

**Πιθανοτική διερεύνηση καταστάσεων  
εδαφικής υγρασίας στην Ελληνική επικράτεια  
για χρήση τους στον υδρολογικό σχεδιασμό**

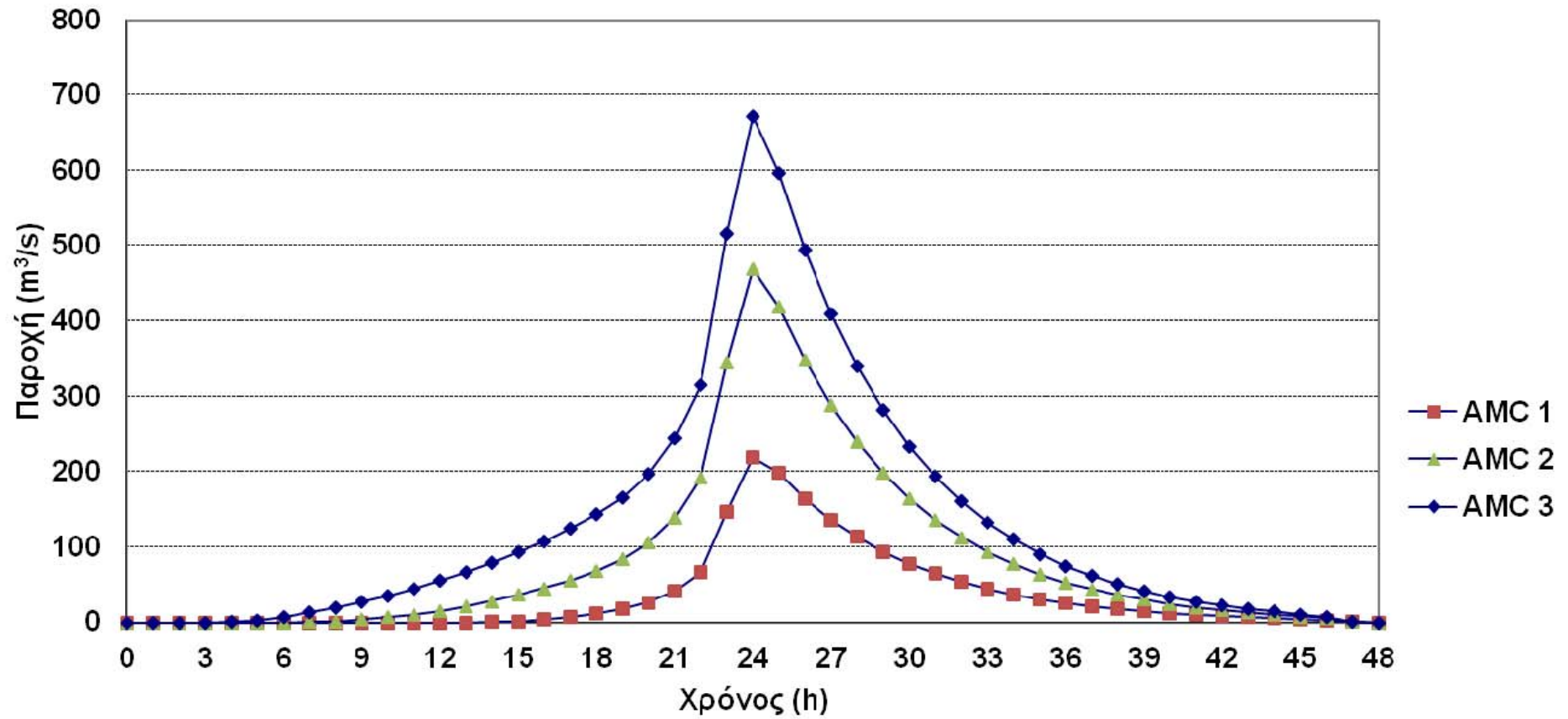
**Ποντικός Σταμάτιος**

Επιβλέπων: Δ. Κουτσογιάννης, Καθηγητής ΕΜΠ

Συνεπιβλέπων: Α. Ευστρατιάδης, ΕΔΙΠ ΕΜΠ

Νοέμβριος 2014

# Εισαγωγή



Υετογραφήματα σχεδιασμού για την υποθετική λεκάνη με CN=50 για τις τρεις καταστάσεις υγρασίας.

## **Αντικείμενο της εργασίας**

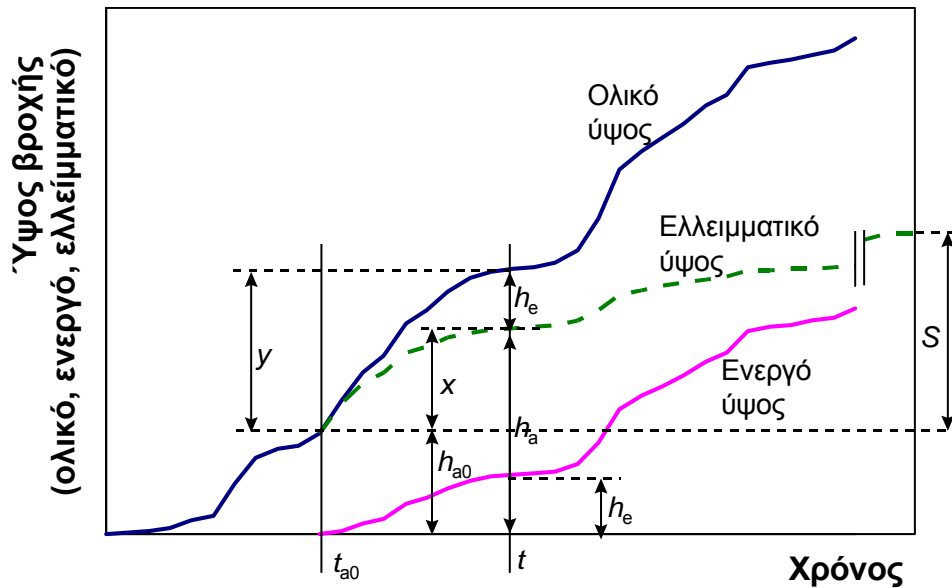
- Η διερεύνηση της πιθανότητας εμφάνισης κάθε τύπου προηγούμενης κατάστασης υγρασίας στην Ελληνική επικράτεια

## **Σκοπός της εργασίας**

- Αποτύπωση της κατανομής της εδαφικής υγρασίας στις Ελληνικές λεκάνες
- Δημιουργία μιας αντιπροσωπευτικής εικόνας τη προηγούμενης κατάστασης υγρασίας στην εκάστοτε περιοχή μελέτης
- Ένταξη της πιθανοτικής θεώρησης των καταστάσεων εδαφικής υγρασίας στον υδρολογικό σχεδιασμό.

# Μέθοδος SCS-CN

Εκτίμηση πλημμυρικής (επιφανειακής) απορροής



$$h_e = \begin{cases} 0 & h \leq h_{a0} \\ \frac{(h - h_{a0})^2}{h - h_{a0} + S} & h > h_{a0} \end{cases}$$

- $h_{a0}$  → ποσοστό του  $S$
- $S$  → συνάρτηση του  $CN$   $S=254(100/CN-1)$
- $CN$  → ?

# Μέθοδος SCS-CN

CN (αριθμός καμπύλης απορροής)

1-----|-----100

(δάση)

(αστικές περιοχές)

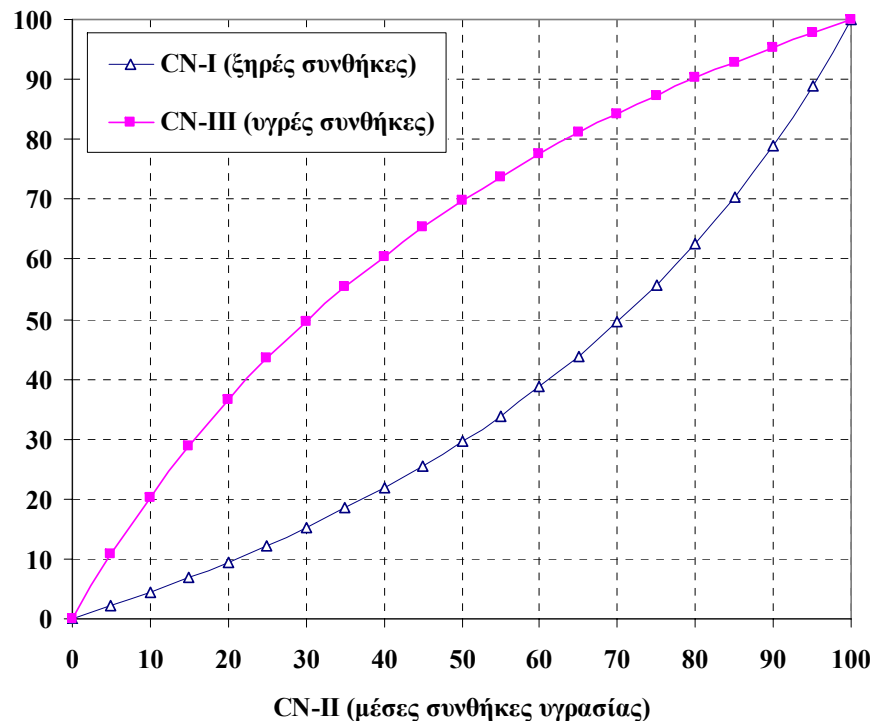
- **εδαφολογικά χαρακτηριστικά** (τέσσερις ομάδες, ανάλογα με την διαπερατότητα τους)
- **χρήσεις γης** (πίνακες)
- **προηγούμενες συνθήκες εδαφικής υγρασίας** (τρεις τύποι, ανάλογα με την προηγούμενη βροχόπτωση)

Προηγούμενες συνθήκες υγρασίας (AMC)

- Τύπος I <13mm (< 35mm)
- Τύπος II 13-38mm (35-53mm)
- Τύπος III >38mm (>53mm)

# Κατάσταση Εδαφικής Υγρασίας

Η προηγούμενη κατάσταση εδαφικής υγρασίας είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για την εκτίμηση της έκβασης ενός γεγονότος βροχής



Επιλογή τύπου εδαφικής υγρασίας

Κλασική θεώρηση SCS

- Περίοδος ανάπτυξης
- Προηγούμενη βροχόπτωση 5-30 ημερών

Άλλες θεωρήσεις

- Δείκτης προηγούμενης βροχόπτωσης (API)
- Απευθείας εδαφικές μετρήσεις
- Συνάρτηση της περιόδου επαναφοράς της καταιγίδας σχεδιασμού

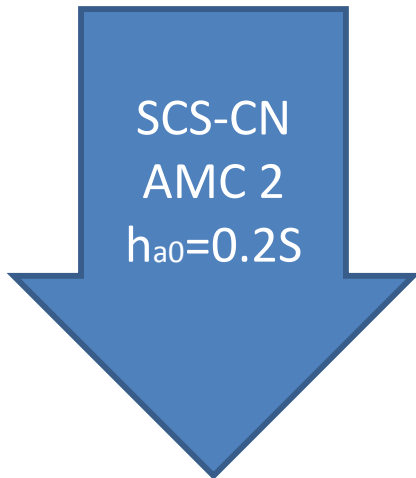
# Πλαίσιο εφαρμογής μεθόδου SCS-CN στην Ελλάδα

**SCS-CN**

**&**

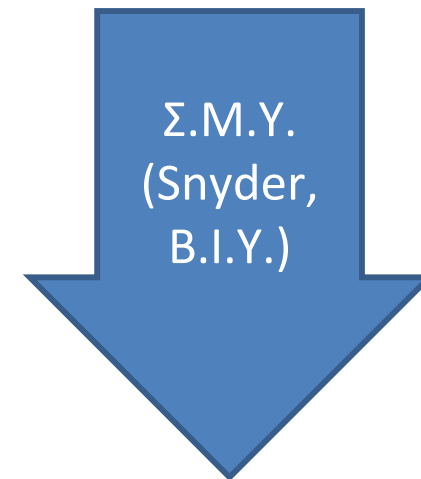
**ΜΥ**

Ολικό ύψος βροχής



Ενεργό ύψος βροχής

Ενεργό ύψος βροχής



Πλημμυρογράφημα

# Πιθανοτική θεώρηση εδαφικής υγρασίας

Τα υδρολογικά μεγέθη σχεδιασμού δεν υπολογίζονται για μια κατάσταση εδαφικής υγρασίας αλλά με βάση τη **συνδυασμένη πιθανότητα** εμφάνισης κάθε τύπου για την περιοχή μελέτης.

Όγκος πλημμύρας

$$V^* = p_I V_I + p_{II} V_{II} + p_{III} V_{III}$$

Παροχή αιχμής

$$q_p^* = p_I q_{pI} + p_{II} q_{pII} + p_{III} q_{pIII}$$



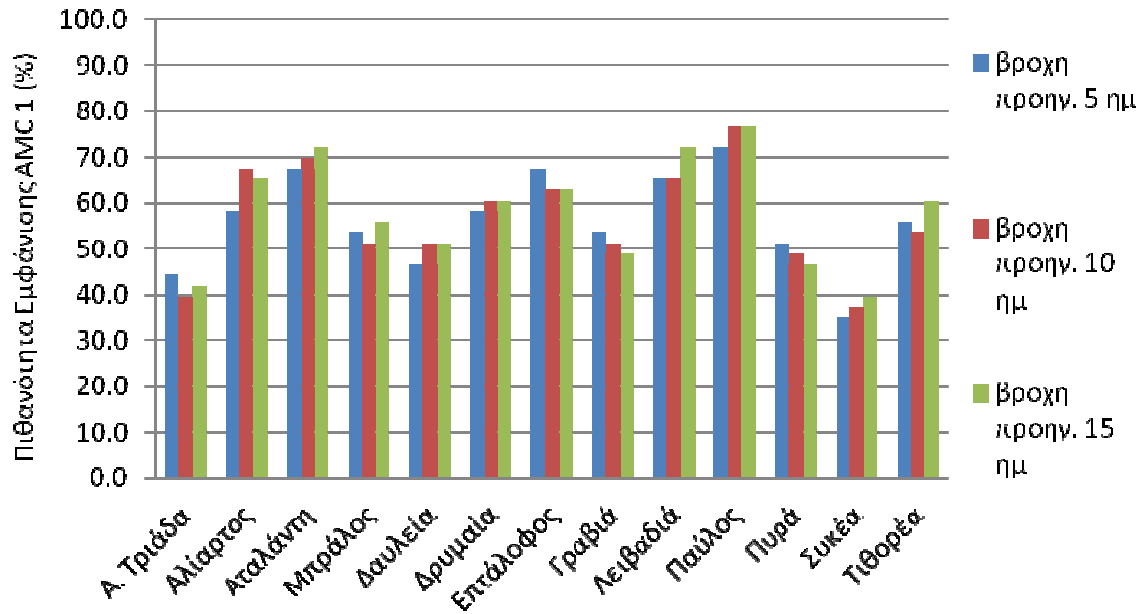
# Διερεύνηση καταστάσεων εδαφικής υγρασίας στην Ελλάδα -μεθοδολογία

Πως θα εκτιμήσουμε τις πιθανότητες αυτές;

- Δεδομένα βροχής, από 215 σταθμούς, σε όλη την Ελλάδα.
- Υπολογισμός προηγούμενης κατάστασης υγρασίας, για κάθε μέρα του δείγματος.
- Εκτίμηση πιθανοτήτων εμφάνισης κάθε τύπου προηγούμενης κατάστασης υγρασίας σε ημερήσια βάση, για κάθε σταθμό.
- Εύρεση μέγιστου ύψους βροχής κάθε υδρολογικού έτους, και αντιστοίχιση του με την προηγούμενη κατάσταση υγρασίας της ημέρας εκείνης.
- **Εκτίμηση πιθανοτήτων εμφάνισης κάθε τύπου προηγούμενης κατάστασης υγρασίας, την μέρα που πραγματοποιείται η μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους για κάθε σταθμό.**

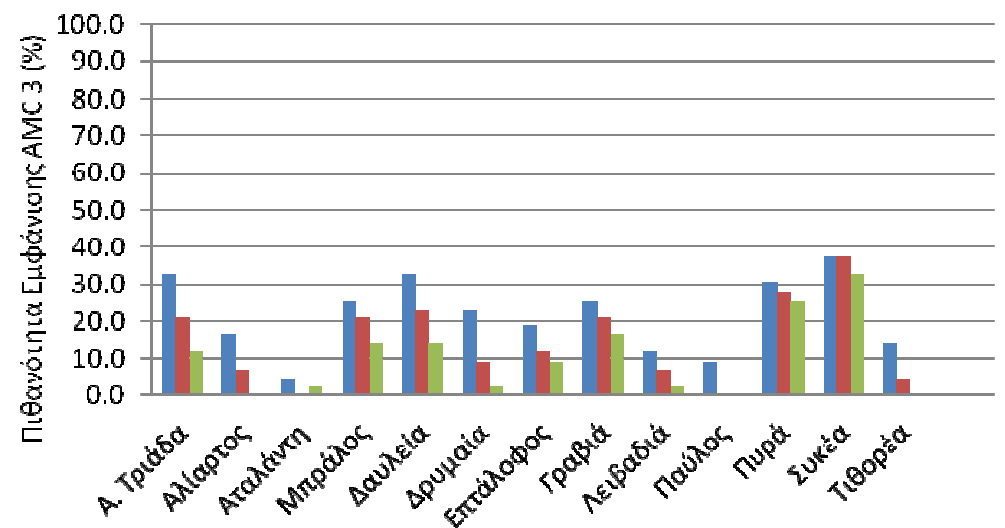
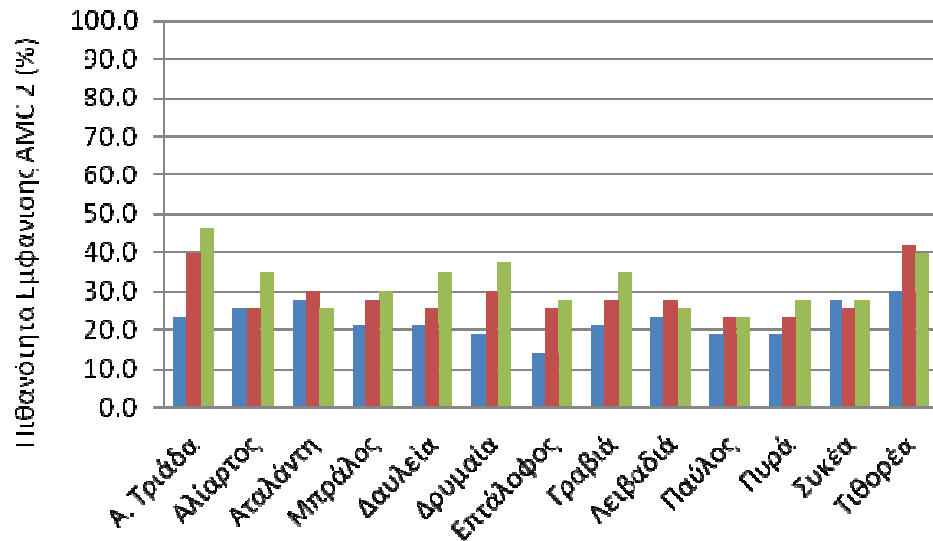
# Ανάλυση ευαισθησίας

(α) Αύξηση ημερών βροχόπτωσης για τον υπολογισμό της προηγούμενης κατάστασης υγρασίας



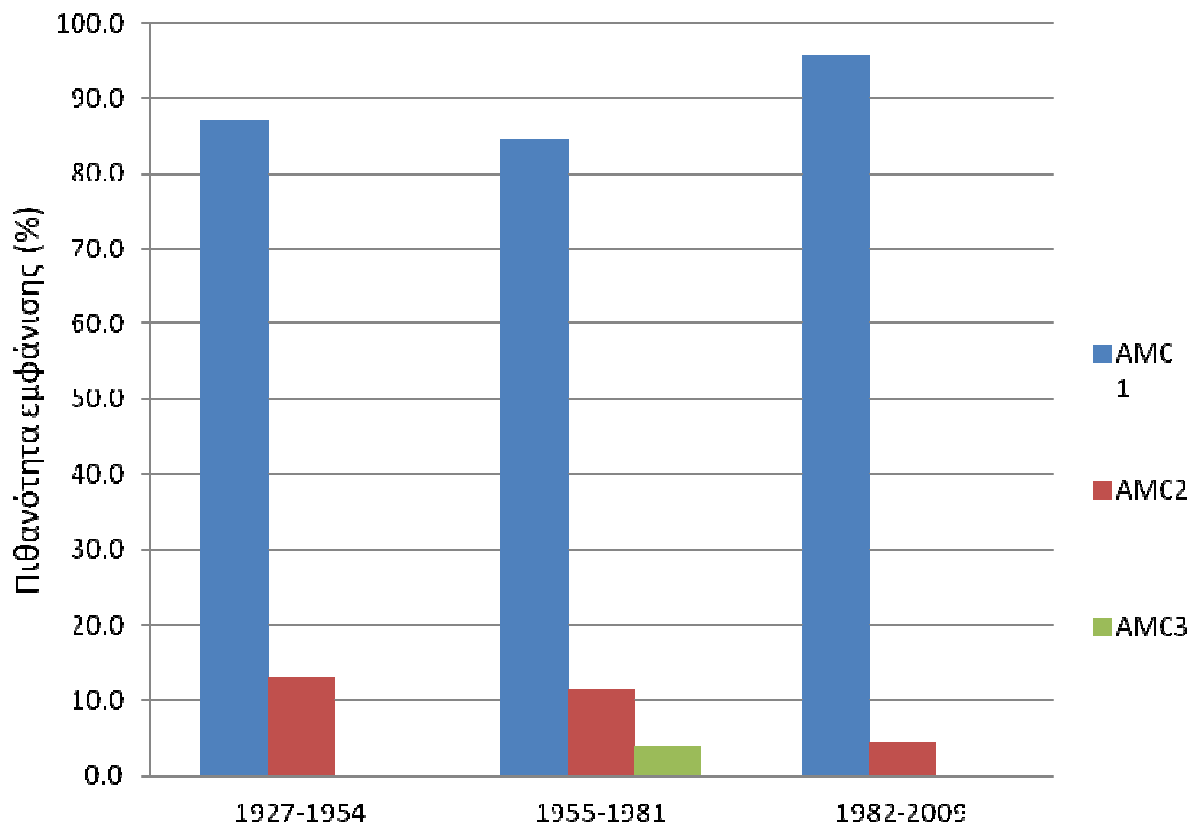
## Βοιωτικός Κηφισός (13 σταθμοί)

- Μικρές αλλαγές στην πιθανότητα εμφάνισης AMC 1
- Μικρή αύξηση στην πιθανότητα εμφάνισης AMC 2
- Μηδενική πιθανότητα εμφάνισης AMC 3 (15 ημέρες)



# Ανάλυση ευαισθησίας

(β) Διερεύνηση μακροχρόνιων κλιματικών μεταβολών, με επιμερισμό του δείγματος σε υποπεριόδους



## Λόφος Νυμφών (83 έτη)

- Γενικά σταθερή υδρολογική διαίτα (οριακές μεταβολές πιθανοτήτων ανά 30ετία)
- Μικρή αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης ξηρών συνθηκών την τελευταία 30ετία

# Διερεύνηση καταστάσεων εδαφικής υγρασίας στην Ελλάδα -επεξεργασία στο MATLAB

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ

- αρχείο εισόδου \*.txt στο οποίο αντιγράφονταν κάθε φορά οι ενδιαφερόμενες **ημερήσιες χρονοσειρές**
- **όρια βροχής** για τον υπολογισμό της προηγούμενης κατάστασης υγρασίας
- αρχή και τέλος της **περιόδου ανάπτυξης**
- **ο αριθμός των σταθμών** των οποίων τα δεδομένα βροχής είναι στο αρχείο \*.txt.

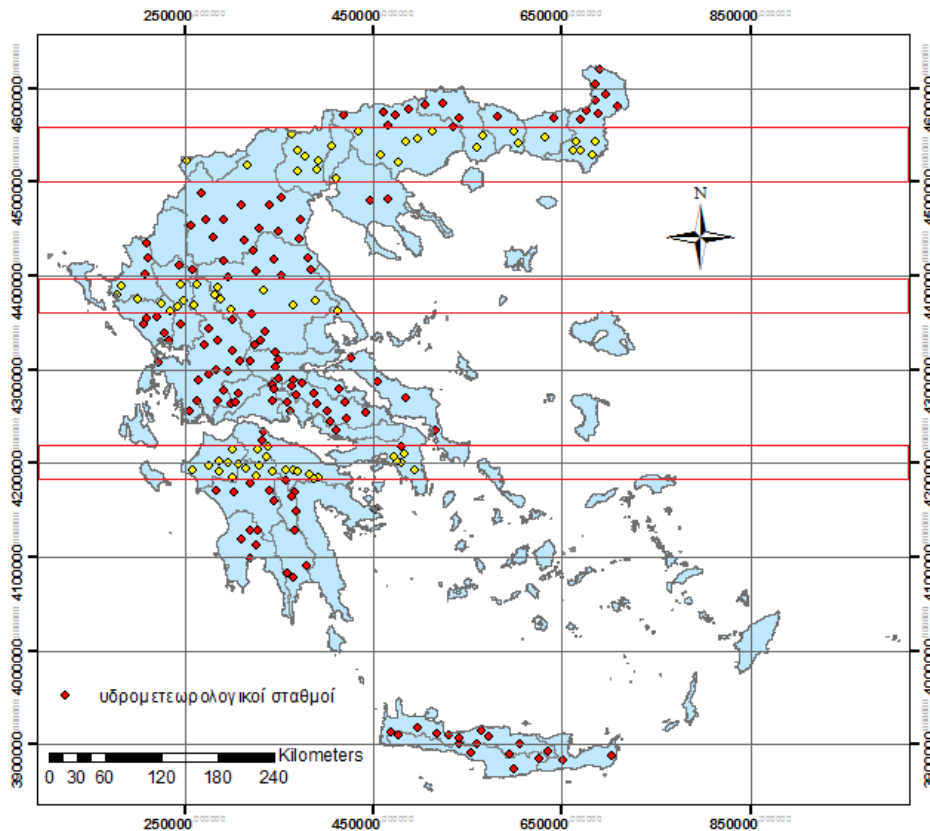


MATLAB

## ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΞΟΔΟΥ

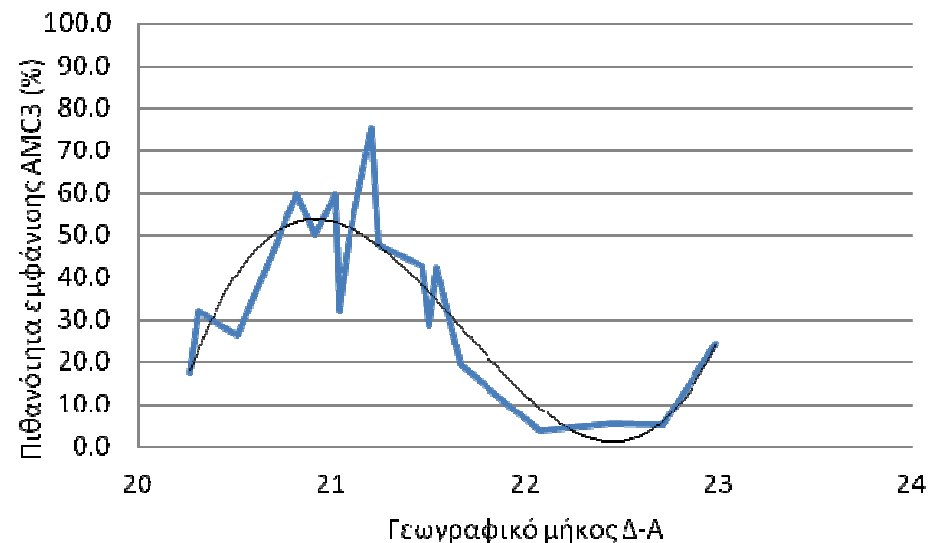
- τις **πιθανότητες** εμφάνισης κάθε τύπου προηγούμενης κατάστασης υγρασίας **σε ημερήσια βάση**, για κάθε σταθμό.
- τις **πιθανότητες** εμφάνισης κάθε τύπου προηγούμενης κατάστασης υγρασίας **την μέρα που παρατηρείται η μέγιστη βροχόπτωση** του υδρολογικού έτους, για κάθε σταθμό.
- τις χρονοσειρές με τα **μέγιστα ύψη βροχής** κάθε **υδρολογικού έτους** και την **αντίστοιχη προηγούμενη κατάσταση υγρασίας** της μέρας που παρατηρήθηκε, για κάθε σταθμό.

# Ανάλυση αποτελεσμάτων σε περιβάλλον ΣΓΠ: (α) Επίδραση γεωγραφικού μήκους



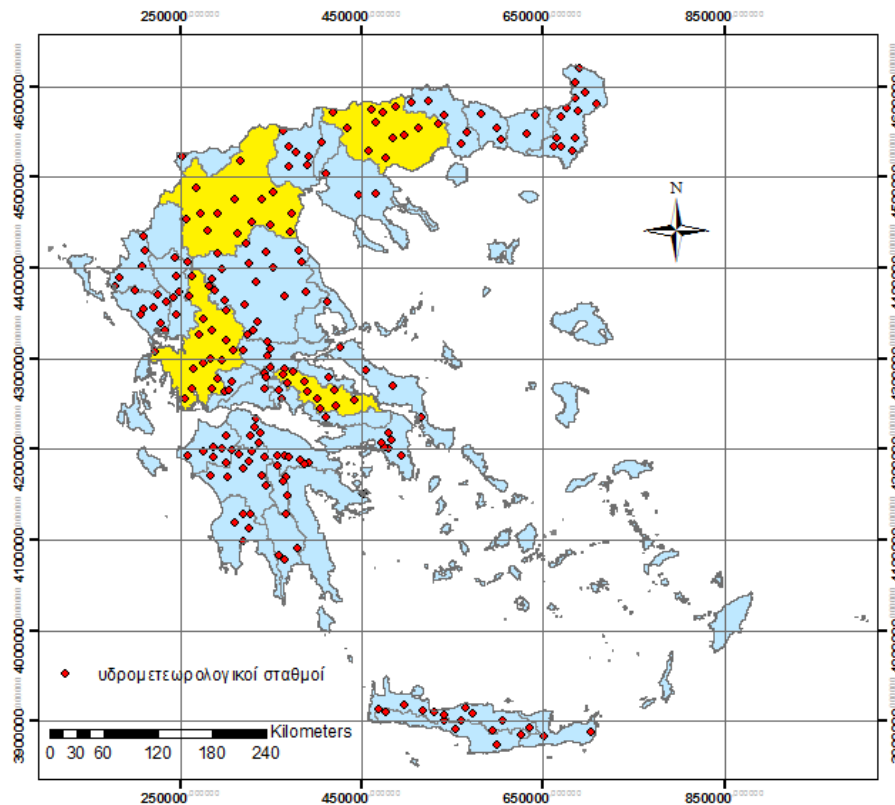
Επιλογή τριών ζωνών με παρόμοιο γεωγραφικό πλάτος σε Βόρεια, Κεντρική και Νότια Ελλάδα

Ο ορεινός άξονας της Πίνδου χωρίζει την υγρή Δυτική Ελλάδα από την ξηρή Ανατολική και Βόρεια



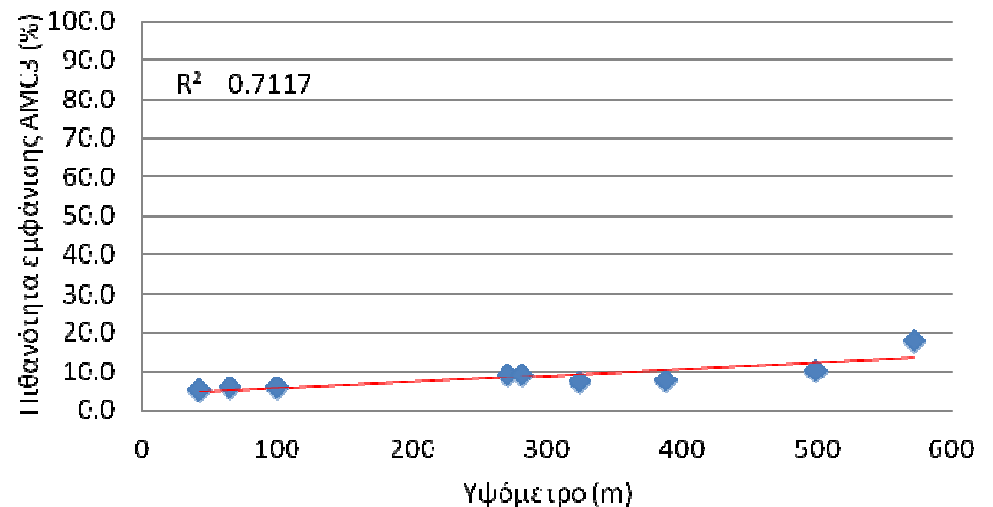
Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 3 (AMC3) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το γεωγραφικό μήκος, στην κεντρική Ελλάδα.

# Ανάλυση αποτελεσμάτων σε περιβάλλον ΣΓΠ: (β) Επίδραση υψομέτρου



Επιλογή τεσσάρων λεκανών  
απορροής με μεγάλη  
υψομετρική διαβάθμιση

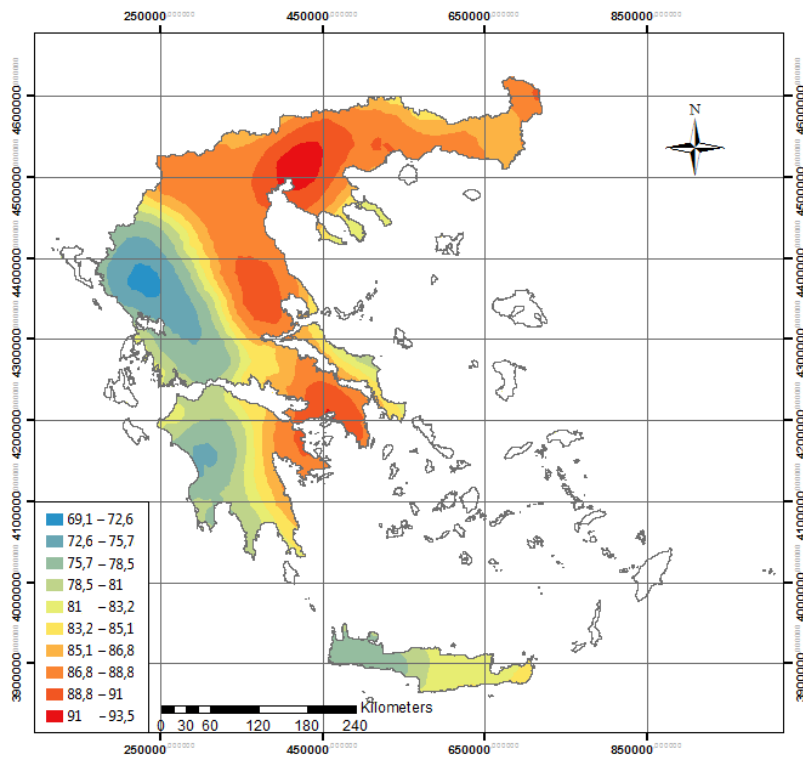
Η πιθανότητα εμφάνισης υγρών  
συνθηκών εδαφικής υγρασίας  
στη δυσμενέστερη καταίγίδα του  
έτους τείνει να αυξάνεται με την  
αύξηση του υψομέτρου.



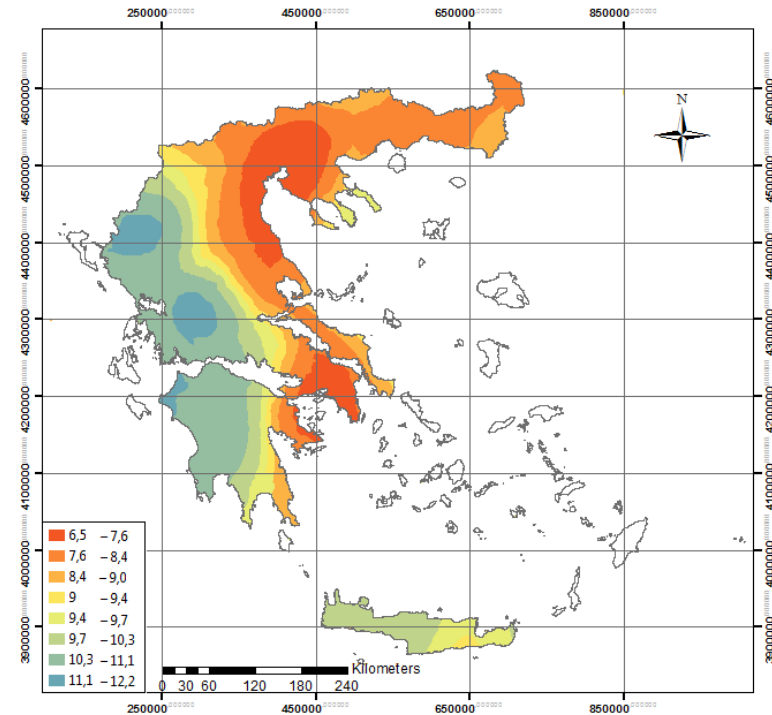
Πιθανότητα εμφάνισης προηγούμενης κατάστασης υγρασίας τύπου 3 (AMC3) στη μέγιστη βροχόπτωση του υδρολογικού έτους σε συνάρτηση με το υψόμετρο, στη λεκάνη απορροής του Στρυμόνα.

# Χάρτες ημερήσιας πιθανότητας εμφάνισης των τύπων εδαφικής υγρασίας

## ΤΥΠΟΥ Ι



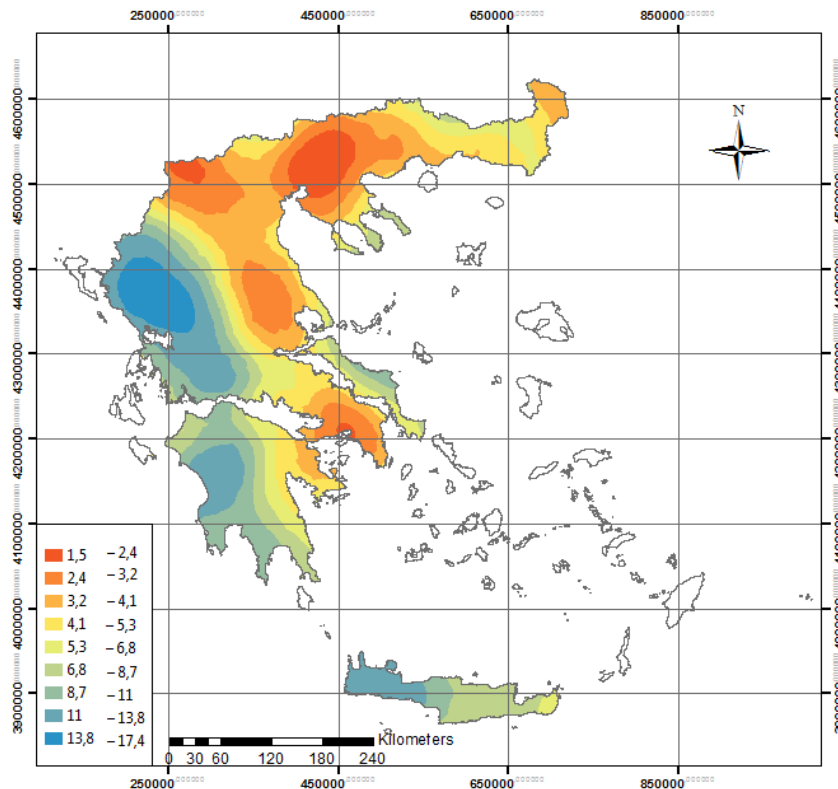
## ΤΥΠΟΥ ΙΙ



# Χάρτες ημερήσιας πιθανότητας εμφάνισης των τύπων εδαφικής υγρασίας

## ΤΥΠΟΥ III

## ΣΧΟΛΙΑ

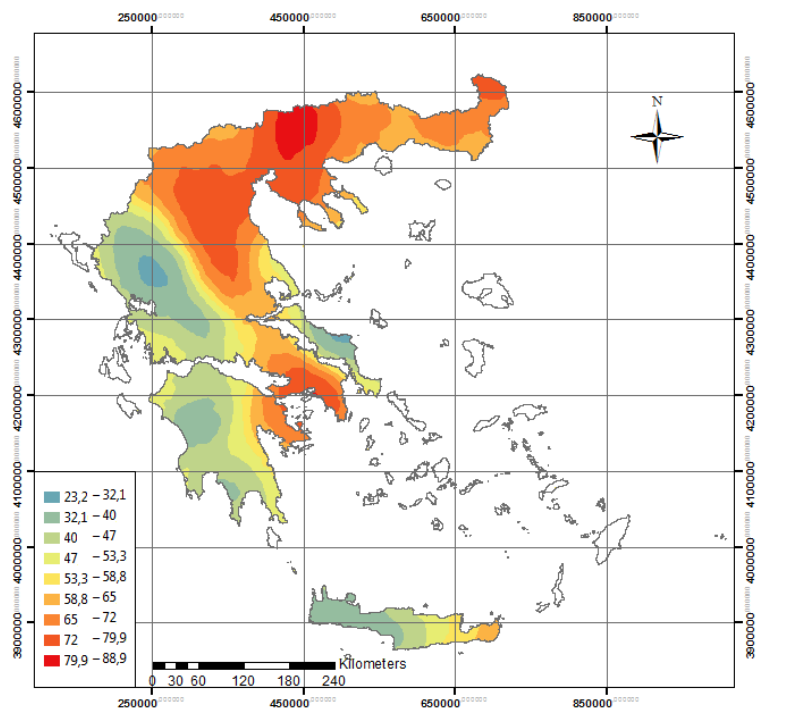


- Arc-GIS
- Χωρική παρεμβολή – Kriging
- Πιθανότητα εμφάνισης εδαφικής υγρασίας **τύπου 1** μεγαλύτερες από **70%**
- Πιθανότητα εμφάνισης **τύπου 2 χαμηλή με μικρό εύρος**
- Πιθανότητα εμφάνισης **τύπου 3** υψηλή στα **ορεινά της Δυτικής Ελλάδας**

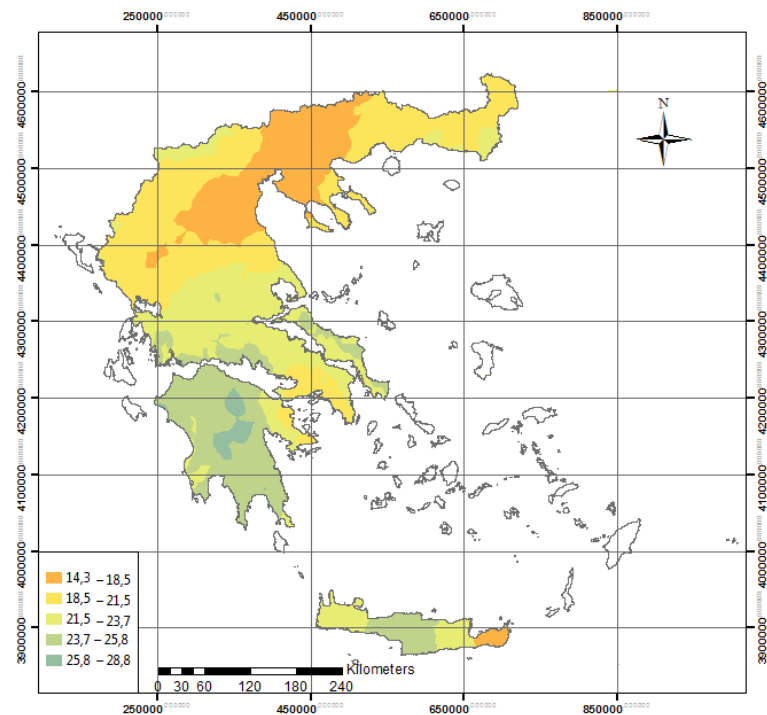


# Χάρτες πιθανότητας εμφάνισης των τύπων εδαφικής υγρασίας στη μέγιστη βροχή του έτους

## ΤΥΠΟΥ Ι



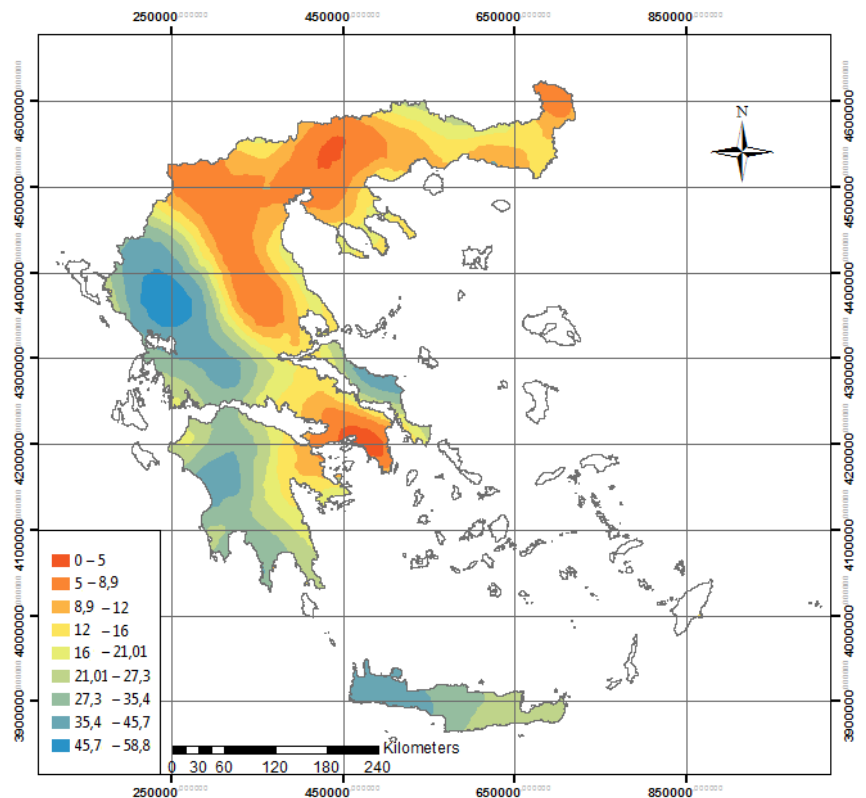
## ΤΥΠΟΥ ΙΙ



# Χάρτες πιθανότητας εμφάνισης των τύπων εδαφικής υγρασίας στη μέγιστη βροχή του έτους

ΤΥΠΟΥ III

ΣΧΟΛΙΑ



- Χρήση σε **υδρολογικό σχεδιασμό**
- Μικρότερο δείγμα - μόνο οι **μέγιστες βροχές των ετών**
- Πιθανότητα εμφάνισης **τύπου 2** σχετικά χαμηλή και με μικρό εύρος- **Μ.Ο. ≈ 20%**
- **Δυτική Ελλάδα υγρή – Ανατολική Ξηρή**
- **Αττική και κεντρική Μακεδονία** οι πιο **ξηρές** περιοχές της Ελλάδας

# Εφαρμογή στον υδρολογικό σχεδιασμό

Εκτίμηση πλημμυρογραφήματος σχεδιασμού σε δύο υποθετικές λεκάνες με **CN = 50** και **CN = 75**, αλλά ίδια γεωγραφικά χαρακτηριστικά και ίδια δεδομένα εισόδου:

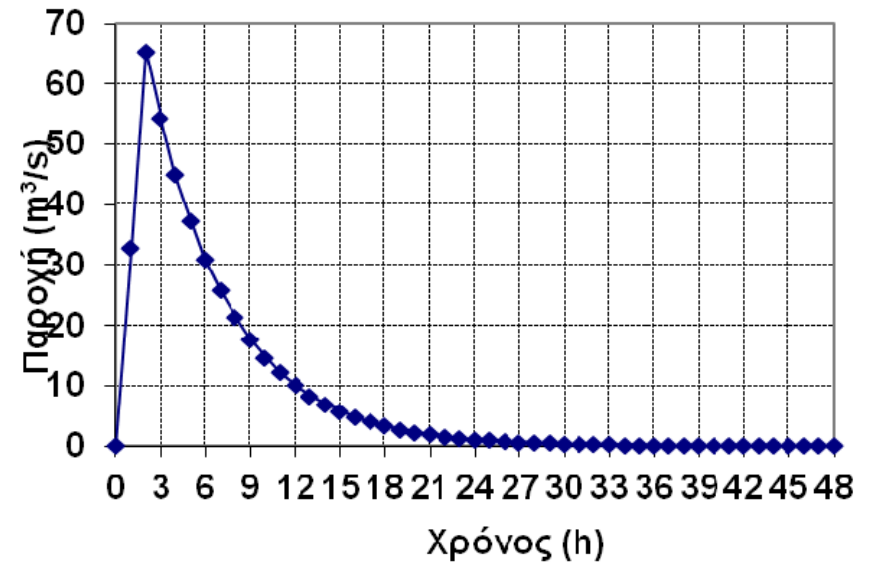
(α) έκταση **A = 150 km<sup>2</sup>**

(β) μήκος κύριου υδατορεύματος **L = 30 km**

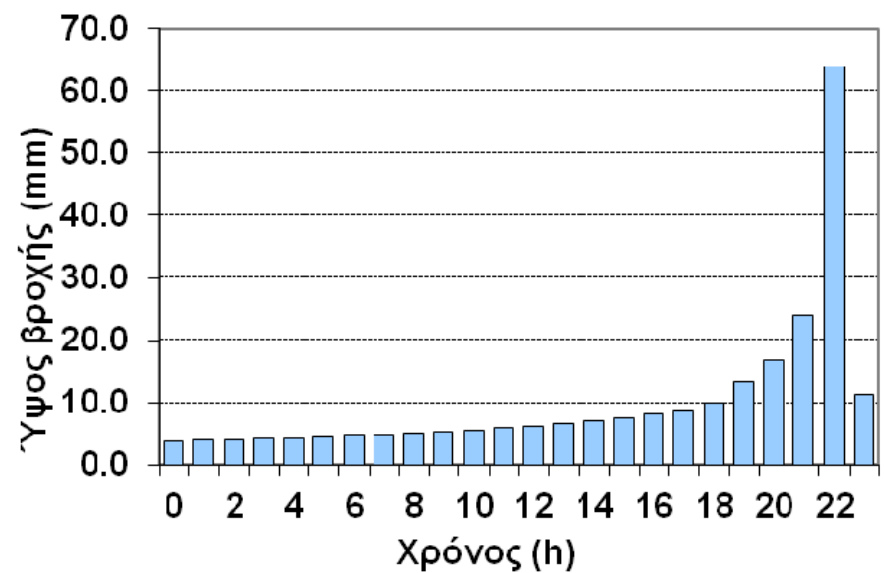
(γ) διαφορά μέσου υψομέτρου από το ελάχιστο **Δh = 600 m**

(δ) σχεδιασμός για υετογράφημα διάρκειας 24 h, που παράγεται από την ίδια όμβρια καμπύλη για **T = 100 έτη**, με τη μέθοδο της δυσμενέστερης διάταξης

(ε) παραμετρικό ΣΜΥ, με χρόνο ανόδου  $d/2 + 0.30 t_c$  και χρόνο βάσης  $d + 10 t_c$ .



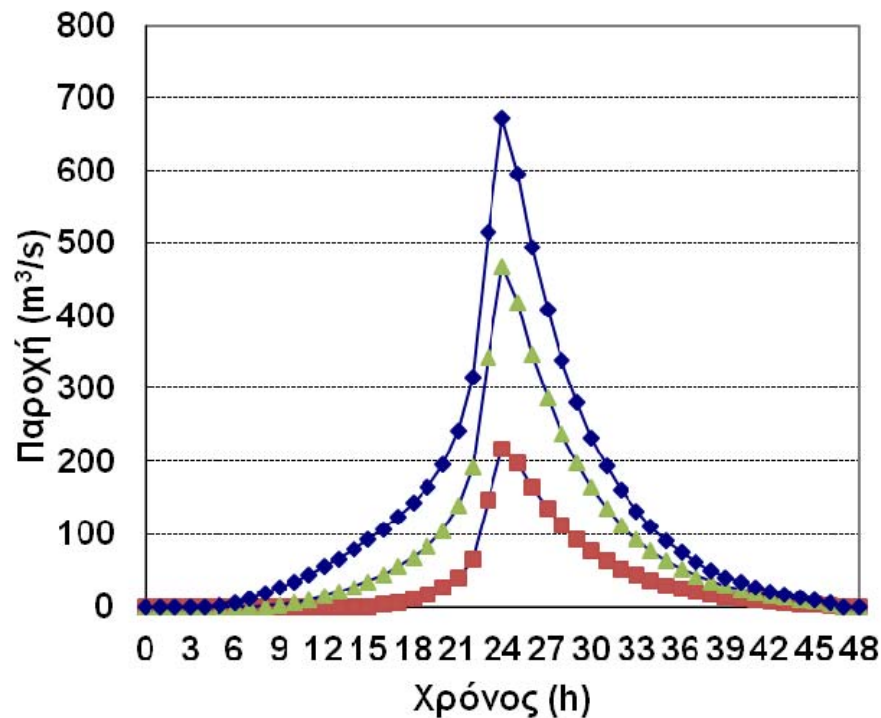
Συνθετικό μοναδιαίο υδρογράφημα σχεδιασμού



Ολική βροχόπτωση

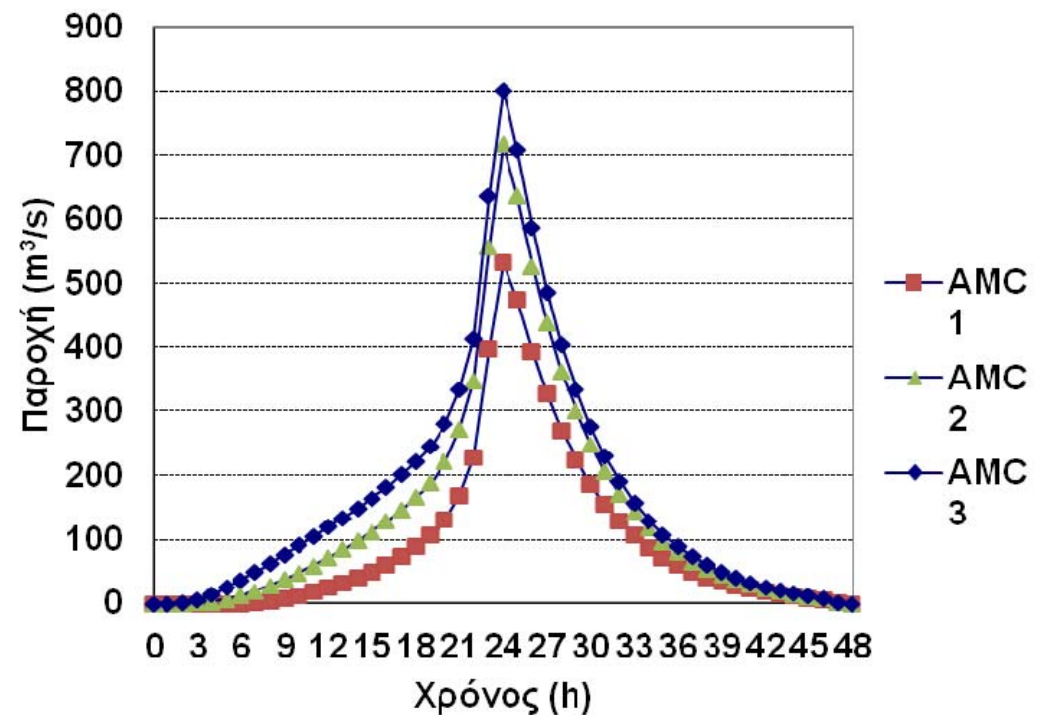
# Εφαρμογή στον υδρολογικό σχεδιασμό

## Υποθετική λεκάνη με CN=50



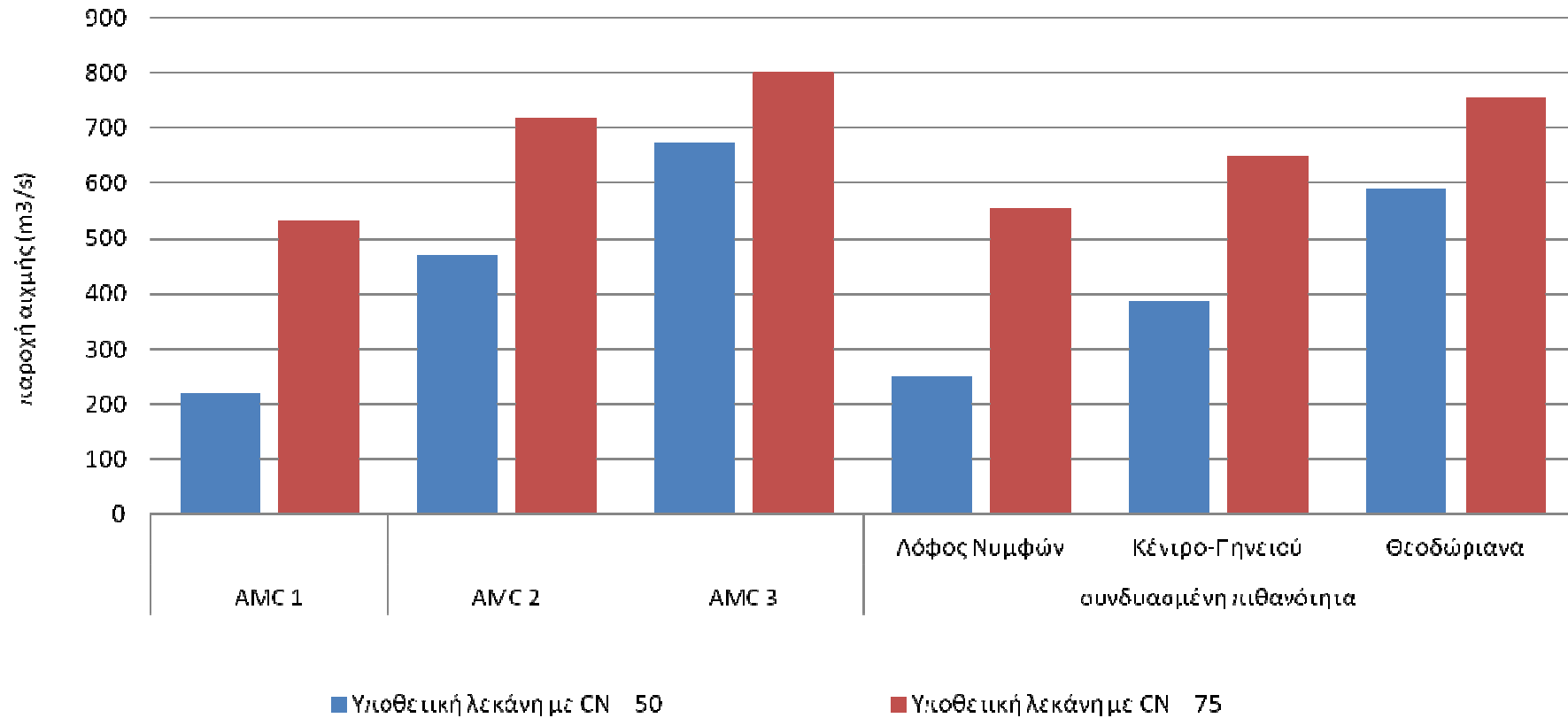
Υετογραφήματα σχεδιασμού για την υποθετική λεκάνη με CN=50 για τις τρεις καταστάσεις υγρασίας.

## Υποθετική λεκάνη με CN=75



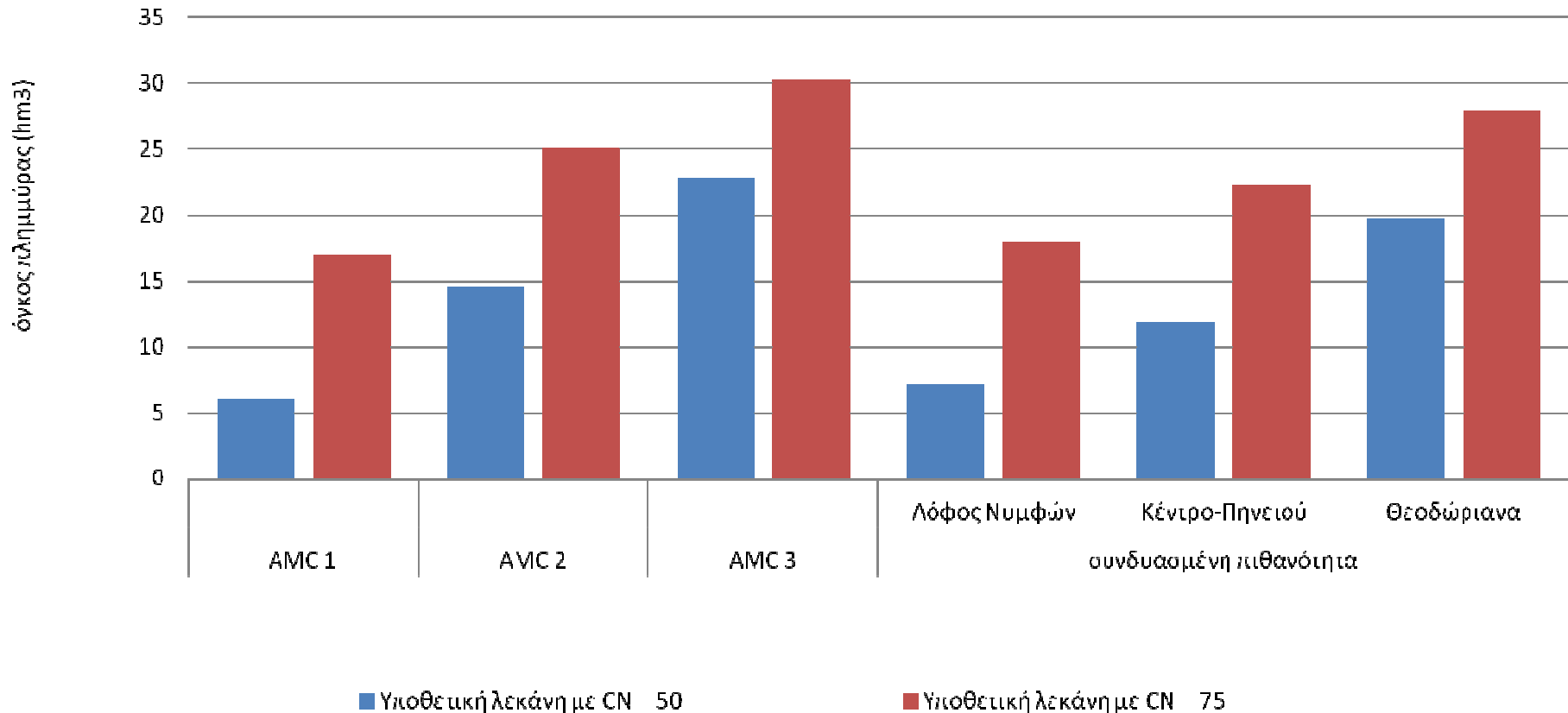
Υετογραφήματα σχεδιασμού για την υποθετική λεκάνη με CN=75 για τις τρεις καταστάσεις υγρασίας.

# Εφαρμογή στον υδρολογικό σχεδιασμό: (α) Παροχή αιχμής



Η παροχή αιχμής για τις δύο υποθετικές λεκάνες, για κάθε τύπο εδαφικής υγρασίας και συναρτήσει της **συνδυασμένης πιθανότητας**, για τρεις χαρακτηριστικούς σταθμούς Λόφος Νυμφών, Κέντρο Φράγμα Πηνειού, Θεοδώριανα

# Εφαρμογή στον υδρολογικό σχεδιασμό: (B) Όγκος πλημμύρας



Ο όγκος πλημμύρας για τις δύο υποθετικές λεκάνες, για κάθε τύπο εδαφικής υγρασίας και συναρτήσει της **συνδυασμένης πιθανότητας**, για τους τρεις χαρακτηριστικούς σταθμούς

# Συμπεράσματα

- Η δίαιτα της εδαφικής υγρασίας στην Ελλάδα παρουσιάζει έντονη χωρική μεταβλητότητα, η οποία μέχρι τώρα δεν λαμβανόταν υπόψη στον υδρολογικό σχεδιασμό.
- Από την εφαρμογή στον υδρολογικό σχεδιασμό διαπιστώθηκε η μεγάλη απόκλιση των υπολογιζόμενων μεγεθών σχεδιασμού ανάμεσα στην κλασική και την πιθανοτική θεώρησή τους.
- Η συνήθης τακτική της υπόθεσης μέσω συνθηκών υγρασίας κατά τον υδρολογικό σχεδιασμό, στην Ανατολική Ελλάδα, οδηγεί σε υπερεκτίμηση υδρολογικών μεγεθών, και κατά συνέπεια σε υπερδιαστασιοποιημένα και πιο ακριβά έργα.
- Αντίθετα στην Δυτική Ελλάδα, όπου υπάρχουν μεγάλα υδραυλικά έργα, η θεώρηση μέσω συνθηκών είναι κατά της ασφαλείας.
- Η πιθανοτική διερεύνηση των καταστάσεων εδαφικής υγρασίας συμβάλλει σε μια πληρέστερη και πιο αντιπροσωπευτική εικόνα για την περιοχή μελέτης, εξασφαλίζοντας στατιστικά συνεπή σχεδιασμό.

**Ευχαριστώ για την προσοχή σας!**