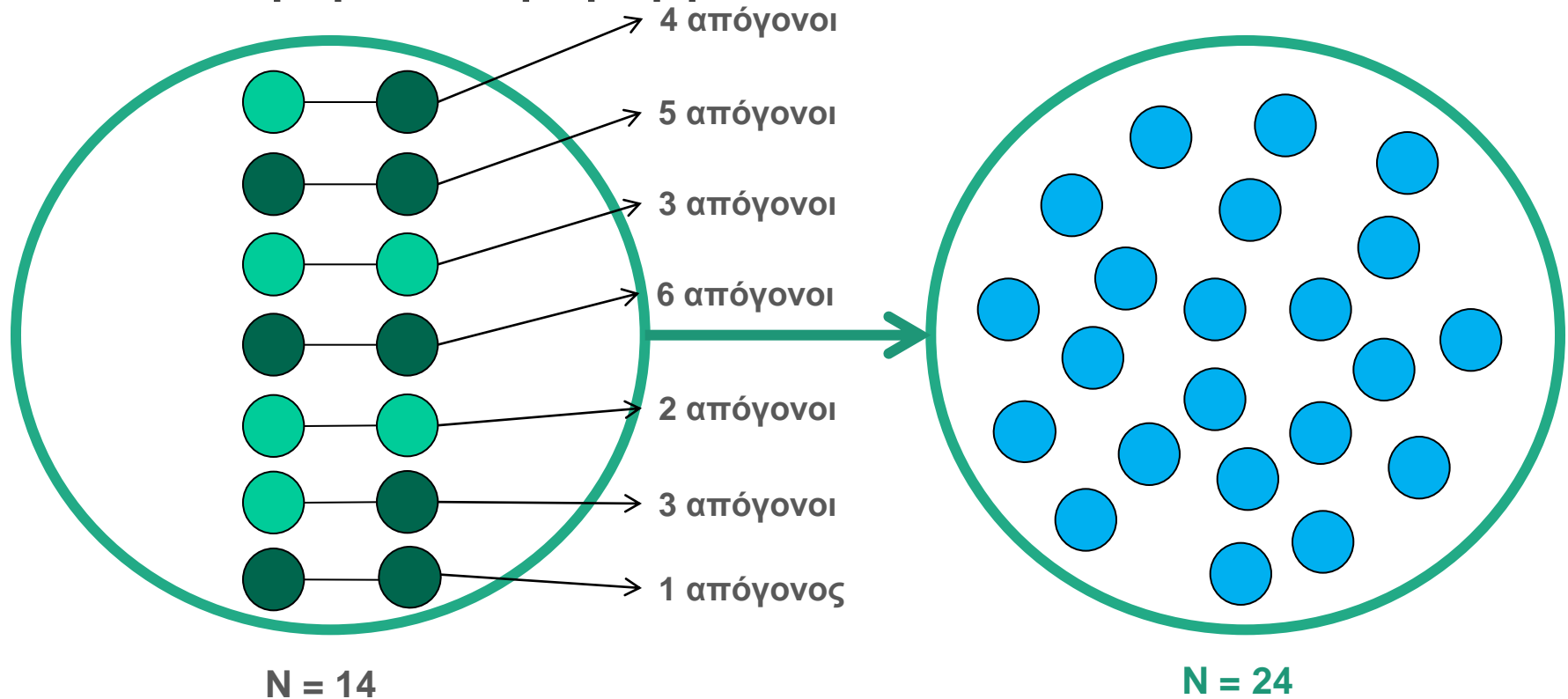
N = 14

▪ Σχηματισμός των ζευγαριών

# Στοχαστικές διαδικασίες: ατομοστραφή μοντέλα

Κύκλος ζωής ενός στρουθιόμορφου:

Μοντελοποίηση: αναπαραγωγή

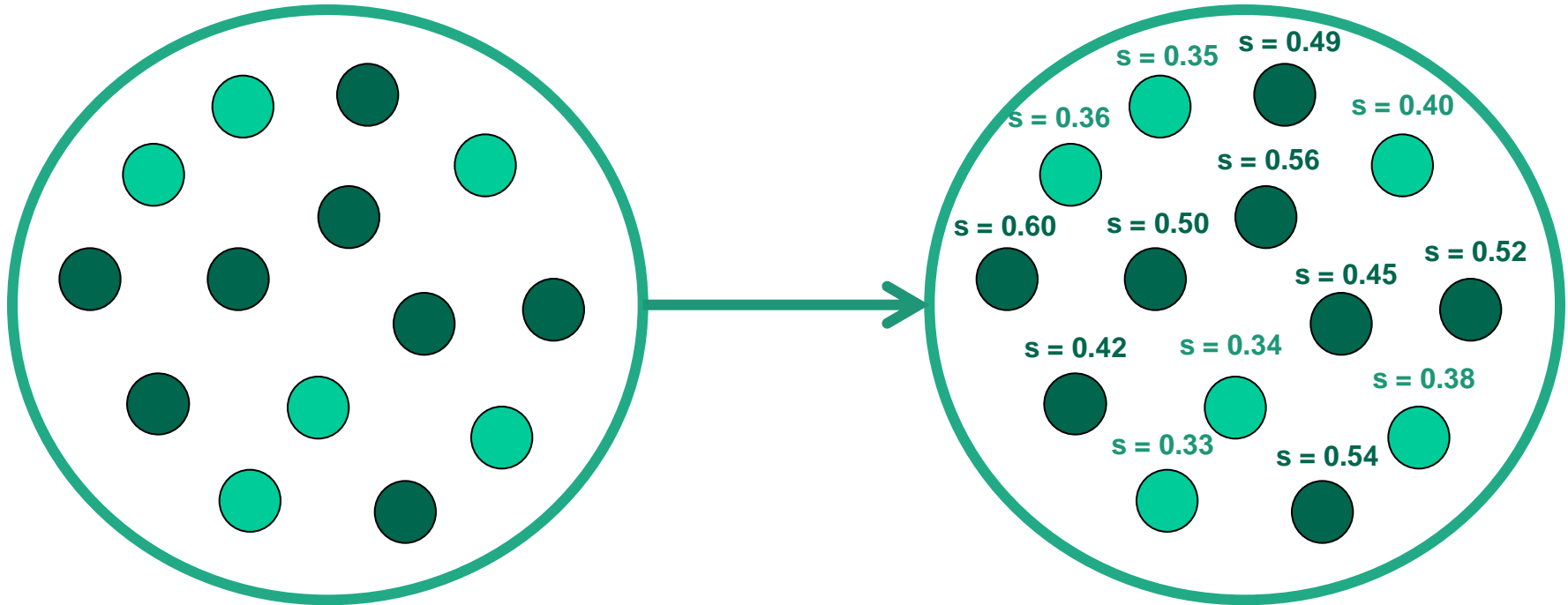


- Αριθμός απογόνων σύμφωνα με την παρατηρούμενη κατανομή
- Δημογραφική αβεβαιότητα:  
«τραβάμε» τον αριθμό των απογόνων από μια κατανομή Poisson

# Στοχαστικές διαδικασίες: ατομοστραφή μοντέλα

Κύκλος ζωής ενός στρουθιόμορφου:

Μοντελοποίηση: επιβίωση



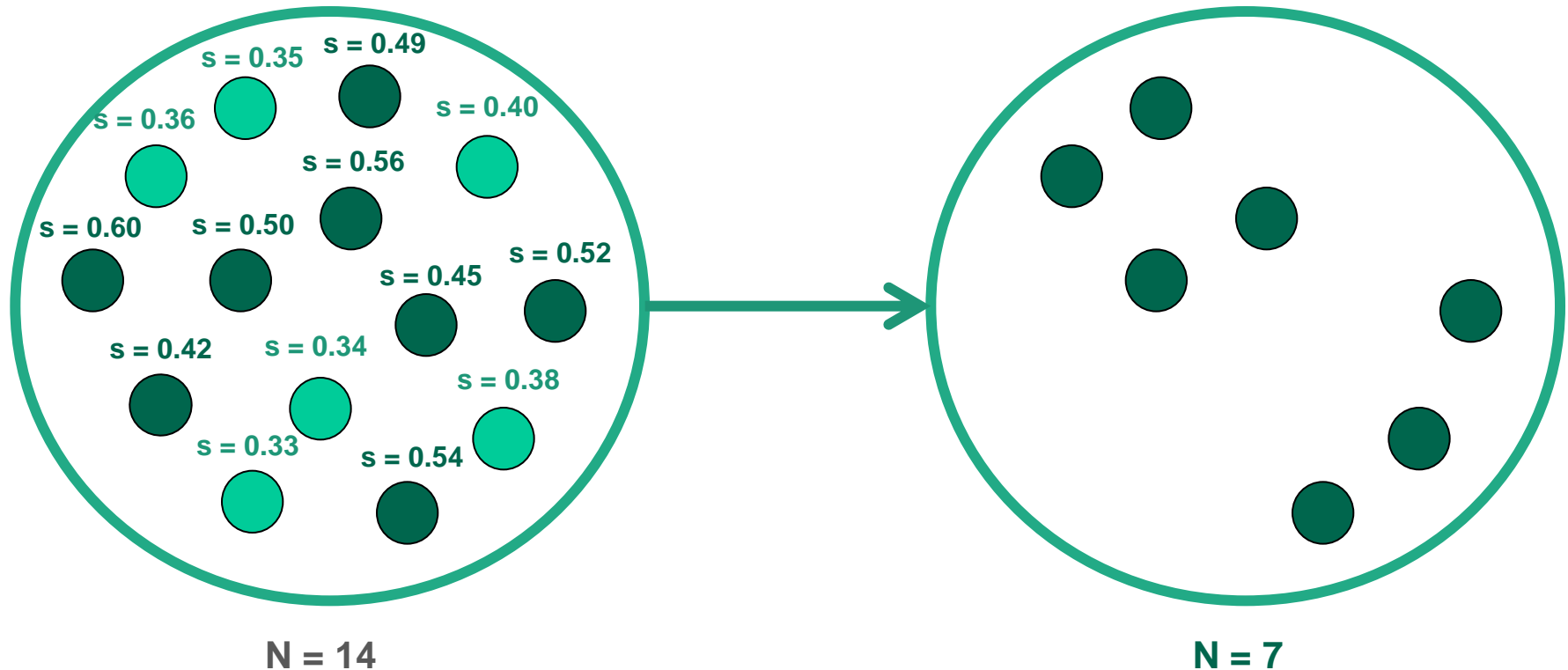
$N = 14$

- «Τραβάμε» τυχαίες τιμές για την επιβίωση κάθε ατόμου σύμφωνα με τις παρατηρούμενες κατανομές

# Στοχαστικές διαδικασίες: ατομοστραφή μοντέλα

Κύκλος ζωής ενός στρουθιόμορφου:

Μοντελοποίηση: επιβίωση

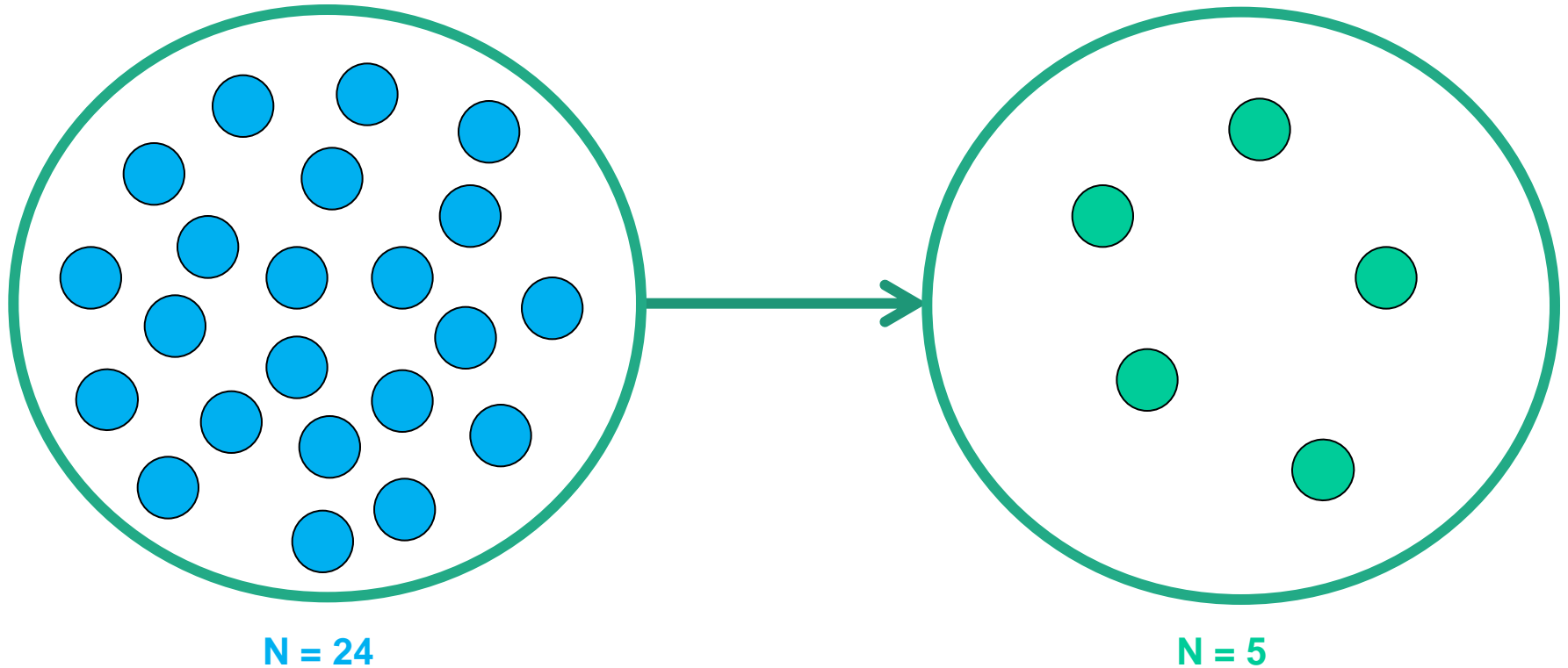


- Συγκρίνουμε την επιβίωση κάθε ατόμου με ένα τυχαίο αριθμό, μεταξύ 0 και 1

# Στοχαστικές διαδικασίες: ατομοστραφή μοντέλα

Κύκλος ζωής ενός στρουθιόμορφου:

Μοντελοποίηση: επιβίωση

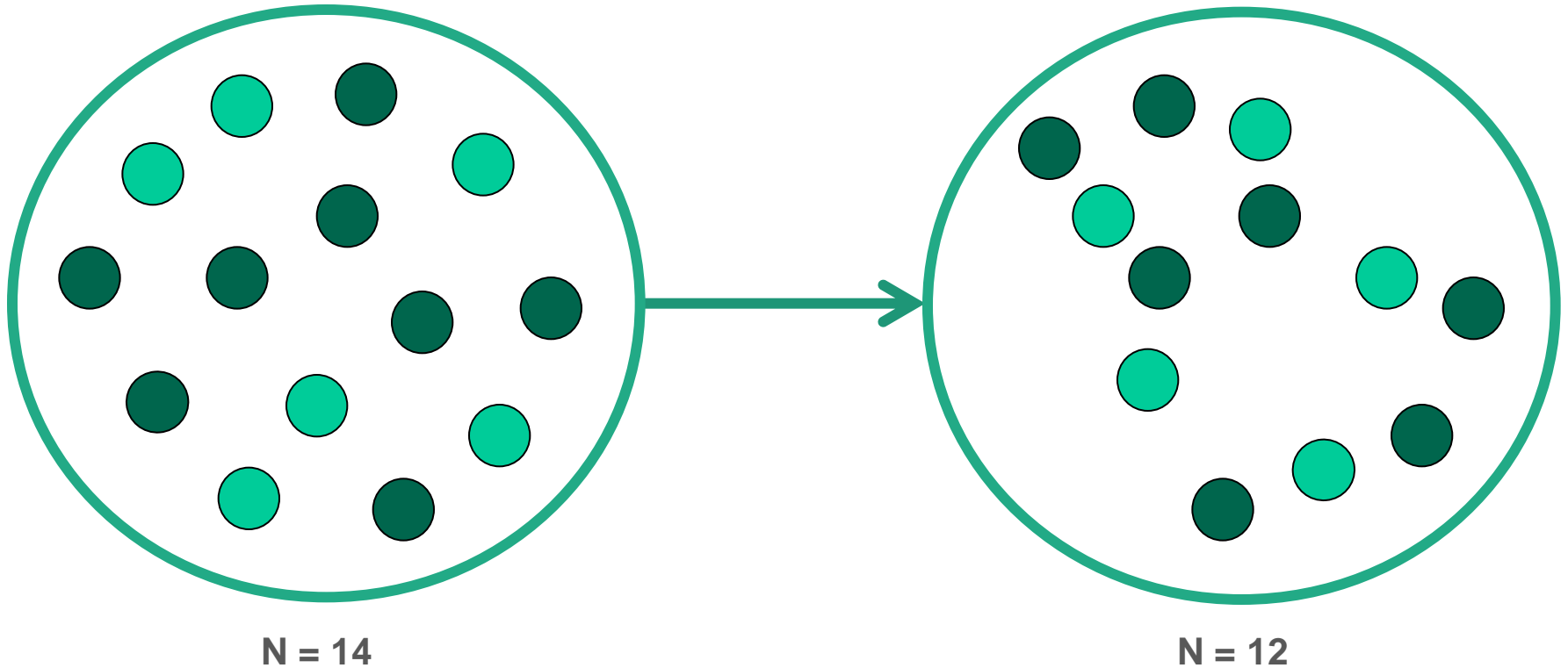


- Για την επιβίωση των νεαρών ατόμων, ακολουθούμε την ίδια διαδικασία

# Στοχαστικές διαδικασίες: ατομοστραφή μοντέλα

Κύκλος ζωής ενός στρουθιόμορφου:

Μοντελοποίηση: μεταβολή του μεγέθους



- «Τραβάμε» εκ νέου τυχαίες τιμές για να εκτιμήσουμε το μέγεθος στο χρόνο  $t + 2$
- ....
- Επαναλαμβάνουμε την παραπάνω διαδικασία (πολλές φορές) ώστε να εξάγουμε μια μέση μεταβολή του μεγέθους του πληθυσμού

# Στοχαστική ανάλυση βιωσιμότητας του μαρσιποφόρου *Micoureus paraguayanus*

## Δημογραφικά δεδομένα και υποθέσεις

Table 1. Assumptions used as initial input for variables in VORTEX, with a time step of two months.

Parameter	Value <sup>a</sup>
Breeding system	Polygynous
Maximum age	12
Minimum female breeding age	3
Minimum male breeding age	3
Sex ratio (%males)	50.00%
% females producing litters	16.67 (±1.67)%
% litter size 1	0.10%
% litter size 2	1.40%
% litter size 3	15.50%
% litter size 4	83.00%
% males in breeding pool	100.00%
Female mortality	8.72 (± 0.87)%
Male mortality	8.72 (± 0.87)%
Density dependence	nil
Probability of catastrophe (fire)	3.70%
Severity on reproduction	71.50%
Severity on survival	73.00%
Environmental variation, survival and reproduction	Concordant



<sup>a</sup>Standard deviations due to environmental variation are shown in brackets.

# Στοχαστική ανάλυση βιωσιμότητας του μαρσιποφόρου *Micoureus paraguayanus*

---

## Ερωτήσεις:

- Ελάχιστη φέρουσα ικανότητα (και επιφάνεια ενδαιτήματος)
- Ελάχιστο μέγεθος (και επιφάνεια ενδαιτήματος) για τη διατήρηση της γενετικής ποικιλότητας
- Ανάλυση ελαστικότητας





# Στοχαστική ανάλυση βιωσιμότητας του μαρσιποφόρου *Micoureus paraguayanus*

- Ελάχιστη φέρουσα ικανότητα:


Carrying capacity ( $K$ )	Population growth rate ( $r$ ) [mean (SD)]	Probability of extinction (SE)	Years to extinction [mean (SD)]
10	0.0324 (0.3241)	1.0000 (0.0000)	3.98 (4.45)
20	0.0415 (0.2334)	0.9950 (0.2200)	19.85 (19.04)
50	0.0545 (0.1492)	0.2350 (0.0134)	46.58 (31.39)
100	0.0605 (0.1138)	0.0060 (0.0240)	75.19 (25.28)
200	0.0629 (0.0954)	0.0000 (0.0000)	–
500	0.0639 (0.0838)	0.0000 (0.0000)	–
1000	0.0644 (0.0793)	0.0000 (0.0000)	–
2000	0.0646 (0.0772)	0.0000 (0.0000)	–

- Μέση επικράτεια: 0.65 ha  Ελάχιστη επιφάνεια: 65 ha

## Στοχαστική ανάλυση βιωσιμότητας του μαρσιποφόρου *Micoureus paraguayanus*

- Ελάχιστο μέγεθος πληθυσμού για τη διατήρηση της γενετικής ποικιλότητας:

Carrying capacity ( $K$ )	Population growth rate ( $r$ ) [mean (SD)]	Probability of extinction (SE)	Years to extinction [mean (SD)]	Expected heterozygosity [mean (SD)]
10	0.0324 (0.3241)	1.0000 (0.0000)	3.98 (4.45)	–
20	0.0415 (0.2334)	0.9950 (0.2200)	19.85 (19.04)	0.0000 (0.0000)
50	0.0545 (0.1492)	0.2350 (0.0134)	46.58 (31.39)	0.0468 (0.1281)
100	0.0605 (0.1138)	0.0060 (0.0240)	75.19 (25.28)	0.2452 (0.2211)
200	0.0629 (0.0954)	0.0000 (0.0000)	–	0.4982 (0.1754)
500	0.0639 (0.0838)	0.0000 (0.0000)	–	0.7546 (0.0809)
1000	0.0644 (0.0793)	0.0000 (0.0000)	–	0.8702 (0.0345)
2000	0.0646 (0.0772)	0.0000 (0.0000)	–	0.9321 (0.0139)

• Μέση επικράτεια: 0.65 ha  Ελάχιστη επιφάνεια: 1300 ha

# Στοχαστική ανάλυση βιωσιμότητας του μαρσιποφόρου *Micoureus paraguayanus*

- Ανάλυση ελαστικότητας:

Scenario	Population growth rate ( $r$ ) [mean (SD)]	Probability of extinction [mean (SE)]
$N = 100$		
Basic assumptions	0.0605 (0.1138)	0.0060 (0.0024)
10% increase mortality	0.0502 (0.1158) <sup>***</sup>	0.0240 (0.0048) <sup>**</sup>
10% decrease mortality	0.0699 (0.1130) <sup>***</sup>	0.0010 (0.0010) <sup>**</sup>
10% increase reproduction	0.0760 (0.1142) <sup>***</sup>	0.0020 (0.0014) <sup>**</sup>
10% decrease reproduction	0.0430 (0.1158) <sup>***</sup>	0.0440 (0.0065) <sup>**</sup>
10% increase sex ratio	0.0428 (0.1155) <sup>***</sup>	0.0560 (0.0073) <sup>**</sup>
10% decrease sex ratio	0.0766 (0.1141) <sup>***</sup>	0.0010 (0.0010) <sup>**</sup>
10% increase catastrophe	0.0589 (0.1164) <sup>***</sup>	0.0120 (0.0034) <sup>**</sup>
10% decrease catastrophe	0.0617 (0.1117) <sup>***</sup>	0.0040 (0.0020) <sup>*</sup>
Inbreeding depression	0.0113 (0.1316) <sup>**</sup>	0.9970 (0.0017) <sup>**</sup>

- Ποιες είναι οι παράμετροι που επηρεάζουν περισσότερο την πληθυσμιακή δυναμική;