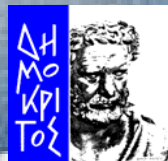
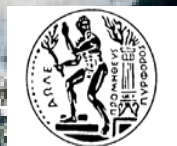


**ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ
ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΑΤΥΧΗΜΑΤΩΝ ΜΕΓΑΛΗΣ
ΕΚΤΑΣΗΣ**



ΓΕΩΡΓΙΑΔΟΥ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ
Υποψ.Δρ., Σχολή Χημικών
Μηχ/κών ΕΜΠ

Επιβλέπων ΠΠΤΑ: Ι.Α.Παπάζογλου
Εργαστήριο Αξιοπιστίας Συστημάτων &
Βιομηχανικής Ασφάλειας



Ν.Χ.Μαρκάτος, Αργ.Λυγερός,
Χρ.Κυρανούδης
Σχολή Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ

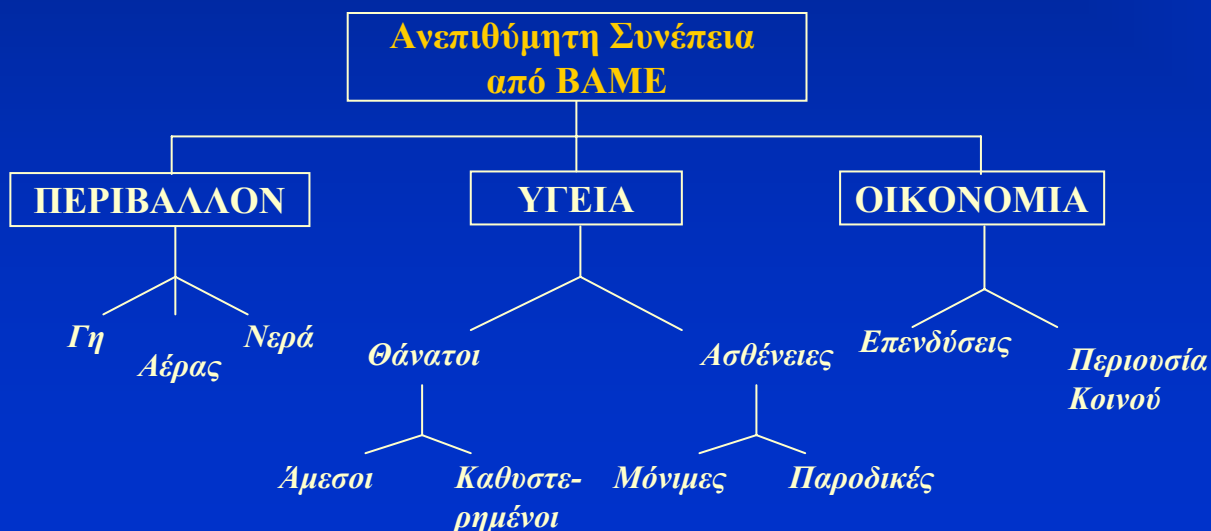




Βιομηχανικά Ατυχήματα Μεγάλης Έκτασης (BAME)

Αστοχία συστήματος σε εγκαταστάσεις που διαχειρίζονται μεγάλες ποσότητες επικίνδυνων ουσιών

- έκθεση σε τοξικές ουσίες
- θερμική ακτινοβολία
- υπερπίεση



Οδηγία Seveso II

(ΚΥΑ 5697/590/2000, ΚΥΑ 12044/613/2007)

- **Μελέτη Ασφάλειας** (εκτίμηση επικινδυνότητας, σχέδιο έκτακτης ανάγκης κλπ)

- **Σχεδιασμός Χρήσεων Γης**

- **Φαινόμενο Domino**

Σ.Α.Τ.Α.Μ.Ε.:

Σχέδιο

Αντιμετώπισης

Τεχνολογικού

Ατυχήματος Μεγάλης

Έκτασης



ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ



**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΚΤΑΚΤΗΣ
ΑΝΑΓΚΗΣ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΕΓΚΑΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΖΟΝΤΑΙ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ**

Βελτιστοποίηση Σχεδιασμού Έκτακτης Ανάγκης (ΣΕΑ)

Χώρος αποφάσεων

N υποπεριοχές (cells)

→ K^N εναλλακτικά ΣΕΑ

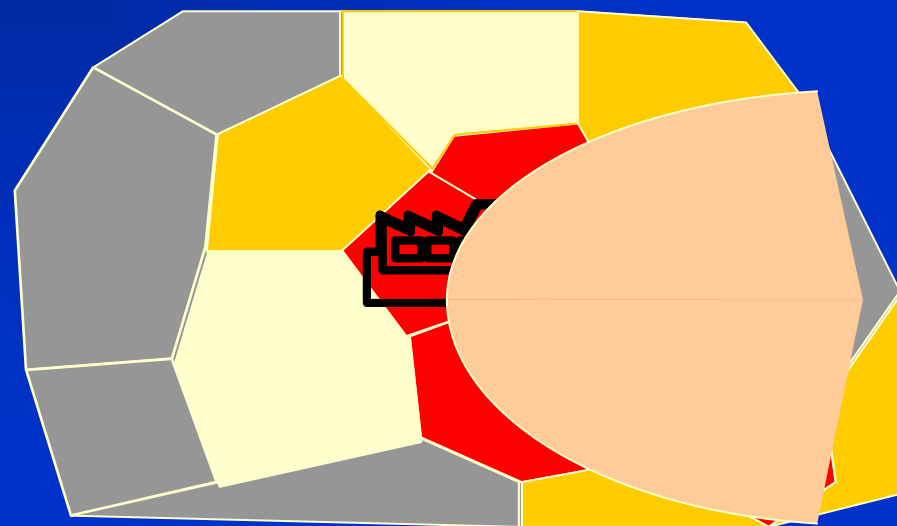
Σχέδιο έκτακτης ανάγκης (ΣΕΑ) k_i ($i=1,..,K$)

■ Συνέχιση κανονικής δραστηριότητας

■ Εκκένωση

■ Προστασία σε μεγάλα κτίρια

■ Προστασία σε σπίτια



Σενάρια ατυχημάτων

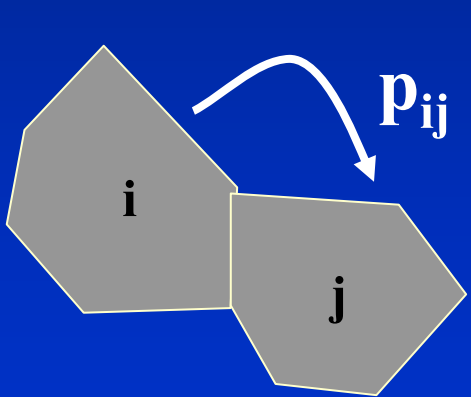
Προσομοίωση μετακίνησης πληθυσμού - Στοχαστικό μοντέλο Markov



$$\bar{x}(t+1) = \bar{x}(t) \cdot \bar{P}(t)$$

⇒ $x_i(t)$: πιθανότητα να βρίσκεται στην περιοχή (i) τη χρονική στιγμή (t)

⇒ P: Πίνακας μετάβασης με στοιχεία πιθανότητες $p_{ij}(t)$



- ✓ σύνδεση περιοχών
- ✓ χωρητικότητες δρόμων
- ✓ είδος οχημάτων

«Αντίσταση» περιοχών

Σενάριο ατυχήματος



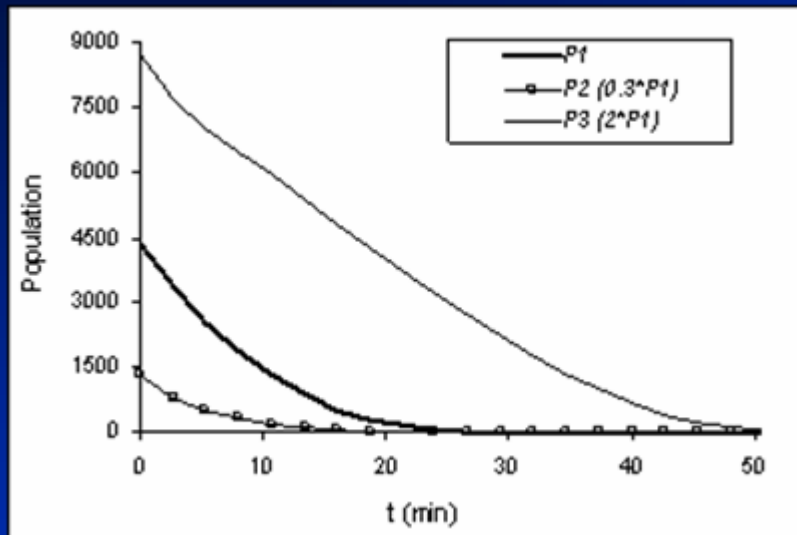
Δόση

$$D = \sum_i \sum_n x_i(n) \cdot D_i(n)$$

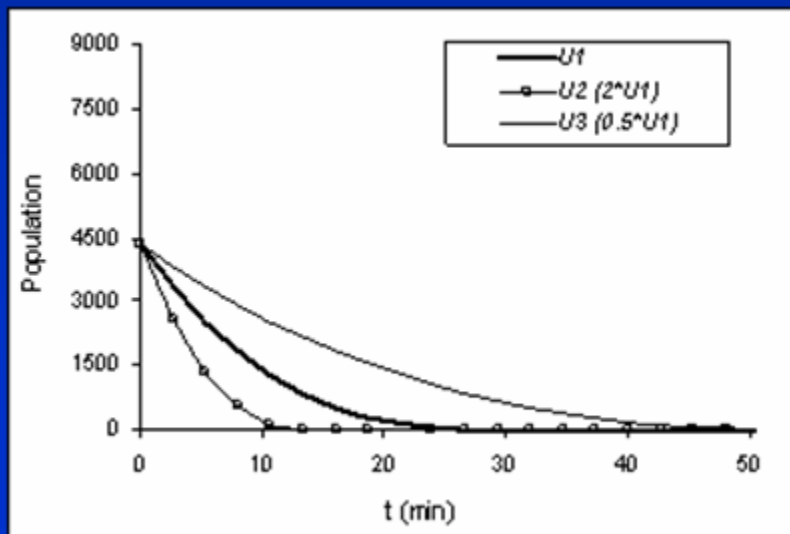
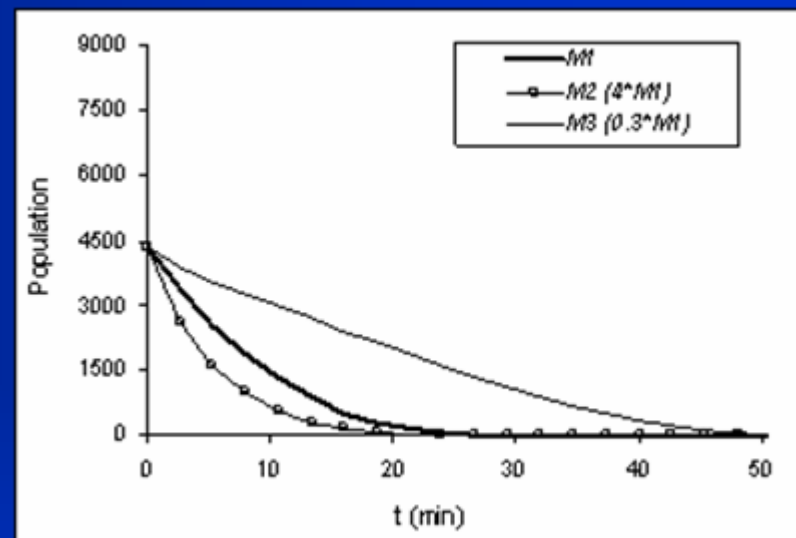


Προσομοίωση μετακίνησης πληθυσμού - Στοχαστικό μοντέλο Markov

Επίδραση πληθυσμού



Επίδραση χωρητικότητας δρόμων



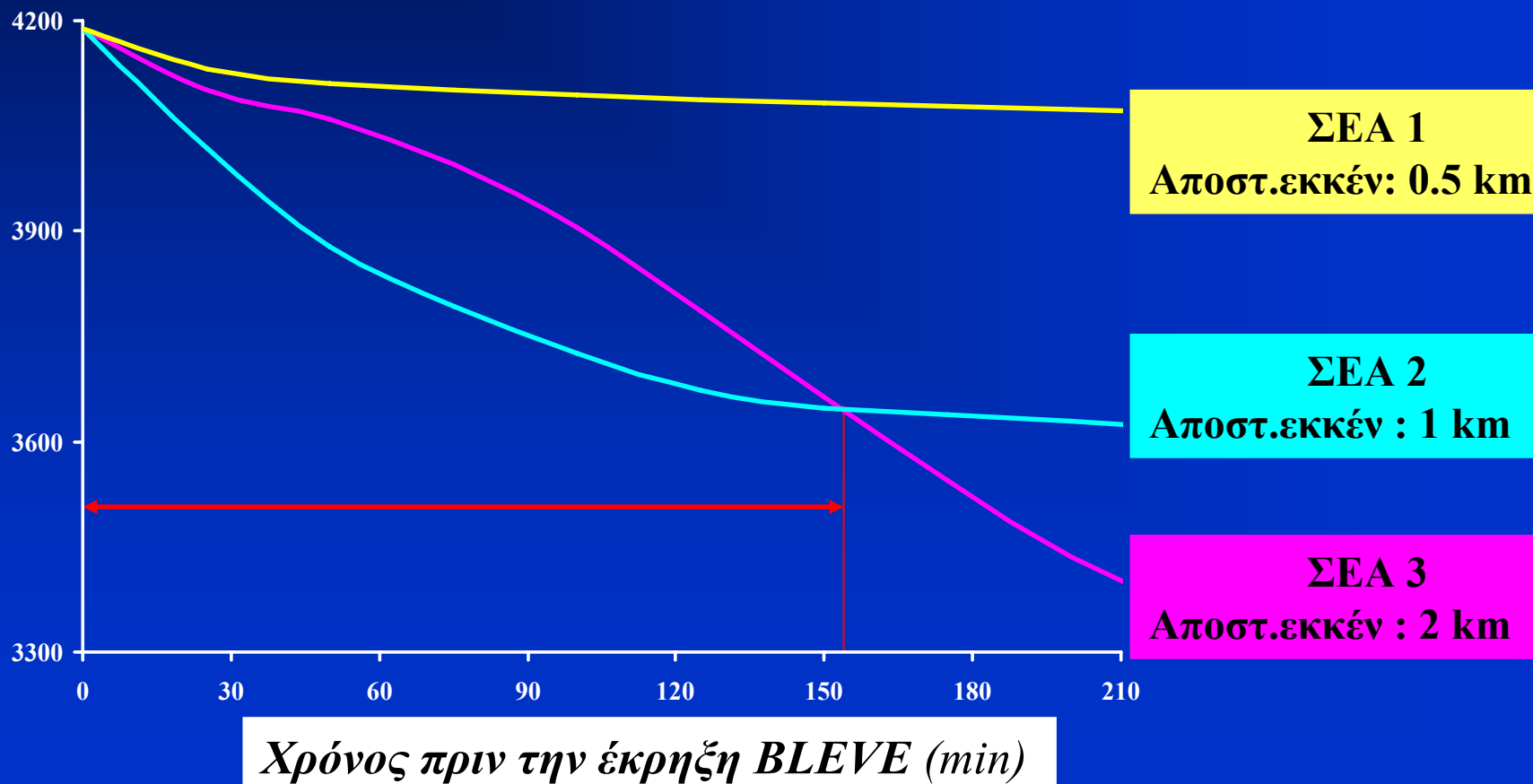
Επίδραση ταχύτητας οχημάτων



Προσομοίωση μετακίνησης πληθυσμού - Στοχαστικό μοντέλο Markov

Βέλτιστη πολιτική (ΣΕΑ)
(ελαχιστοποίηση
επιπτώσεων στην υγεία)

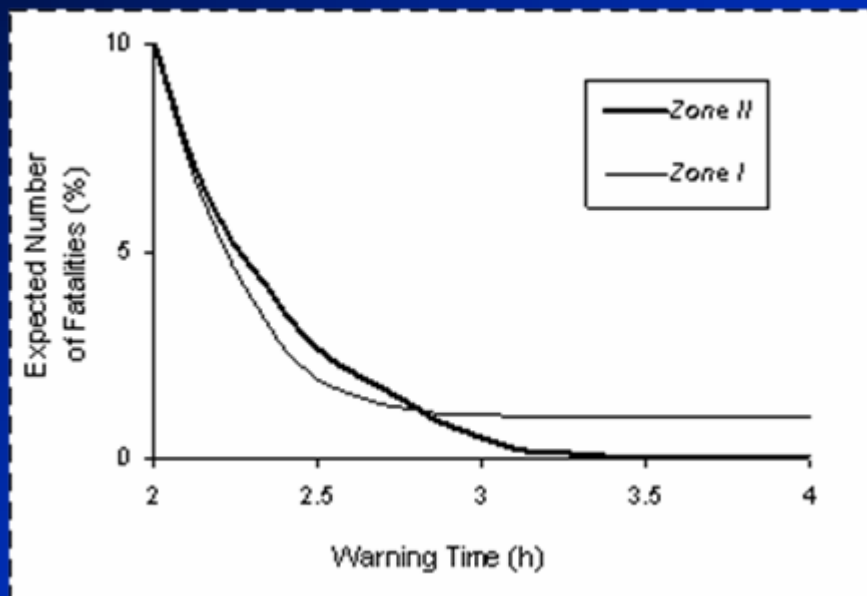
→ Περιοχή εκκένωσης → Χρόνος πριν το ατύχημα
→ Πυκνότητα πληθυσμού → Βαθμός συνωστισμού





Προσομοίωση μετακίνησης πληθυσμού - Στοχαστικό μοντέλο Markov

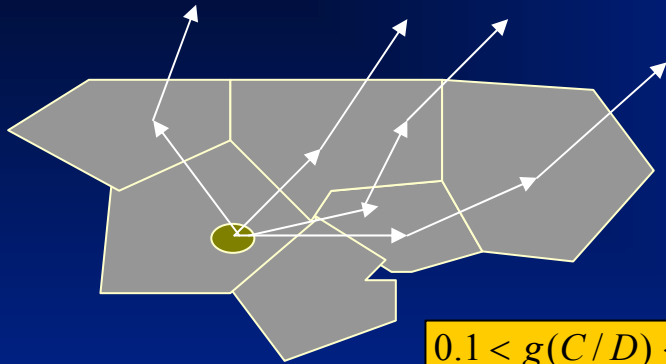
case study: BLEVE, δεξαμενή προπανίου



Zone	Δόση	Πιθανότητα θανάτου	Απόσταση από την πηγή
I	1500	1.2×10^{-1}	1610
II	450	1×10^{-5}	2525
III	170	7.3×10^{-12}	3635



Προσομοίωση μετακίνησης πληθυσμού - Στοχαστικό μοντέλο Markov



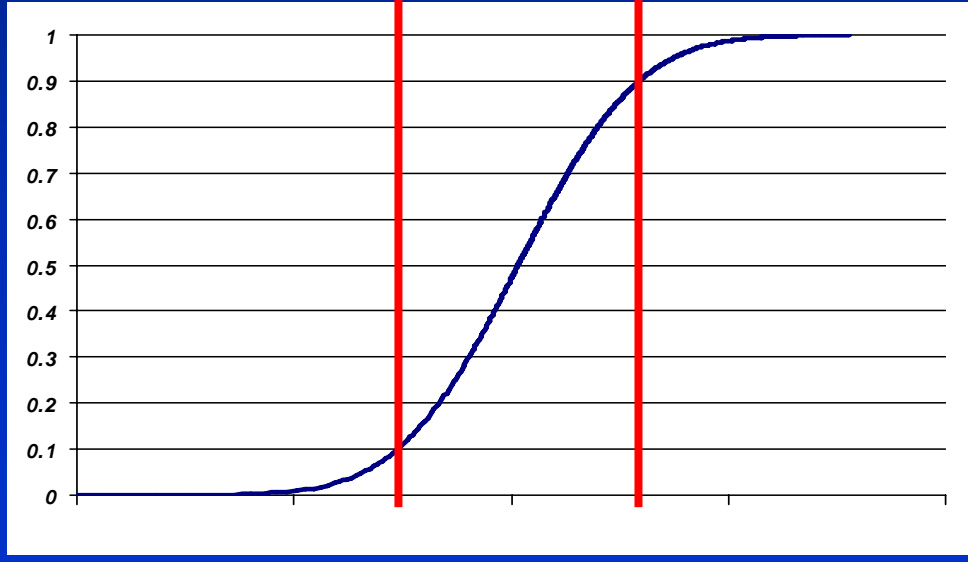
Πιθανές
διαδρομές
εκκένωσης

Monte Carlo

pdf
λαμβανόμενης
δόσης



Επικινδυνότητα



Δόση

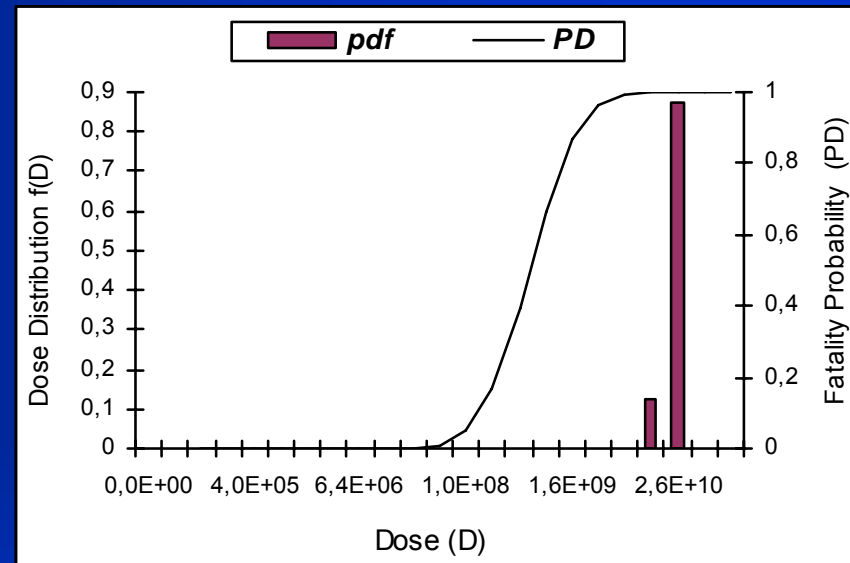
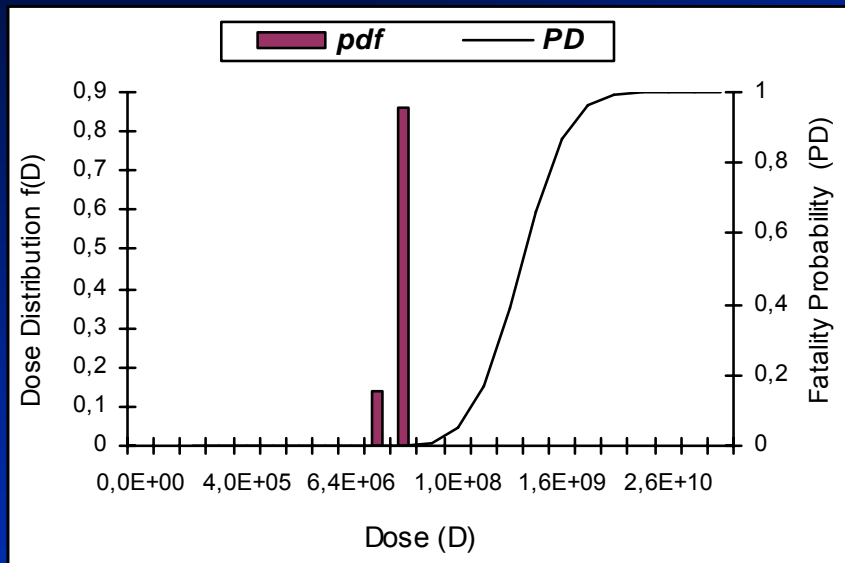
Κλασική λύση
Μέση τιμή δόσης
$$p(C) = \bar{D} \cdot g(C / \bar{D})$$

Λύση Monte Carlo
Κατανομή δόσης
$$p(C) = \int f(D) \cdot g(C / D) \cdot dD$$



Προσομοίωση μετακίνησης πληθυσμού - Στοχαστικό μοντέλο Markov

case study: αστοχία σε δεξαμενή αποθήκευσης αμμωνίας



MT δόσης

$$1.6 \cdot 10^7$$

Επικινδυνότητα (MT δόσης)

$$p(P_{\bar{D}}) = 1.20 \cdot 10^{-5}$$

MT δόσης

$$1.4 \cdot 10^{10}$$

Επικινδυνότητα (MT δόσης)

$$p(P_{\bar{D}}) = 9.94 \cdot 10^{-1}$$

Monte Carlo: Επικινδυνότητα (κατανομή δόσης)

$$p(P_{D(M.C.)}) = 1.29 \cdot 10^{-5}$$

Monte Carlo: Επικινδυνότητα (κατανομή δόσης)

$$p(P_{D(M.C.)}) = 9.87 \cdot 10^{-1}$$

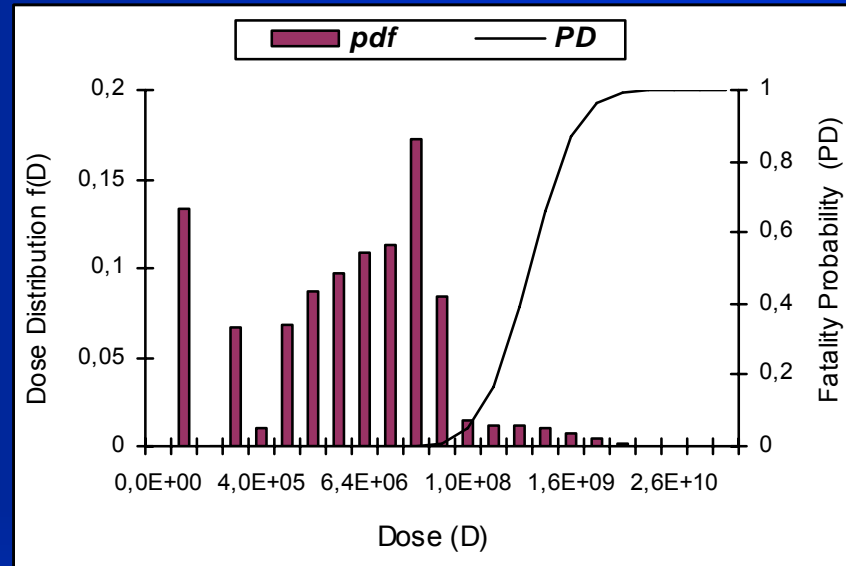
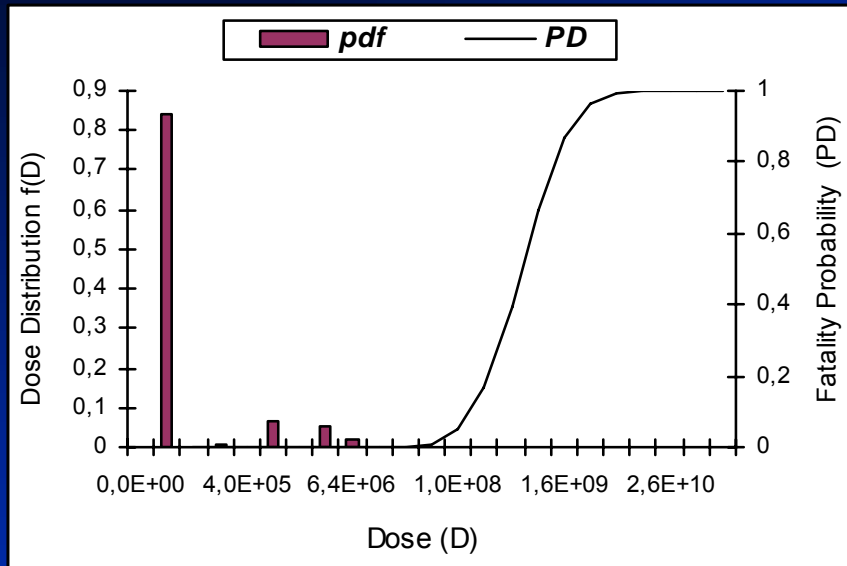


Προσομοίωση μετακίνησης πληθυσμού



- Στοχαστικό μοντέλο Markov

case study: αστοχία σε δεξαμενή αποθήκευσης αμμωνίας



MT δόσης

$$5 \cdot 10^6$$

Επικινδυνότητα (MT δόσης)

$$p(P_{\bar{D}}) = 4.04 \cdot 10^{-8}$$

MT δόσης

$$4.3 \cdot 10^7$$

Επικινδυνότητα (MT δόσης)

$$p(P_{\bar{D}}) = 6.26 \cdot 10^{-4}$$

Monte Carlo: Επικινδυνότητα (κατανομή δόσης)

$$p(P_{D(M.C.)}) = 1.82 \cdot 10^{-3}$$

Monte Carlo: Επικινδυνότητα (κατανομή δόσης)

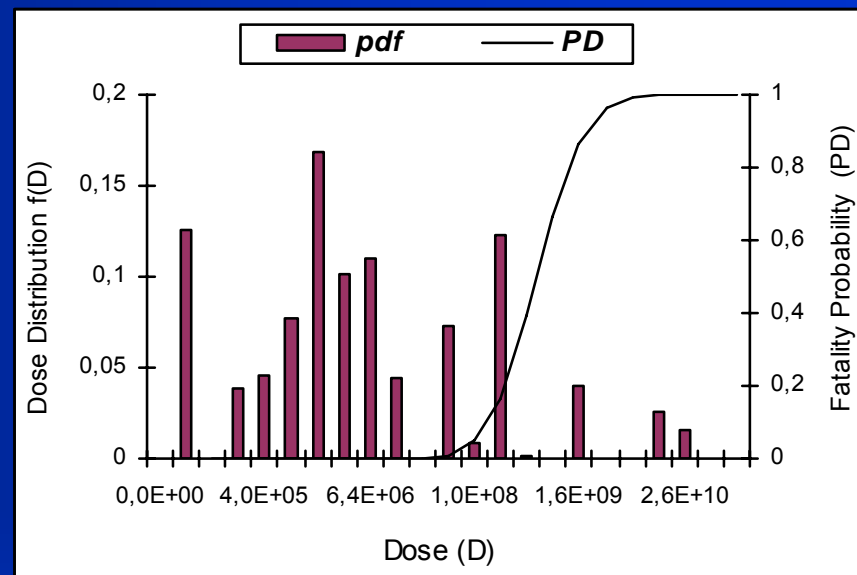
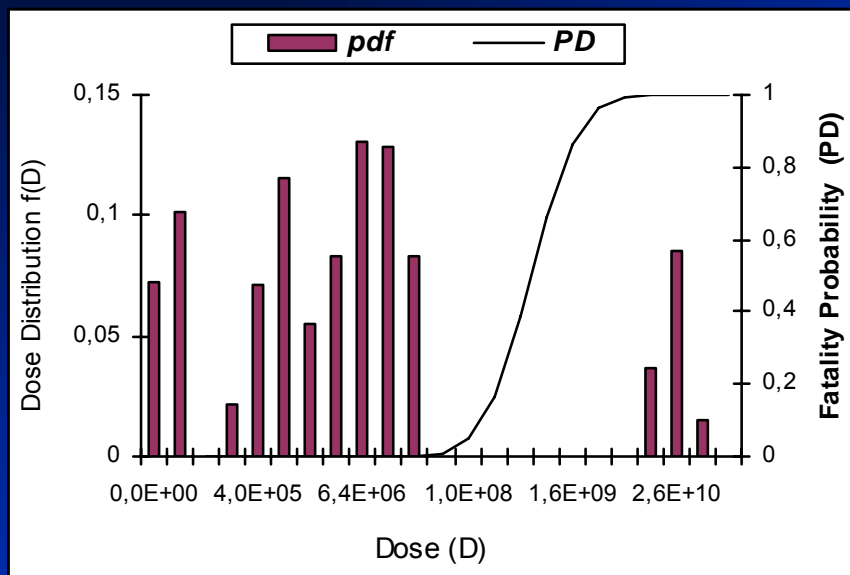
$$p(P_{D(M.C.)}) = 1.20 \cdot 10^{-2}$$



Προσομοίωση μετακίνησης πληθυσμού

- Στοχαστικό μοντέλο Markov

case study: αστοχία σε δεξαμενή αποθήκευσης αμμωνίας



MT δόσης

$$2.5 \cdot 10^9$$

Επικινδυνότητα (MT δόσης)

$$p(P_{\bar{D}}) = 8.01 \cdot 10^{-1}$$

MT δόσης

$$6.3 \cdot 10^8$$

Επικινδυνότητα (MT δόσης)

$$p(P_{\bar{D}}) = 2.93 \cdot 10^{-1}$$

Monte Carlo: Επικινδυνότητα (κατανομή δόσης)

$$p(P_{D(M.C.)}) = 1.36 \cdot 10^{-1}$$

Monte Carlo: Επικινδυνότητα (κατανομή δόσης)

$$p(P_{D(M.C.)}) = 6.83 \cdot 10^{-2}$$



Βελτιστοποίηση ΣΕΑ

Κριτήρια Αξιολόγησης

Εναλλακτικό Σχέδιο Έκτακτης Ανάγκης (ΣΕΑ)

(συνδυασμός πολιτικών που εφαρμόζονται στις υποπεριοχές)



Ελαχιστοποίηση
επιπτώσεων στην υγεία του
πληθυσμού από ΒΑΜΕ
(πιθανός αριθμός θανάτων,
τραυματισμών κλπ)



Ελαχιστοποίηση
κοινωνικοοικονομικού κόστους
ΣΕΑ (συναισθηματική δοκιμασία
πληθυσμού, οικονομικό κόστος
από διακοπή δραστηριοτήτων
λόγω ΣΕΑ κλπ)

Πρόβλημα Λήψης Αποφάσεων Αλληλοσυγκρουόμενων Στόχων



Πρόβλημα Βελτιστοποίησης με Πολλαπλά Κριτήρια

$$\min y = f(x) = (y_1=f_1(x), \dots, y_k=f_k(x))$$

$$y = (y_1, \dots, y_k) \in Y$$

$$\text{περιορισμοί: } e(x) = (e_1(x), \dots, e_m(x)) \leq 0$$

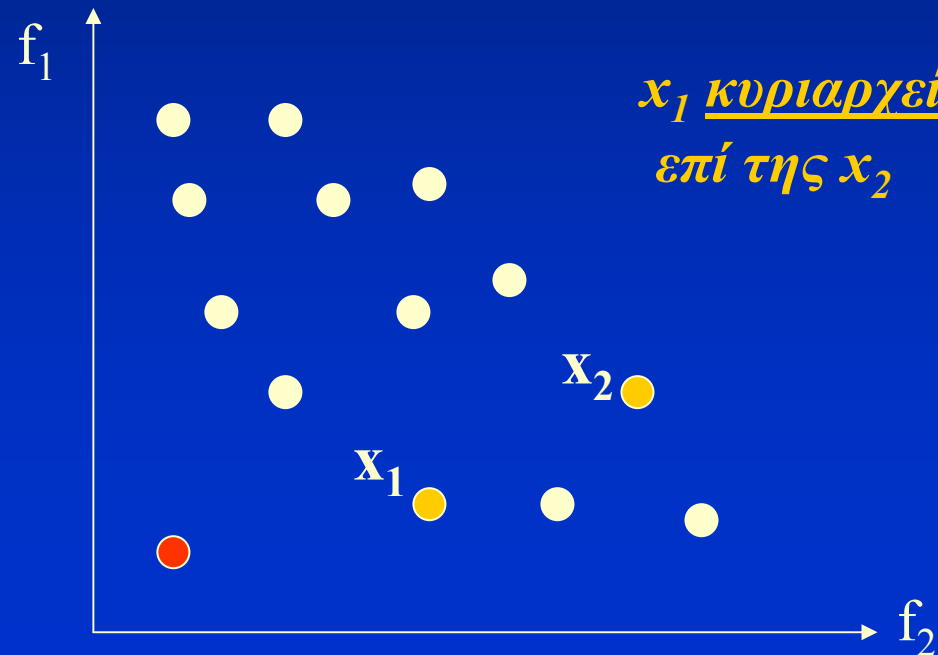
$$\text{Όπου } x = (x_1, \dots, x_n) \in X$$

k αντικειμενικές συναρτήσεις

Y χώρος των κριτηρίων

n μεταβλητές απόφασης

X χώρος των αποφάσεων



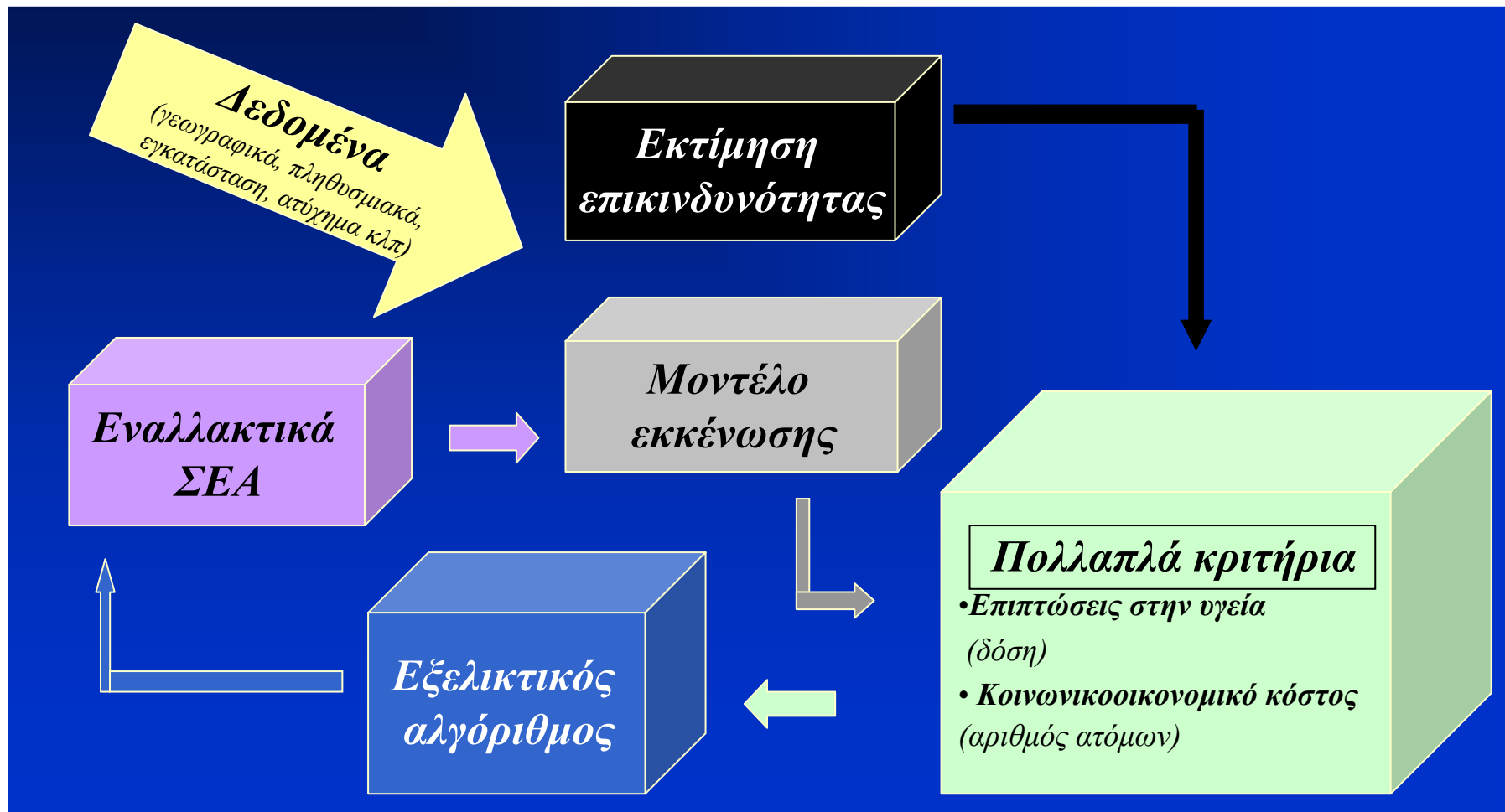
Αν $f_i(x_1) < f_i(x_2)$ για τουλάχιστον ένα i ($i = 1, \dots, k$)

και $f_j(x_1) \leq f_j(x_2)$ για όλα τα $j \neq i$

Μη-κυριαρχούμενη λύση x :
όταν δεν υπάρχει άλλη λύση που να κυριαρχεί επί αυτής

Βελτιστοποίηση Σχεδιασμού Έκτακτης Ανάγκης (ΣΕΑ)

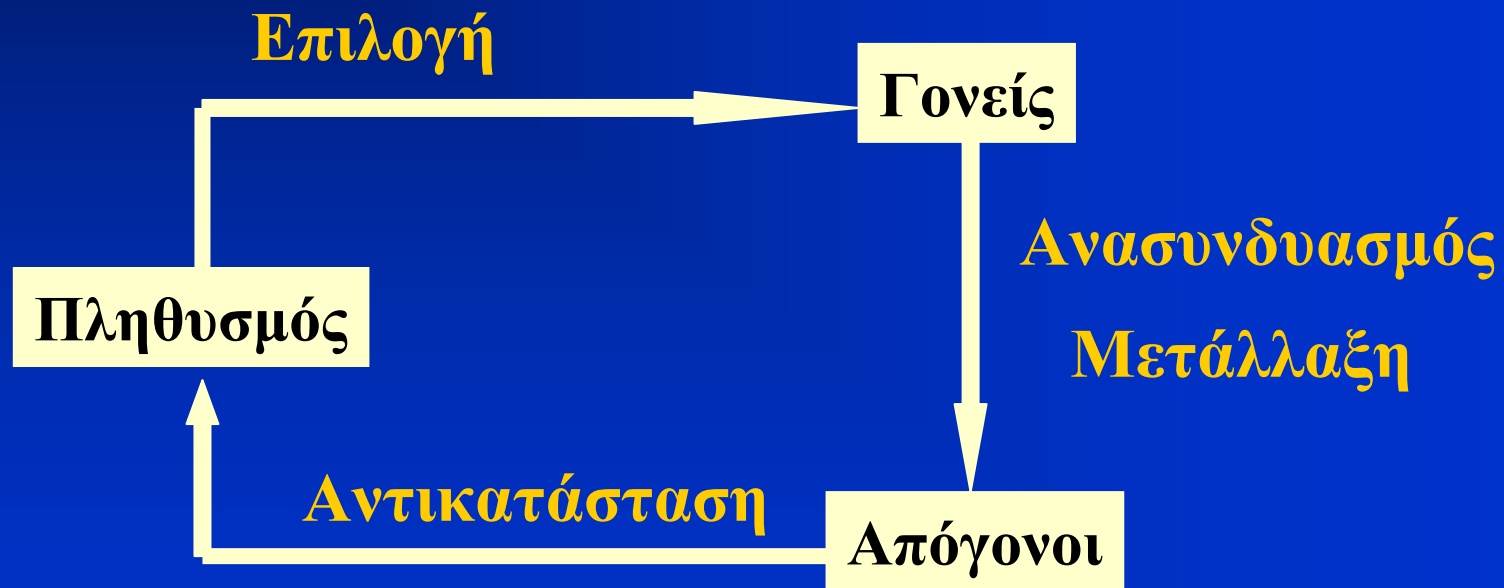
Σύνολο μη-κυριαρχούμενων λύσεων





Εξελικτικοί Αλγόριθμοι

Στοχαστικές μέθοδοι βελτιστοποίησης που προσομοιάζουν τη διαδικασία της φυσικής εξέλιξης





Γενετικοί Αλγόριθμοι

Λύσεις

$$\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$$

Κωδικοποίηση

«Άτομα» (Individuals)

Χρωμόσωμα

1	0	0	0	1	1	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---

2	2	5	0	0	4	1	0	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---



Γενετικοί Αλγόριθμοι

GENEA

Αρχικός πληθυσμός (λύσεις → χρωμοσώματα)

Απόδοση «Ποιότητας» (fitness)

Ανασυνδυασμός
γονιδίων

Επιλογή ατόμων

Μετάλλαξη



Απόγονοι

(δημιουργία νέου πληθυσμού)



Γενετικός αλγόριθμος βελτιστοποίησης ΣΕΑ

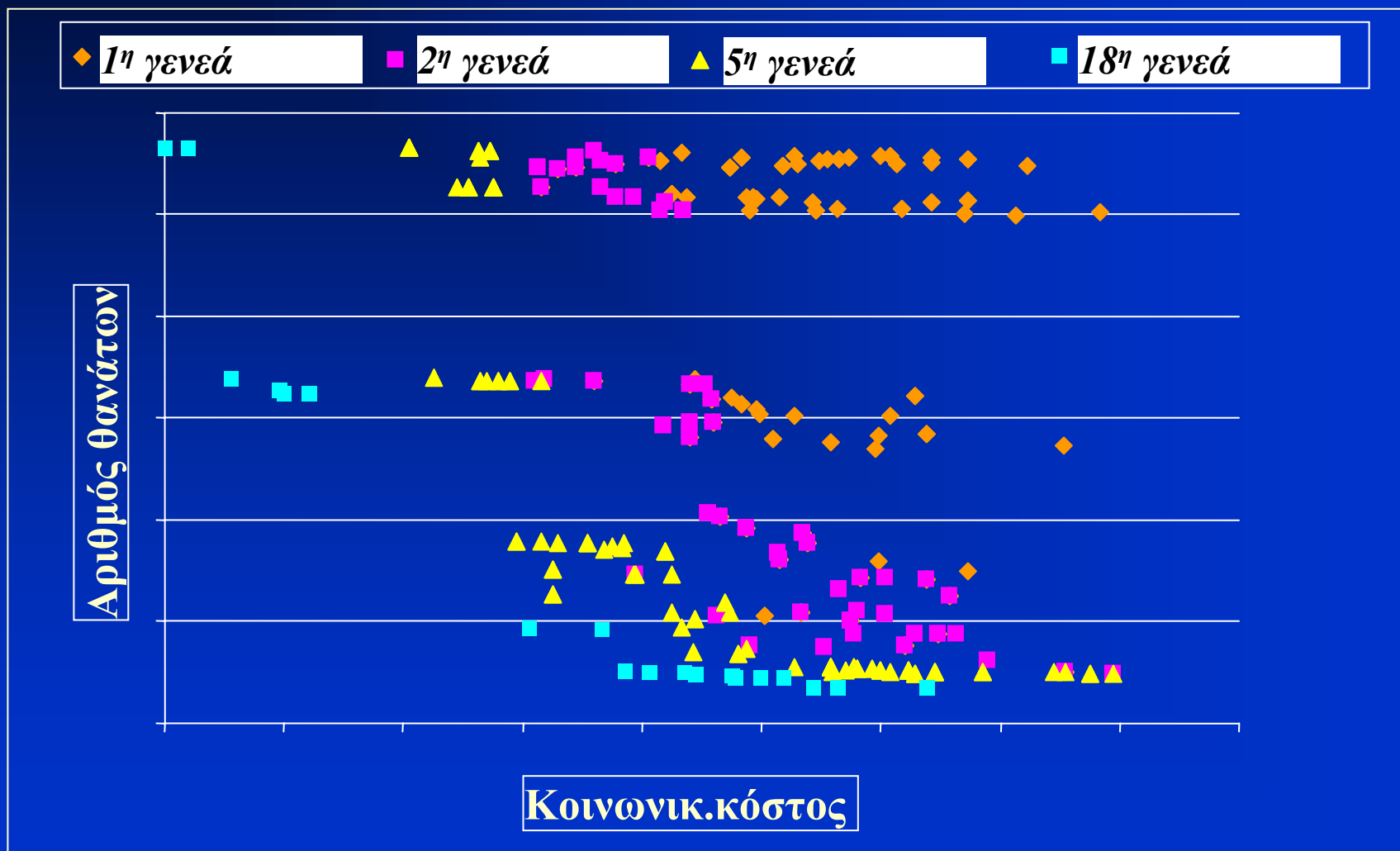
Λύση:
Εναλλακτικό ΣΕΑ



- «Ποιότητα» λύσεων:
 - κυριαρχία
 - διασπορά
- «εξωτερικό σύνολο»
- απόρριψη λύσεων (truncation operation)



Γενετικός αλγόριθμος βελτιστοποίησης ΣΕΑ

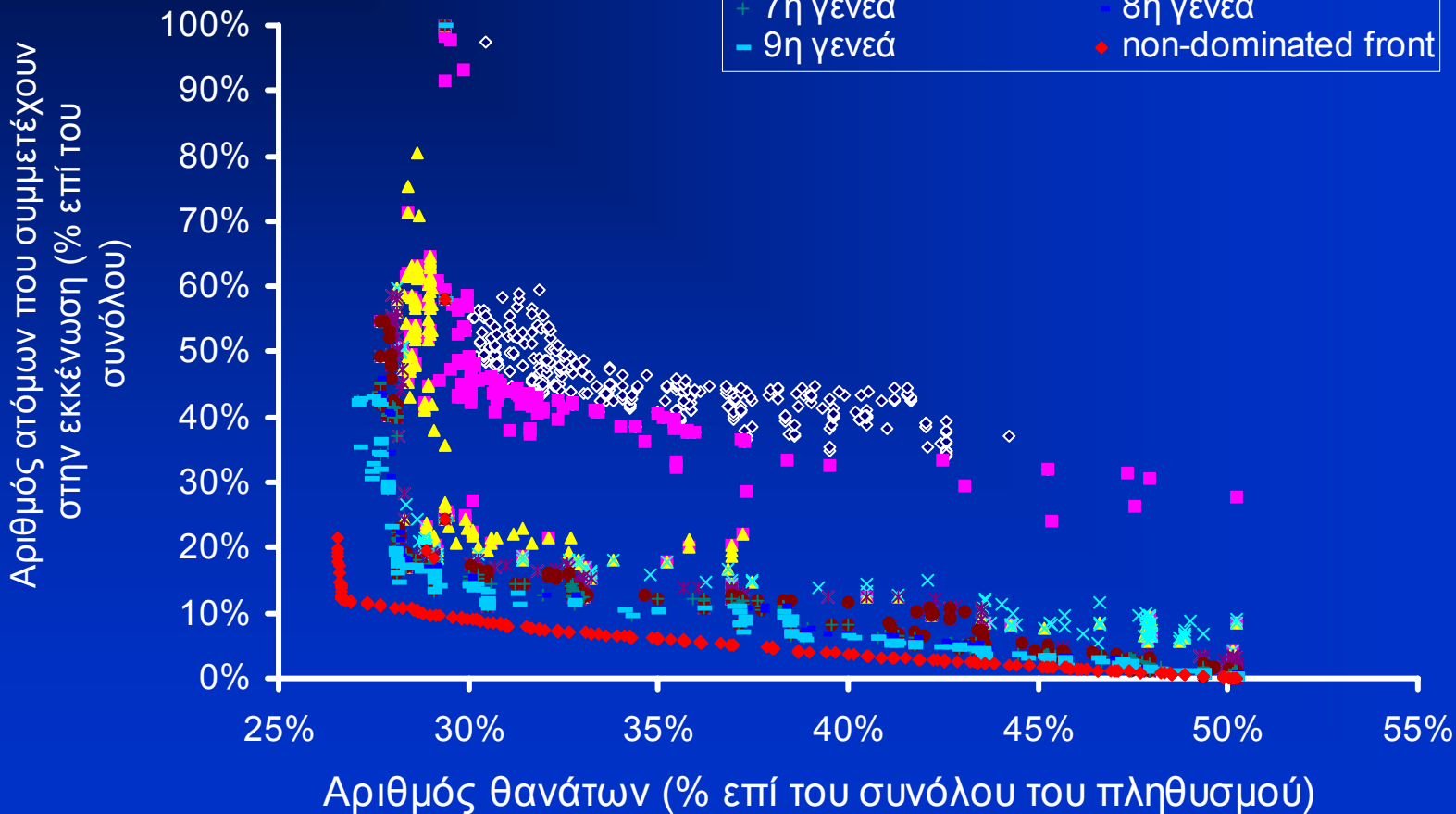




Σύνολο μη – κυριαρχούμενων λύσεων

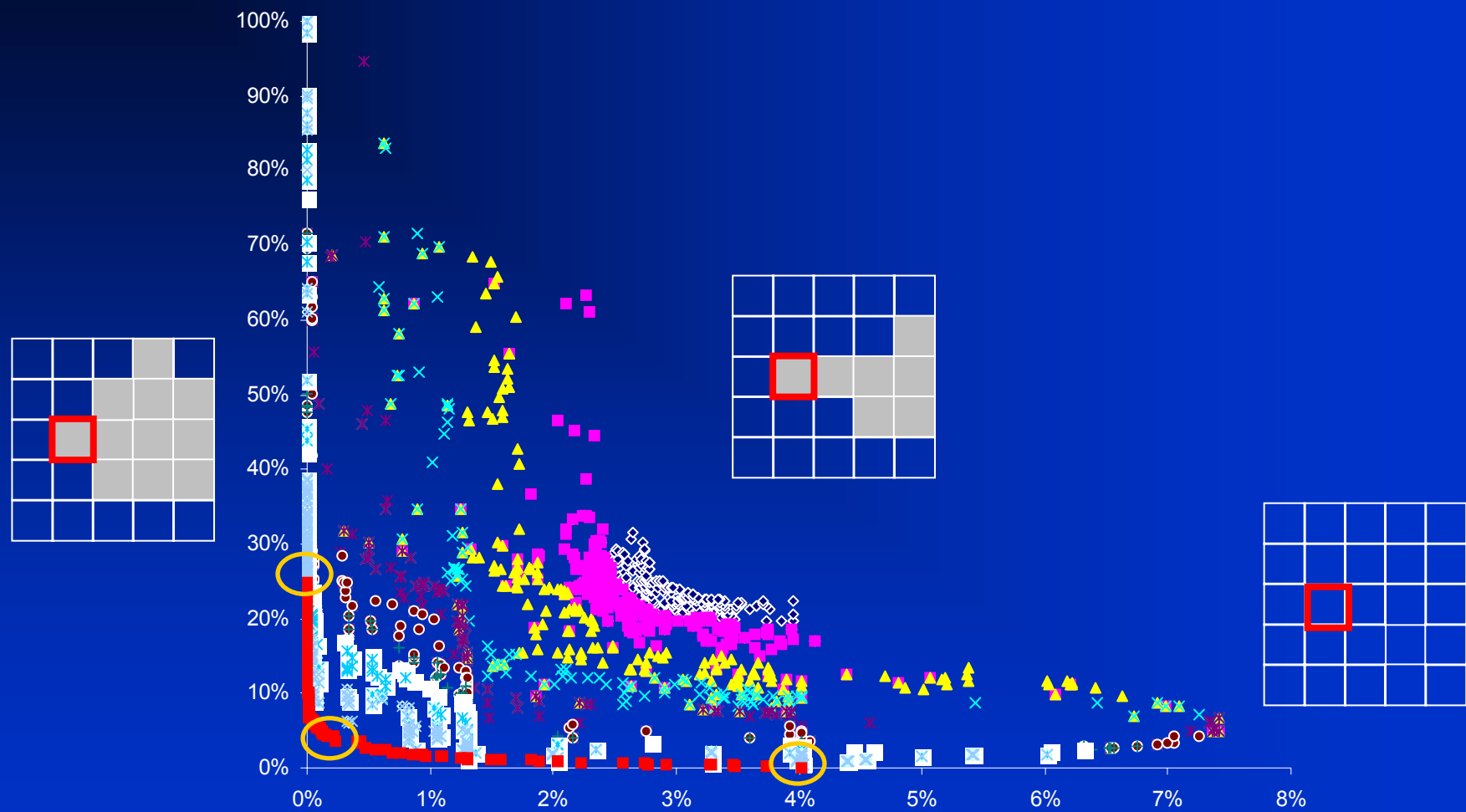
case study: BLEVE, δεξαμενή προπανίου

Ατύχημα BLEVE (Θριάσιο)
Χρόνος έναρξης εκκένωσης
πριν την έκρηξη (0.5 h)





Σύνολο μη – κυριαρχούμενων λύσεων (case study: αστοχία σε δεξαμενή αποθήκευσης αμμωνίας)



 Εγκατάσταση

 Συνέχιση κανονικής δραστηριότητας

 Εκκένωση



Σχετικές Δημοσιεύσεις

Γεωργιάδου Π., Παπάζογλου ΙΑ, Κυρανούδης Χρ., Μαρκάτος Ν.Χ.
Βελτιστοποίηση σχεδιασμού έκτακτης ανάγκης γύρω από εγκαταστάσεις που διαχειρίζονται επικίνδυνες ουσίες. *Πρακτικά 4ου Πανελλήνιου Συνεδρίου Χημικής Μηχανικής, Πάτρα, 29-31 Μαΐου 2003, σελ. 1133-1336.*

Georgiadou PS, Papazoglou IA, Kiranoudis CT, Markatos NC. Emergency response optimization for major hazard industrial sites. *In: Spitzer C, Schmocker U, Dang VN, editors. Proceedings of International Conference of Probabilistic Safety Assessment and Management (PSAM7 - ESREL '04). Berlin, Germany, 2004, p. 128-133.*

Georgiadou PS, Papazoglou IA, Kiranoudis CT, Markatos NC. Modeling emergency evacuation for major hazard industrial sites. *Reliability Engineering & System Safety. In Press, Corrected Proof, Available online 28 November 2006.*