

# **ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ**

## Ανάλυση δεδομένων επιφανειακής απορροής στην R

Για την ανάλυση των δεδομένων επιφανειακής απορροής από ποτάμια και χειμάρρους θα χρησιμοποιήσουμε το πακέτο συναρτήσεων `hydrostats`.

Το πακέτο `hydrostats` υπολογίζει μια σειρά από υδρολογικούς δείκτες μέσω της επεξεργασίας ημερησίων υδρολογικών δεδομένων.

Για την σημερινή ανάλυση θα χρησιμοποιήσουμε τα ενσωματωμένα δεδομένα `Acheron` αποτελούμενα από ημερήσια χρονοσειρά παροχής ποταμού (σε `ML/day` ή `1000 m3/day`) από τον υδρολογικό σταθμό 405209, Victoria, Australia, κατά την περίοδο 1971-2000.

**ΠΡΟΣΟΧΗ!!** Το πακέτο `hydrostats` δεν επεξεργάζεται δεδομένα αποθηκευμένα σε αντικείμενα χρονοσειρών (τύπου `ts`, `zoo`, `zooreg`, `xts`), αλλά δεδομένα αποθηκευμένα σε πλαίσιο δεδομένων (`dataframe`).

Το `dataframe` θα αποτελείται από δύο στήλες: η πρώτη θα περιέχει την ημερομηνία και η δεύτερη τις παροχές ποταμού.

Για χειμαρρικές απορροές υπάρχει και το σετ δεδομένων `Cooper`.

```
#Calculates a suite of hydrologic indices for daily time series data  
#that are widely used in hydrology and stream ecology
```

```
install.packages(c("hydrostats","stats","utils","graphics","dplyr","plyr"))  
library(hydrostats)  
library(stats)  
library(utils)  
library(graphics)  
library(dplyr)  
library(plyr)
```

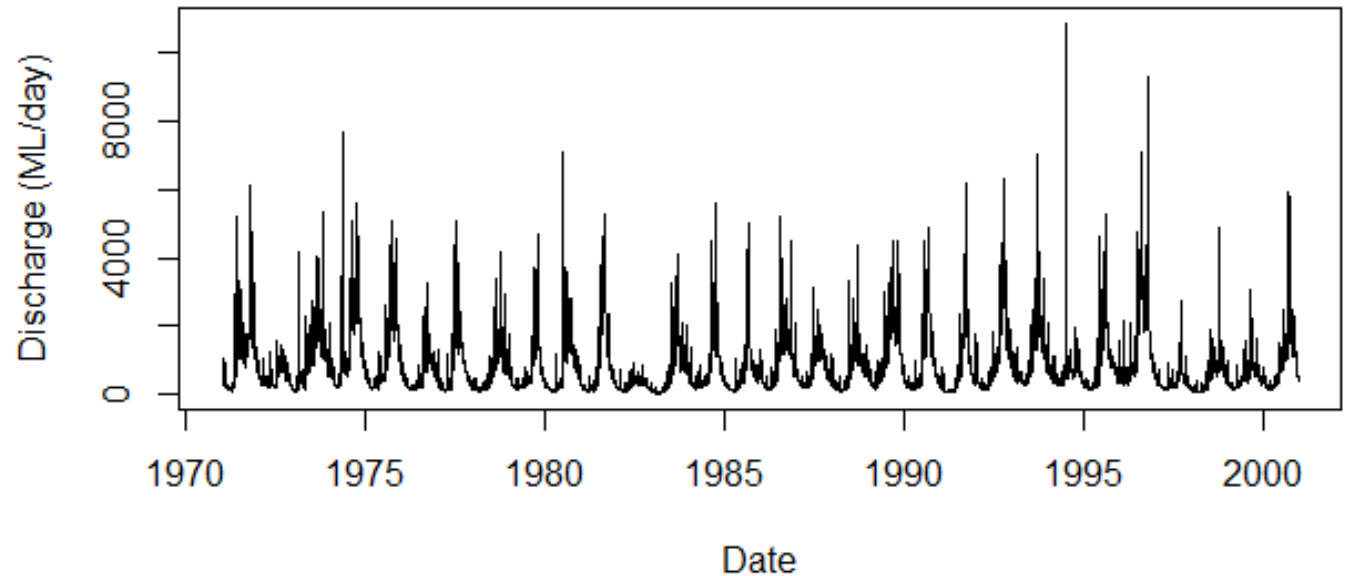
```
#Import data from Acheron river, Victoria, Australia  
#Dataframe with 10944 observations  
data(Acheron)  
Acheron$Date  
Acheron$Q  
plot(Acheron$Date,Acheron$Q,type="l")
```

```
#Converts dates from class character (format dd/mm/yyyy  
#or other as specified) into class POSIXct  
Acheron<-ts.format(Acheron)
```

```
plot(Acheron["Date"],Acheron["Q"],  
     type="l",  
     xlab="Date",  
     ylab="Discharge (ML/day)")
```

```
#This function takes a daily time series and returns  
#the coefficient of variation of mean annual flow  
#expressed as a percentage (sd/mean)*100
```

```
ann.cv(Acheron)
```



Ο **συντελεστής μεταβλητότητας ή παραλακτικότητα (coefficient of variation)** είναι δείκτης σχετικής διακύμανσης (ή διασποράς), ο οποίος εκφράζει την ομοιογένεια των τιμών μιας ποσοτικής τυχαίας μεταβλητής. Είναι “καθαρός” αριθμός που παρέχει τη δυνατότητα σύγκρισης ακόμη και της διακύμανσης των τιμών δύο ή περισσότερων ποσοτικών τυχαίων μεταβλητών που έχουν διαφορετικές μονάδες μέτρησης. Η σπουδαιότητα του δείκτη αναδεικνύεται από την ευρεία χρήση του σε ποικίλα επιστημονικά πεδία των Βιολογικών, Οικονομικών, Κοινωνικών και άλλων Επιστημών.

Ο δείκτης εκφράζει την τυπική απόκλιση ως ποσοστό του μέσου όρου. Για τον υπολογισμό του δείκτη διαιρούμε την τυπική απόκλιση ( $\sigma$ ) με τον αριθμητικό μέσο ( $\mu$ ) του δείγματος. Η μέγιστη τιμή του δείκτη είναι το  $\sqrt{N-1}$ .

```
#Calculate descriptive statistics
mean.Q = mean(Acheron$Q)
median.Q = median(Acheron$Q)
min.Q = min(Acheron$Q)
max.Q = max(Acheron$Q)
range.Q = range(Acheron$Q)
range.Q = range.Q[2] - range.Q[1]
```

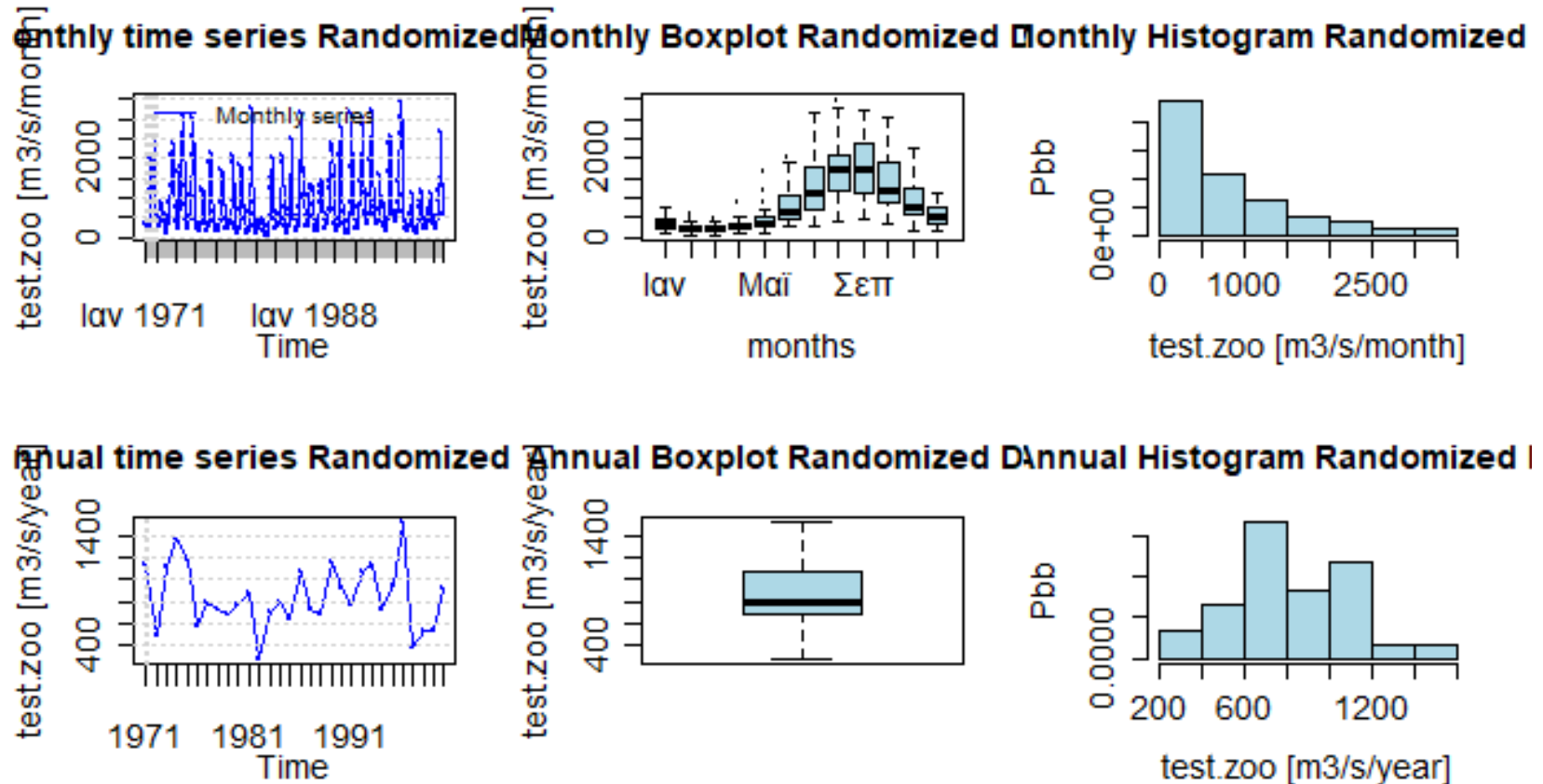
```
install.packages("e1071")
library(e1071)
skewness.Q = skewness(Acheron$Q)
kurtosis.Q = kurtosis(Acheron$Q)
summary(Acheron$Q)
```

```
install.packages("hydroTSM")
library(hydroTSM)
```

```
#Transform the dataframe object into zoo object
dt <- seq(as.Date("1971-01-01"), as.Date("2000-12-17"), by = "days")
test.zoo = as.zoo(Acheron$Q)
test.zoo = zoo(test.zoo,dt)
```

```
#Plot data with the hydroplot function
hydroplot(test.zoo,
  var.type="Flow",
  main="Randomized Data",
  pfreq = "ma")
```

```
#Get data summary
smry(test.zoo)
```



**Απορροή:** Το νερό που κινείται πάνω και κάτω από την επιφάνεια του εδάφους με κάποιον απ' τους παραπάνω τρόπους αποτελεί την απορροή.

**Επιφανειακή απορροή:** Το μέρος της ροής που κινείται πάνω στην επιφάνεια του εδάφους αποτελεί την επιφανειακή απορροή, η οποία μαζί με την απορροή που κινείται αμέσως κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, αποτελούν την άμεση απορροή.

**Βασική απορροή:** Το νερό που κινείται υπογείως και συμβάλλει από τις κοίτες των ρευμάτων, αποτελεί τη βασική απορροή.

Η μεταβολή της παροχής ενός ρεύματος (που είναι προϊόν της απορροής της υδρολογικής λεκάνης του) σε σχέση με το χρόνο αποτελεί το **υδρογράφημα**. Οι βασικές συνιστώσες (μέρη) ενός υδρογραφήματος είναι η επιφανειακή απορροή, η ενδιάμεση απορροή και η βασική απορροή.

Η συνιστώσα της επιφανειακής απορροής περιλαμβάνει το νερό που ρέει πάνω στην επιφάνεια του εδάφους.

Η συνιστώσα της ενδιάμεσης απορροής περιλαμβάνει το νερό που κινείται πλευρικά κάτω από την επιφάνεια του εδάφους στην ακόρεστη ζώνη και εκδηλώνεται μετά κάποια απόσταση πάλι στην επιφάνεια ή απευθείας στην κοίτη του ρεύματος.

Η συνιστώσα της βασικής απορροής περιλαμβάνει το νερό που προέρχεται από υπόγεια ροή απ' την κορεσμένη ζώνη.

Έτσι κατά το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ο ποταμός έχει υπόγεια τροφοδοσία (βασική ροή) και μόνο μετά από ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα μεταβάλλει τη στάθμη του

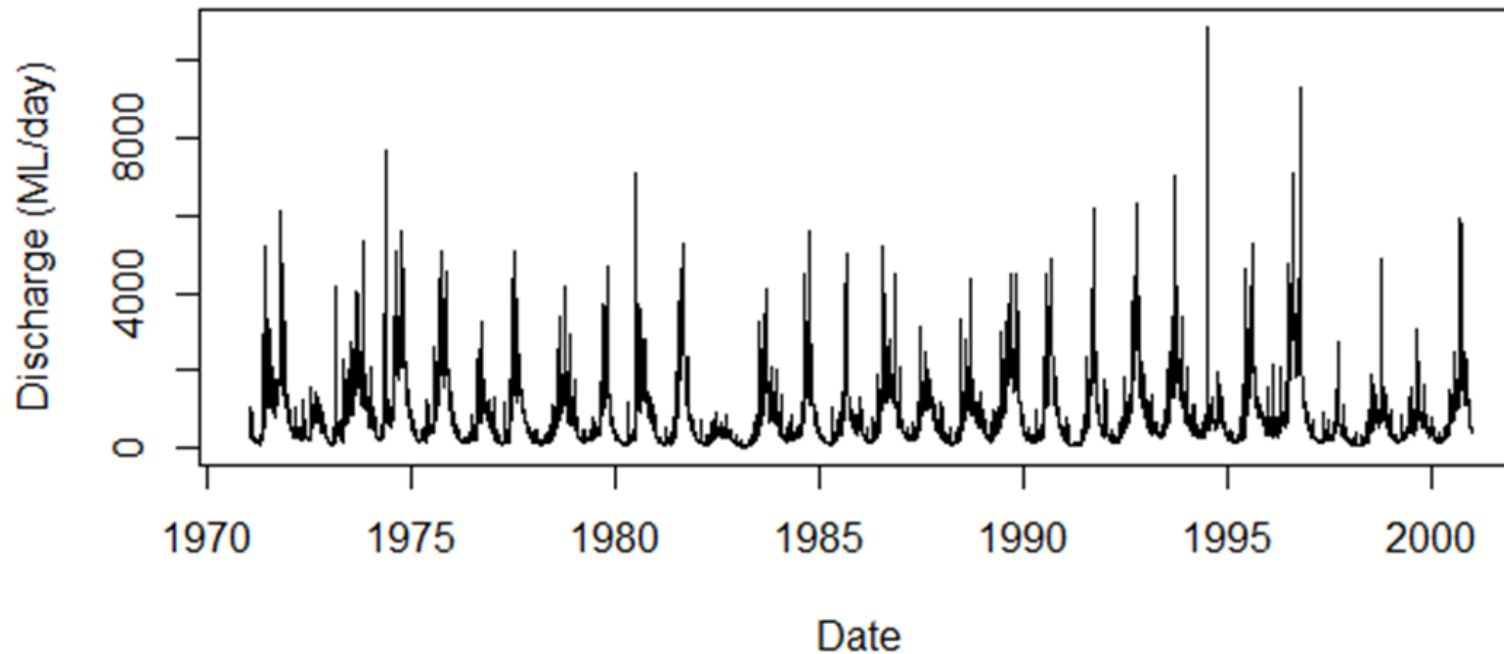
Οι Lyne & Hollick (1979) δημιούργησαν ένα επαναλαμβανόμενο ψηφιακό φίλτρο για τον υπολογισμό της βασικής ροής.

$$q_f(i) = \begin{cases} \alpha q_f(i-1) + \frac{(1+\alpha)}{2} [q(i) - q(i-1)] & \text{for } q_f(i) > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$q_b(i) = q(i) - q_f(i) \quad (2)$$

όπου  $q_f(i)$  είναι η άμεση απόκριση της ροής (quickflow response) την χρονική στιγμή  $i$ ,  $q(i)$  είναι η αρχική απορροή την χρονική στιγμή  $i$ ,  $q_b(i)$  είναι η βασική ροή την χρονική στιγμή  $i$ , και  $\alpha$  είναι η παράμετρος του φίλτρου η οποία επιτρέπει τον διαχωρισμό της ροής.





Όταν διαχωρίσουμε την βασική ροή από την συνολική απορροή του ποταμού, μπορούμε να υπολογίσουμε τον δείκτη βασικής ροής (Baseflow index, BFI), ο οποίος είναι ο λόγος του όγκου της βασικής ροής ως προς τον συνολικό όγκο του ποταμού, για μια καθορισμένη περίοδο.

```
#Calculate measure of central tendency  
#and baseflow indices using the Lynne-Hollick filter
```

```
baseflows(Acheron, a=0.975, ts="mean")  
baseflows(Acheron, a=0.975, ts="annual")  
head(baseflows(Acheron, a=0.975, ts="daily"))
```

```
#Calculate measure of central tendency
#and baseflow indices using the Lynne-Hollick filter
```

```
baseflows(Acheron, a=0.975, ts="mean")
baseflows(Acheron, a=0.975, ts="annual")
head(baseflows(Acheron, a=0.975, ts="daily"))
```

Η πρώτη εντολή επιστρέφει:

n.years – αριθμός ετών της χρονοσειράς  
prop.obs – αναλογία μη-κενών μετρήσεων  
MDF – μέση ημερήσια απορροή (mean daily flow)  
Q50 – διάμεσος ημερήσιας απορροής  
mean.bf – μέσος όγκος βασικής απορροής  
mean.bfi – μέση τιμή του δείκτη BFI

n.years	prop.obs	MDF	Q50	mean.bf	mean.bfi
30	0.999269	839.8865	520.25	382.4864	0.4554025

Η Προγνωσιμότητα (Predictability, P) αναλύεται σε δύο χωριστές συνιστώσες: α) την ομοιομορφία (constancy, C) και την επαναληψιμότητα (contingency, M), οι οποίες έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην οικολογία και την εξέλιξη βιολογικών συστημάτων.

Η προγνωσιμότητα μετρά το πόσο στενή είναι η σχέση ενός γεγονότος με μία εποχή, η σταθερότητα μετρά το πόσο ομοιόμορφα εμφανίζεται ένα γεγονός κατά την διάρκεια όλων των εποχών, ενώ η επαναληψιμότητα μετρά την επαναλαμβανόμενη δομή εποχιακών γεγονότων.

Η Προγνωσιμότητα είναι το άθροισμα της ομοιομορφίας και της Επαναληψιμότητας.

Predictability = Constancy + Contingency

και εκφράζει την δυνατότητα να προγνώσουμε την εμφάνιση μίας τιμής παροχής.

Η Προγνωσιμότητα μεγιστοποιείται όταν η ροή είναι σταθερή και ομοιόμορφη καθόλο το έτος (Constancy Maximised), ή όταν οι δομές της εμφάνισης υψηλών και χαμηλών απορροών επαναλαμβάνονται καθόλο το έτος (Contingency maximized).

#s is the number of classes the flow is broken into

Colwells(Acheron, s=5)

\$breaks

[1] "see Table"

\$flow.table

month

flow.class 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12

[1.55,1.95) 0 1 2 0 0 0 0 0 0 0 0

[1.95,2.35) 6 13 17 11 3 0 0 0 0 0 1 4

[2.35,2.75) 21 12 11 18 22 13 4 2 1 2 6 13

[2.75,3.14) 3 4 0 1 4 12 17 10 10 16 18 13

[3.14,3.54] 0 0 0 0 1 5 9 18 19 12 5 0

\$P

[1] 0.43

\$C

[1] 0.15

\$M

[1] 0.29

\$CP

[1] 0.3488372

\$MP

[1] 0.6744186

## Στατιστικά στοιχεία διαλείπουσας ροής - Cease-to-flow (CTF) spell statistics

Με την συνάρτηση CTF υπολογίζουμε τα στατιστικά των περιόδων διακοπής της ροής λόγω ξηρασίας. Θα πρέπει να ορίσουμε ένα κατώφλι κάτω από το οποίο θα θεωρούμε ότι η ροή είναι διαλείπουσα.

```
#Calculate the Cease-to-Flow statistics  
data("Cooper")  
Cooper<-ts.format(Cooper)  
CTF(Cooper, threshold=0.1)
```

p.CTF	avg.CTF	med.CTF	min.CTF	max.CTF
0.4312753	80.58537	50	1	257

p.CTF – Χρονική αναλογία στην οποία έχουμε διαλείπουσα ροή

avg.CTF – Μέση περίοδος διαλείπουσας ροής

med.CTF – Διάμεση περίοδος διαλείπουσας ροής

min.CTF – Ελάχιστη περίοδος διαλείπουσας ροής

max.CTF – Μέγιστη περίοδος διαλείπουσας ροής

## Στατιστικά στοιχεία πλημμυρικής ροής – Flood length maximum

Υπολογίζει τα στατιστικά πλημμυρικών γεγονότων, τα οποία υπερβαίνουν ένα κατώφλι.

```
#Calculates the maximum flood length in a time series  
flood.length.max(Acheron, threshold = 6000, ind.days = 5)
```

```
max.duration  
3
```

```
high.spell.lengths(Acheron, threshold=6000)
```

```
start.date spell.length  
2 1971-10-04      1  
4 1974-05-15      1  
6 1980-06-29      2  
8 1991-09-19      3  
10 1992-10-11     1  
12 1993-09-02     1  
14 1994-06-25     2  
16 1996-08-01     2  
18 1996-10-01     2
```

high.spells(Acheron, quant=0.9)

high.spell.threshold	n.events	spell.freq		
1964.857	115	3.833333		
ari	min.high.spell.duration			
0.2608696	1			
avg.high.spell.duration				
10.38261				
med.high.spell.duration				
3				
max.high.spell.duration	avg.spell.volume			
107	9014.952			
avg.spell.peak	sd.spell.peak	avg.rise	avg.fall	
1101.507	1178.252	797.8874	411.4251	
avg.max.ann	cv.max.ann	flood.skewness		
5146.205	39.39746	6.125804		
ann.max.timing	ann.max.timing.sd			
239	43			
ann.max.min.dur	ann.max.avg.dur			
1	39.4			
ann.max.max.dur	ann.max.cv.dur			
154	122.8164			

n.events - The number of events in the series greater than or equal to the high.spell.threshold  
spell.freq - The frequency of spell events (no. per year)  
ari - Average Recurrence Interval of events in years ( $1/\text{spell.freq}$ )  
min.high.spell.dur - Minimum duration of spell events  
avg.high.spell.dur - Average duration of spell events  
med.high.spell.dur - Median duration of spell events  
max.high.spell.dur - Maximum duration of spell events  
avg.spell.volume - Average spell volume (volumes above the threshold only)  
avg.spell.peak - Average spell peak  
sd.spell.peak - Standard deviation of spell peaks  
avg.rise - Average absolute rate of daily rise during spell events  
avg.fall - Average absolute rate of daily fall during spell events