

Τυπικές και εξειδικευμένες υδρολογικές αναλύσεις

Σ. Κοζάνης, Α. Ευστρατιάδης & Ι. Μαρκόνης





Δομή παρουσίασης

- Το λογισμικό Υδρογνώμων
- Συμπλήρωση και επέκταση χρονοσειρών
- Μοντέλα εξάτμισης και εξατμοδιαπνοής
- Χωρική ολοκλήρωση σημειακών δειγμάτων
- Καμπύλες στάθμης-παροχής
- Παραγωγή χρονοσειρών παροχής
- Στατιστικές αναλύσεις (υποσύστημα Πυθία)
- Όμβριες καμπύλες (υποσύστημα Όμβρος)



Το λογισμικό Υδρογνώμων – Βασικές λειτουργίες

- Μετατροπή χρονοσειρών σε σταθερό χρονικό βήμα, εξαγωγή χρονοσειρών μεγαλύτερου χρονικού βήματος (συνάθροιση) & τυπικοί έλεγχοι συνέπειας (ακραίες τιμές, χρονική συνέπεια)
- Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ χρονοσειρών, πολλαπλή παλινδρόμηση, οργανική συσχέτιση και αυτοσυσχέτιση. Συμπλήρωση ελλειπουσών τιμών με γραμμική παλινδρόμηση, επέκταση χρονοσειρών
- Γραμμικές πράξεις μεταξύ χρονοσειρών
- Υδατικά ισοζύγια: αδρομερές μοντέλο βροχής-απορροής
- Κατάρτιση καμπυλών στάθμης-παροχής & καμπυλών επέκτασης. Εξαγωγή χρονοσειρών παροχών από χρονοσειρές στάθμης & χρονοσειρών όγκου και επιφανείας από χρονοσειρές στάθμης ταμιευτήρων-λιμνών
- Υπολογισμός εξάτμισης και δυνητικής εξατμοδιαπνοής & επέκταση δειγμάτων
- Εύρεση στατιστικών χαρακτηριστικών δείγματος χρονοσειράς, προσαρμογή στατιστικών παραμέτρων, στατιστικές προγνώσεις, στατιστικοί έλεγχοι & εύρεση διαστημάτων εμπιστοσύνης
- Ανάλυση χρονοσειρών μέγιστων βροχοπτώσεων - κατάρτιση όμβριων καμπυλών



Ο Υδρογνώμων ως τροφοδότης μοντέλων

- Τυπικές χρονοσειρές εισόδου μοντέλων
 - Βροχόπτωση (σημειακή, επιφανειακή)
 - Εξάτμιση από υδάτινη επιφάνεια
 - Δυνητική εξατμοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς ή λεκάνης
 - Μέση παροχή ποταμού ή πηγής
- Τυπικά χρονικά βήματα:
 - Μηνιαίο (διαχειριστικές και υδρολογικές μελέτες)
 - Ημερήσιο (υδρολογικές μελέτες, μελέτες πλημμυρών σε λεκάνες μεγάλης κλίμακας, μελέτες ποιότητας νερού και υδρο-οικολογίας)
- Τυπικά προβλήματα:
 - Οι χρονοσειρές εισόδου απαιτούν μια σειρά εξειδικευμένων επεξεργασιών των αντίστοιχων πρωτογενών δεδομένων
 - Οι επεξεργασίες δύσκολα τυποποιούνται σε κοινά λογιστικά φύλλα, ενώ δημιουργούν αρχεία με υπερβολικά μεγάλο όγκο δεδομένων



Συμπλήρωση και επέκταση δειγμάτων: Τοποθέτηση του προβλήματος

- Συχνά οι χρονοσειρές παρουσιάζουν ελλείψεις (κενές τιμές):
 - λόγω βλάβης του οργάνου
 - λόγω αμέλειας ή απουσίας του παρατηρητή
- Τα κενά μπορούν να συμπληρωθούν με βάση άλλα δείγματα που προέρχονται:
 - από παρατηρήσεις της ίδιας μεταβλητής σε έναν ή περισσότερους γειτονικούς σταθμούς
 - από παρατηρήσεις μιας έντονα συσχετιζόμενης μεταβλητής (π.χ. παροχή από βροχή) σε έναν ή περισσότερους γειτονικούς σταθμούς
 - από παρατηρήσεις της ίδιας μεταβλητής στα αμέσως προηγούμενα χρονικά βήματα, εφόσον υπάρχει σημαντική αυτοσυσχέτιση
- Η συμπλήρωση των ελλειπουσών τιμών και η επέκταση μιας χρονοσειράς σε περιόδους μεγαλύτερες από την περίοδο λειτουργίας του σταθμού μέτρησης γίνεται με διάφορα στατιστικά μοντέλα, τα οποία αναπαράγουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του υπόψη δείγματος.



Συμπλήρωση και επέκταση δειγμάτων: Μεθοδολογία

- Μοντέλο μέσης τιμής
 - Η κενή τιμή συμπληρώνεται από τη μέση τιμή του αντίστοιχου μήνα
 - Ενδείκνυται όταν δεν υπάρχουν μεταβλητές που να συσχετίζονται έστω και στοιχειωδώς με το δείγμα προς συμπλήρωση
 - Ικανοποιητική εκτιμήτρια όταν η διασπορά του δείγματος είναι μικρή
- Μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης
 - Η κενή τιμή εκτιμάται από την ευθεία ελαχίστων τετραγώνων μεταξύ της ανεξάρτητης και εξαρτημένης (προς συμπλήρωση) μεταβλητής
 - Μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές, εισάγοντας μεγαλύτερη αξιοπιστία στις εκτιμήσεις
 - Αμερόληπτη εκτιμήτρια (αναπαράγεται η μέση τιμή του δείγματος)
- Οργανική συσχέτιση
 - Δεν διατηρείται η μέση τιμή αλλά η διασπορά του δείγματος
 - Ενδείκνυται για την επέκταση μηνιαίων υδρολογικών χρονοσειρών
- Μοντέλο αυτοσυσχέτισης
 - Λαμβάνεται ως ανεξάρτητη μεταβλητή η τιμή του προηγούμενου βήματος
 - Ενδείκνυται για διεργασίες με ισχυρή αυτοσυσχέτιση (π.χ. εαρινή απορροή)

Συμπλήρωση και επέκταση δειγμάτων: Επιλογές πολλαπλής παλινδρόμησης

Optimization options

	Variable: 1	Variable: 2	Variable: 3	Variable: 4	Max time series	Only Positives
1	Automatic	Automatic	Always used	Automatic	3	True
2	Automatic	Automatic	Always used	Automatic	3	True
3	Automatic	Automatic	Always used	Automatic	3	
4	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	2	
5	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	2	
6	Automatic	Automatic	Automatic	Not used	2	
7	Not used	Automatic	Automatic	Automatic	1	
8	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	2	True
9	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	2	True
10	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	2	True
11	Automatic	Not used	Automatic	Automatic	1	True
12	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	2	

OK Cancel

Μήνες (αν έχει επιλεχθεί εποχιακή συμπλήρωση)

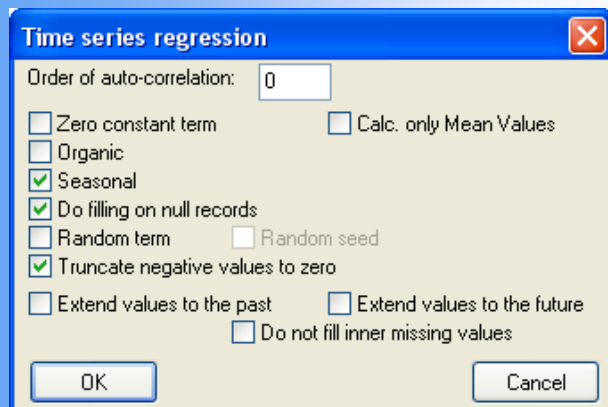
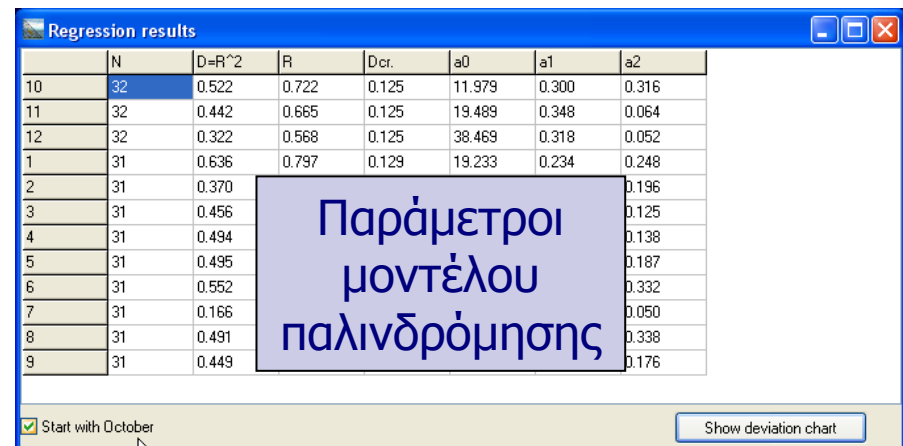
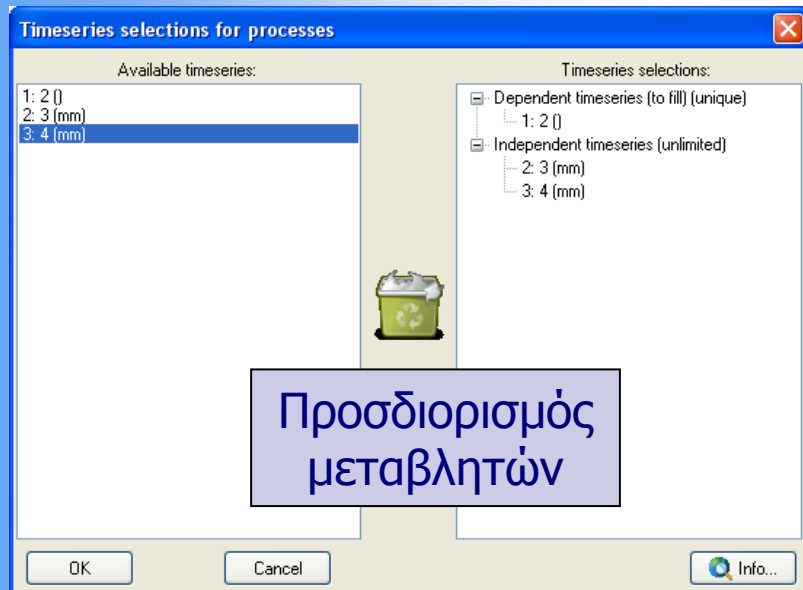
Δεν επιτρέπεται η χρήση της μεταβλητής το συγκεκριμένο μήνα

Επιβάλλεται η χρήση της μεταβλητής το συγκεκριμένο μήνα

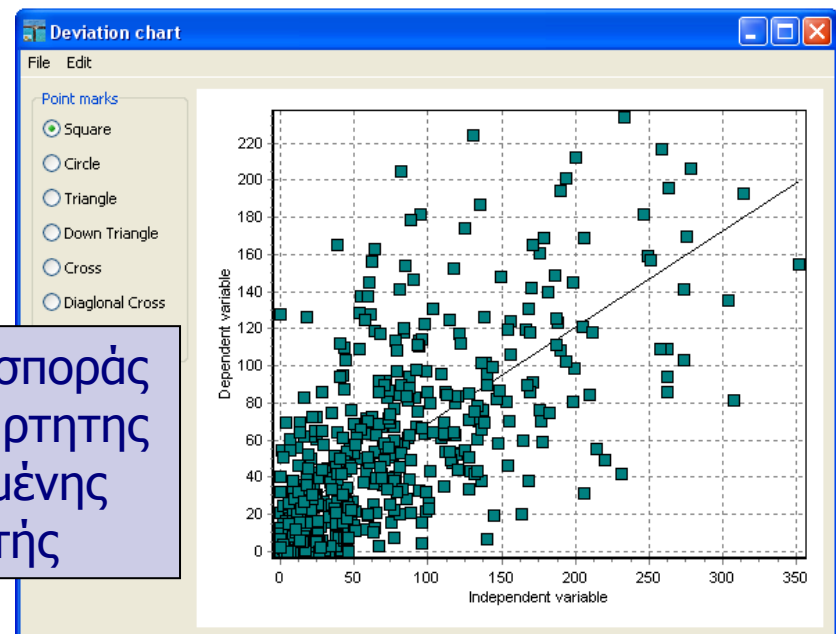
Θα εντοπιστούν οι 2 από τις 4 μεταβλητές που συσχετίζονται καλύτερα με την εξαρτημένη

Το μοντέλο παλινδρόμησης έχει τη μορφή: $y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$

Συμπλήρωση και επέκταση δειγμάτων: Εφαρμογή



Γράφημα διασποράς
μεταξύ ανεξάρτητης
και εξαρτημένης
μεταβλητής





Ορισμοί εξάτμισης και εξατμοδιαπνοής

■ Εξάτμιση

- μετατροπή νερού από την υγρή στην αέρια φάση
- άμεσα μετρήσιμη ποσότητα (εξατμισίμετρα), αλλά με περιορισμένη ακρίβεια
- έμμεση εκτίμηση από μοντέλα

■ Διαπνοή:

- μετατροπή νερού σε υδρατμούς που πραγματοποιείται στους πόρους της χλωρίδας και των φυλλωμάτων των φυτών
- μη μετρήσιμη ποσότητα

■ Εξατμοδιαπνοή:

- συνολικές απώλειες από την εξάτμιση εδαφών και τη διαπνοή φυτών

■ Δυνητική εξατμοδιαπνοή:

- η ποσότητα εξατμοδιαπνοής που πραγματοποιείται από επιφάνειας πλήρως και ομοιόμορφα καλυμμένες από αναπτυσσόμενη χλωρίδα, σε συνθήκες απεριόριστης διαθεσιμότητας νερού
- θεωρητικό μέγεθος (άνω όριο πραγματικής εξατμοδιαπνοής)
- έμμεση εκτίμηση από μοντέλα



Μοντέλα υπολογισμού εξάτμισης και δυνητικής εξατμοδιαπνοής

- Μετεωρολογικές χρονοσειρές εισόδου:
 - μέση θερμοκρασία (για όλα τα μοντέλα)
 - σχετική υγρασία
 - ταχύτητα ανέμου στα 2 m
 - ώρες ή κλάσμα ηλιοφάνειας
- Άλλα δεδομένα εισόδου:
 - Γεωγραφικό πλάτος
 - Υψόμετρο
 - Ανακλαστικότητα
- Εξάτμιση από υδάτινη επιφάνεια:
 - αναλυτικό μοντέλο Penman
- Δυνητική εξατμοδιαπνοή:
 - αναλυτικό μοντέλο Penman-Monteith
 - ημιεμπειρικά μοντέλα Thornthwaite, Hargreaves και Blaney-Criddle (χρησιμοποιούν ως είσοδο μόνο τη θερμοκρασία)



Συμπλήρωση και επέκταση μηνιαίων χρονοσειρών εξάτμισης/εξατμοδιαπνοής

- Συχνά παρατηρείται ότι το κοινό μήκος των χρονοσειρών των τεσσάρων μετεωρολογικών μεταβλητών εισόδου των αναλυτικών μοντέλων Penman και Penman-Monteith είναι πολύ μικρό σε σχέση με το διαθέσιμο δείγμα των θερμοκρασιών.
- Η συμπλήρωση και επέκταση μιας χρονοσειράς εξάτμισης ή δυνητικής εξατμοδιαπνοής που προκύπτει από τα αναλυτικά μοντέλα γίνεται με εφαρμογή της ημιεμπειρικής εξίσωσης:

$$E = (a S_0 - b) / (1 - c T)$$

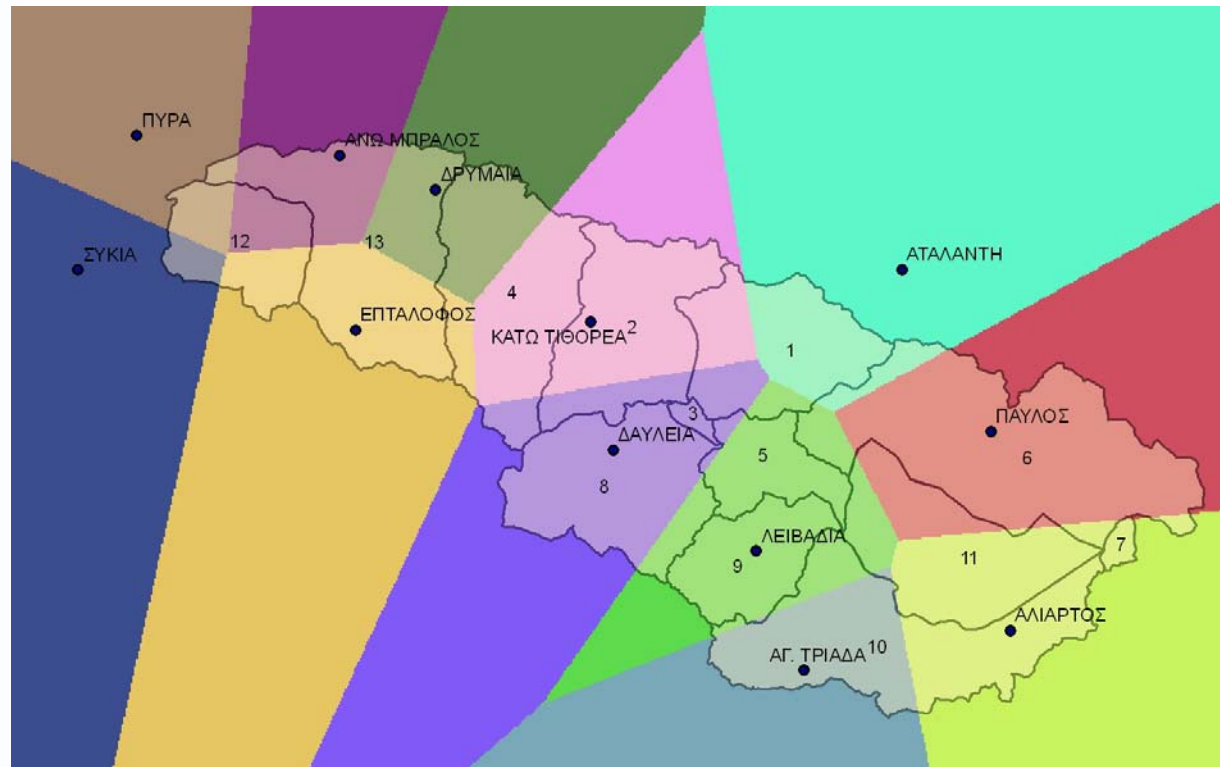
όπου S_0 η εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία, που είναι αστρονομικό μέγεθος που εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, T η μέση μηνιαία θερμοκρασία, και a , b , c παράμετροι.

- Οι παράμετροι a , b , c εκτιμώνται μέσω βαθμονόμησης, ήτοι με προσαρμογή της ημιεμπειρικής εξίσωσης στις τιμές που προκύπτουν από την αναλυτική μέθοδο.



Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών δειγμάτων (1)

- Λόγω της έντονης χωρικής μεταβλητότητας αλλά και της εξάρτησής τους από το υψόμετρο, οι σημειακές μετρήσεις των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών (βροχόπτωση, θερμοκρασία) δεν είναι άμεσα αξιοποιήσιμες – τα αντίστοιχα μεγέθη πρέπει να αναχθούν στο μέσο υψόμετρο της κατάλληλης επιφάνειας αναφοράς (λεκάνη, υπολεκάνη).
- Οι συντελεστές επιρροής κάθε σταθμού εκτιμώνται με βάση τυπικά μοντέλα χωρικής ολοκλήρωσης (π.χ. πολύγωνα Thiessen, μέθοδος αντίστροφων αποστάσεων).
- Ο διαδικασία είναι ενσωματωμένη στα περισσότερα ΣΓΠ.





Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών δειγμάτων (2)

- Η αρχική (χωρίς υψομετρική αναγωγή) επιφανειακή χρονοσειρά προκύπτει ως σταθμισμένο άθροισμα των σημειακών δειγμάτων, ήτοι:

$$X_E(t) = w_1 X_1(t) + w_2 X_2(t) + \dots + w_n X_n(t)$$

όπου $w_1, w_2, \dots, w_n$ οι συντελεστές επιρροής των σταθμών.

- Για την αναγωγή στο μέσο υψόμετρο της επιφάνειας αναφοράς, η τιμή $X_E(t)$ πολλαπλασιάζεται με τον συντελεστή υψομετρικής αναγωγής:

$$\lambda = 1 + \beta (Z_\lambda - Z_\Sigma) / \mu_\chi$$

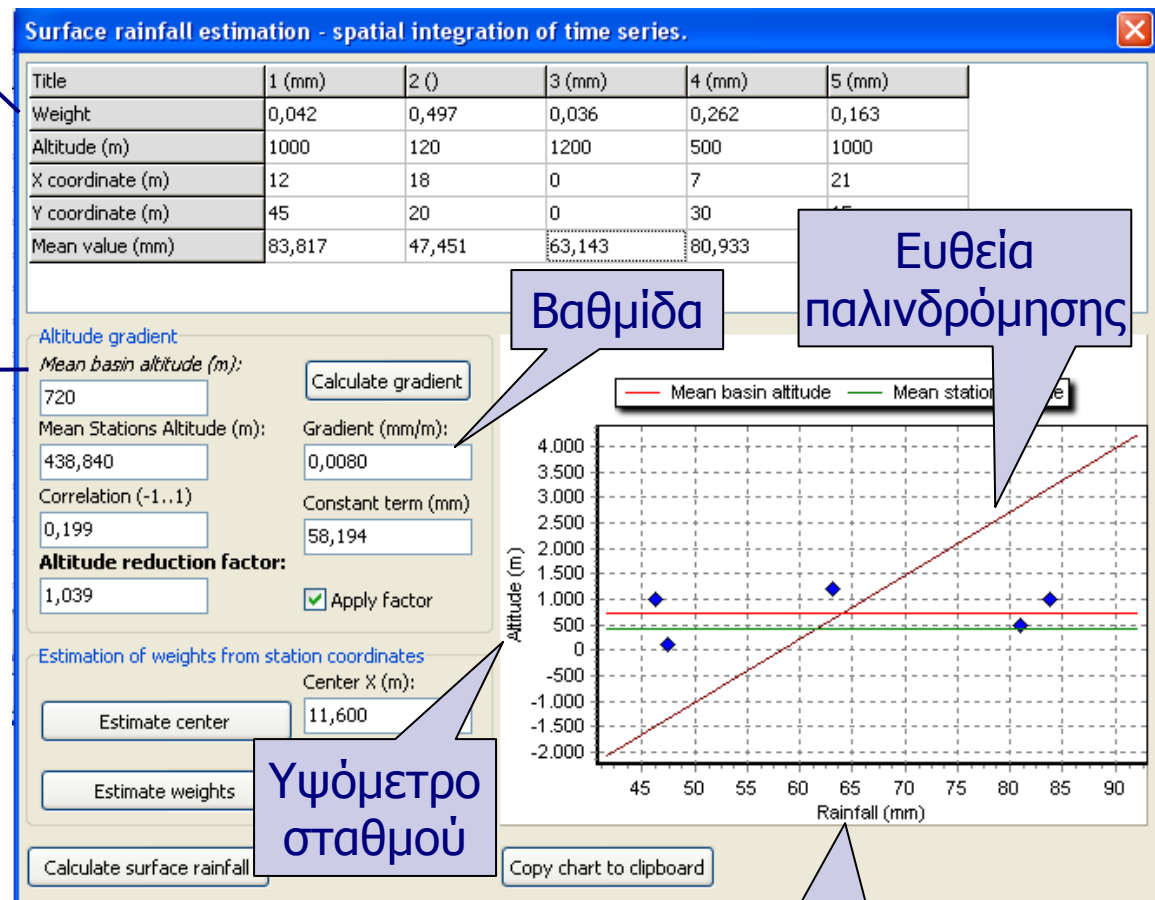
όπου Z_λ το μέσο υψόμετρο της λεκάνης, Z_Σ το σταθμισμένο υψόμετρο των σταθμών, μ_χ η μέση ετήσια τιμή της επιφανειακής χρονοσειράς $X_E(t)$, και β ο ρυθμός μεταβολής της υδρολογικής μεταβλητής (βροχή, θερμοκρασία) συναρτήσει του υψόμετρου (βροχοβαθμίδα, θερμοβαθμίδα).

- Το μέσο υψόμετρο Z_λ είναι χαρακτηριστικό μέγεθος της λεκάνης που υπολογίζεται με εφαρμογή του ΣΓΠ.
- Η βαθμίδα β εκτιμάται ως η κλίση της ευθείας παλινδρόμησης μεταξύ των υψομέτρων των σταθμών και των αντίστοιχων μέσων ετήσιων τιμών των σημειακών δειγμάτων.

Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακών δειγμάτων (3)

- Συντελεστής επιρροής
- Υψόμετρο σταθμού
- Συντεταγμένες σταθμού
- Μέση τιμή δείγματος

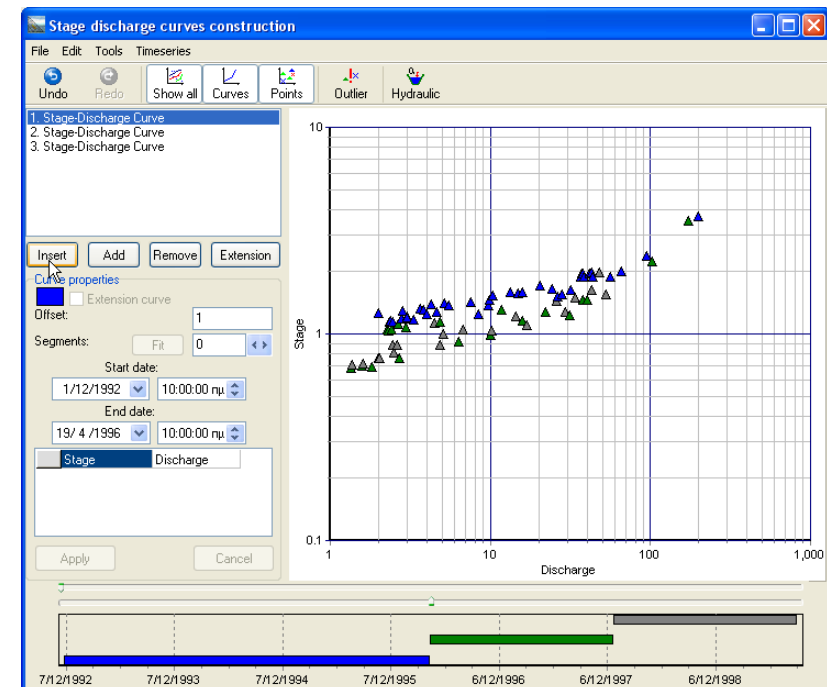
- Μέσο υψόμετρο λεκάνης απορροής
- Σταθμισμένο υψόμετρο σταθμών
- Συντελεστής συσχέτισης
- Συντελεστής υψομετρικής αναγωγής



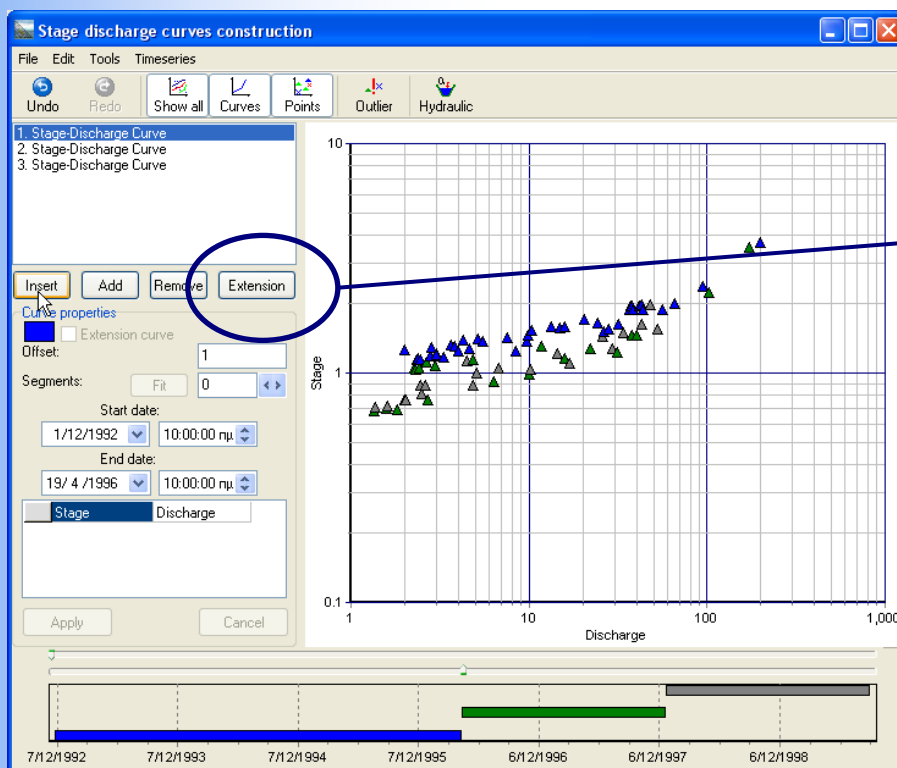


Καμπύλες στάθμης-παροχής (1)

- Από τα συνθετότερα προβλήματα της τεχνικής υδρολογίας – εντάσσεται στα προβλήματα παρεμβολής, για τα οποία δεν υπάρχει τυποποιημένη μεθοδολογία (αλγόριθμος).
- Αναγκαία η υδρολογική εμπειρία, σε συνδυασμό με τη φιλικότητα του περιβάλλοντος εργασίας.
- Ο Υδρογνώμων αντιμετωπίζει πλήρως τις ποικίλες ιδιαιτερότητες του προβλήματος:
 - Επιλογή χρονικών περιόδων ισχύος των σχέσεων στάθμης-παροχής
 - Εντοπισμός και απομάκρυνση εξωκείμενων σημείων
 - Αυτόματη προσαρμογή σύνθετων καμπυλών και εντοπισμός σημείων θλάσης
 - Επέκταση με χρήση υδραυλικών μεθόδων, για δεδομένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά διατομής



Καμπύλες στάθμης-παροχής (2)

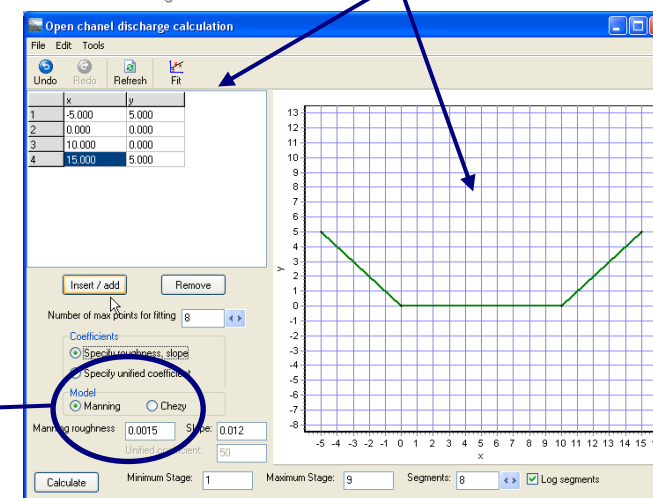


Χρονική περίοδος
ισχύος καμπύλης

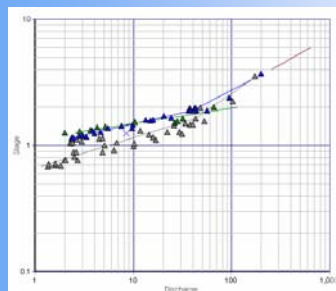
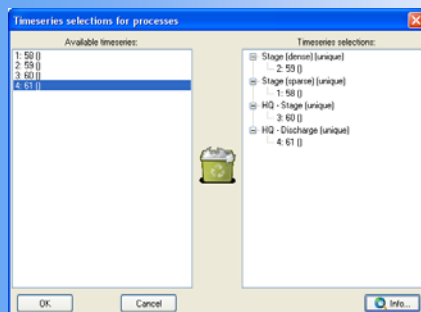
Επιλογή υδραυλικής
σχέσης Manning ή Chezy

Επέκταση
καμπύλης

Σχεδιασμός
αγωγού



Απλός υπολογισμός παροχής (από μία χρονοσειρά στάθμης)



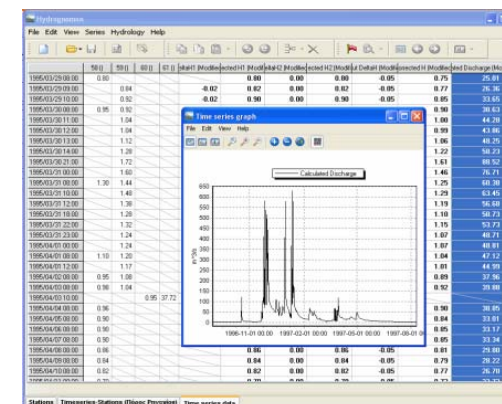
Χρονο-
σειρά
στάθμης



Καμπύλες
στάθμης -
παροχής



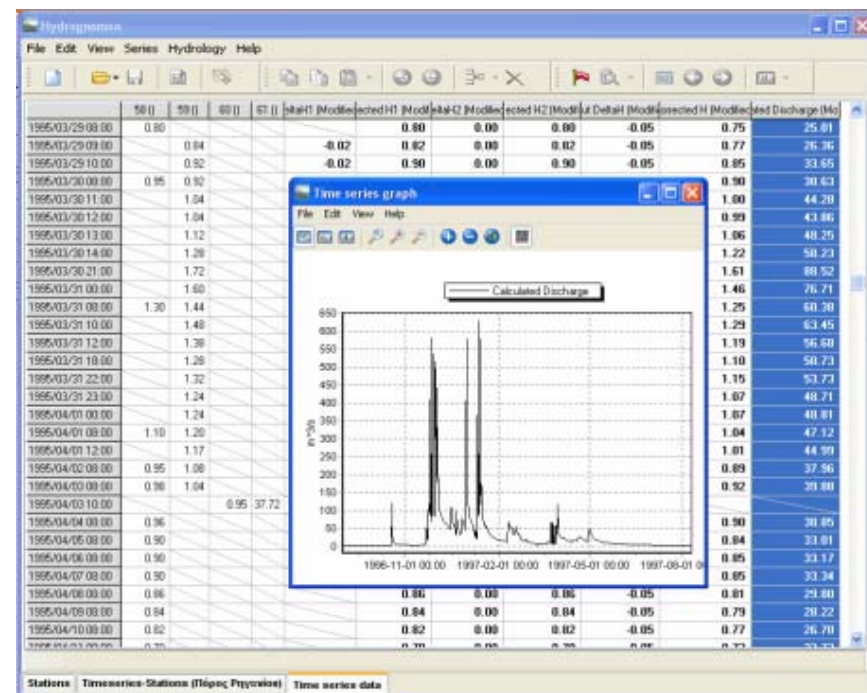
Χρονοσειρά
παροχής





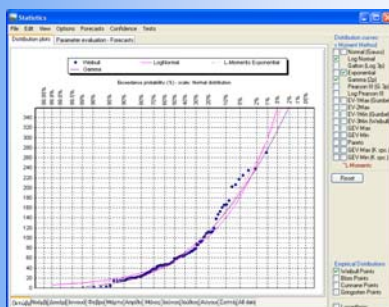
Σύνθετη εκτίμηση παροχής από δείγματα σταθμημέτρου και σταθμηγράφου

- Στη γενική περίπτωση, η κατάρτιση μιας χρονοσειράς μέσης παροχής βασίζεται σε ένα σύνολο ετερογενών δεδομένων:
 - Παρατηρήσεις στάθμης από σταθμήμετρο (συνήθως μία ανά ημέρα)
 - Καταγραφές σταθμηγράφου, πυκνής χρονικής διακριτότητας
 - Ταυτόχρονες μετρήσεις στάθμης και παροχής από υδρομετρικό συνεργείο
 - Σύνθετες εξισώσεις στάθμης-παροχής, για διάφορες περιόδους
- Στην πράξη, δεν είναι δυνατή η επίλυση του προβλήματος με τη βοήθεια λογιστικών φύλλων – απαιτείται εξειδικευμένο λογισμικό.
- Ο Υδρογνώμων εφαρμόζει την πληρέστερη μεθοδολογία της βιβλιογραφίας (μέθοδος Stout) για τη συνεπή εκτίμηση της παροχής.



Στατιστικές αναλύσεις (Πυθία)

- Εκτίμηση στατιστικών χαρακτηριστικών του δείγματος
- Προσαρμογή στατιστικών κατανομών
- Εκτέλεση στατιστικών προγνώσεων



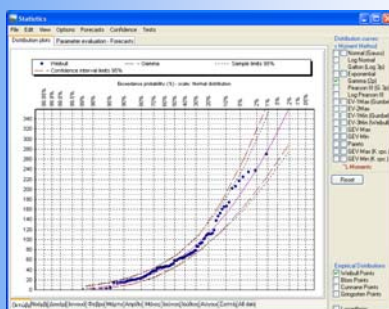
Προσαρμογή κατανομής

Statistical Measure	Value
Sample size	100
Mean value	10.10
Standard deviation	1.00
Median	10.00
Mode	10.00
Range	1.00
Skewness	0.00
Kurtosis	0.00
...	...

Στατιστικά χαρακτηριστικά

Test Statistic	Value
Chi-square	1.00
df	1
p-value	0.317
...	...

χ^2 -test



Διαστήματα εμπιστοσύνης

Statistical Measure	Value
Sample size	100
Mean value	10.10
Standard deviation	1.00
Median	10.00
Mode	10.00
Range	1.00
Skewness	0.00
Kurtosis	0.00
...	...

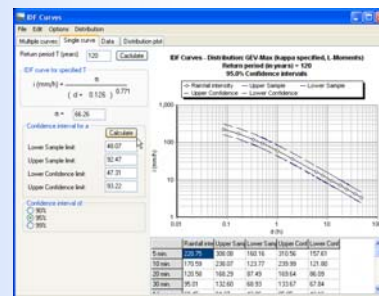
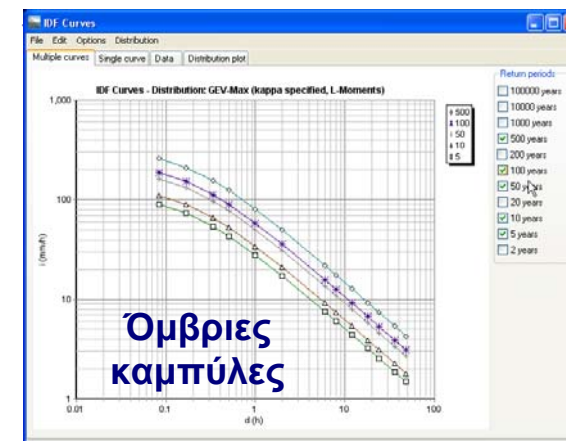
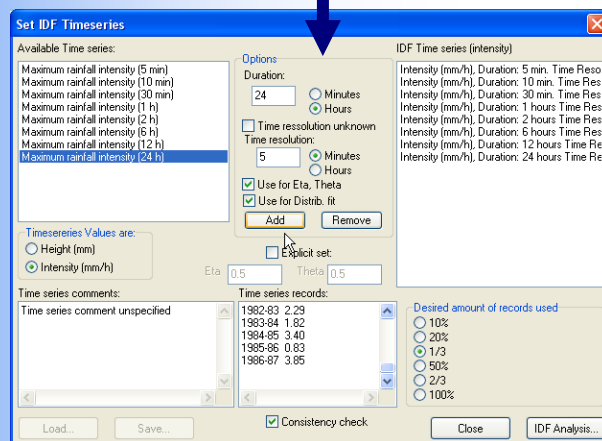
Στατιστική πρόγνωση

Test Statistic	Value
Chi-square	1.00
df	1
p-value	0.317
...	...

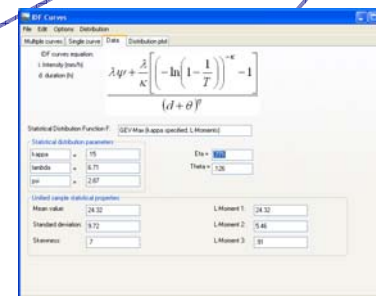
Πρόγνωση δ. εμπιστοσύνης

Όμβριες καμπύλες (Όμβρος)

- Οι όμβριες καμπύλες παράγονται αυτόματα με τη μέθοδο ενοποίησης διαρκειών.
- Οι **ετήσιες χρονοσειρές** μεγίστων βροχοπτώσεων μπορούν να παραχθούν με χρήση της επεξεργασίας «Extremes evaluation».



Συγκεκριμένη π. ε.



Γενικευμένη εξίσωση



Τύπος κατανομής