

**1) Επιπτώσεις Υφαλμύρισης σε Υδατικά  
Συστήματα Παράκτιων Υδροφορέων**

**2) Μακροπρόθεσμη Στρατηγική Διαχείρισης  
Πλημμυρικών Φαινομένων**

**Καθ. Καρατζάς Γεώργιος**

**Πρόεδρος**

**Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**Χανιά**



# Φαινόμενο υφαλμύρισης

- Εισροή θαλασσινού νερού σε υπόγειους υδροφορείς → αύξηση αλατότητάς τους σε δεδομένη τοποθεσία, βάθος
- Μπορεί να οφείλεται σε
  - ⇒ Φυσικά αίτια
  - ⇒ Ανθρωπογενή παρέμβαση
  - ⇒ Συνδυασμός των ανωτέρω
- Δεν θεωρείται αναστρέψιμο φαινόμενο
  - ⇒ Προσρόφηση αλατιού
  - ⇒ Αργή κίνηση νερού
- Καλύτερη αντιμετώπιση → η πρόληψη. Διαφορετικά χρήση εφαρμοσμένων μαθηματικών προσομοιώσεων

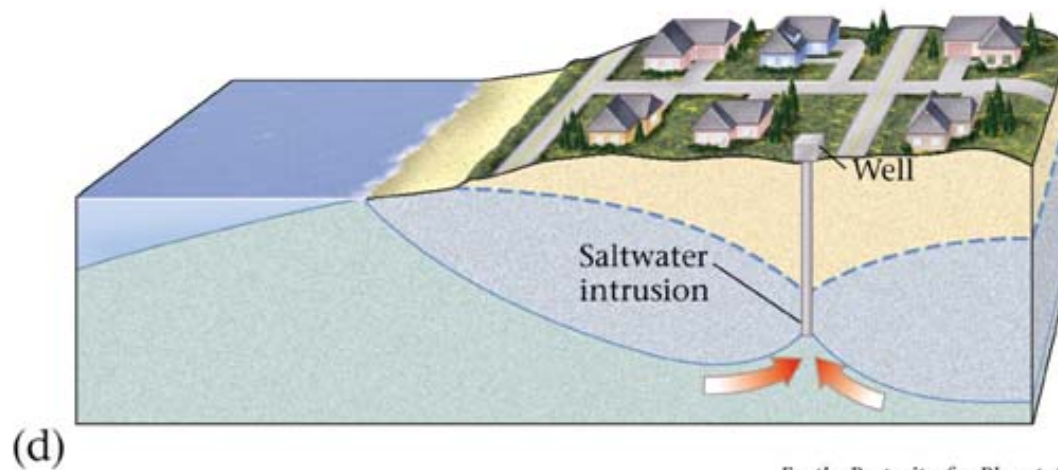
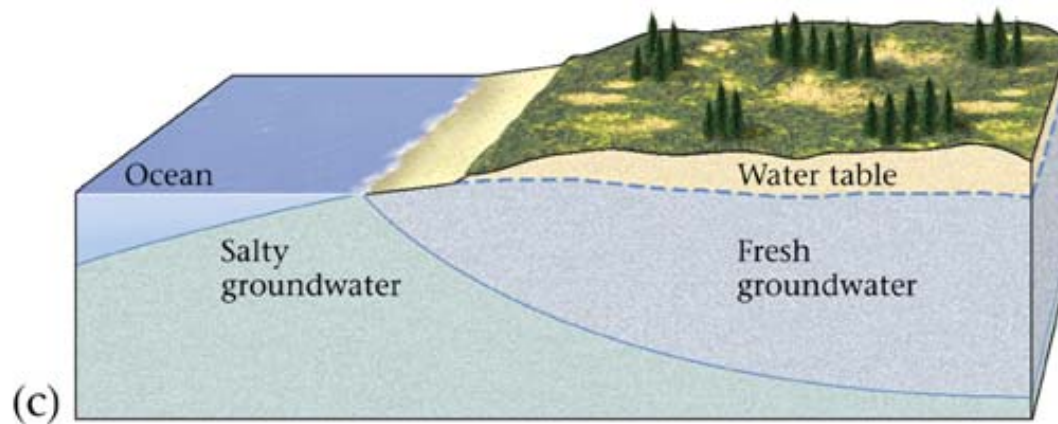


FIGURE 19.21

*Earth: Portrait of a Planet, 2nd Edition*  
Copyright (c) W.W. Norton & Company

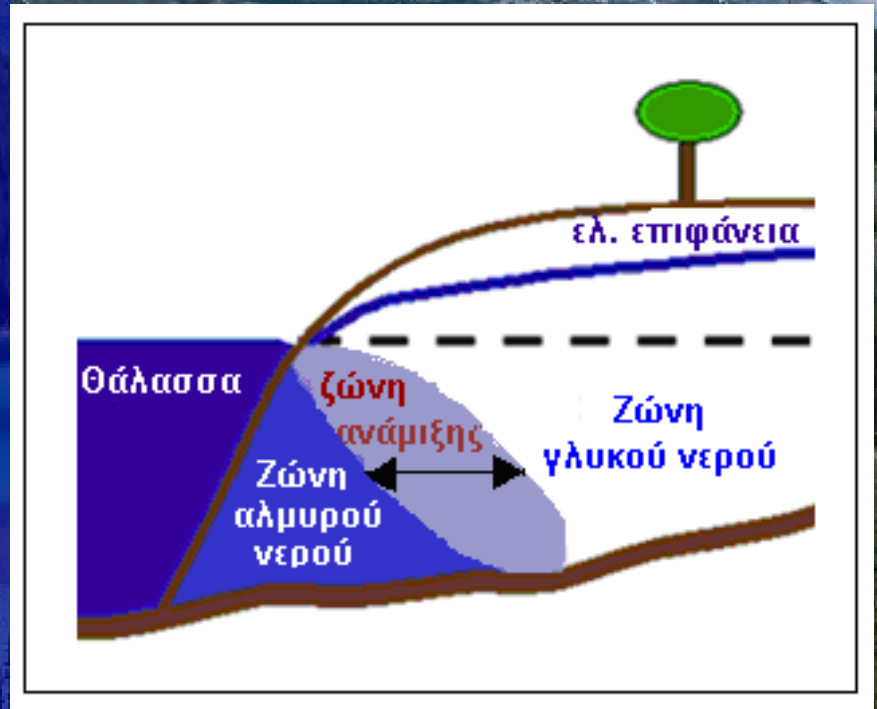
# Προσομοίωση της Υπόγειας Ροής και Μεταφοράς Μάζας για τον Προσδιορισμό της Υφάλμυρης Ζώνης

## Μοντέλα Προσομοίωσης

- Μαθηματικά μοντέλα που επιλύουν συστήματα διαφορικών εξισώσεων που περιγράφουν την ροή και την μεταφορά μάζας
- Δύναται να είναι 1-D , 2-D ή 3-D
- Τυπικές μέθοδοι επίλυσης αυτών με θεωρία πεπερασμένων στοιχείων ή πεπερασμένων διαφορών

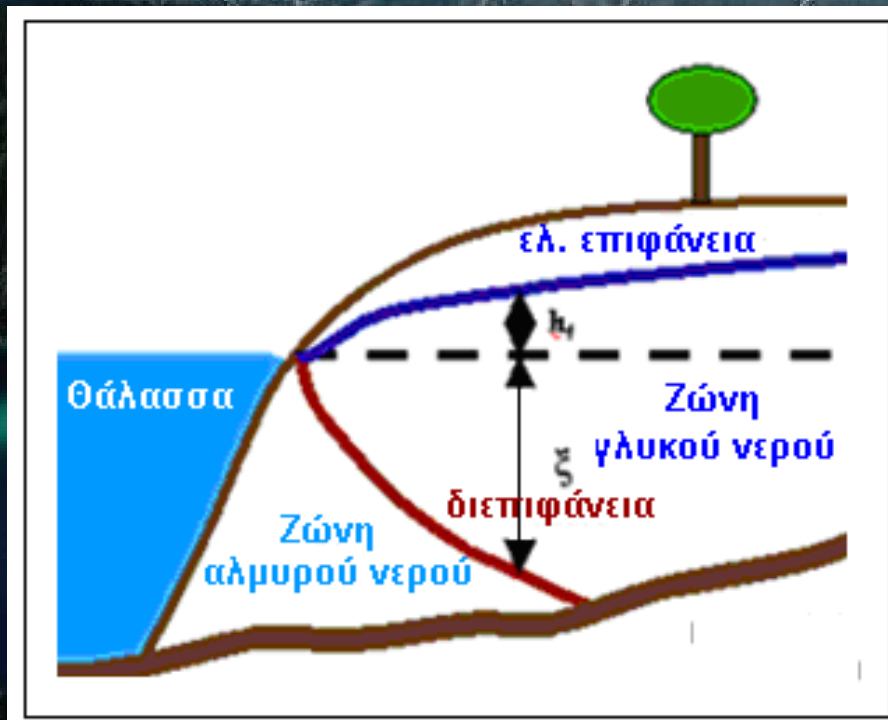
# Μέθοδοι προσομοίωσης Υφάλμυρης Ζώνης

- Θεώρηση διεπιφάνειας πεπερασμένου πάχους
  - ⇒ Αντιμετωπίζεται σαν ένα είδος ρύπανσης
  - ⇒ Θεωρείται ότι υπάρχουν 2 αναμίξιμα υγρά
  - ⇒ Προσεγγίζεται σαν πρόβλημα υδροδυναμικής διασποράς με συγκέντρωση εξαρτώμενη της πυκνότητας



- Θεώρηση απότομης διεπιφάνειας

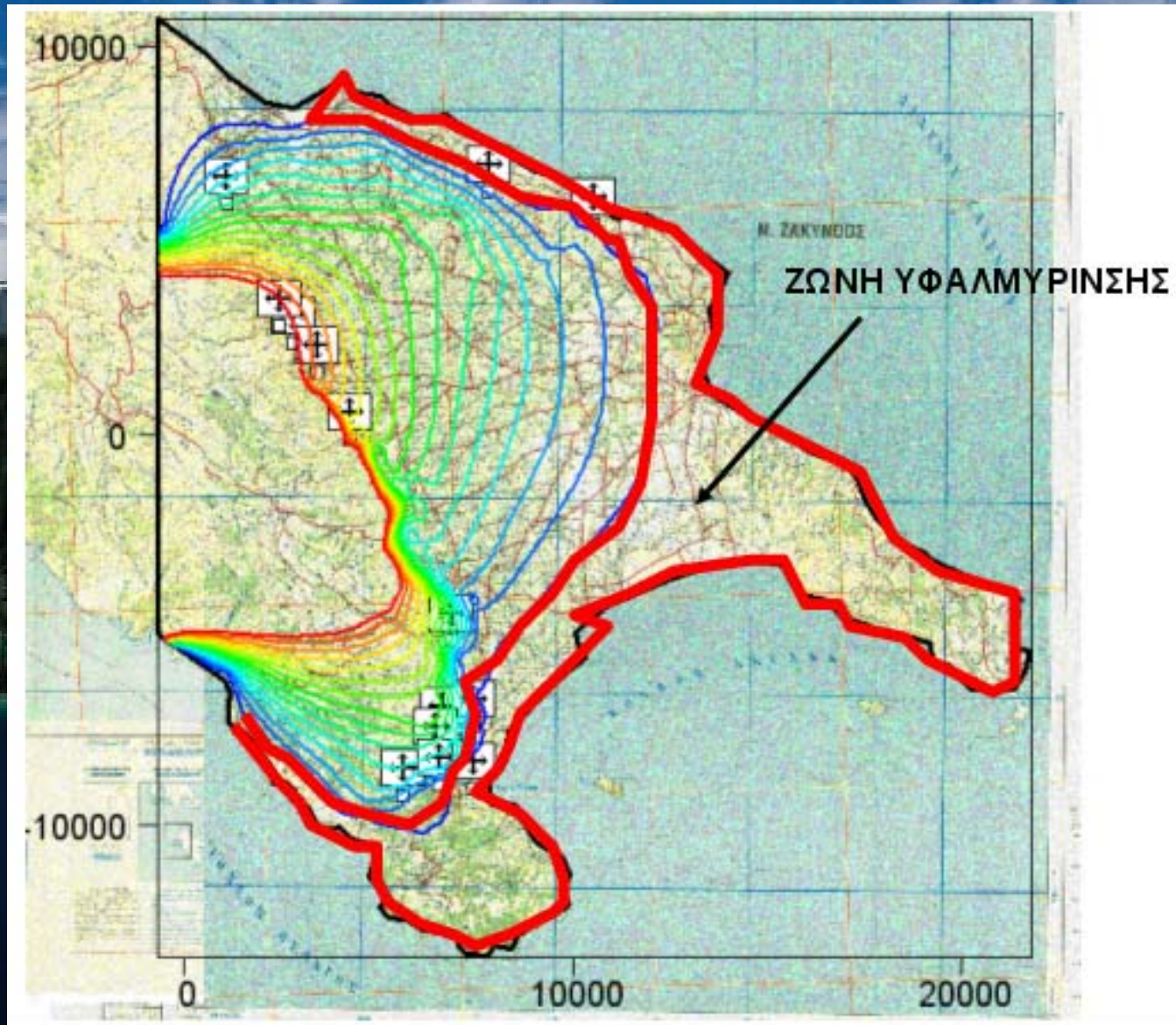
- Γίνεται η παραδοχή ότι υπάρχουν 2 μη αναμίξιμα υγρά
- Αδιατάρακτη ροή → ακίνητη διεπιφάνεια, μόνιμη ροή
- Άντληση → κινούμενη διεπιφάνεια, μη μόνιμη ροή



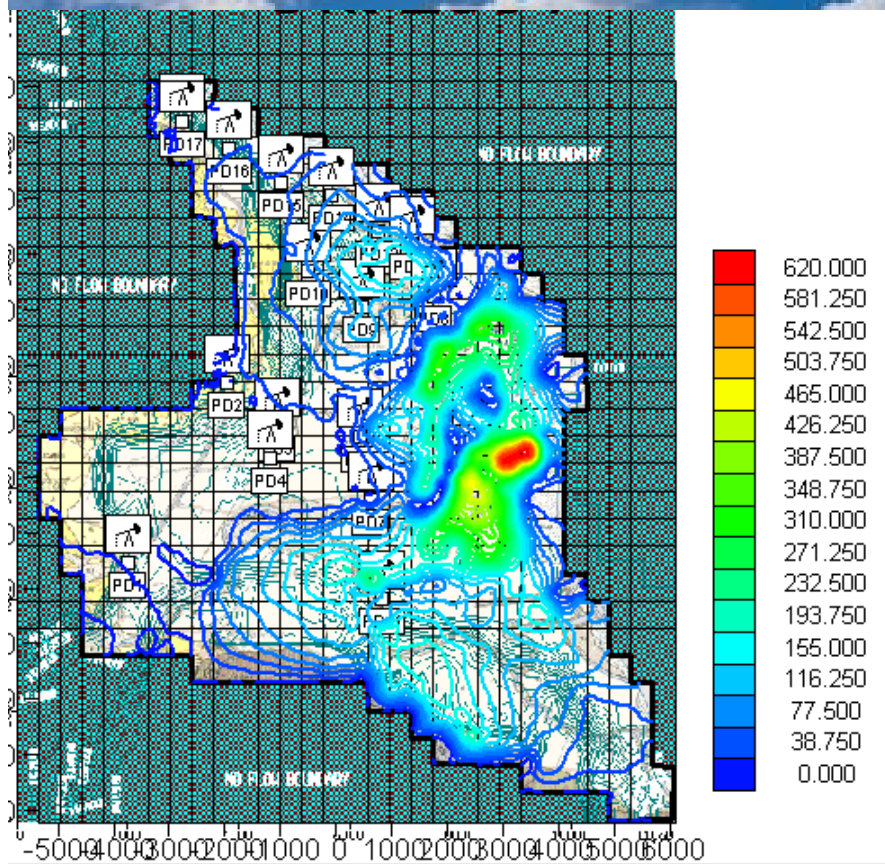
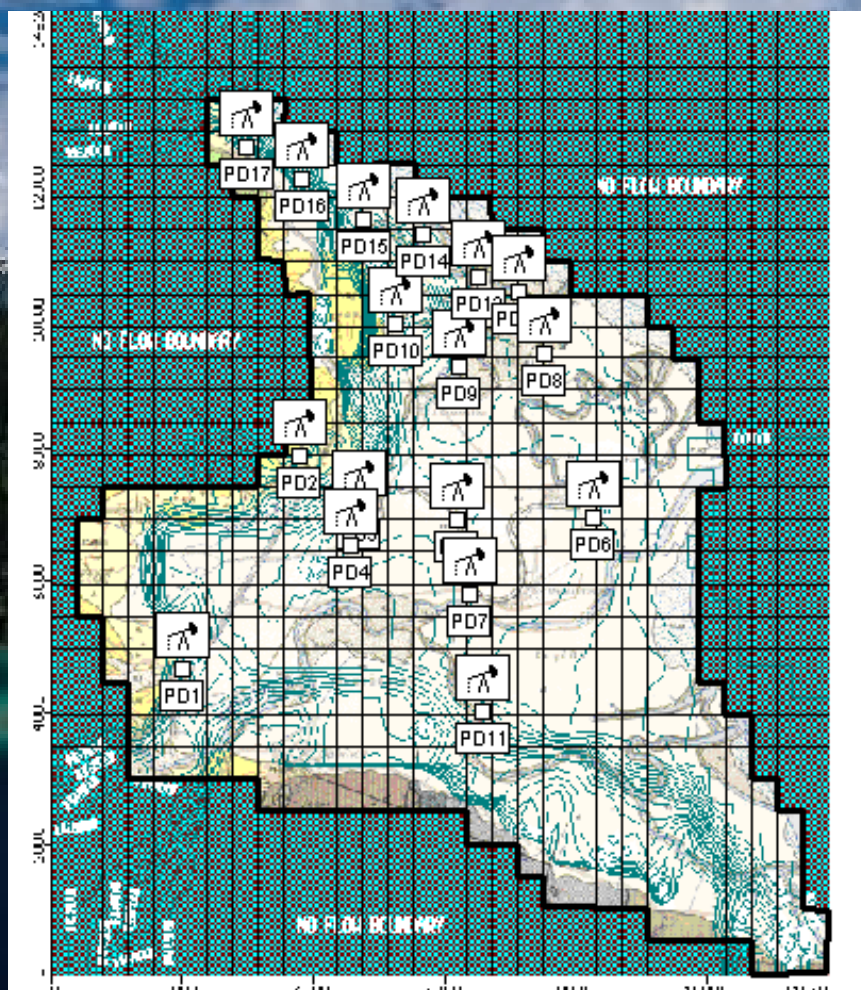
Νόμος Ghyden – Herzberg για τον υπολογισμό της θέσης της διεπιφάνειας

$$\xi = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f \approx 40h_f$$

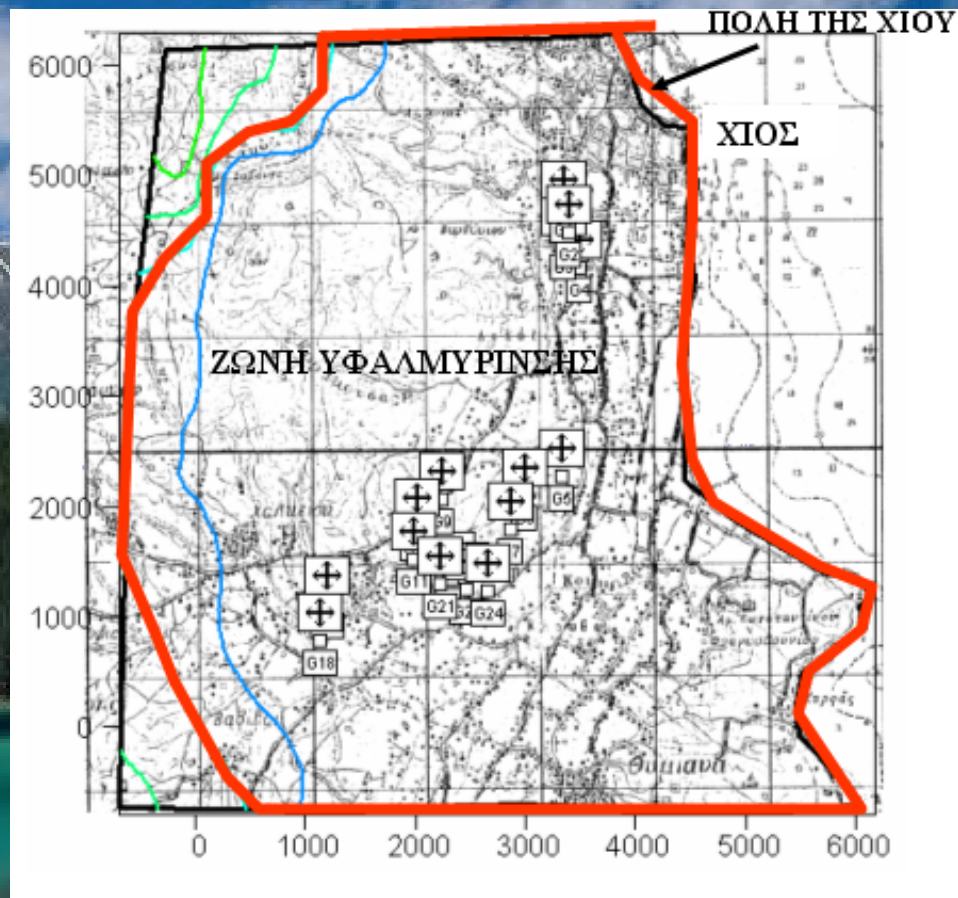
# ΖΑΚΥΝΘΟΣ



# ΕΚΒΟΛΕΣ ΠΗΝΕΙΟΥ



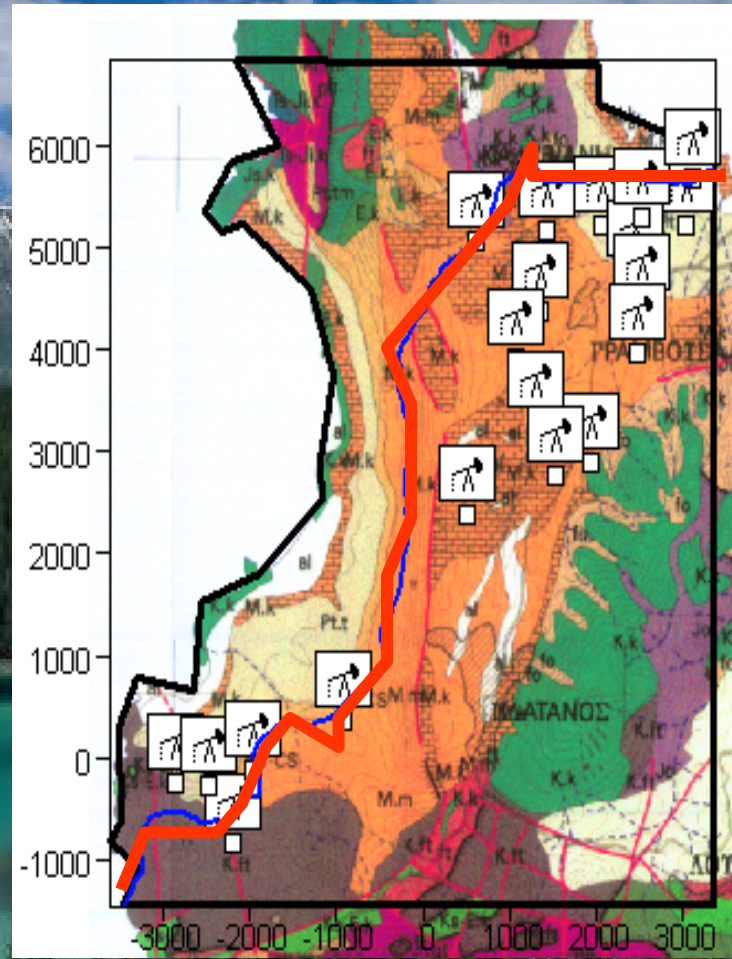
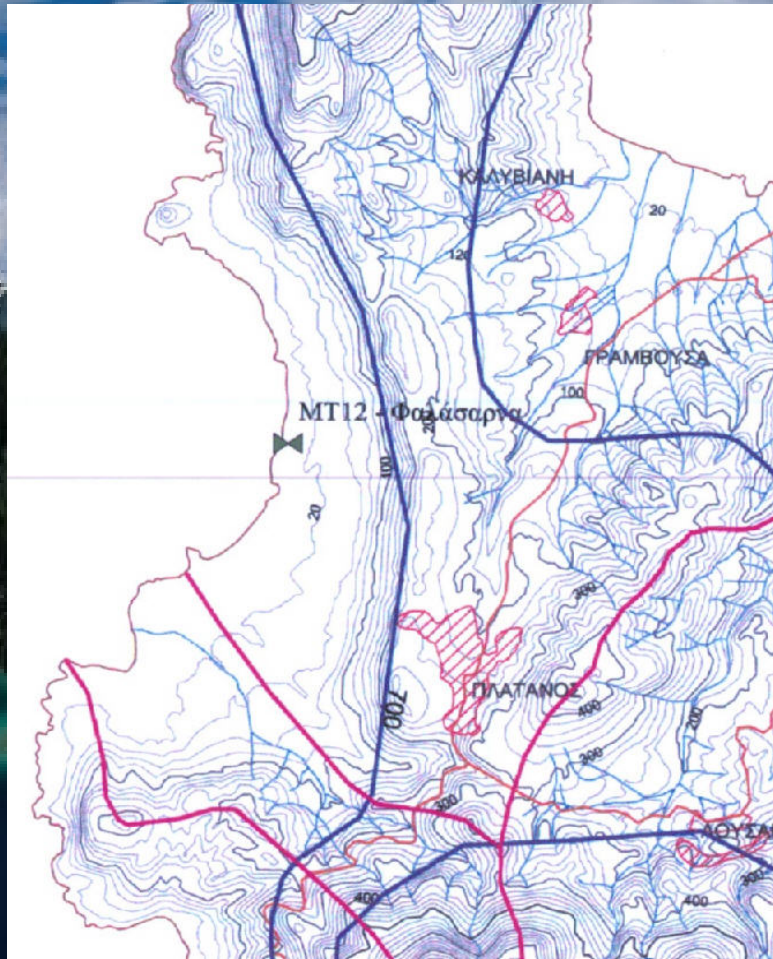
# ΧΙΟΣ

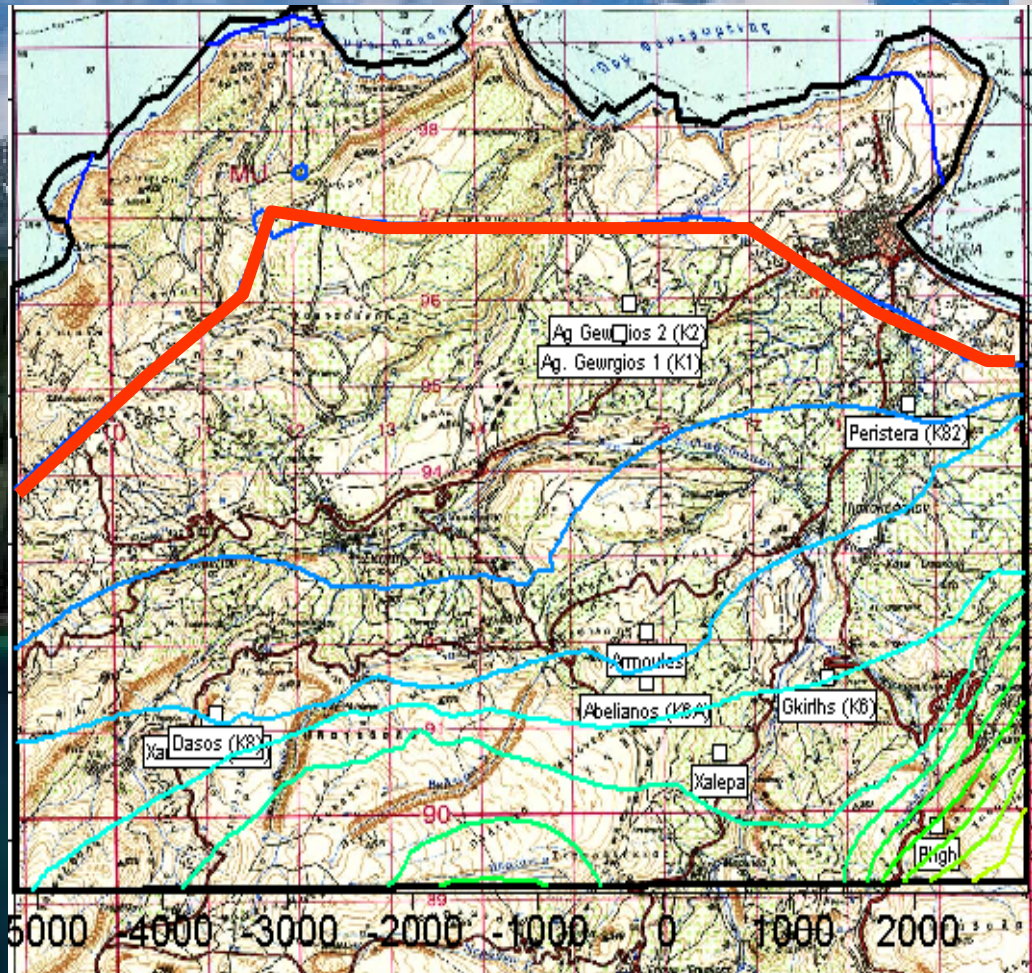


ΦΑΛΑΣΑΡΝΑ, Χανιά

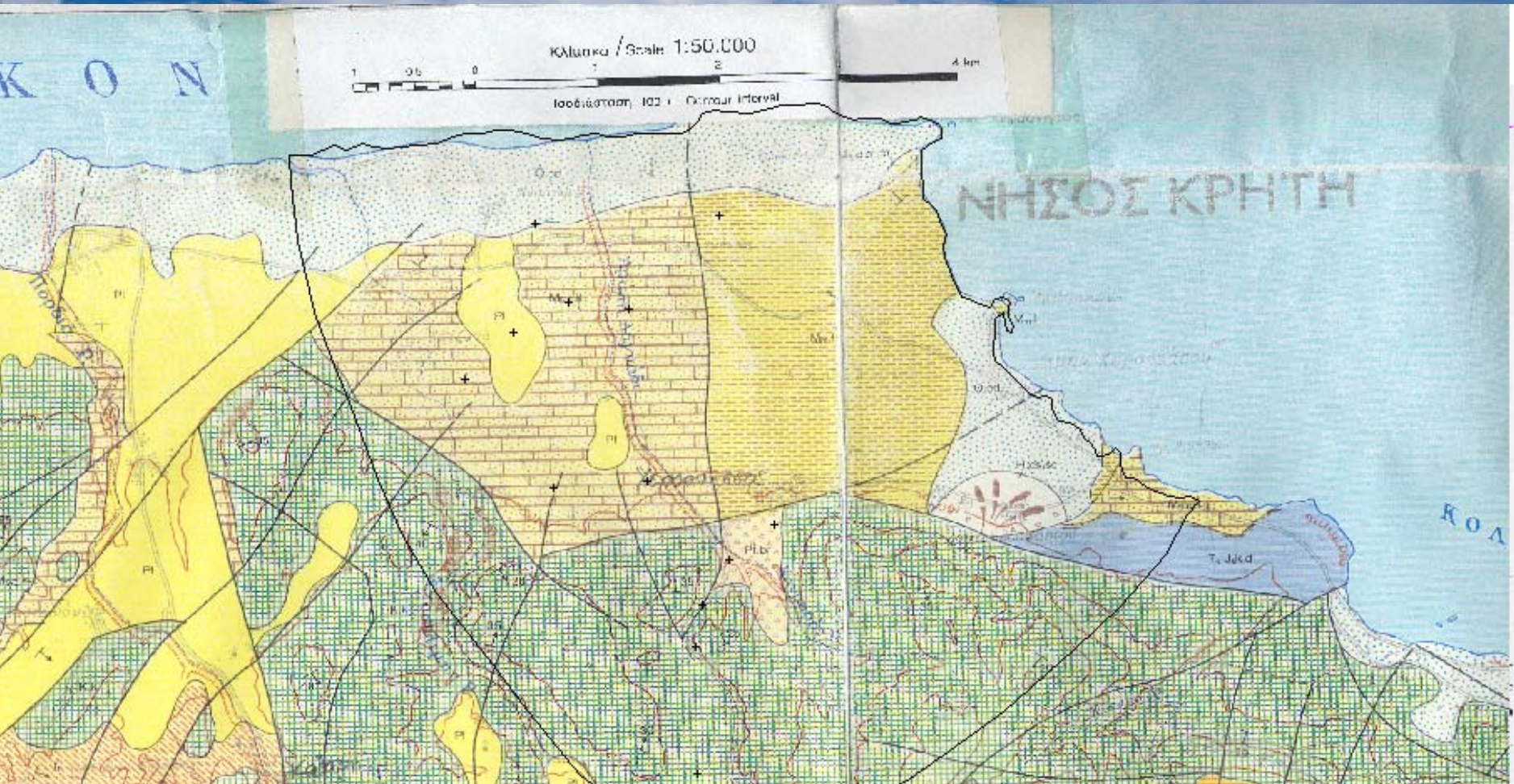
ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΣ, Ηράκλειο



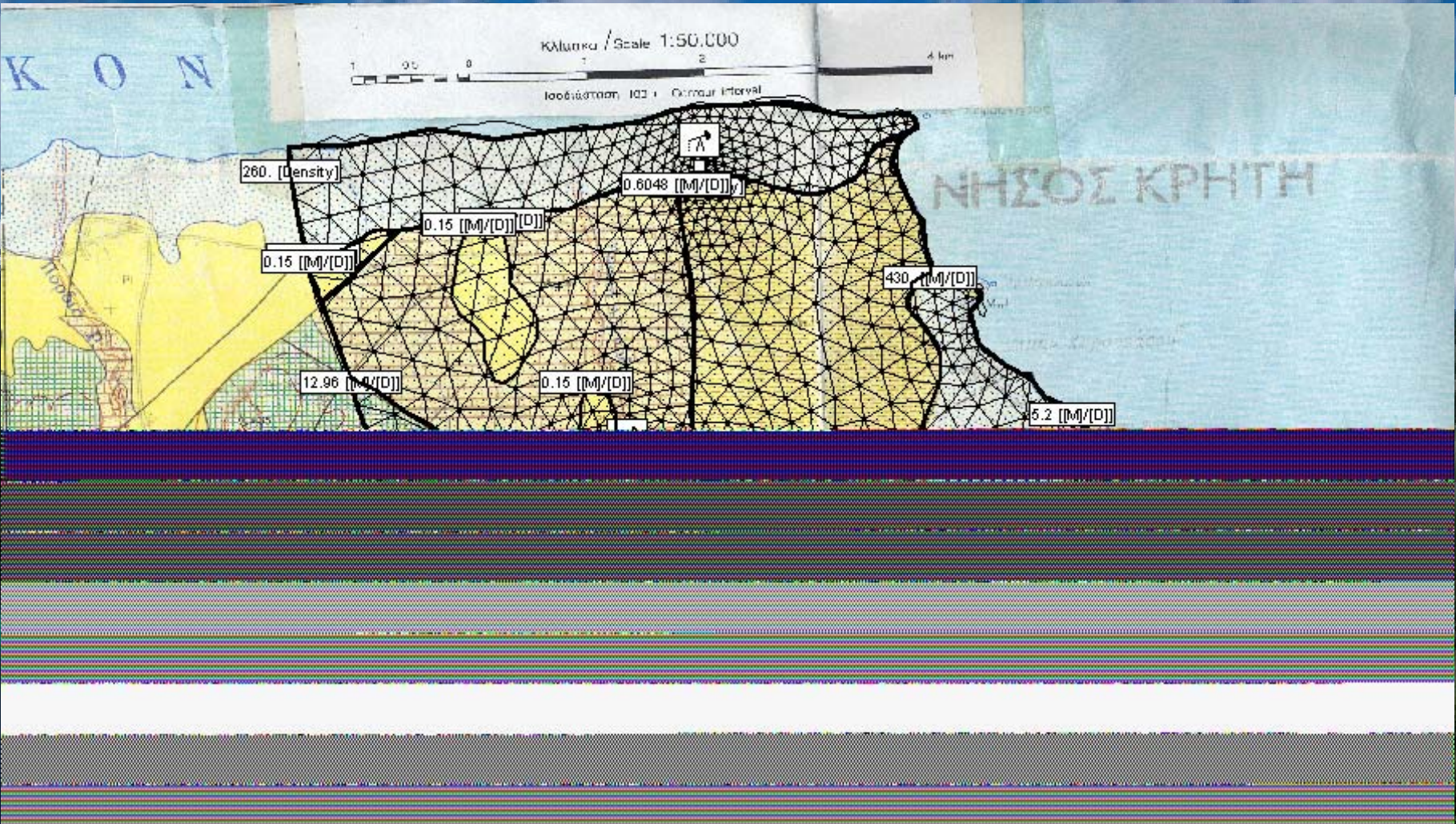




# ΠΕΡΙΟΧΗ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ



# ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

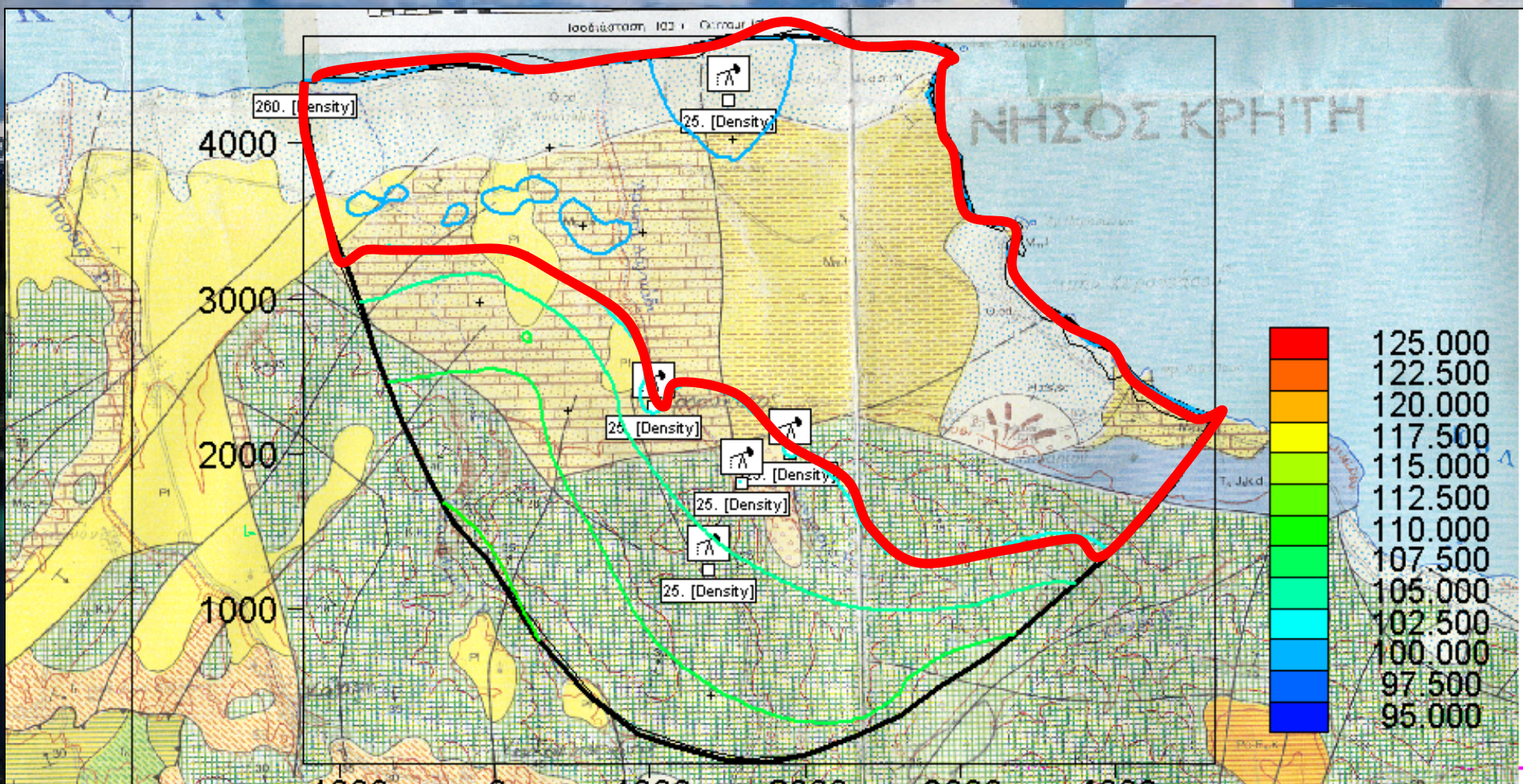


# ΟΙ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ

Αριθμός πηγαδιού άντλησης	Μέγιστη παροχή άντλησης (m <sup>3</sup> /d)	Ιδιοκτήτης
Γ386	1800	Δήμος Χερσονήσου
Γ387	2520	Δήμος Χερσονήσου
Γ389	576	Δήμος Χερσονήσου
Γ393	2520	Δήμος Χερσονήσου
Γ403	146	Δήμος Χερσονήσου

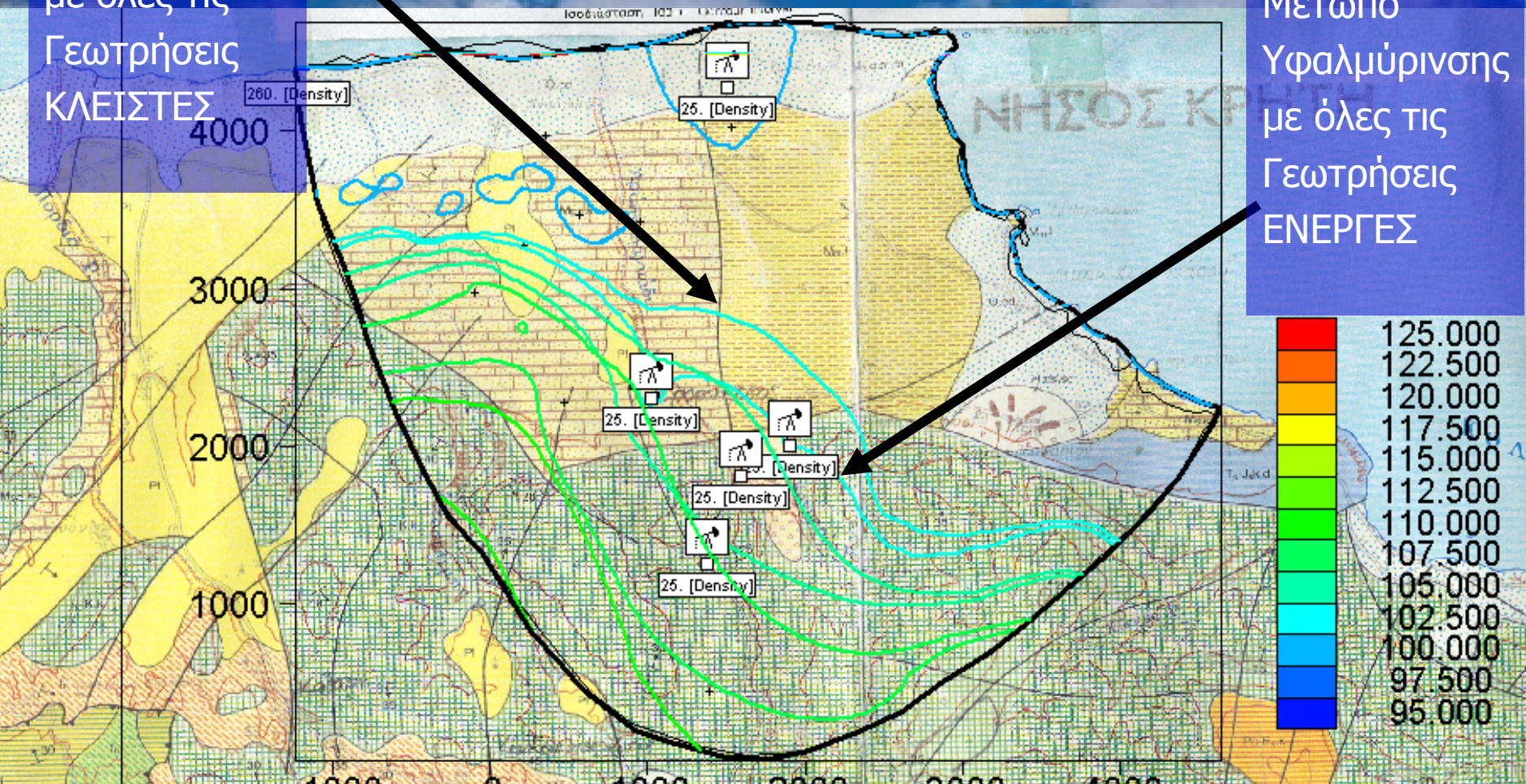
Περίοδος προσομοίωσης: 10 έτη

# ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ



Μέτωπο  
Υφαλμύρινσης  
με όλες τις  
Γεωτρήσεις  
ΚΛΕΙΣΤΕΣ

Μέτωπο  
Υφαλμύρινσης  
με όλες τις  
Γεωτρήσεις  
ΕΝΕΡΓΕΣ





## Μαθηματική έκφραση του προβλήματος

$$\max \sum_{i=1}^5 q_i \text{ subject to } H_1, H_2, \dots, H_{10} \geq 102.5$$

$$0 \leq q_1 \leq 1800$$

$$0 \leq q_2 \leq 2520$$

$$0 \leq q_3 \leq 576$$

$$0 \leq q_4 \leq 2520$$

$$0 \leq q_5 \leq 146$$

# Αποτελέσματα Βέλτιστου Σχεδιασμού

Αύξων Αριθμός	Αριθμός γεώτρησης άντλησης	Μέγιστη παροχή άντλησης – Υπάρχουσα Κατάσταση (m <sup>3</sup> /d)	Simplex Βέλτιστες Παροχές (m <sup>3</sup> /d)	Εξελικτικός αλγόριθμος Βέλτιστος Παροχές (m <sup>3</sup> /d)
1	Γ386	1800	1800	1800
2	Γ387	2520	631.5	659.6
3	Γ389	576	576	575.7
4	Γ393	2520	1935.4	1786.1
5	Γ403	146	0	114.3
ΣQ		7562	4942.9	4935.7

# Επίλυση του υπό μελέτη προβλήματος

Το βελτιστοποιημένο μέτωπο της υφαλμύρισης, όπως προκύπτει και από τις δύο μεθόδους βελτιστοποίησης



# Συμπεράσματα

- Ο συνδυασμός μοντέλων προσομοίωσης και μεθόδων βελτιστοποίησης είναι δυνατόν να συμβάλει τα μέγιστα σε προβλήματα διαχείρισης παράκτιων υδροφορέων με υφαλμύριση του υπόγειου ύδατος.
- Αναχαίτιση της υφαλμύρισης είναι επίπονη και χρονοβόρα. Ακόμα κι όταν το μέτωπο απωθηθεί πρέπει να εκροφηθεί και το προσροφημένο στους κόκκους του εδάφους άλας.
- Η υφαλμύριση είναι ένα φαινόμενο που είναι δύσκολα να αναχαιτισθεί και ίσως μη αναστρέψιμο.
- Πρακτικά αδύνατη φάνηκε η αναχαίτιση του μετώπου της υφαλμύρισης στη παρούσα μελέτη για χρονικό ορίζοντα μιας δεκαετίας.
- **Η ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΕΙΝΑΙ ΣΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ ΤΗΣ ΥΦΑΛΜΥΡΙΝΣΗΣ ΚΑΙ ΟΧΙ ΣΤΗΝ ΑΝΑΧΑΙΤΙΣΗ**

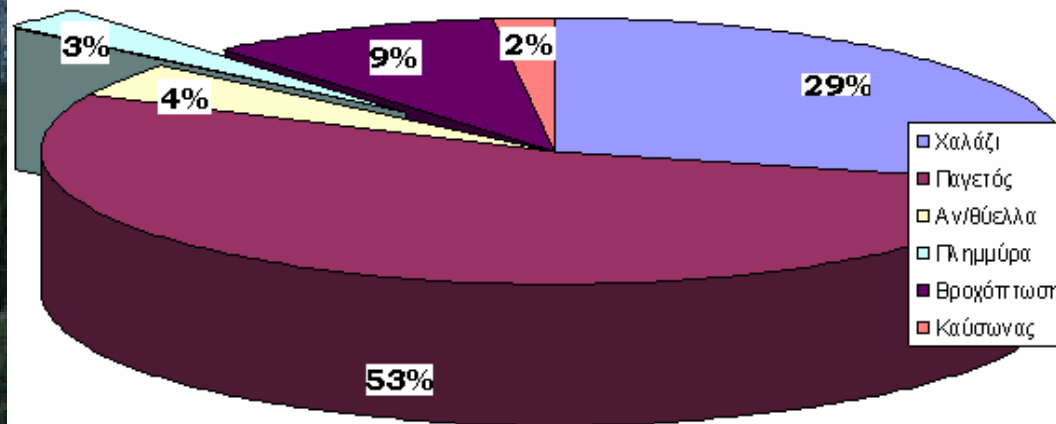


# ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΗ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

# ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

## Διάρθρωση ζημιών (2000-2004)

Ελληνική Επικράτεια



Πηγή: ΕΛΓΑ

## Σύνολο Αποζημιώσεων από πλημμύρες

Ζημιογόνο αίτιο	2000	2001	2002	2003	2004
σε €	826.181	1.251.916	9.211.822	13.944.546	3.063.895
Δένδρα	10.790.537	17.786.964	15.492.604	26.051.80	27.799.226
Στρέμματα	675.403	459.647	1.829.889	1.195.83	2.705.848

Πηγή: ΕΛΓΑ

# ΑΙΤΙΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ

*Κλιματολογικές αλλαγές*

*Αλλαγές χρήσης γης*

*Άλλες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις σημαντικότερες από τις οποίες είναι:*

➤ Η αστική ανάπτυξη και η στεγανοποίηση της επιφάνειας του εδάφους

➤ Η μερική ή ολική κάλυψη των κοιτών των χειμάρρων

➤ Οι διαστάσεις και το μικρό ύψος των γεφυρών

➤ Η αποψίλωση των δασών από πυρκαγιές ή άλλα αίτια και η επακόλουθη διάβρωση

➤ Η κατασκευή μεγάλων έργων, κυρίως οδικών, εγκάρσια προς την κοίτη

➤ Οι καθιζήσεις σε πεδινές περιοχές, λόγω ανθρωπογενών παρεμβάσεων

➤ Αλλαγή ή εκτροπή κοίτης

➤ 100% αντιπλημμυρική προστασία δεν είναι εφικτή. Εφικτή είναι μόνο η αξιολόγηση και η διαχείριση της επικινδυνότητας των πλημμυρικών φαινομένων

➤ Πλάνο διαχειριστικών μεθόδων αντιπλημμυρικής προστασίας

# ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Απαρτίζεται από:

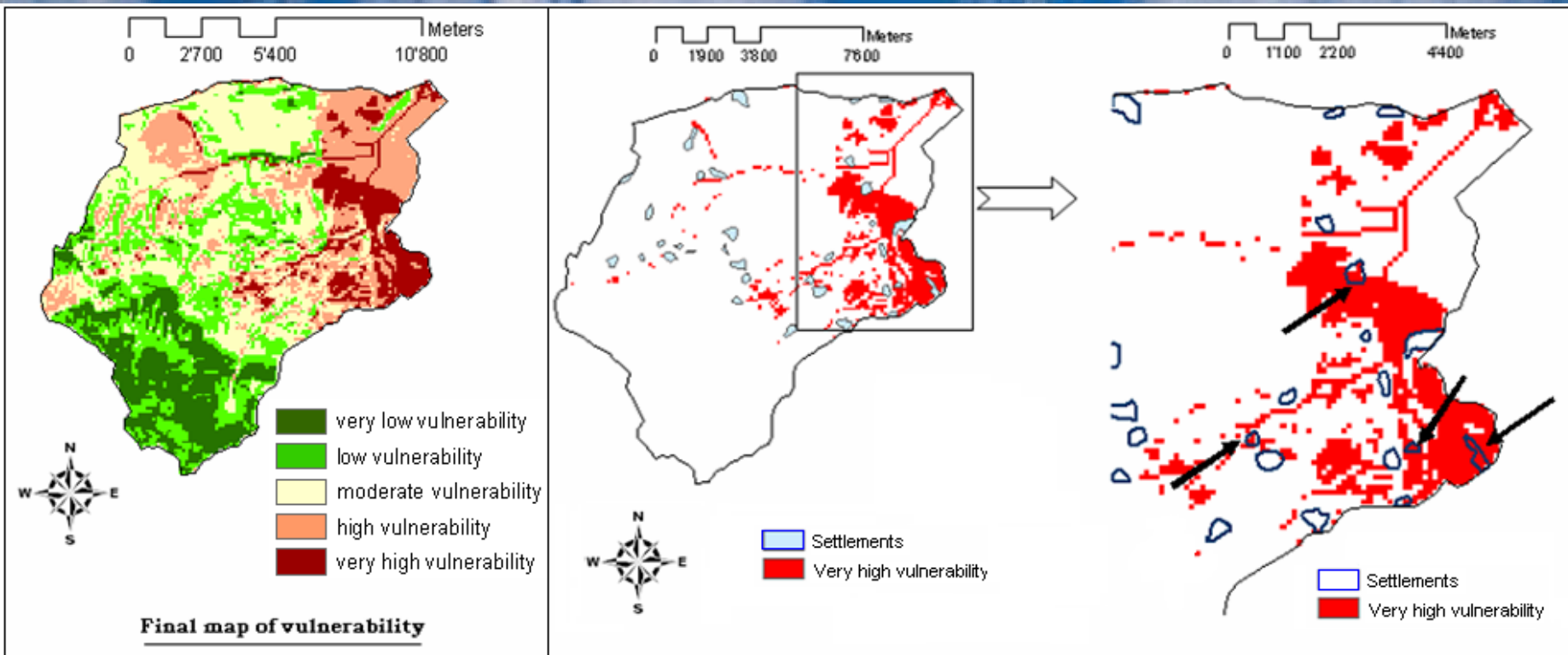
## Ανάλυση Επικινδυνότητας

- *Αξιολόγηση των Πηγών Κινδύνου*
- *Προσδιορισμός Επικίνδυνων Περιοχών*
- *Εκτίμηση Τρωτότητας*

## Στρατηγική Διαχείρισης Πλημμυρών

- *Προ-πλημμυρικά Μέτρα (Τεχνικά, Ρυθμιστικά, Οικονομικά, Επικοινωνιακά)*
- *Διαχείριση Γεγονότος Πλημμύρας*
- *Μετά-Πλημμυρικά Μέτρα*

# Ανάλυση Επικινδυνότητας Υδρ. Λεκάνης Κοιλιάρη Χανίων



# ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

## ΠΡΟ-ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΜΕΤΡΑ

### Τεχνικά Μέτρα

Η αντιπλημμυρική προστασία πρέπει να ξεκινά από τις ορεινές περιοχές, έτσι ώστε να μετριάζεται το φαινόμενο εν τη γενέσει του

Σχεδιασμός των έργων αντιπλημμυρικής προστασίας πρέπει να βασίζεται στη μελέτη με πραγματικά δεδομένα των μηχανισμών απορροής και κυρίως σε υδρομετεωρολογικά δεδομένα επί μεγάλο χρονικό διάστημα, έτσι ώστε να περιλαμβάνει συνήθειες και ακραίες συνθήκες

Τα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας θα πρέπει να περιλαμβάνουν παρεμβάσεις οι οποίες θα πρέπει να είναι ήπιες και συνδυαστικές

Η βασική φιλοσοφία σε οποιαδήποτε αντιπλημμυρική προστασία είναι ότι δεν πρέπει να αγνοηθεί η μακράς διάρκειας δυναμική των ποτάμιων συστημάτων η οποία εκφράζεται από τη γεωμετρία της διατομής της φυσικής κοίτης

## Τεχνικά Μέτρα

### Στις χαμηλές περιοχές

Ο δείκτης πλημμυρικού κινδύνου είναι υψηλός, λίγα πράγματα μπορούν να γίνουν προς την κατεύθυνση του ίδιου του φαινομένου εκτός από:

➤ Έργα προστασίας της όχθης από την διάβρωση

➤ Καθαρισμός της κοίτης από αποθέσεις παλαιότερων πλημμυρών



✓ Είναι αναγκαία η οριοθέτηση και χαρτογράφηση του πλημμυρικού πεδίου, όπως και των κάθε μορφής τεχνικών και μη παρεμβάσεων σε αυτό

✓ Πρέπει να οριοθετηθούν ζώνες προστασίας πλημμυρών όπου θα καθορίζονται ή απαγορεύονται συγκεκριμένες δραστηριότητες προκειμένου να αποφεύγονται πιθανές καταστροφές αλλά να επιτρέπεται και η φυσική εκτόνωση της πλημμύρας

## Τεχνικά Μέτρα

### *Στις ενδιάμεσες περιοχές*

**Περιοχές όπου η απορροή «φορτίζεται» με ενέργεια, λόγω της μεγάλης υψομετρικής διαφοράς**

✓ Συνήθως πρόκειται για περιοχές που η απορροή έχει ήδη συγκεντρωθεί σε λίγους κλάδους με απότομη κλίση, οι οποίοι ξεκινούν από σχετικά μεγάλα υψόμετρα και καταλήγουν απευθείας στις χαμηλές περιοχές

✓ Οι τεχνικές παρεμβάσεις αναμένεται να είναι μάλλον δύσκολες στις περιοχές αυτές, και λόγω της μορφολογίας των χειμάρρων αυτών, αλλά και λόγω της υψηλής τους ενέργειας



➤ Οι γεωλογικές συνθήκες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις περιοχές αυτές

➤ Σε αρκετές περιπτώσεις για τις ζώνες φυσικού εμπλουτισμού των καρστικών υδροφόρων, μπορεί να διερευνηθεί το ενδεχόμενο του τεχνητού εμπλουτισμού

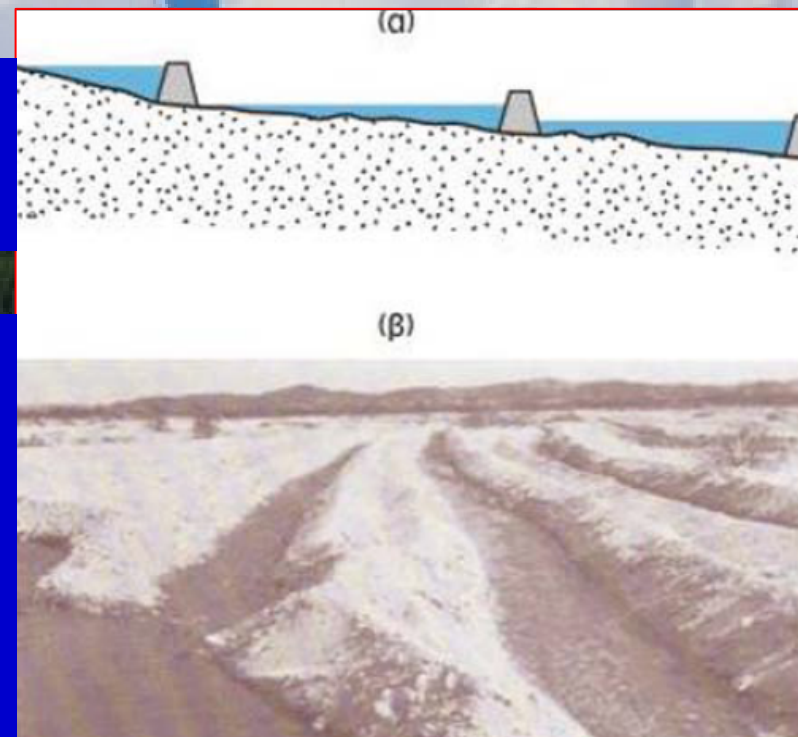
## Τεχνικά Μέτρα

### Στις υψηλές περιοχές

Το φαινόμενο της πλημμύρας δεν έχει ακόμη ξεκινήσει. Αυτές οι περιοχές όμως αποτελούν το χώρο συλλογής του κύριου όγκου του νερού που θα καταλήξει στα στόμια των χαμηλών περιοχών

✓ Πρέπει να θεωρούνται δεδομένα τα τεχνικά και θεσμικά μέτρα προστασίας από την αποψίλωση και τις πυρκαγιές

✓ Μπορεί να γίνει με τεχνικά μέτρα (όπως ταμιευτήρες και ανασχετικά φράγματα) ο αποσυγχρονισμός της απόκρισης του υδρογραφικού δικτύου, έτσι ώστε να αποσυντονιστούν οι χρόνοι συγκέντρωσης του νερού στα σημεία που αυξάνεται η ενέργεια χειμάρρου



Ο υπολογισμός του χρόνου συγκέντρωσης του νερού στις υπολεκάνες των περιοχών αυτών, μπορεί να καθοδηγήσει τις τεχνικές παρεμβάσεις ως προς το είδος και τα σημεία παρέμβασης

# Ρυθμιστικά, Οικονομικά και Επικοινωνιακά Μέτρα

## ΤΟΠΙΚΗ ΑΥΤΟΔΙΟΙΚΗΣΗ (ΟΤΑ)

Μπορεί να ενσωματώσει με μικρό σχετικά κόστος νέες καινοτομίες και πολιτικές

Η πιλοτική εφαρμογή ενός καινοτόμου προγράμματος σε ένα ή μερικούς ΟΤΑ θα έχει πολύ μικρότερο κόστος σε περίπτωση αποτυχίας, από ότι εάν το ίδιο πρόγραμμα εφαρμοζόταν σε όλη την επικράτεια

Σε περίπτωση επιτυχίας του προγράμματος η πιλοτική του εφαρμογή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως «καλή πρακτική» και να διαχυθεί στο σύνολο της χώρας

**Στην πρόληψη και αντιμετώπιση των πλημμυρών οι Ευρωπαϊκοί ΟΤΑ είχαν πάντα ένα σημαίνοντα ρόλο**



- Το μικρό μέγεθος επιτρέπει ευελιξία
- Περιορίζει τους γραφειοκρατικούς μηχανισμούς
- Ως η πλησιέστερα εξουσία προς τον πολίτη, έχει αναπτύξει με τους δημότες αμφίδρομες σχέσεις- γνώσεις και μπορεί με τον καλύτερο τρόπο να εκφράσει τις ιδιαιτερότητες και ιδιομορφίες του κάθε τόπου

# ΤΟΠΙΚΗ ΑΥΤΟΔΙΟΙΚΗΣΗ

## Μελετώντας τη διεθνή εμπειρία των ΟΤΑ

- Το κοινό δεν αντιμετωπίζει την πιθανότητα πλημμύρας με ιδιαίτερη προσοχή θεωρώντας ότι η περιοχή του δεν απειλείται από ένα τέτοιο φαινόμενο
  - Το πολιτικό όφελος για την αντιμετώπιση μιας πιθανής πλημμύρας είναι συχνά πολύ μικρό. Είναι πολύ δύσκολο να δεσμεύσει κανείς χρηματικούς πόρους για την πρόληψη μια πλημμύρας. Στην περίπτωση όμως που αυτή συμβεί και τα προληπτικά μέτρα έχουν λειτουργήσει, και τα πολιτικά οφέλη αυξάνονται

### Για το λόγο αυτό οι ΟΤΑ οφείλουν:

- Να δώσουν έμφαση στη δημόσια ασφάλεια, που θα επιτευχθεί μόνο μέσω της λήψης μέτρων για τον περιορισμό των πλημμυρών
- Να ενισχύσουν τη σωστή και αποτελεσματική χρήση των περιοχών που είναι επιρρεπείς στις πλημμύρες

## Πρωτοβουλίες που μπορούν να λάβουν οι ΟΤΑ

*Θα πρέπει να εξεταστεί εάν έχουν πραγματοποιηθεί και με ποια αποτελέσματα τα παρακάτω μέτρα:*

➤ Ρυθμίσεις που έχουν υιοθετηθεί από το δημοτικό συμβούλιο και αφορούν τις περιοχές με υψηλό κίνδυνο πλημμύρας

➤ Ενημέρωση της κοινής γνώμης για τους κινδύνους των πλημμυρών, καθώς και για τα προστατευτικά μέτρα που μπορεί να λάβει ο κάθε πολίτης

➤ Ενέργειες για την αντιμετώπιση των πλημμυρών, στο μέλλον

➤ Λήψη μέτρων έκτακτης ανάγκης, έλεγχος για τη διάβρωση του εδάφους, επισκευές, διαχείριση υδάτινων πόρων

## ***Μέσα στην τοπική κοινωνία οι πολίτες θα πρέπει:***

- **Να αναγνωρίζουν και να συμμορφώνονται με τα προειδοποιητικά σήματα**
- **Να ακολουθούν τα διαμορφωμένα σχέδια εκκένωσης**
- **Να μένουν μακριά από περιοχές επιρρεπείς στις κατολισθήσεις**
- **Να γνωρίζουν αν η περιουσία τους βρίσκεται σε περιοχή υψηλού κινδύνου, καθώς και τα προληπτικά μέτρα τα οποία πρέπει να λάβουν σε τέτοια περίπτωση**

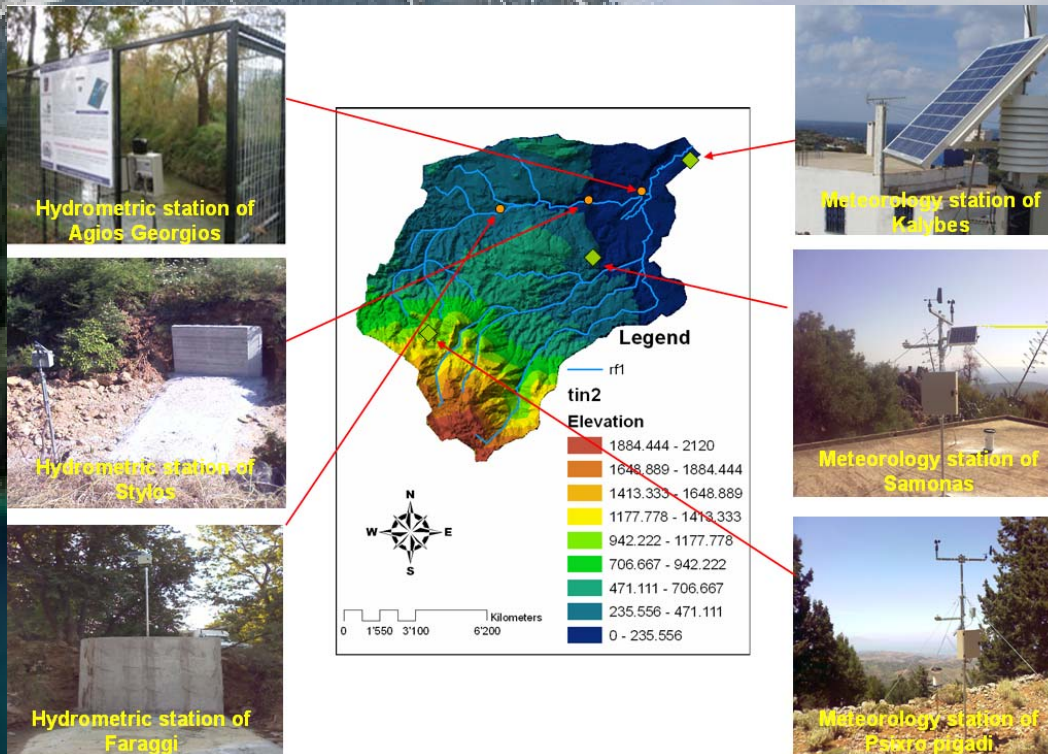
## ***Οι υπηρεσίες διάσωσης θα πρέπει:***

- **Να διαθέτουν εξοπλισμό και εκπαίδευση**
- **Να έχουν στη διάθεση τους τοπικούς χάρτες στους οποίους να σημειώνονται οι περιοχές υψηλού κινδύνου**
- **Να παρακολουθούν τις αλλαγές στη γεωμορφολογία των ποταμιών, αλλά και τα μετεωρολογικά σήματα**
- **Να αξιολογούν τις άμεσες ανάγκες σε περίπτωση εκκένωσης, καταφυγίου, ιατρικής περίθαλψης**
- **Να έχουν ανοιχτούς δίαυλους επικοινωνίας με τους πολίτες την ώρα της κρίσης**

# ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Η εγκατάσταση τηλεμετρικών μετεωρολογικών και υδρομετρικών σταθμών

Η δημιουργία ενός αποτελεσματικού συστήματος προειδοποίησης προϋποθέτει την ύπαρξη δεδομένων: Μετεωρολογικών και Επιπέδου στάθμης ποταμού σε πραγματικό χρόνο



Hydrometric station of Agios Georgios

Hydrometric station of Styles

Hydrometric station of Faraggi

Meteorology station of Kalybes

Meteorology station of Samonas

Meteorology station of Psaromigadi

*Ένα αποτελεσματικό σύστημα προειδοποίησης είναι αναγκαίο να υπάρξει σε περιοχές με υψηλή τρωτότητα πλημμυρικών φαινομένων*

# ΜΕΤΑ-ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΜΕΤΡΑ

*Μέτρα ανακούφισης, μέτρα αποκατάστασης της ζημιωθείσας υποδομής και μέτρα αναθεώρηση της αποτελεσματικότητας του αντιπλημμυρικού συστήματος*

Prague



Dresden



**Άμεση ανταπόκριση** - Η επιτυχημένη λειτουργία ενός προγράμματος ετοιμότητας είναι αποτέλεσμα καλής προετοιμασίας. Η εμπειρία δείχνει ότι όταν τα μέτρα και οι διαδικασίες έκτακτης ανάγκης έχουν σχεδιαστεί και έχουν γίνει κατανοητά, ο χρόνος ανταπόκρισης και αντίδρασης των μηχανισμών ενός ΟΤΑ μειώνεται σε μεγάλο βαθμό και ο συντονισμός βελτιώνεται.

## **Αμέσως μετά την πλημμύρα - Ενέργειες προκειμένου να αμβλυθούν οι συνέπειες της**

- ✓ **Να γίνουν γνωστές οι αιτίες της πλημμύρας, οι περιοχές που έχουν πληγεί και ο βαθμός καταστροφής**
- ✓ **Να αξιολογηθεί η πιθανότητα και το είδος της εξωτερικής βοήθειας που μπορεί να αναμένει η ΤΑ σε παρόμοιες καταστάσεις. Για το λόγω αυτό οι τοπικές αρχές θα πρέπει να γνωρίζουν τόσο τα υπάρχοντα υποστηρικτικά προγράμματα, όσο και τις προϋποθέσεις που έχει θέσει το κράτος ή ΕU**
- ✓ **Να δρομολογηθούν άμεσα οι δράσεις που απευθύνονται στη «μετά πλημμύρα» περίοδο. Η καλύτερη χρονική στιγμή για να εξασφαλίσει κανείς ότι το ενδεχόμενο της πλημμύρας δεν θα επαναληφθεί είναι ακριβώς πριν αρχίσουν οι επιδιορθώσεις στις κατεστραμμένες δομές**

**Θέσπιση διατάξεων  
που θα ορίζουν  
αντιπλημμυρικές τεχνικές  
στην κατασκευή**

**Απομάκρυνση  
των κατεστραμμένων  
δομών**

**Έλεγχος χρήσης  
γης  
που θα κατευθύνει  
την ανάπτυξη σε  
ασφαλείς περιοχές**

**ΜΕΤΑ-ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ  
ΜΕΤΡΑ**  
Θα πρέπει να συνοδεύονται  
από τα ακόλουθα μέτρα

**Έργα συγκράτησης  
των υδάτων που  
εμπεριέχουν  
κινδύνους  
πλημμύρας**

**Λήψη μέτρων για την ενίσχυση  
της αντιπλημμυρικής προστασίας  
στα υπάρχοντα κτήρια**

**Καμπάνιες ενημέρωσης του κοινού**