ΔΠΜΣ: ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΙΤΛΟ:

«ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΝΟΣ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟΥ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΕ ΛΕΚΑΝΕΣ ΜΕ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ 3 ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΛΕΚΑΝΕΣ.»

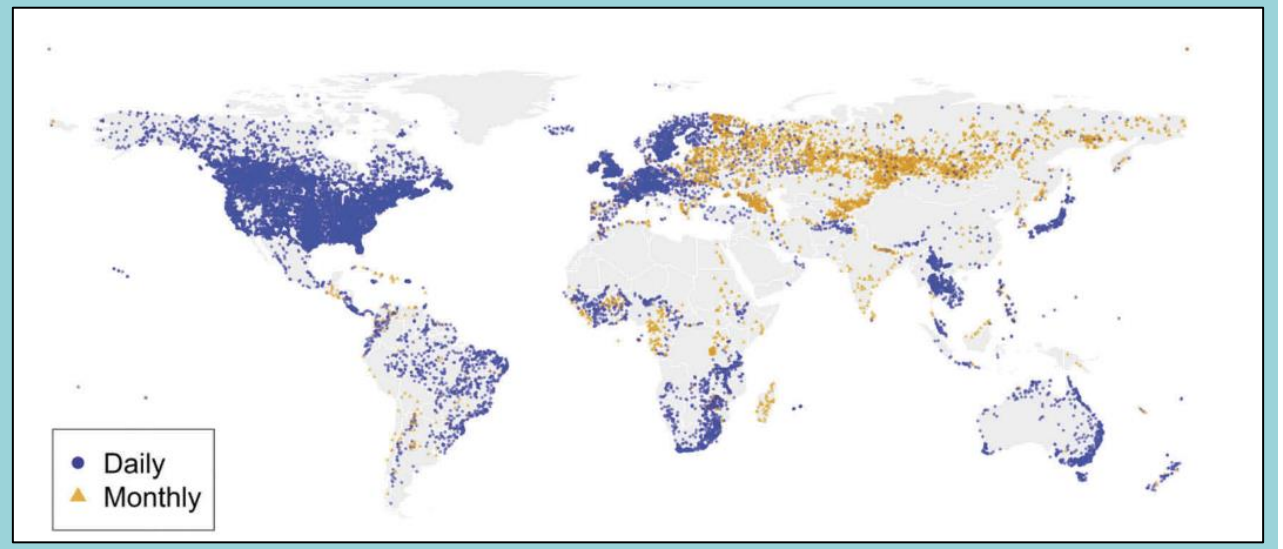
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
Α.ΕΥΣΤΡΑΤΙΑΔΗΣ

ΟΝΟΜΑ : ΑΛΕΞΑΝΔΡΑΚΗΣ ΣΤΕΛΙΟΣ
ΑΜ: 212410

ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟ ΕΤΟΣ: 2026-2027

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- Εισαγωγή-Στόχοι Εργασίας
- Περιοχές Μελέτης
- Υδρολογικό Μοντέλο *Ζυγός*
- Μεθοδολογία
- Αποτελέσματα
- Συμπεράσματα
- Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα



- Η διαχείριση των υδατικών πόρων προϋποθέτει ακριβείς εκτιμήσεις της ποσότητας και της χρονικής μεταβλητότητας τους.
- Η υδρολογική μοντελοποίηση μπορεί να τις παρέχει, ωστόσο απαιτεί αξιόπιστες και μακροσκελής χρονοσειρές απορροής.
- Μεγάλος αριθμός λεκανών απορροής παγκοσμίως δεν διαθέτει τέτοια σύνολα παρατηρήσεων.
- Η αυξανόμενη διαθεσιμότητα δεδομένων παρατήρησης Γης (Earth Observation-EO) προσφέρει εναλλακτικές πηγές δεδομένων.

Στόχος 1:

Ανάπτυξη ενός πρωτοκόλλου ικανού να παράγει μοντέλα εκτίμησης της απορροής (*Q*) μέσω της αποκλειστικής χρήσης ΕΟ δεδομένων.

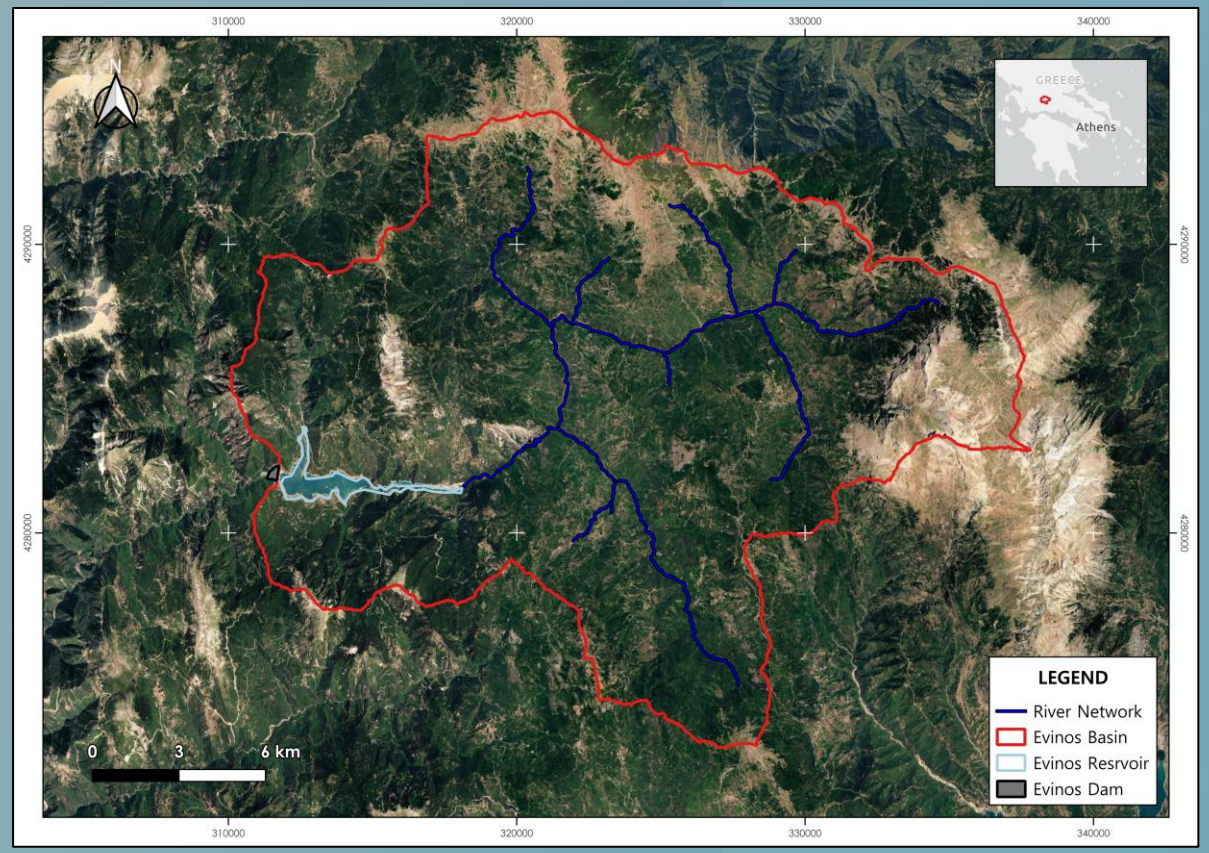
Στόχος 2:

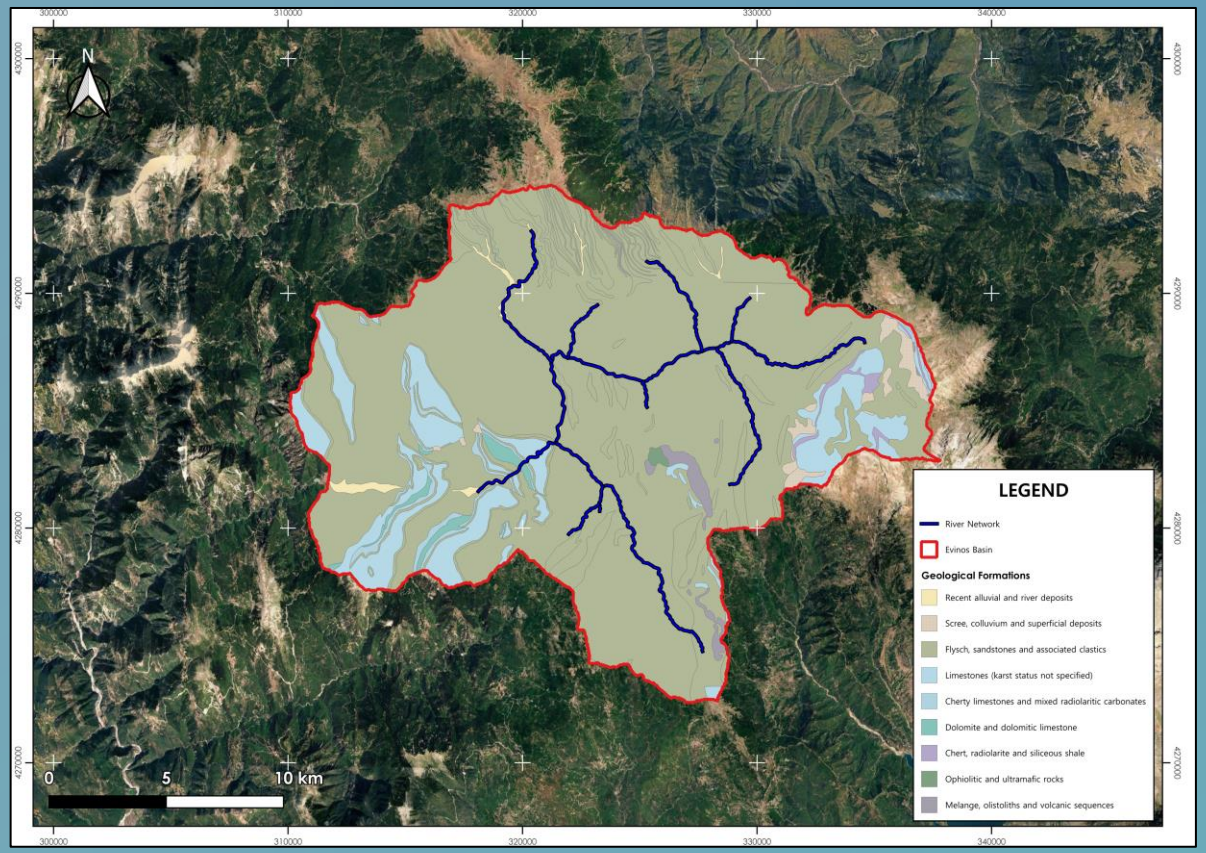
Διερεύνηση του κατά πόσο το περιεχόμενο υδρολογικής πληροφορίας της εδαφικής υγρασίας (*SM*) και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής (*ET*) επαρκεί για την υποστήριξη της μεθοδολογίας.

Στόχος 3:

Αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των επιλεγμένων μεθόδων και κριτηρίων με δεδομένα *Q*, ώστε να διευκολυνθεί η *a priori* επιλογή τους σε μελλοντικές εφαρμογές.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΣΤΟΧΟΙ ΕΡΓΑΣΙΑΣ



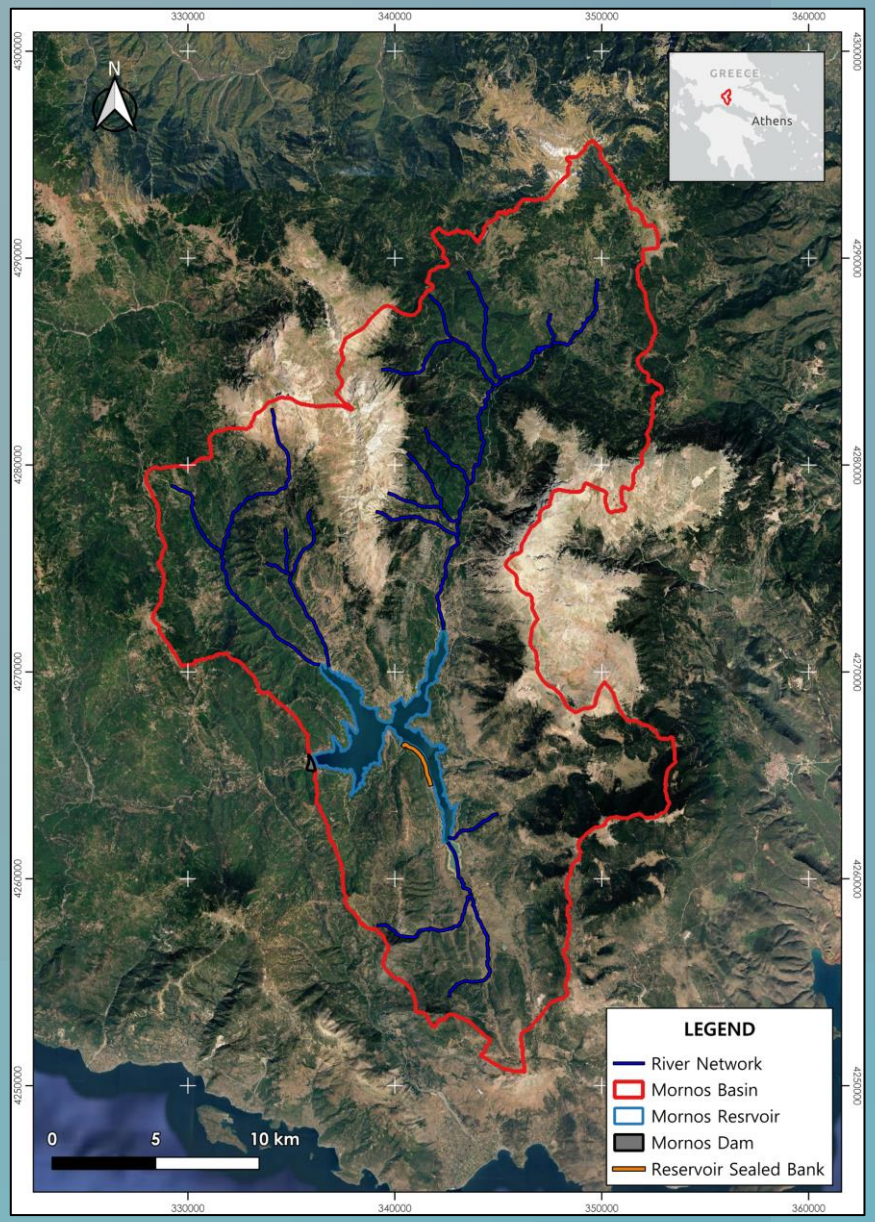


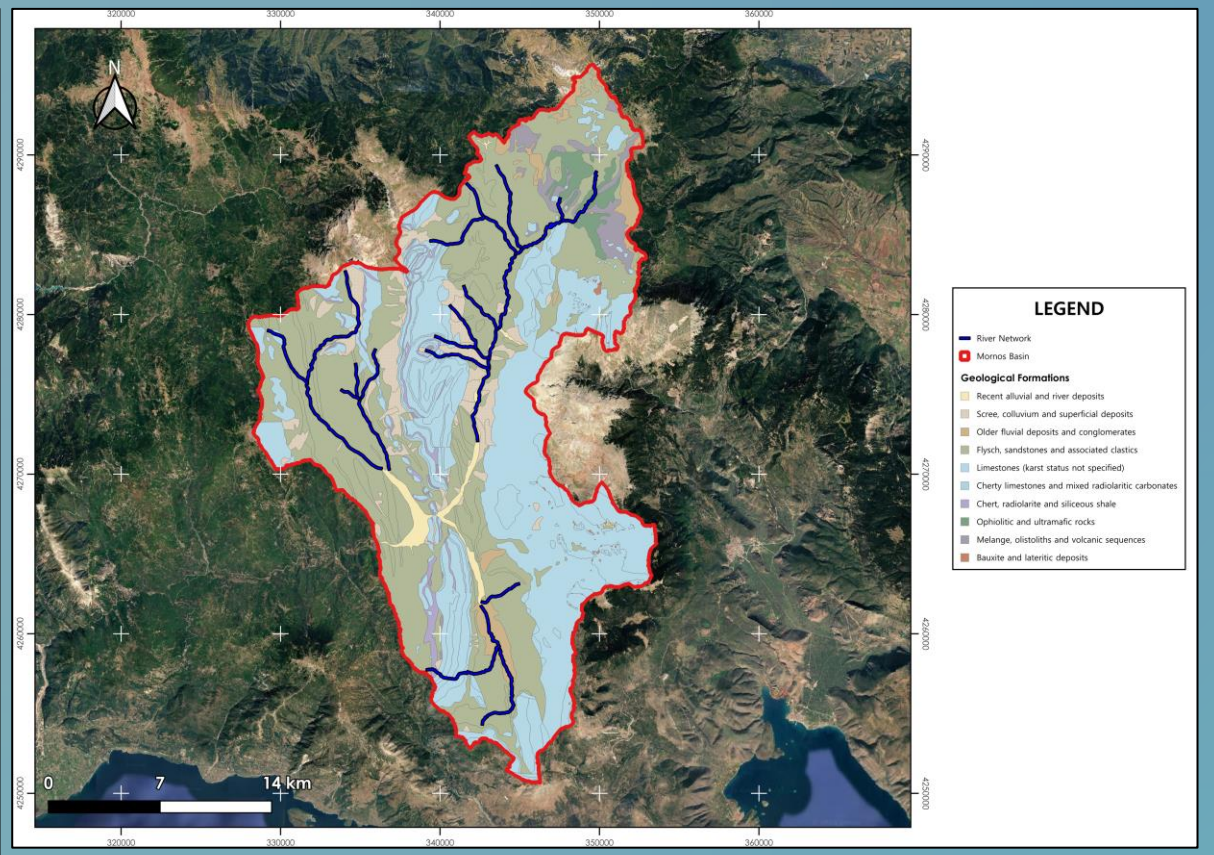
- Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (EL04).
- Έκταση: 352 km^2 .
- Μέση κλίση: 23.65° / Μέγιστη κλίση: 71.58°.
- Εύρος Υψομέτρων (417-2388 m) / Μέσο Υψόμετρο: 1188 m.
- Φράγμα Ευήνου.

- Γεωλογικό υπόβαθρο αποτελείται κυρίως από φλύσχη και ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθοι).
- Η λεκάνη καλύπτεται κυρίως από δασικές, μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις.
- Ορεινό ανάγλυφο, σχετικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί-Συνθήκες που ευνοούν επιφανειακή *Q*.

ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ-ΕΥΗΝΟΣ

Γεωλογικά δεδομένα: ΕΑΓΜΕ
Καλύψεις Γης: Copernicus Land Monitoring Service (2018)
Στοιχεία λεκάνης απορροής & φράγματος: ΥΠΕΝ (2024) και ΕΕΜΦ (2013)

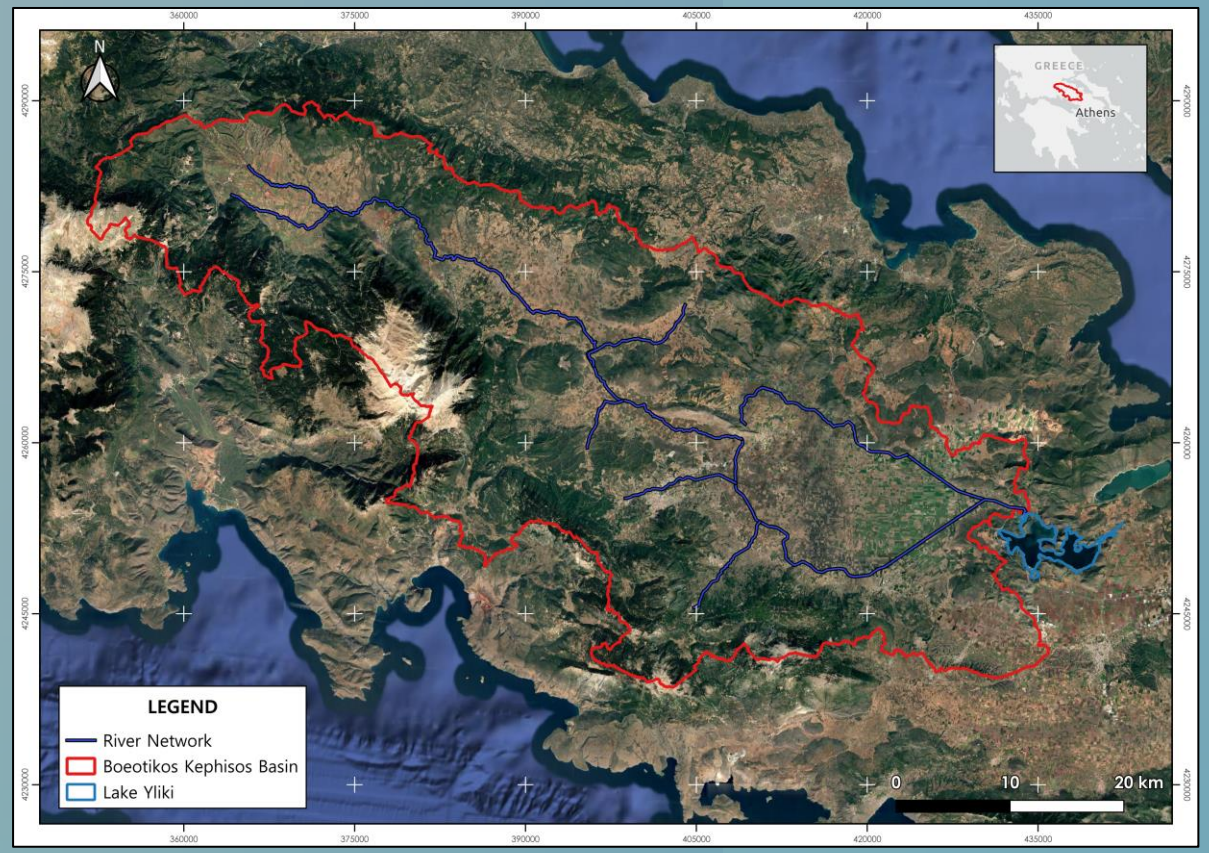


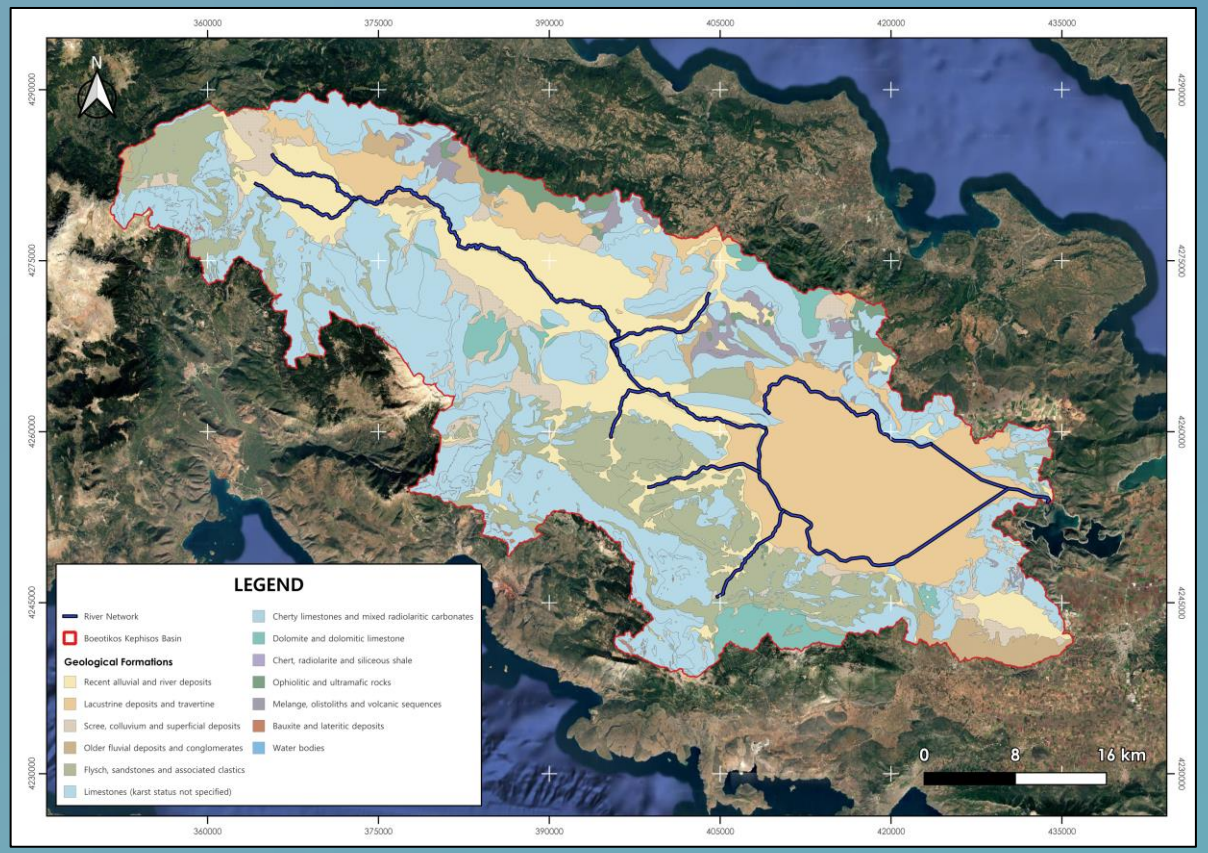


- Υδατικό Διαμέρισμα Δυτικής Στερεάς Ελλάδας (EL04).
- Έκταση: 580 km^2 .
- Μέση κλίση: 22.65° / Μέγιστη κλίση: 71.50°.
- Εύρος Υψομέτρων (329-2504 m) / Μέσο Υψόμετρο: 1085 m.
- Φράγμα Μόρνου.

- Γεωλογικό υπόβαθρο αποτελείται κυρίως από φλύσχη και ανθρακικά πετρώματα, κυρίως ασβεστόλιθοι με την ύπαρξη καριστικοποίησης.
- Η λεκάνη καλύπτεται κυρίως από δασικές και μεταβατικές δασώδεις εκτάσεις ,σκλυρόφυλλη βλάστηση καθώς και γεωργικές εκτάσεις.
- Ευνοείται η επιφανειακή *Q* ωστόσο υπάρχουν υπόγειες διαφυγές.

ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ-ΜΟΡΝΟΣ





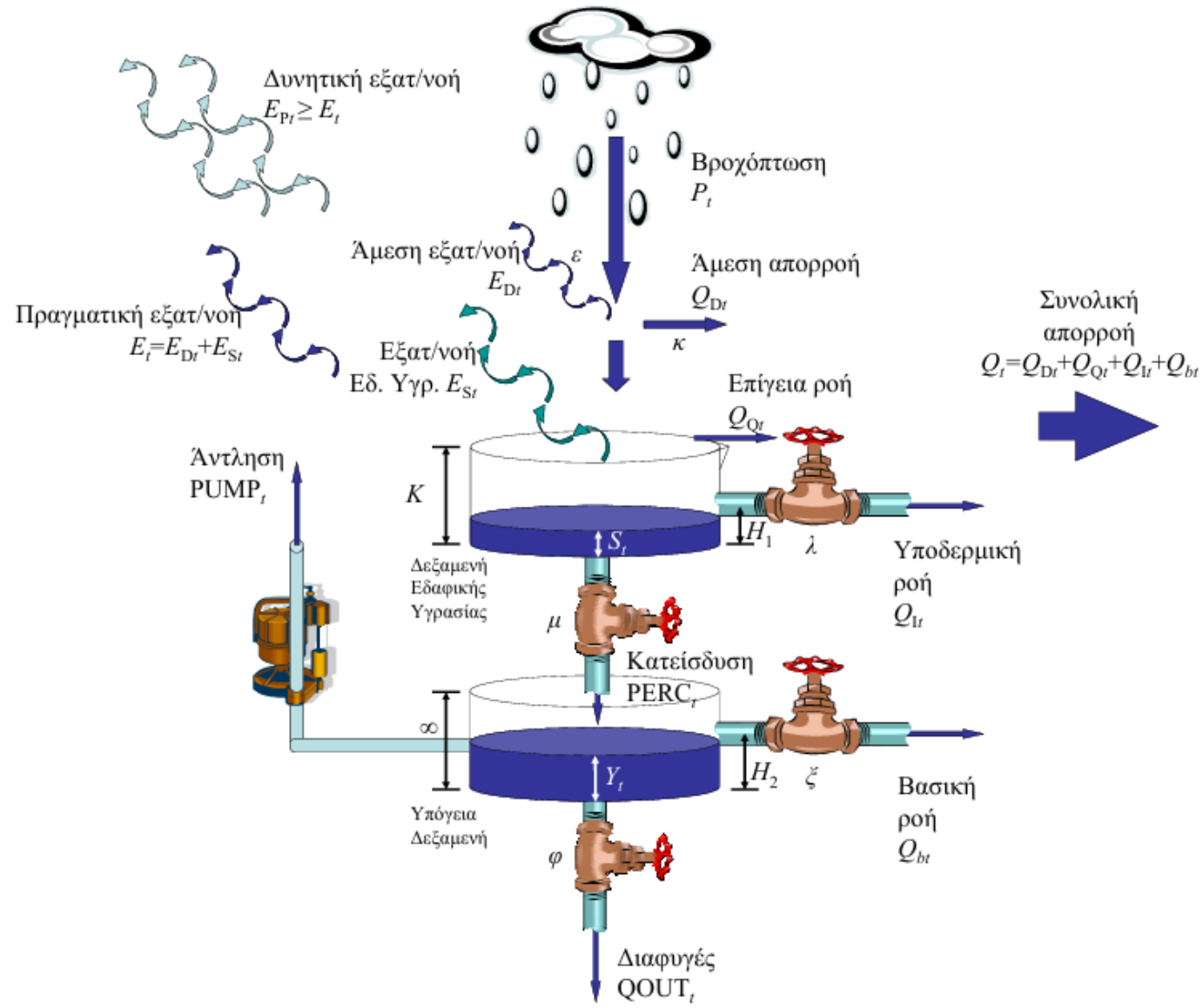
- Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Στερεάς Ελλάδας (EL07).
- Έκταση: 2005 km^2 .
- Μέση κλίση: 11.66° / Μέγιστη κλίση: 74.95°.
- Εύρος Υψομέτρων (93-2452 m) / Μέσο Υψόμετρο: 1188 m.
- Λίμνη Υλίκη/Έντονη γεωργική δραστηριότητα.

- Γεωλογικό υπόβαθρο αποτελείται από ανθρακικά πετρώματα (ασβεστόλιθους-δολομίτες) και φλύσχη στις ορεινές περιοχές και ποτάμιες αποθέσεις στις πεδινές.
- Η λεκάνη καλύπτεται κυρίως από σκληρόφυλλή βλάστηση και αρδευόμενες γεωργικές εκτάσεις. Ορεινό ανάγλυφο, σχετικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί-Συνθήκες που ευνοούν επιφανειακή *Q*.

ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ-ΒΟΙΩΤΙΚΟΣ ΚΗΦΙΣΟΣ

- Εννοιολογικό συγκεντρωτικό υδρολογικό μοντέλο λεκανών απορροής σε μηνιαίο χρονικό βήμα.
- Ικανότητα προσομοίωσης 4 συνιστωσών της *Q*, μέσω προσομοίωσης της ακόρεστης και κορεσμένης ζώνης με 2 διασυνδεδεμένες δεξαμενές (ταμιευτήρες).
- Μεταβλητές εισόδου η βροχόπτωση (*P*) και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή (*PET*)-εξόδου η πραγματική εξατμισοδιαπνοή (*ET*) και η απορροή (*Q*).
- Ευέλικτη δομή-ενεργοποίηση διεργασιών μέσω παραμέτρων. Πλήρης δομή έχει 9 παραμέτρους και 2 αρχικές συνθήκες.
- Στην παρούσα εργασία, εξετάστηκαν 6 διαφορετικές δομές.

Δομή Μοντέλου	Ενεργές Παράμετροι
4P	*κ, K, μ, ξ*
5P	*κ, K, μ, ξ, φ*
6P	*κ, K, μ, ξ, φ, λ*
7P	*κ, K, μ, ξ, φ, λ, ε*
8P	*κ, K, μ, ξ, φ, λ, ε, H_1*
9P	*κ, K, μ, ξ, φ, λ, ε, H_1, H_2*



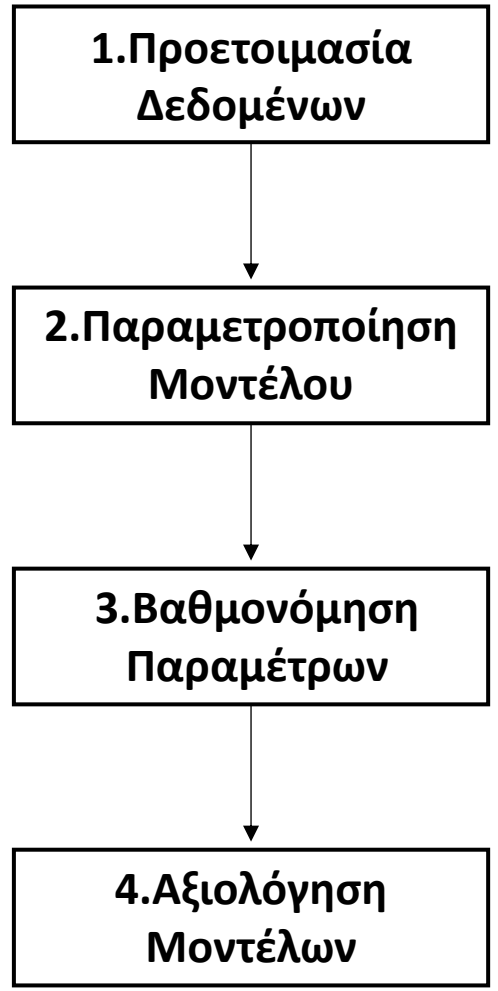
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ «*ΖΥΓΟΣ*»

Εικόνα από Κοζάνης κ.α (2010)

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

- Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ΕΟ για: *SM*, *ET*, *PET* και *P* / Αντίστοιχα παρατηρήσεις πεδίου για *Q*, *P*.
- Πηγές των δεδομένων ΕΟ ήταν: ERA5-Land, MODIS, GLDAS-2.1 Noah, CLIMADAT-GRid.
- Αξιολόγηση των 6 διαφορετικών δομών του μοντέλου «*Ζυγός*» και επιλογή κατάλληλης παραμετροποίησης για κάθε λεκάνη απορροής.
- Συνδυαστική χρήση των μεθόδων ανάλυσης ευαισθησίας (SA) Morris, eFAST και Regional Sensitivity Analysis (RSA) και στατιστικών των κατανομών από ανάλυση αβεβαιότητας (UA)-Περιορισμός εφικτού χώρου παραμέτρων για βαθμονόμηση.
- Βαθμονόμηση για 10 διαφορετικά σενάρια, με διαφορετικές μεταβλητές (*SM*, *ET*, *Q*), στόχους και στοχικές συναρτήσεις.
- Μονοκριτηριακή και πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση, με επαναληπτικές εκτελέσεις και διαλογή βάσει των αποτελεσμάτων κατά την περίοδο επαλήθευσης.
- Τελική αξιολόγηση όλων των μοντέλων βάσει της επίδοσης τους στην περιγραφή της *Q*.
- Επιλογή ενός μοντέλου που βαθμονομήθηκε μόνο με δεδομένα ΕΟ ανά λεκάνη απορροής.

ERA5-Land: Copernicus Climate Change Service (2019)
MODIS MOD16A2GF: Running et al (2021)
GLDAS-2.1 Noah: Beaudoing et al (2020)
CLIMADAT-GRid: Varotsos et al (2025)
Παρατηρήσεις πεδίου:ΕΥΔΑΠ



Μέθοδος Morris: Morris (1991)
Μέθοδος eFAST: Saltelli et al (1999)
Μέθοδος RSA: Spear & Hornberger (1980)

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Αλγόριθμος SCE-UA: Duan et al (1992)
Αλγόριθμος ε-NSGAII: Deb et al (2002) και Kollat & Reed (2006)

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΠΟΙΗΣΗ

- Εφαρμογή μεθόδων SA/UA για κάθε δομή του «*Ζυγού*» και για SM, ET και Q.
- Εξέταση 200.000 συνδυασμών παραμέτρων στην UA με Latin Hypercube Sampling.
- Κατώφλι αποδεκτών λύσεων (Behavioral) για RSA με KGE_{Beh}.
- Βασικά μεγέθη ευαισθησίας: μ*, σ, S_T και D_{KS}.

$$\mu^* < \Delta KGE_{min}$$
$$\sigma < \Delta KGE_{min}$$
$$S_T < 0.05$$
$$D_{KS} < 0.05$$

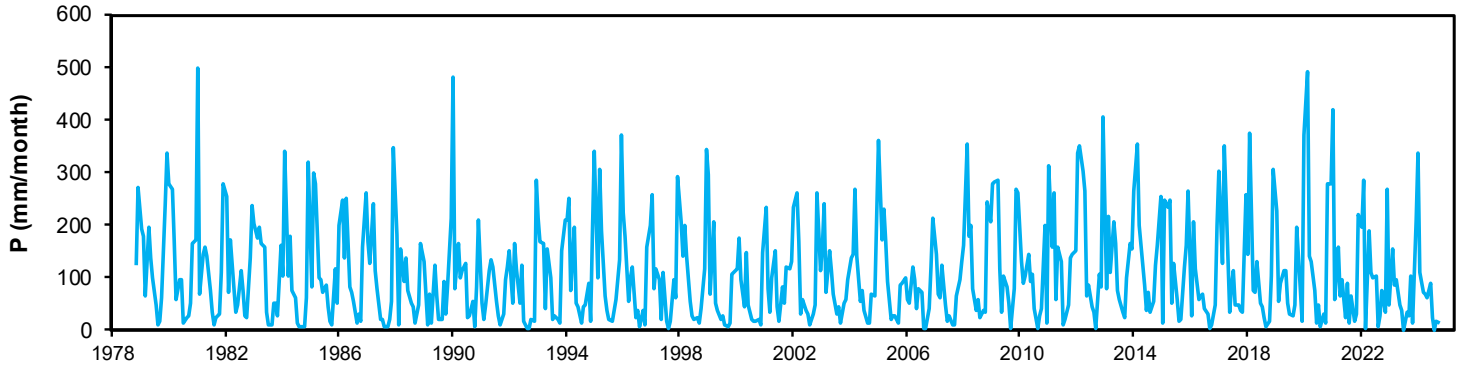
- Χρήση επιπλέον διαγνωστικών από UA και κατανομή αποδεκτών λύσεων.
- Επιλογή παραμετροποίησης βάσει *τομής* των αποτελεσμάτων για SM & ET-Περιορισμός εφικτού χώρου.

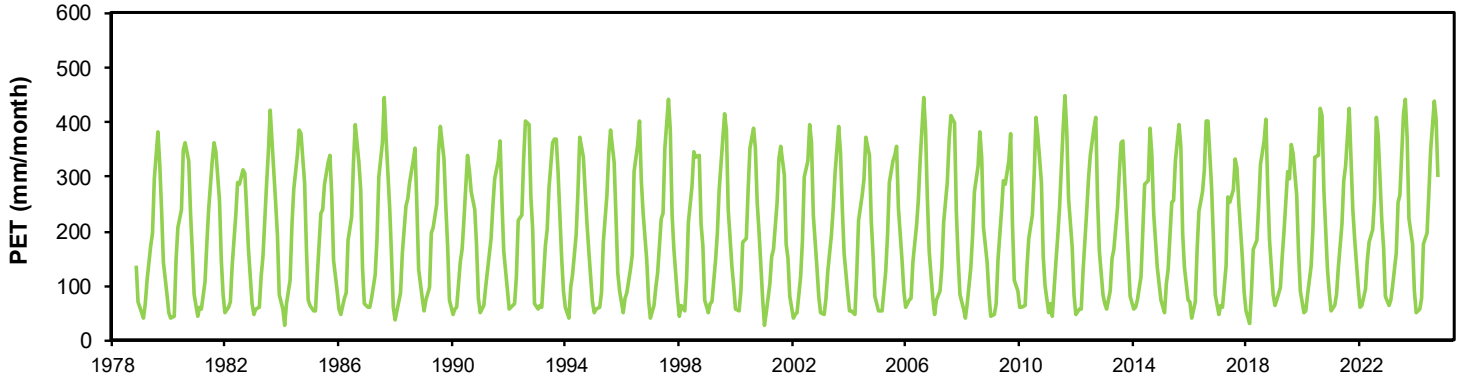
ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ

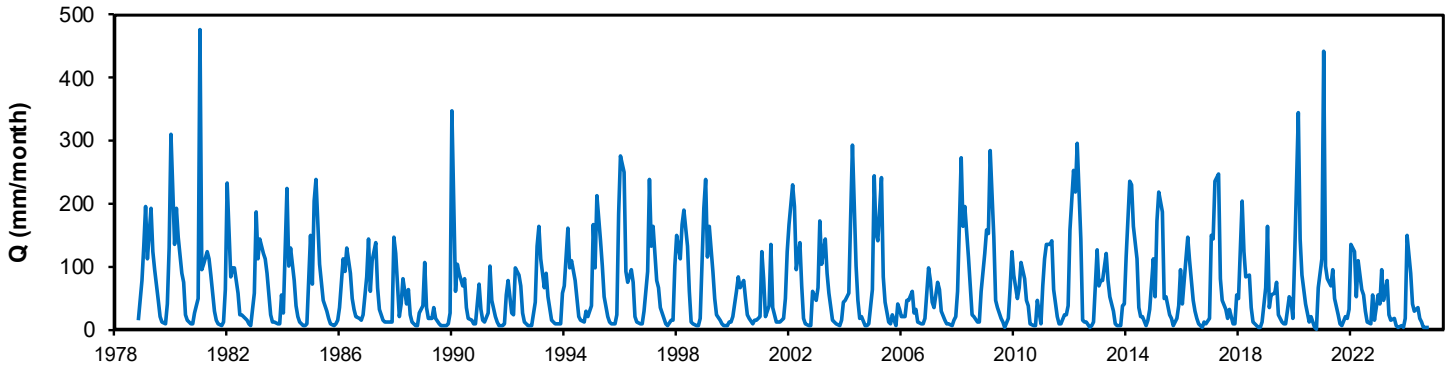
- Διαχωρισμός δεδομένων σε Calibration-Validation περιόδους ακολουθώντας Split Sample Test με εναλλαγή μονών-ζυγών ετών (50-50).
- Εξετάστηκαν συνολικά 10 σενάρια βαθμονόμησης:

Σενάριο	Μεταβλητές	Στοχικές Συναρτήσεις
Base	*Q*	KGE
S1	*SM*	KGE
S2	*ET*	KGE
S3	*SM*	ubRMSE
S4	*ET*	NRMSE
S5	ET_R	r
S6	*SM, ET*	KGE, KGE
S7	*SM, ET*	ubRMSE, NRMSE
S8	*SM,* ET_R	KGE, r
S9	*SM,* ET_R	ubRMSE, r

- Μονοκριτηριακή βελτιστοποίηση με χρήση SCE-UA, για πολυκριτηριακή με ε-NSGAII.
- Επανάληψη βαθμονόμησης 10 φορές ανά σενάριο-διαλογή τελικών συνόλων παραμέτρων βάσει σκορ στοχικών συναρτήσεων για μεταβλητή ελέγχου.







- ***P-PET***: Υψηλή μεταβλητότητα *P*, με λίγα έντονα επεισόδια. μ_{year} *PET* διπλάσια της *P*.
- ***SM:*** Περιορισμένες διακυμάνσεις γύρω από την μ. Μέγιστη μηνιαία τιμή κοντά στα 300 mm.
- ***ET:*** Έντονη μεταβλητότητα (CV = 58%), αρκετά χαμηλότερη ετήσια τιμή από *PET*.
- ***Q:*** Μεγαλύτερη μεταβλητότητα (CV = 106%), υψηλή συχνότητα χαμηλών ροών με μεμονωμένα επεισόδια με έντονες αιχμές.

Στατιστικό	*P*	*PET*	*SM*	*ET*	*Q*
μ_{month}	*107.75*	195.18	*229.28*	*59.40*	65.34
σ_{month}	*94.28*	117.22	*51.18*	*34.44*	69.00
max_{month}	*499.00*	449.60	*302.33*	*137.28*	475.00
min_{month}	*0.00*	28.76	*139.27*	*6.05*	0.30
μ_{year}	*1298.52*	2337.60	-	*712.30*	791.19
σ_{year}	*269.08*	122.27	-	*55.70*	252.53
max_{year}	*1921.00*	2623.07	-	*841.34*	1292.90
min_{year}	*772.50*	2115.40	-	*613.97*	385.00

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΕΥΗΝΟΣ

SM

- Μεγάλος αριθμός λύσεων με αρνητικές τιμές KGE
- 4P-5P έχουν παρόμοιες κατανομές-αλλαγή σχήματος και μείωση μέσης τιμής KGE για 6P-7P-επιστροφή στην αρχική συμπεριφορά με 8P-9P.

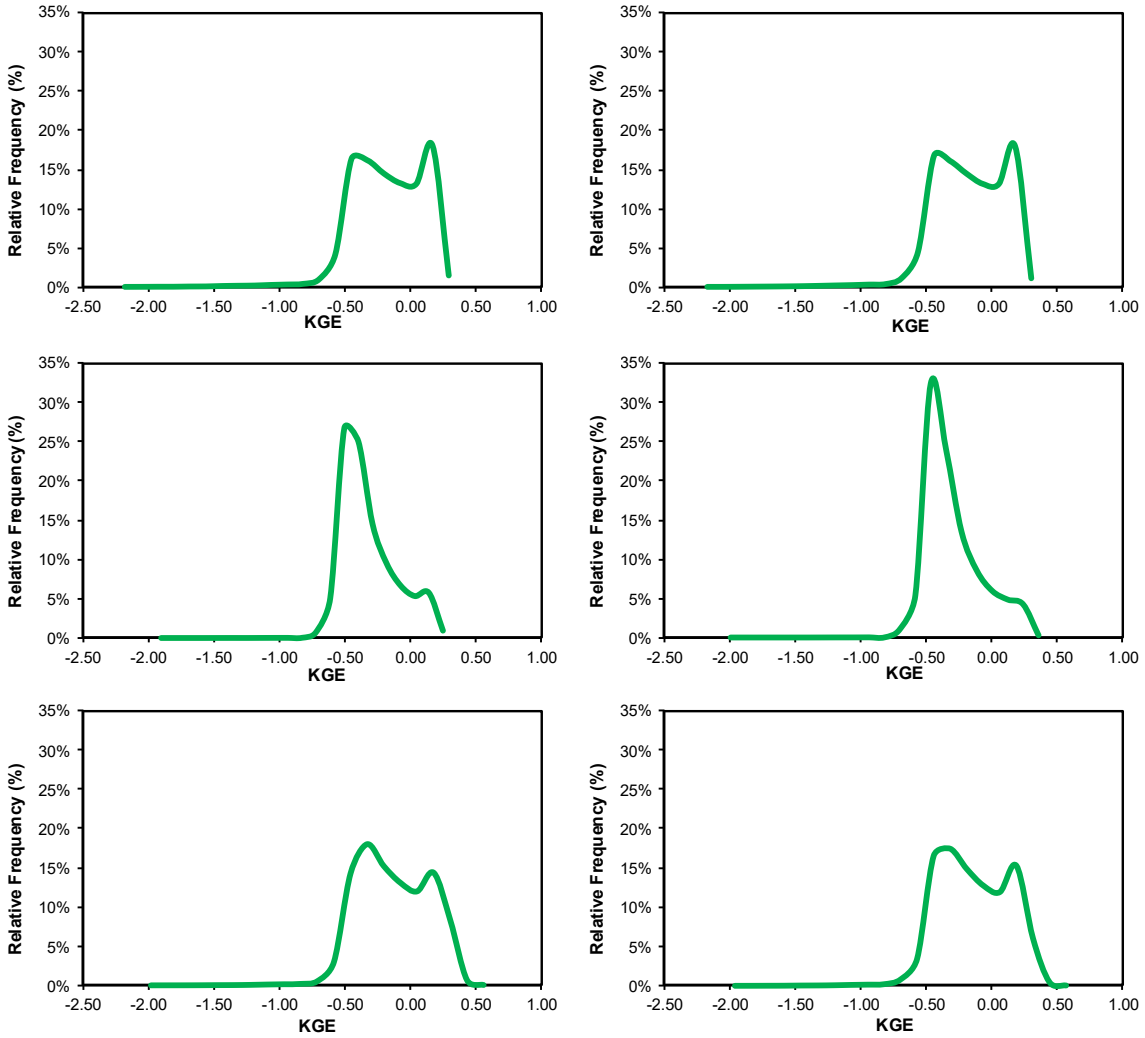
ET

- Μικρή μεταβλητότητα τιμών KGE-κυρίως αρνητικές
- Προσθήκη *ε* στην 7P αύξησε σημαντικά την μέγιστη τιμή KGE (0.27 σε 0.67) και την διασπορά.

Q

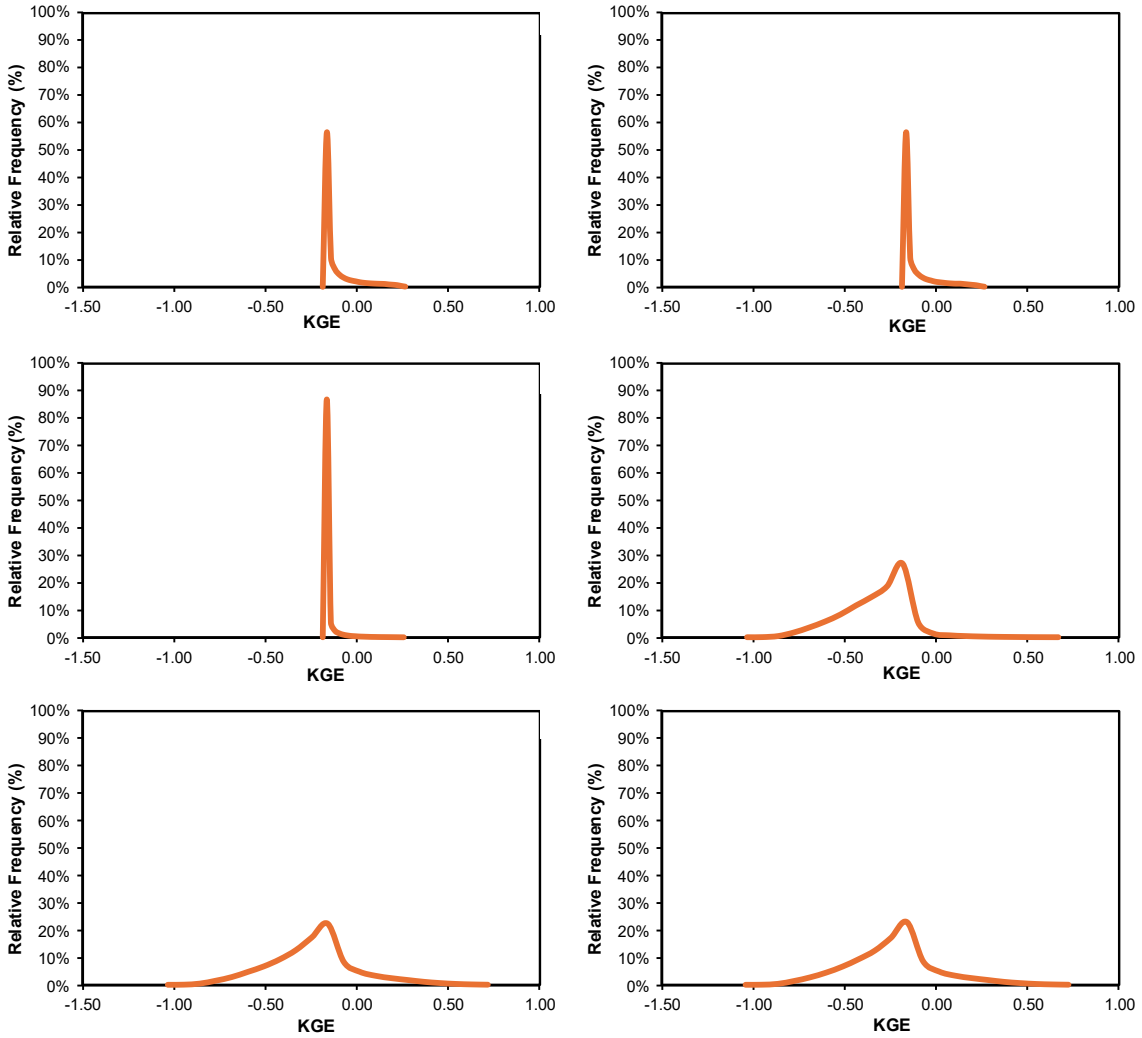
- Καλύτερες επιδόσεις σε σχέση με *SM* και *ET*.
- Αύξηση διασποράς κατανομών με αύξηση της πολυπλοκότητας.
- Η 7P είχε την μέγιστη μέση επίδοση (KGE = 0.58).

SM

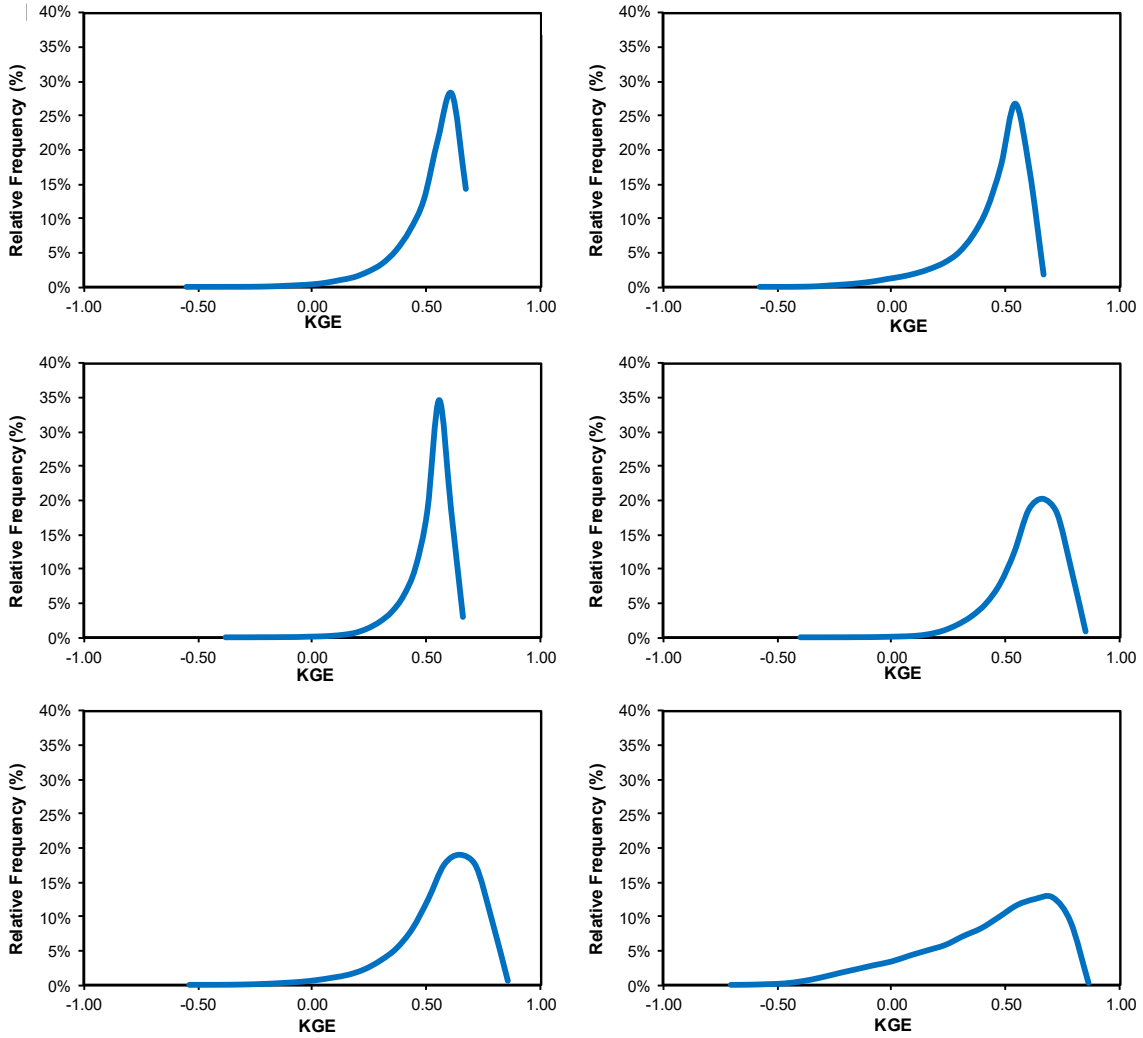


ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΕΥΗΝΟΣ

ET



Q



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΕΥΗΝΟΣ

- ***SM***: Κυρίαρχη επίδραση των *κ*, *K*, *μ*. Αξιοσημείωτο το *λ*
- ***ET***: Παρόμοιο με *SM*. Αναμενόμενα, *ε* είχε μεγαλύτερη επίδραση
- **Q:** Ευαισθησία σε περισσότερες παραμέτρους, όπως *ξ*, *φ* και *ε*.

↓

Ανεπαρκής πληροφορία SM/ET: Σημαντικές διαφορές των αποτελεσμάτων σε σχέση με *Q*.

↓

Χρήση πρόσθετων διαγνωστικών και Q: Βελτίωση των στατιστικών στοιχείων Behavioral λύσεων-Βελτίωση προσομοίωσης *ET* και *Q*.

↓

Επιλογή παραμετροποίησης 7P για Εύηνο.

Παράμετρος	SM	ET	Q
κ	6/6	6/6	6/6
K	6/6	6/6	6/6
μ	6/6	6/6	6/6
ξ	0/6	0/6	5/6
φ	0/5	0/5	4/5
λ	2/4	2/4	2/4
ε	0/3	1/3	3/3
H1	0/2	0/2	1/2
H2	0/1	0/1	0/1

Παράμετρος	Κατώτατο Όριο	Ανώτατο Όριο
κ	*0.03*	0.58
K	*250.03*	720.09
μ	*0.02*	0.25
ξ	*0.05*	0.95
φ	*0.05*	0.95
λ	*0.02*	0.25
ε	*0.05*	0.58

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΕΥΗΝΟΣ

Μονοκριτηριακή Βελτιστοποίηση

Σενάριο	Μεταβλητή	Στοχική Συνάρτηση	Σκόρ Calibration	Σκόρ Validation
S1	*SM*	KGE	*0.328*	*0.343*
S2	*ET*	KGE	*0.683*	*0.694*
S3	*SM*	ubRMSE	*34.409*	*29.743*
S4	*ET*	NRMSE	*0.208*	*0.216*
S5	ET_R	*r*	*0.727*	*0.723*

Πολυκριτηριακή Βελτιστοποίηση

Σενάριο	Μεταβλητή	Στοχική Συνάρτησεις	Σκόρ Calibration 1	Σκόρ Calibration 2	Σκόρ Validation 1	Σκόρ Validation 2
S6	*SM,ET*	KGE,KGE	*0.197*	*0.182*	*0.365*	*0.334*
S7	*SM,ET*	ubRMSE,NRMSE	*29.874*	*0.370*	*35.090*	*0.354*
S8	*SM,*ET_R	KGE,*r*	*0.336*	*0.519*	*0.317*	*0.467*
S9	*SM,*ET_R	ubRMSE,*r*	*29.884*	*0.242*	*34.569*	*0.143*

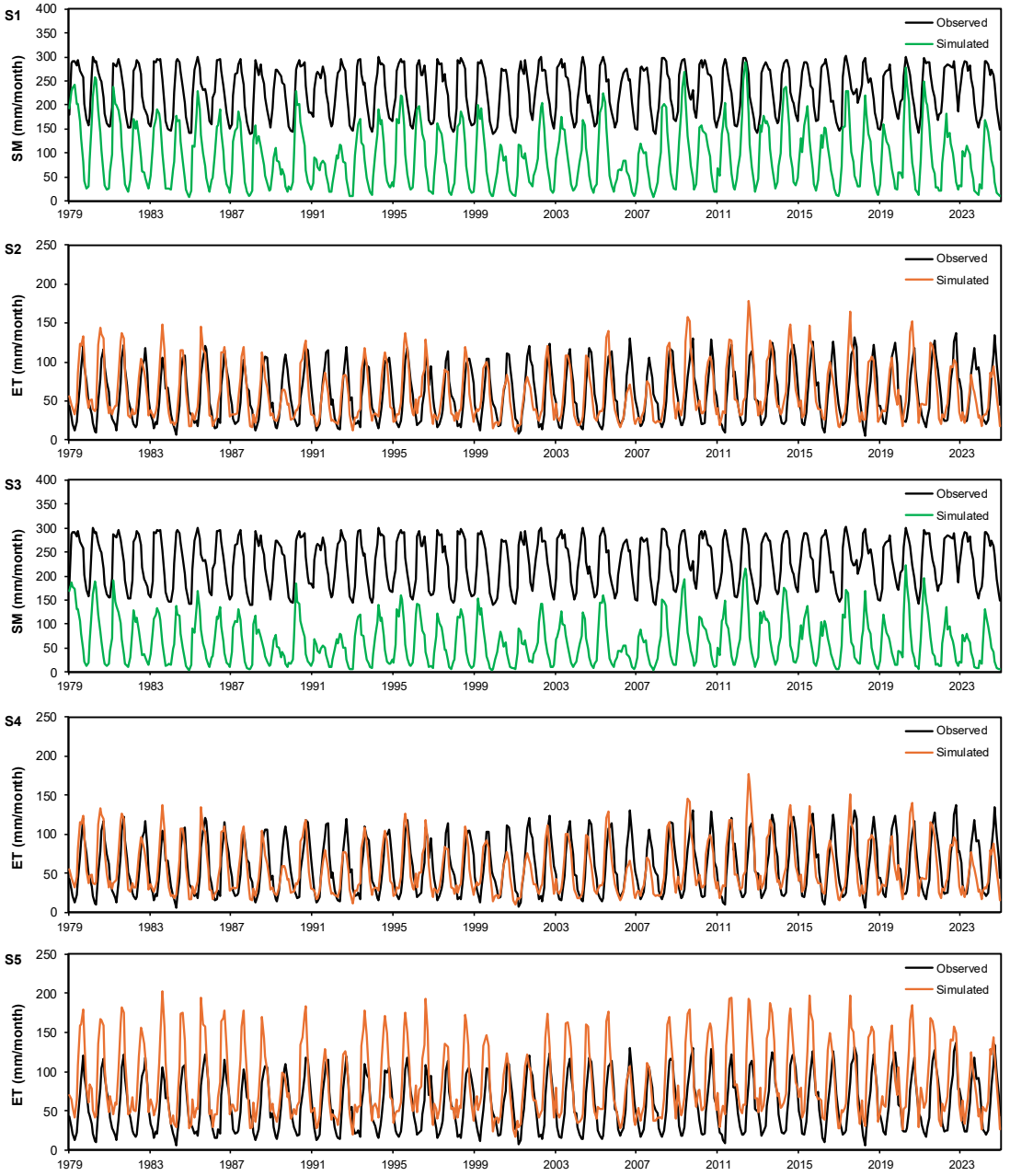
Μονοκριτηριακά Σενάρια:

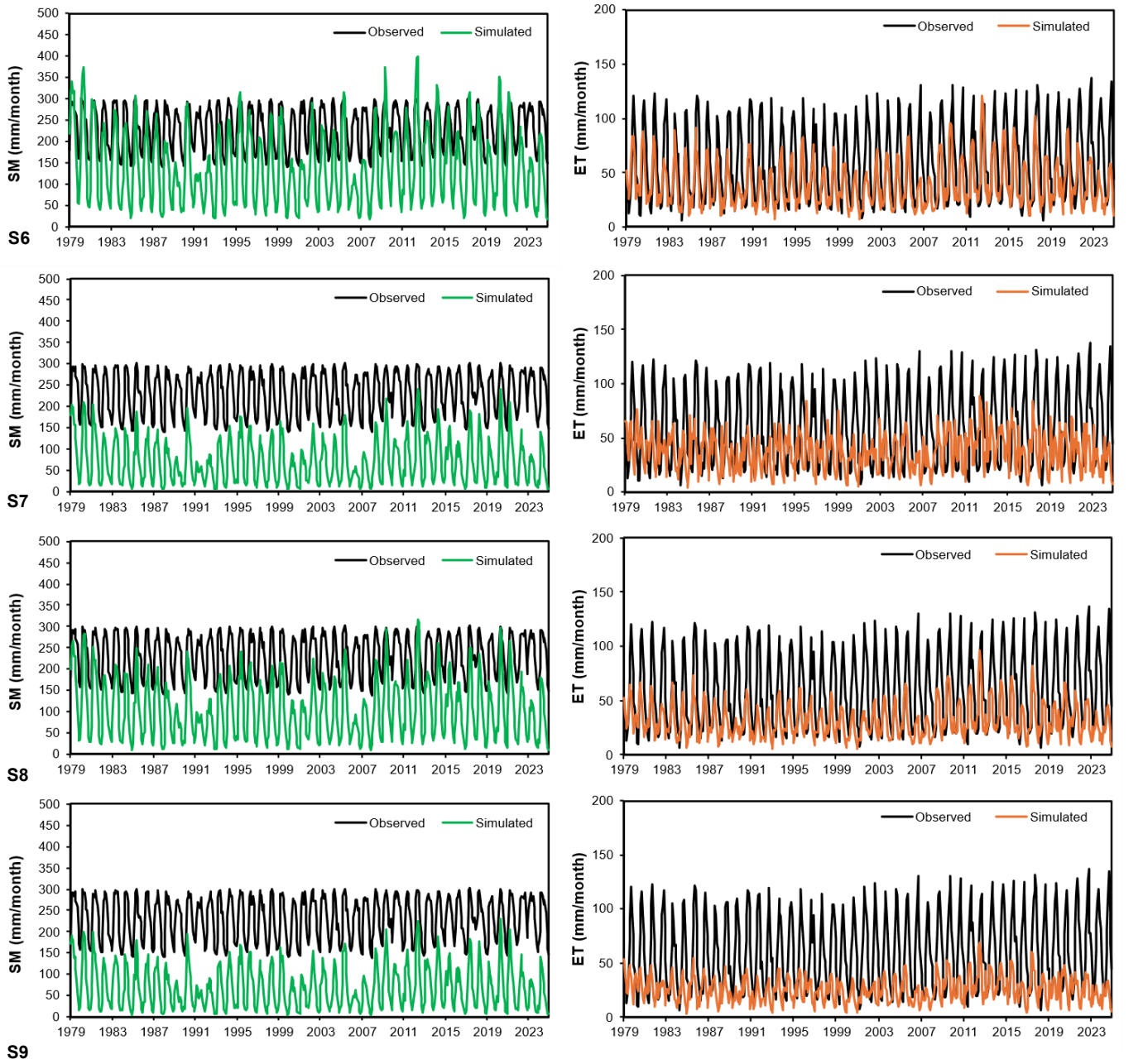
- Καλή περιγραφή της εποχικότητας της *SM* -υποεκτιμώμενη όμως.
- Σενάριο S1 υποεκτίμησε λιγότερο την μέση τιμή της *SM* σε σχέση με S3.
- Περιγραφή *ET* καλύτερη από *SM*, σε μεταβλητότητα και απόλυτο μέγεθος.
- Σενάρια S2 και S4 προσεγγίζουν ικανοποιητικά την *ET*-S5 υπερεκτιμά σημαντικά.

Πολυκριτηριακά Σενάρια:

- Εμφανής οι συμβιβασμοί μεταξύ περιγραφής *SM* και *ET*.
- Σενάρια S6 και S8 προσέγγισαν καλύτερα την μέση SM, αλλά με αυξημένη διακύμανση (S6)
- Συστηματική υποεκτίμηση *ET* σε όλα τα σενάρια-Μειωμένη μεταβλητότητα σε σχέση με τις παρατηρήσεις.
- Η προσθήκη δεύτερης μεταβλητής ελέγχου δεν έφερε ολικά καλύτερη προσαρμογή στα δεδομένα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΕΥΗΝΟΣ





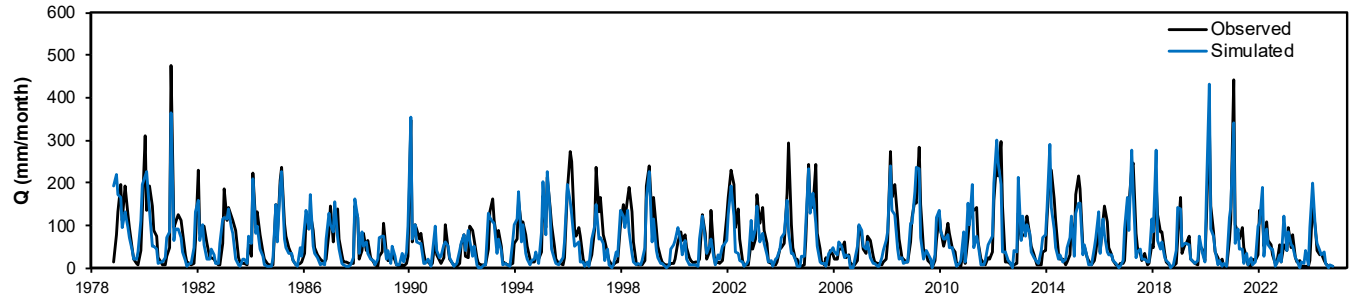
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΕΥΗΝΟΣ

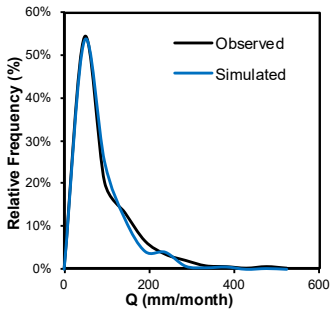
- Ικανοποιητική περιγραφή της *Q* από το Base σενάριο.
- Παρόλα αυτά, υπάρχει υποεκτίμηση κάποιων αιχμών και μείωση ικανότητας τους μεταβατικούς μήνες.
- Σενάρια S3 και S7 είχαν τις καλύτερες τιμές KGE από τα σενάρια με δεδομένα ΕΟ.
- Μοντέλα με δεδομένα ΕΟ είχαν πολύ υψηλότερες τιμές K από το Base σενάριο.

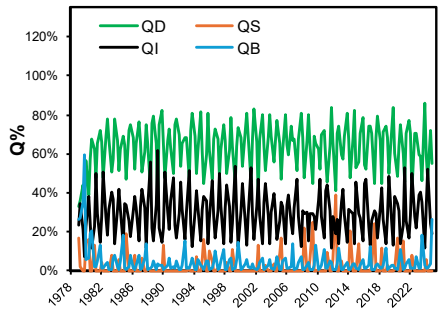
Σενάρια	KGE_Q Calibration	KGE_Q Validation
Base	*0.815*	0.812
S1	*0.700*	0.698
S2	*0.412*	0.416
S3	*0.719*	0.735
S4	*0.489*	0.514
S5	*0.044*	0.022
S6	*0.707*	0.691
S7	*0.736*	0.708
S8	*0.696*	0.647
S9	*0.690*	0.671

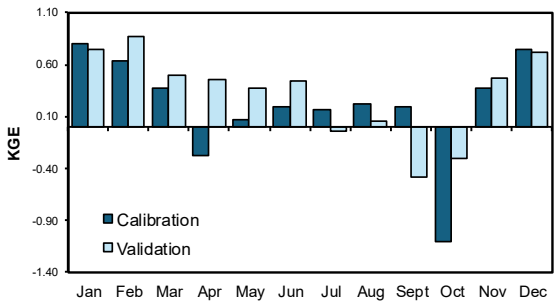
Τιμές Παραμέτρων

Σενάριο	κ	K	μ	ξ	ϕ	λ	ε
Base	*0.35*	250.07	*0.02*	*0.09*	0.05	*0.25*	*0.05*
S1	*0.58*	720.10	*0.07*	*0.39*	0.37	*0.11*	*0.05*
S2	*0.38*	720.08	*0.02*	*0.42*	0.63	*0.02*	*0.05*
S3	*0.58*	719.37	*0.13*	*0.53*	0.77	*0.16*	*0.17*
S4	*0.43*	719.98	*0.02*	*0.82*	0.48	*0.02*	*0.05*
S5	*0.03*	720.05	*0.02*	*0.63*	0.59	*0.02*	*0.18*
S6	*0.58*	720.09	*0.02*	*0.41*	0.28	*0.05*	*0.05*
S7	*0.58*	720.04	*0.10*	*0.65*	0.37	*0.15*	*0.22*
S8	*0.58*	720.09	*0.02*	*0.78*	0.08	*0.13*	*0.05*
S9	*0.58*	720.09	*0.18*	*0.62*	0.61	*0.10*	*0.07*

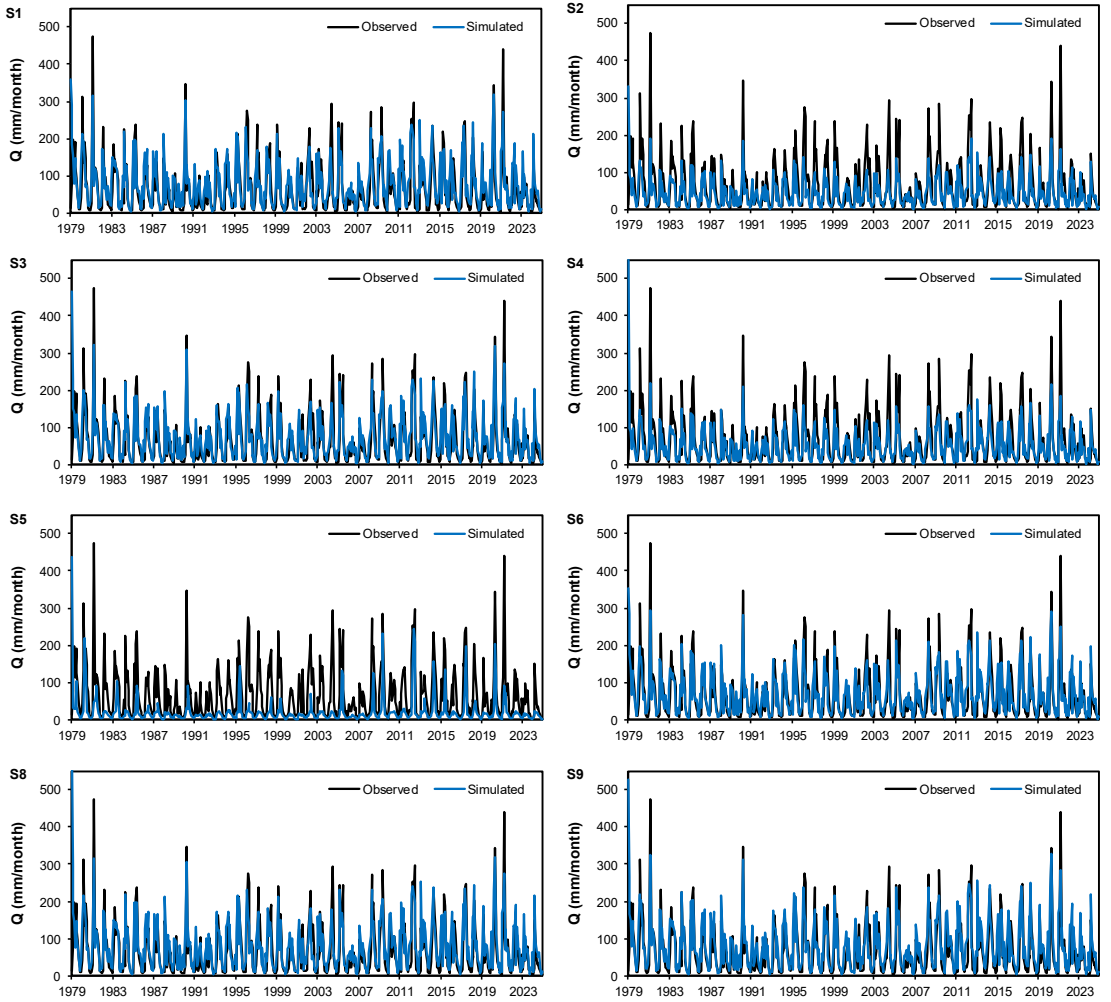


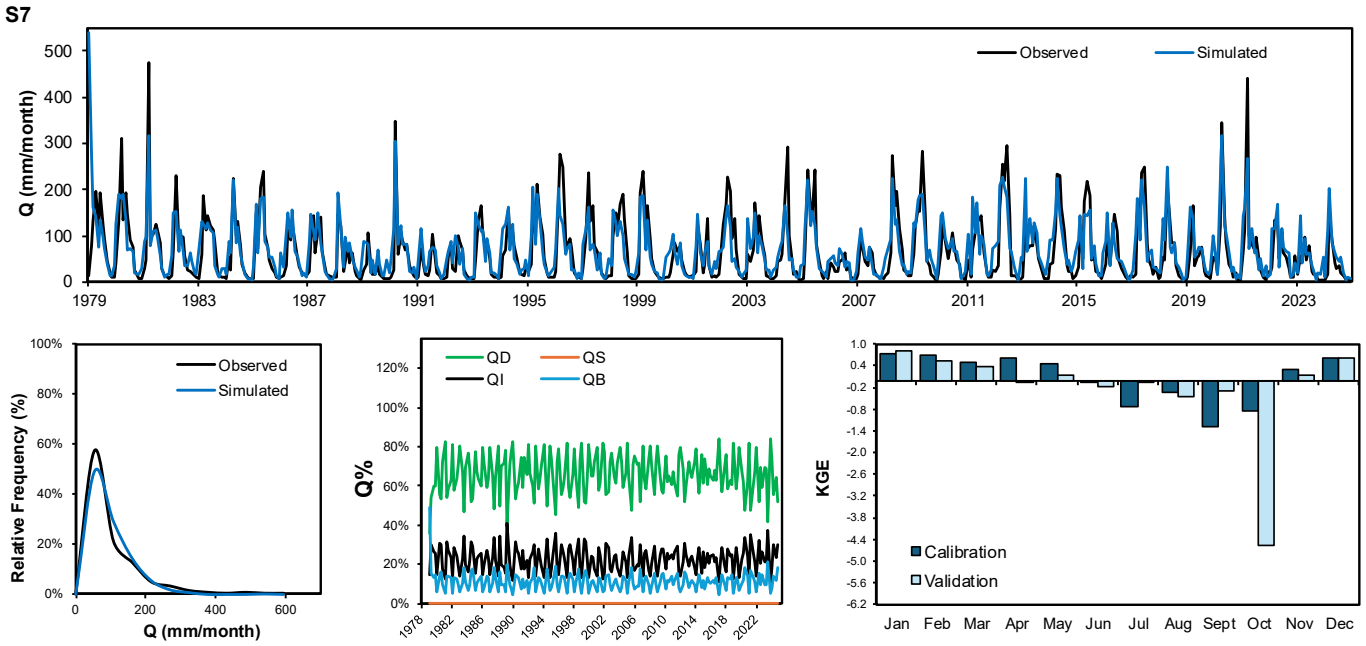






ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΕΥΗΝΟΣ

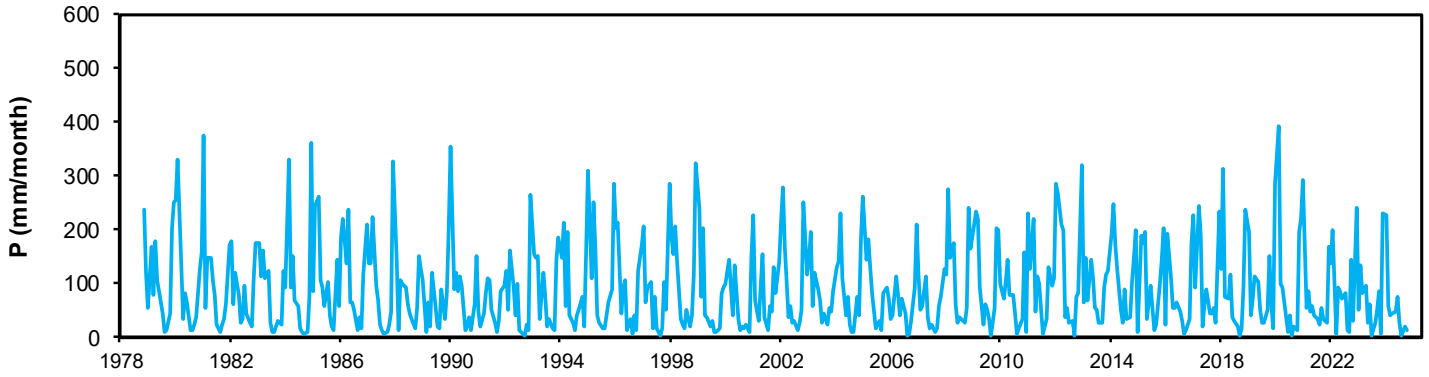


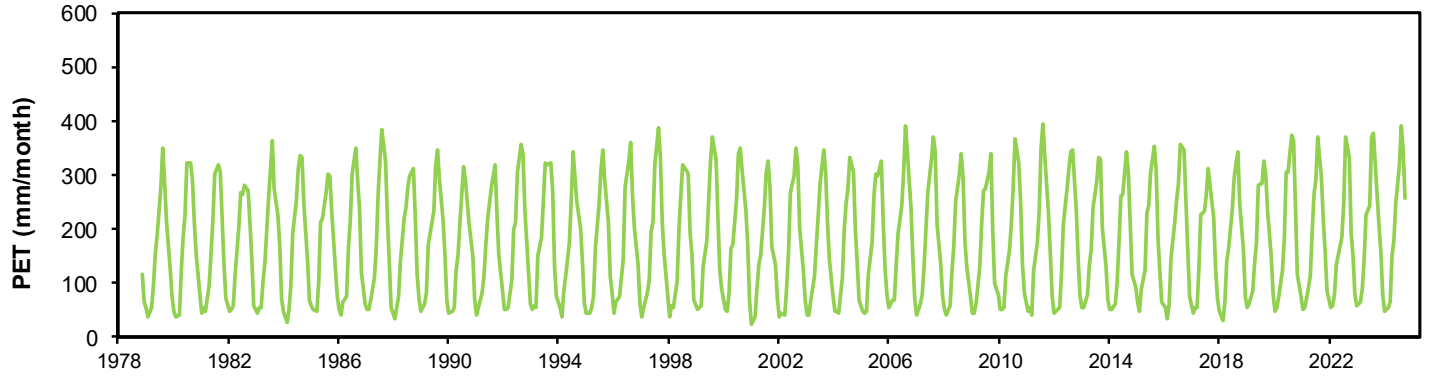


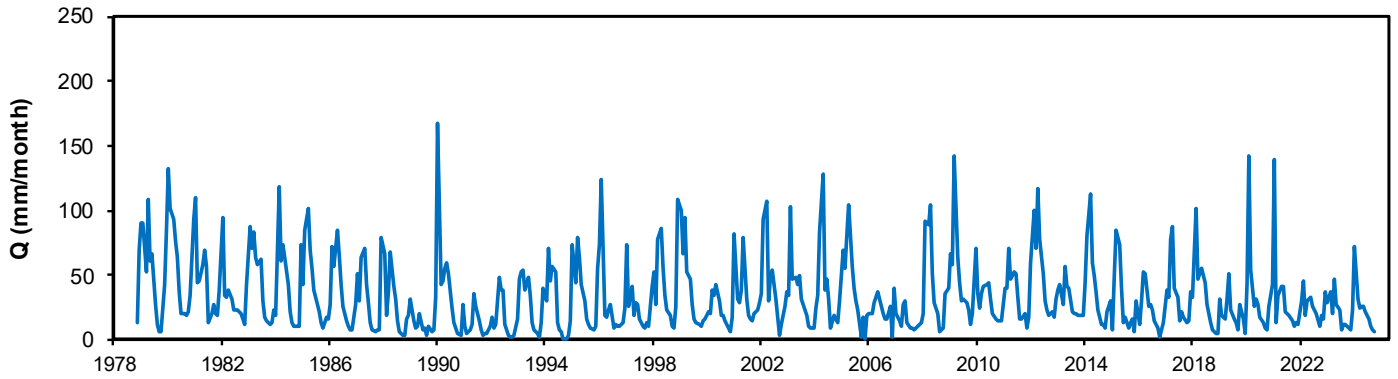
- Αξιόλογά σκόρ KGE και για περίοδο Calibration και για περίοδο Validation.
- Πολύ καλή αναπαραγωγή της χρονοσειράς παρατηρήσεων Q και τις κατανομής σχετικών συχνοτήτων της.
- Καλύτερη αναπαραγωγή της *SM*.
- Πιο εύλογη τιμή της *φ* βάσει γεωλογικού υποβάθρου.

Επιλογή S7

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΕΥΗΝΟΣ







- ***P-PET***: Υψηλή μεταβλητότητα *P* (CV = 86%), μέση ετήσια *PET* διπλάσια της *P*.
- ***SM:*** Περιορισμένες διακυμάνσεις γύρω από την *μ*. Σαφής εποχικότητα.
- ***ET:*** Έντονη εποχικότητα (CV = 56%), αρκετά χαμηλότερη ετήσια τιμή από *PET*.
- ***Q:*** Υψηλή μεταβλητότητα (CV = 82%), σημαντικά χαμηλότερη ετήσια μέση τιμή από Εύηνο (405 έναντι 791 mm/έτος).

Στατιστικό	*P*	*PET*	*SM*	*ET*	*Q*
μ_{month}	*90.19*	174.92	*221.39*	*59.53*	33.65
σ_{month}	*77.99*	105.51	*48.33*	*33.15*	27.57
max_{month}	*392.80*	395.72	*298.53*	*133.08*	167.57
min_{month}	*2.00*	24.72	*135.51*	*8.38*	0.36
μ_{year}	*1090.09*	2095.78	-	*713.82*	405.22
σ_{year}	*206.20*	101.38	-	*54.07*	122.78
max_{year}	*1450.60*	2325.34	-	*839.63*	693.14
min_{year}	*692.30*	1911.66	-	*626.46*	149.14

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΜΟΡΝΟΣ

SM

- Μεγάλος αριθμός λύσεων με αρνητικές τιμές KGE, παρόμοια εικόνα με Εύηνο.
- 4P-5P έχουν παρόμοιες κατανομές-αλλαγή σχήματος και μείωση μέσης τιμής KGE για 6P-7P-επιστροφή στην αρχική συμπεριφορά με 8P-9P.

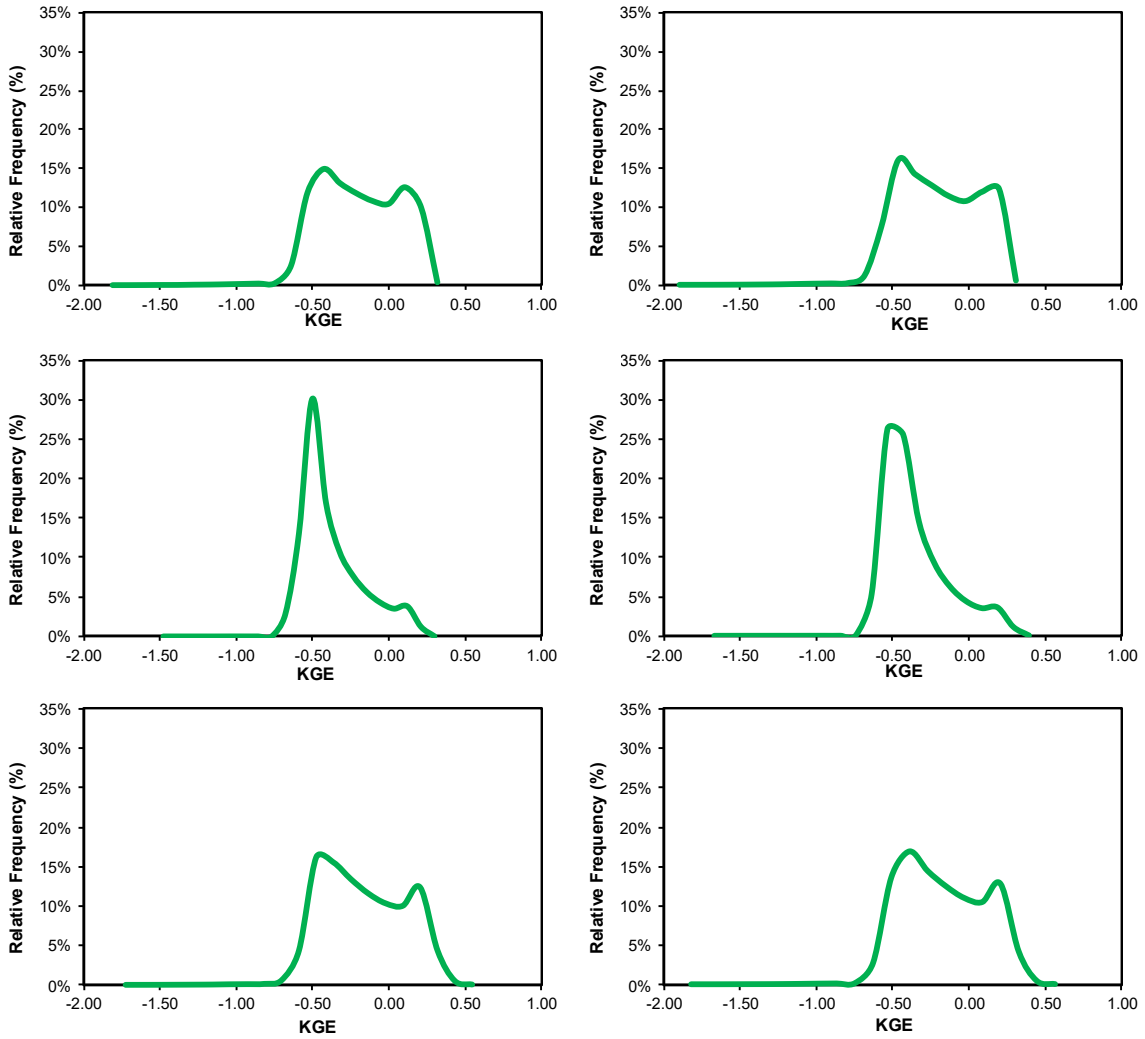
ET

- Μικρή μεταβλητότητα τιμών KGE-κυρίως αρνητικές, παρόμοια εικόνα με Εύηνο.
- Προσθήκη *ε* στην 7P αύξησε σημαντικά την μέγιστη τιμή KGE (0.27 σε 0.67) και την διασπορά.

Q

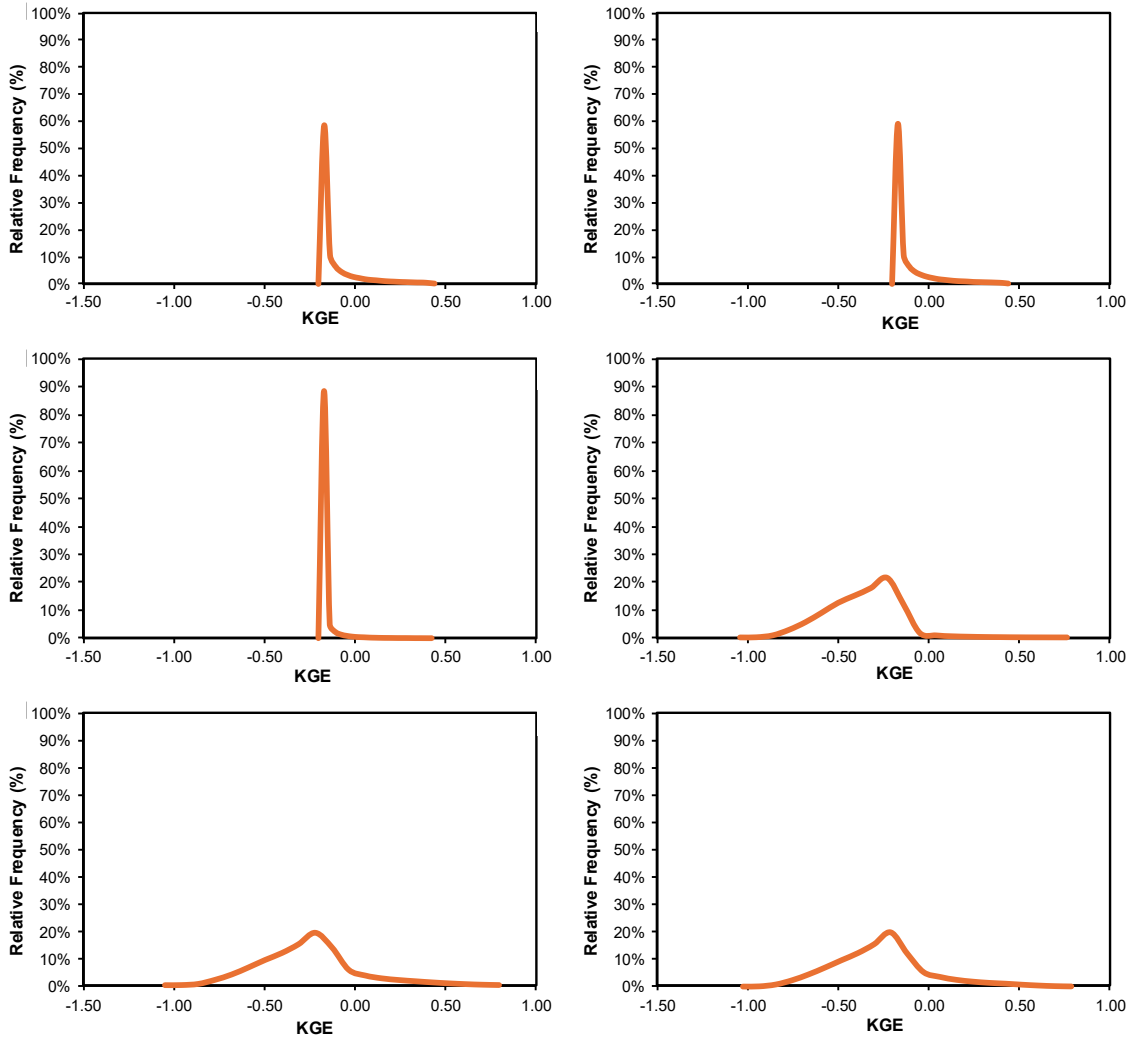
- Χειρότερες επιδόσεις σε σχέση με *SM* και *ET*-ουσιαστική μείωση επίδοσης σε σχέση με την λεκάνη Ευήνου.
- Μορφές και στατιστικά κατανομών έχουν μικρές διαφορές μεταξύ εναλλακτικών παραμετροποιήσεων.

SM

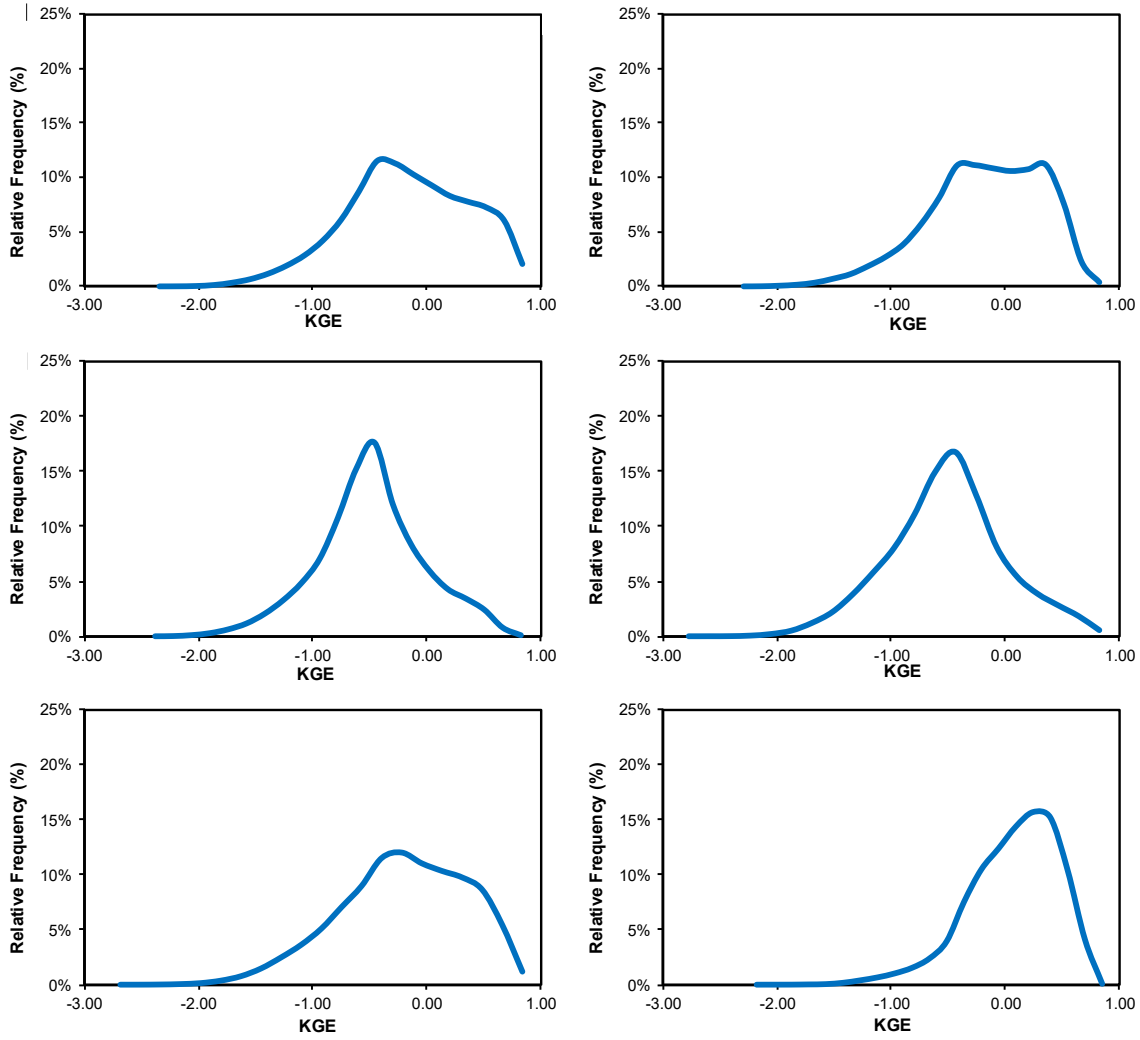


ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΜΟΡΝΟΣ

ET



Q



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΜΟΡΝΟΣ

- ***SM***: Κυρίαρχη επίδραση των *κ, K, μ*. Αξιοσημείωτο το *λ*
- ***ET***: Παρόμοιο με *SM*. Αναμενόμενα, *ε* είχε μεγαλύτερη επίδραση
- **Q:** Διαφορετική κατανομή ευαισθησιών-μεγαλύτερες αποκλίσεις μεταξύ μεθόδων.

↓

Ανεπαρκής πληροφορία SM/ET: Σημαντικές διαφορές των αποτελεσμάτων σε σχέση με *Q*.

↓

Χρήση πρόσθετων διαγνωστικών και Q: 4P-5P ικανές να παράγουν υψηλές τιμές KGE με λίγες παραμέτρους.

↓

Υπόγειες διαφυγές: Επιλογή διατήρησης της παραμέτρου *φ*.

↓

Επιλογή παραμετροποίησης 5P για Μόρνο.

Παράμετρος	SM	ET	Q
κ	6/6	6/6	6/6
K	6/6	6/6	6/6
μ	6/6	6/6	3/6
ξ	0/6	0/6	6/6
φ	0/5	0/5	0/5
λ	2/4	2/4	2/4
ε	0/3	1/3	3/3
H1	0/2	0/2	0/2
H2	0/1	0/1	1/1

Παράμετρος	Κατώτατο Όριο	Ανώτατο Όριο
κ	*0.04*	0.72
K	*175.75*	716.49
μ	*0.03*	0.26
ξ	*0.05*	0.95
φ	*0.05*	0.72

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΜΟΡΝΟΣ

Μονοκριτηριακή Βελτιστοποίηση

Σενάριο	Μεταβλητή	Στοχική Συνάρτηση	Σκόρ Calibration	Σκόρ Validation
S1	*SM*	KGE	*0.260*	*0.278*
S2	*ET*	KGE	*0.423*	*0.423*
S3	*SM*	ubRMSE	*28.586*	*33.356*
S4	*ET*	NRMSE	*0.305*	*0.321*
S5	ET_R	*r*	*0.474*	*0.508*

Πολυκριτηριακή Βελτιστοποίηση

Σενάριο	Μεταβλητή	Στοχική Συνάρτησεις	Σκόρ Calibration 1	Σκόρ Calibration 2	Σκόρ Validation 1	Σκόρ Validation 2
S6	*SM,ET*	KGE,KGE	*0.253*	*0.141*	*0.228*	*0.168*
S7	*SM,ET*	ubRMSE,NRMSE	*28.610*	*0.385*	*33.550*	*0.369*
S8	SM,ET_R	KGE,*r*	*0.273*	*0.122*	*0.251*	*0.151*
S9	SM,ET_R	ubRMSE,*r*	*0.159*	*0.031*	*0.162*	*-0.001*

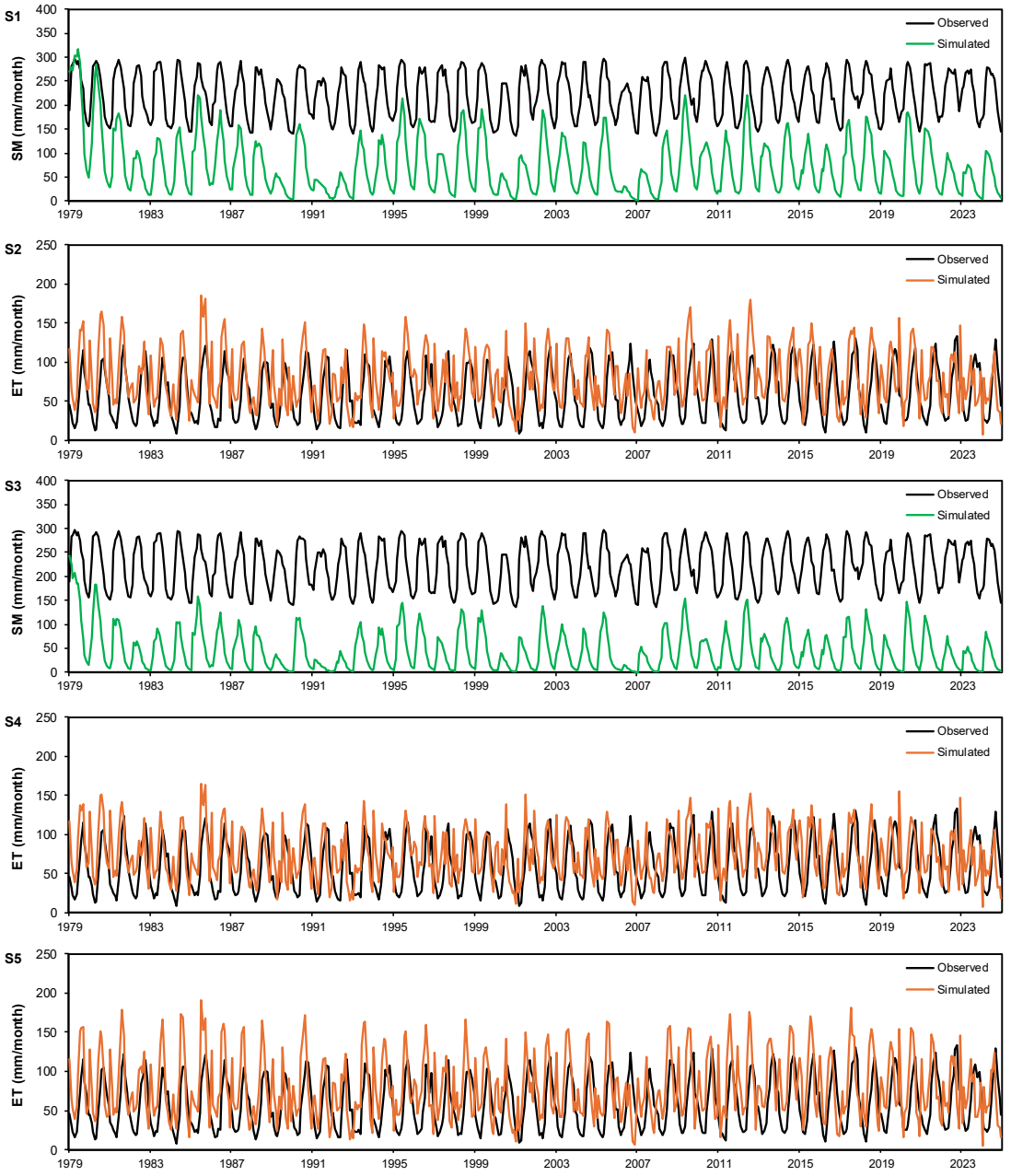
Μονοκριτηριακά Σενάρια:

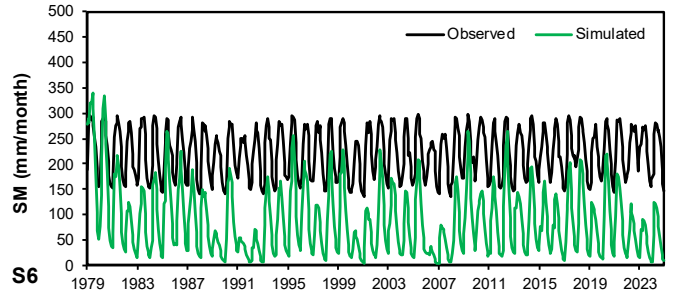
- Μερική αναπαραγωγή της εποχικότητας της *SM* -υποεκτιμώμενη όμως.
- Ακόμη μεγαλύτερη υποεκτίμηση από τον Εύηνο για S1 και S3.
- Περιγραφή *ET* καλύτερη από *SM*, σε μεταβλητότητα αλλά παρουσιάζει σημαντική υπερεκτίμηση.
- Το S4 είχε την καλύτερη προσέγγιση της μέσης μηνιαίας *ET* καθώς και της μεταβλητότητας της.

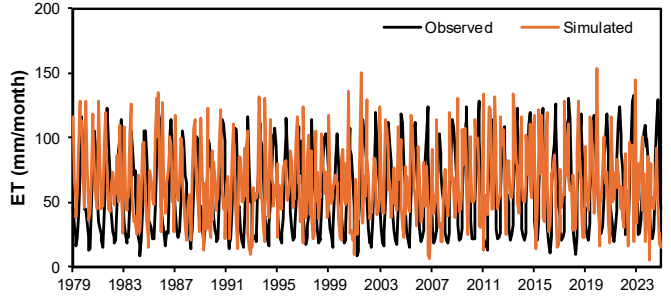
Πολυκριτηριακά Σενάρια:

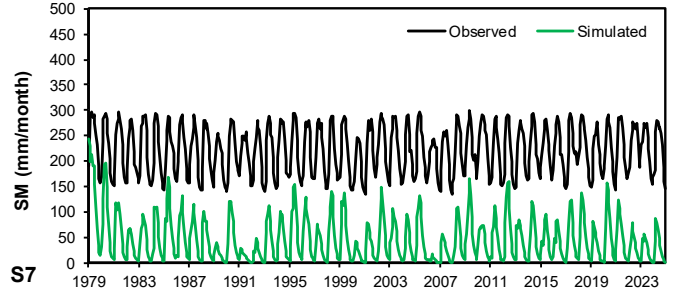
- Εμφανής οι συμβιβασμοί μεταξύ περιγραφής *SM* και *ET*, χωρίς ικανοποιητική ταυτόχρονη προσομοίωση και των 2.
- *SM* παραμένει έντονα υποεκτιμημένη.
- Σενάρια S7 και S9 προσεγγίζουν ικανοποιητικά την μέση τιμή της *ET*.
- Παρατηρήθηκαν ορισμένες βελτιώσεις στην *ET*, αλλά όχι στην *SM*.

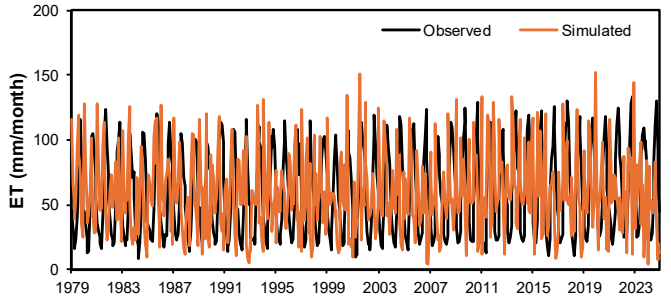
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΜΟΡΝΟΣ

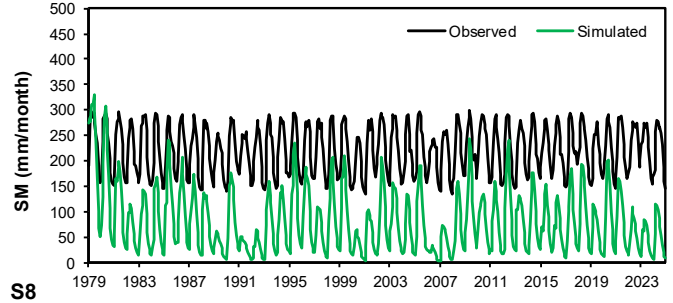


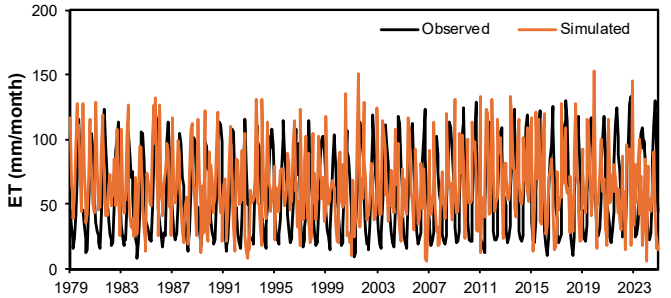


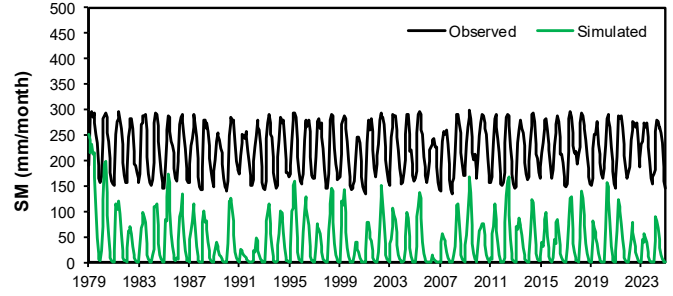


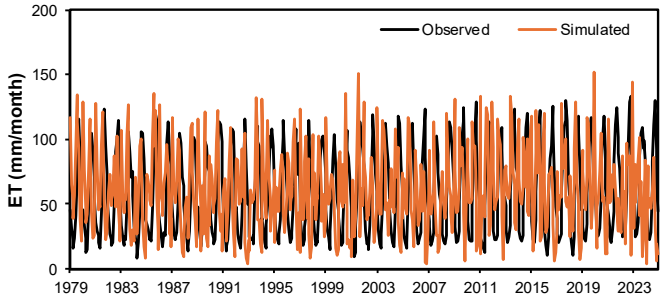












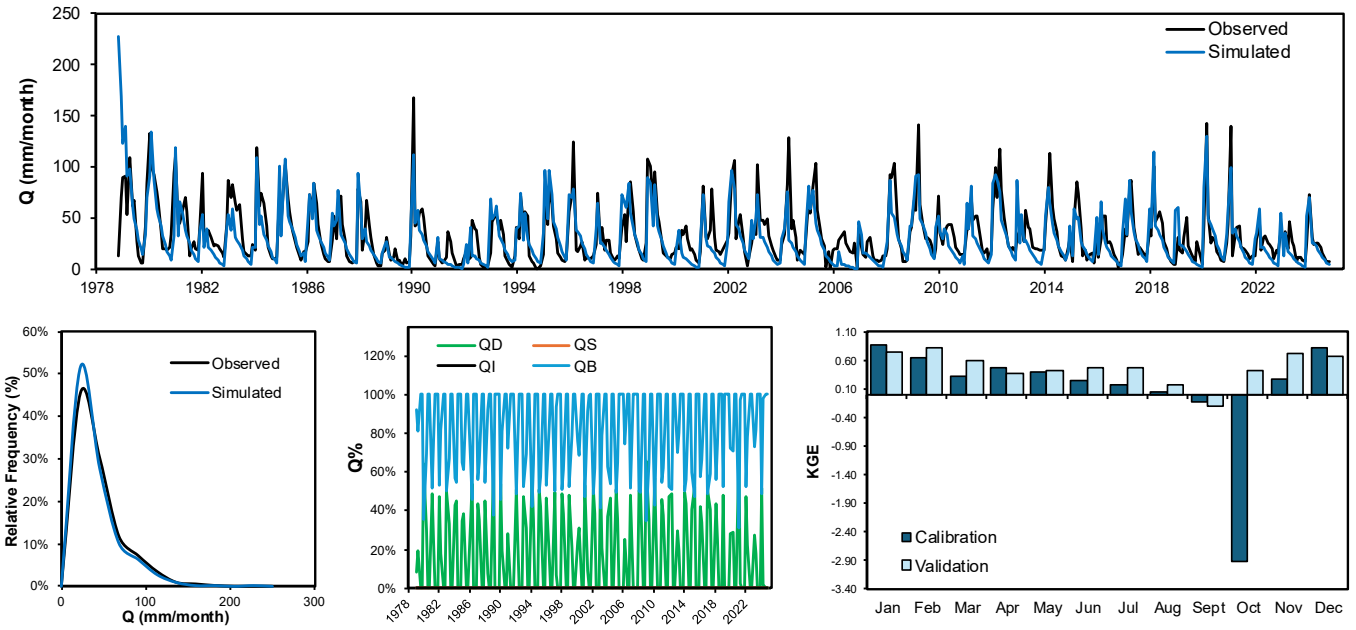
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΜΟΡΝΟΣ

- Ικανοποιητική περιγραφή της *Q* από το Base σενάριο.
- Σενάρια με δεδομένα ΕΟ είχαν σαφώς χειρότερη επίδοση από ότι στον Εύηνο. Καλύτερα τα S6, S4 και Σ8
- Σενάρια *SM* είχαν υπερβολικές αιχμές και περιόδους μηδενικής ροής, εκείνα με *ET* υποεκτίμησαν την *Q*.
- Τιμές παραμέτρου *K* έμειναν υψηλές και στο σενάριο Base-*μ* συνέκλινε συχνά στο κάτω της όριο (0.03)

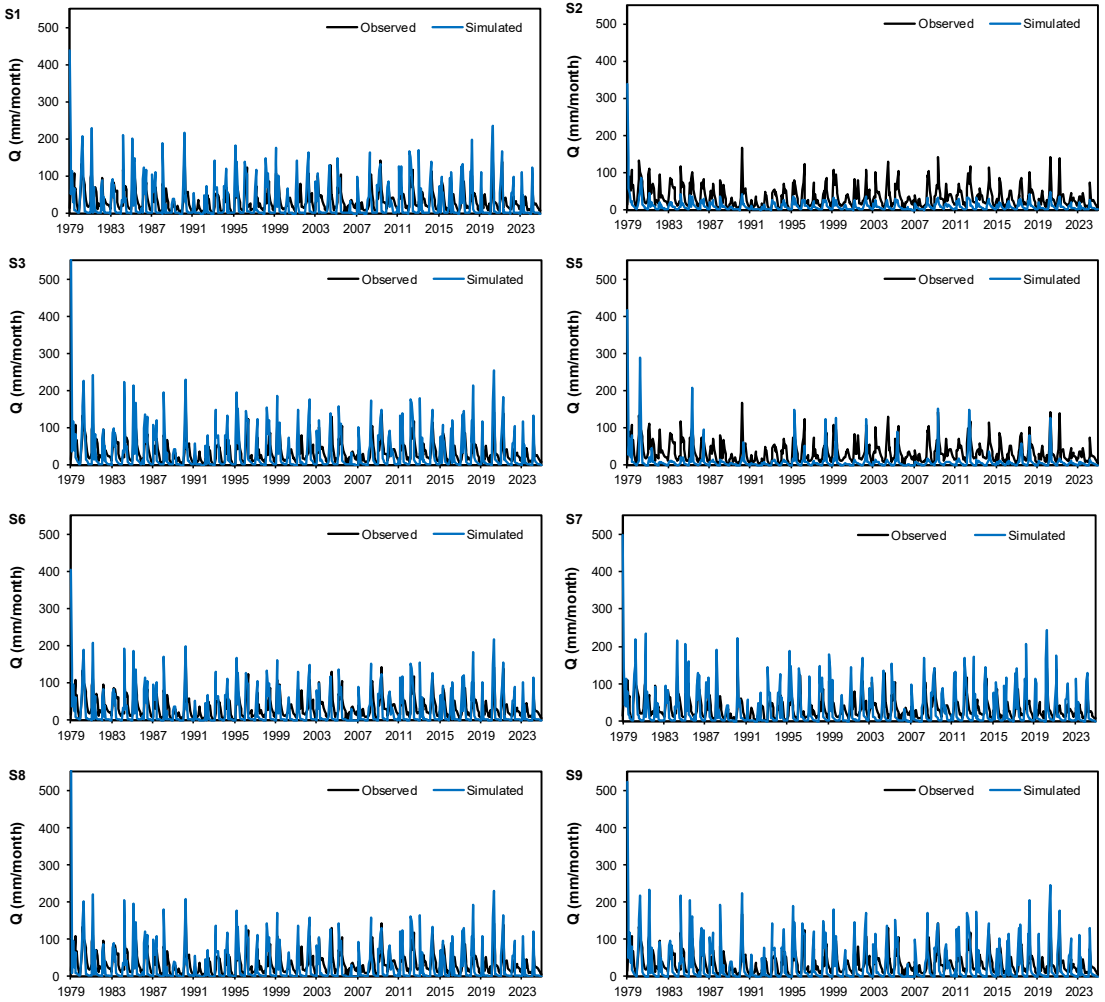
Σενάρια	KGE_Q Calibration	KGE_Q Validation
Base	*0.697*	0.776
S1	*0.250*	-0.084
S2	*0.047*	-0.006
S3	*0.203*	-0.345
S4	*0.249*	0.310
S5	*0.050*	0.155
S6	*0.063*	0.333
S7	*0.000*	-0.153
S8	*-0.336*	0.291
S9	*0.232*	-0.195

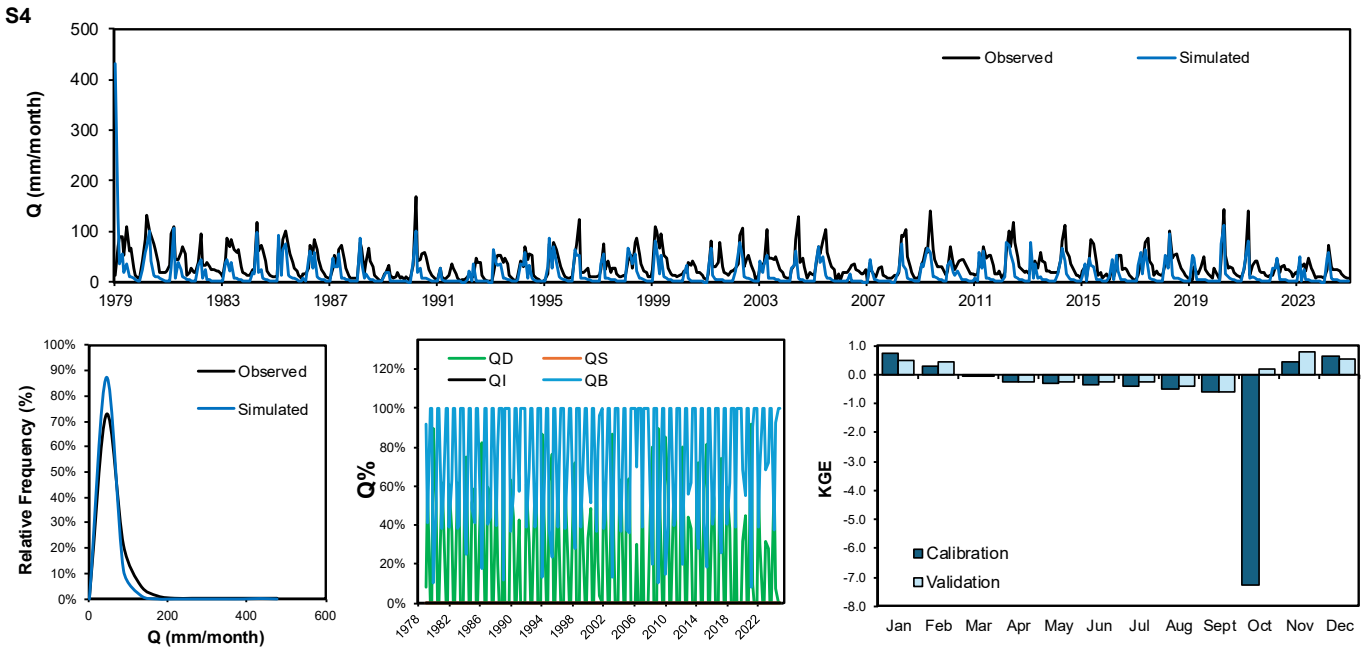
Τιμές Παραμέτρων

Σενάριο	κ	K	μ	ξ	ϕ
Base	*0.28*	712.09	*0.26*	*0.26*	0.05
S1	*0.69*	716.50	*0.03*	*0.53*	0.23
S2	*0.11*	716.42	*0.03*	*0.48*	0.24
S3	*0.69*	709.31	*0.13*	*0.78*	0.44
S4	*0.30*	716.50	*0.03*	*0.59*	0.37
S5	*0.04*	450.88	*0.03*	*0.62*	0.47
S6	*0.63*	716.49	*0.03*	*0.49*	0.41
S7	*0.68*	657.29	*0.13*	*0.60*	0.49
S8	*0.66*	716.49	*0.03*	*0.94*	0.64
S9	*0.68*	355.07	*0.10*	*0.64*	0.32



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΜΟΡΝΟΣ

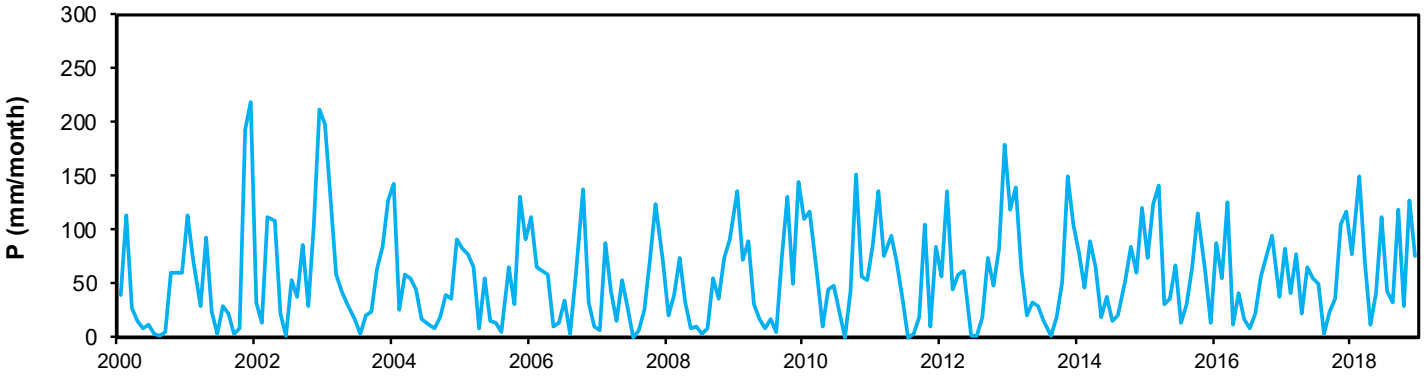


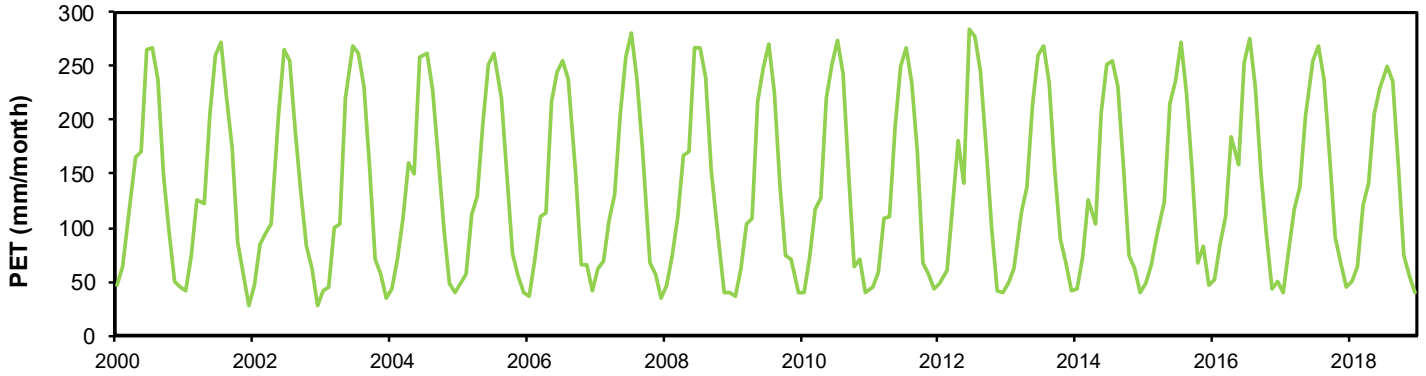


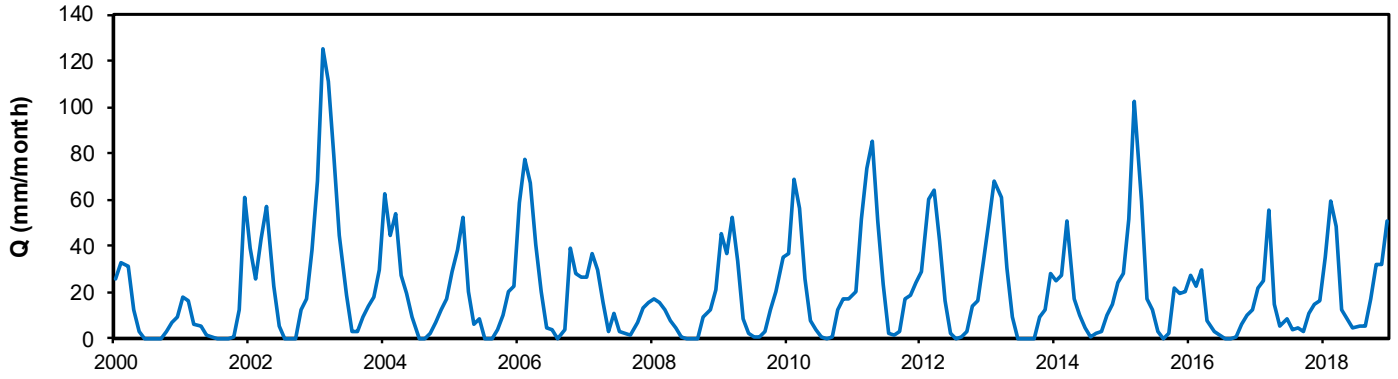
- Σκορ KGE σχετικά χαμηλό, αλλά από τα καλύτερα για μοντέλα ΕΟ.
- Καλύτερη χρονική αναπαραγωγή της χρονοσειράς παρατηρημένης *Q*, και ας υπάρχουν διαφορές σε απόλυτο μέγεθος.
- Λιγότερες περίοδοι μηδενικής *Q*.

Επιλογή S4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΜΟΡΝΟΣ







- ***P-PET***: Χαμηλότερη ετήσια P με *PET* 2.35 φορές μεγαλύτερη.
- ***SM:*** *Σημαντικά χαμηλότερη μέση τιμή σε σχέση με τις άλλες λεκάνες.*
- ***ET:*** Περιορισμένη εποχικότητα (CV = 30%)και χαμηλότερη ετήσια τιμά παρά την υψηλότερη *PET*.
- ***Q:*** Μεγάλη μεταβλητότητα (CV = 110%), συχνές χαμηλές-μηδενικές ροές-μικρότερες ετήσιες ποσότητες από άλλες λεκάνες.

Στατιστικό	*P*	*PET*	*SM*	*ET*	*Q*
μ_{month}	*56.89*	136.90	*84.86*	*39.99*	20.42
σ_{month}	*45.46*	80.77	*25.86*	*11.96*	22.44
max_{month}	*219.67*	283.95	*123.95*	*73.11*	125.02
min_{month}	*0.22*	27.70	*41.15*	*20.54*	0.00
μ_{year}	*698.26*	1640.82	-	*483.41*	251.81
σ_{year}	*113.55*	47.72	-	*29.36*	105.34
max_{year}	*885.89*	1716.52	-	*541.55*	520.99
min_{year}	*452.41*	1545.25	-	*431.88*	99.45

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΒΟΙΩΤΙΚΟΣ ΚΗΦΙΣΟΣ

SM

- Μεγάλος αριθμός λύσεων με αρνητικές τιμές KGE.
- 4P-5P έχουν παρόμοιες κατανομές-Βελτίωση στις 8P-9P με μέγιστο KGE ίσο με 0.88

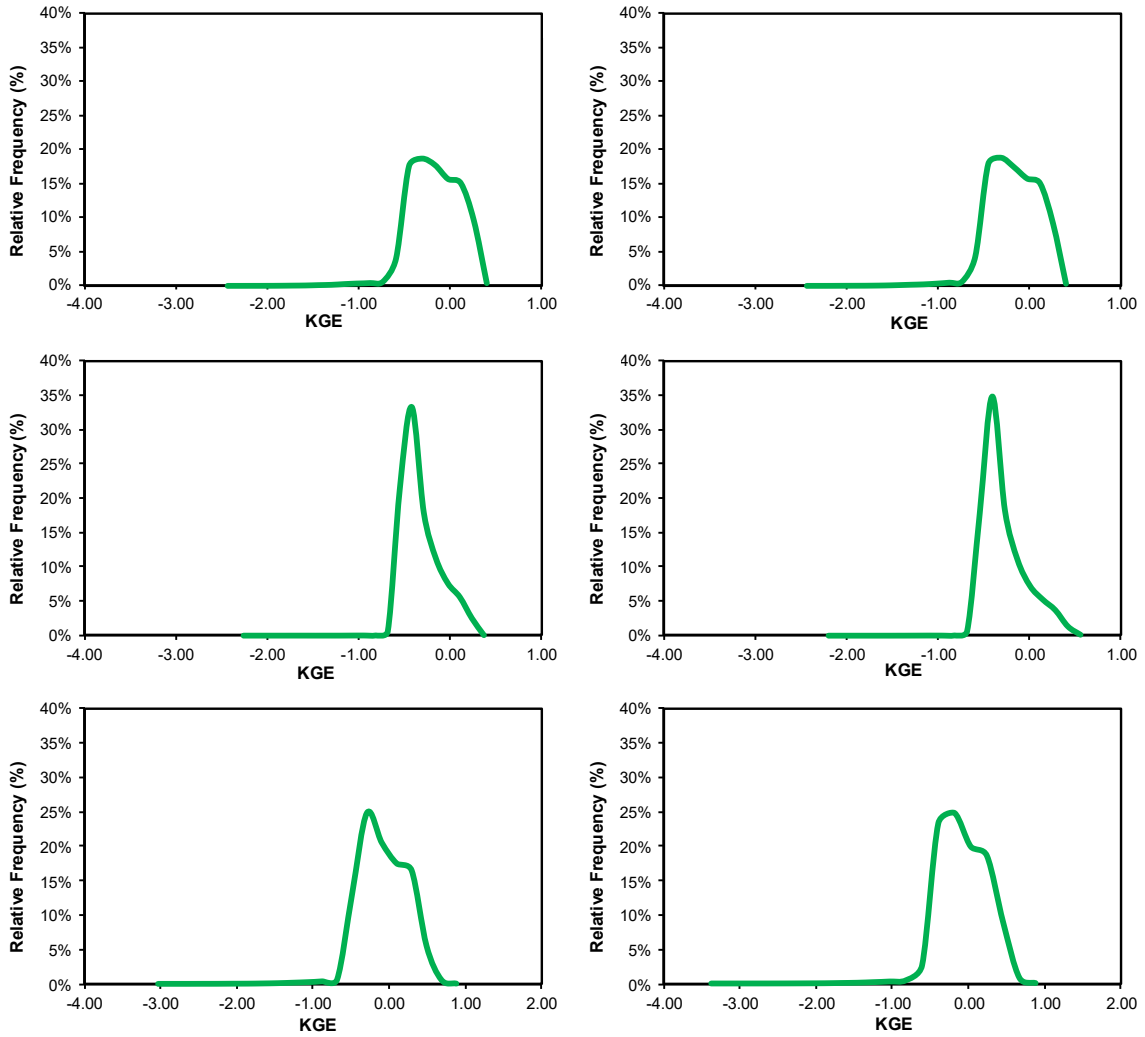
ET

- Μικρή μεταβλητότητα τιμών KGE-κυρίως αρνητικές, παρόμοια εικόνα με Εύηνο και Μόρνο. Επιπλέον παράμετροι προκάλεσαν αύξηση της διασποράς.

Q

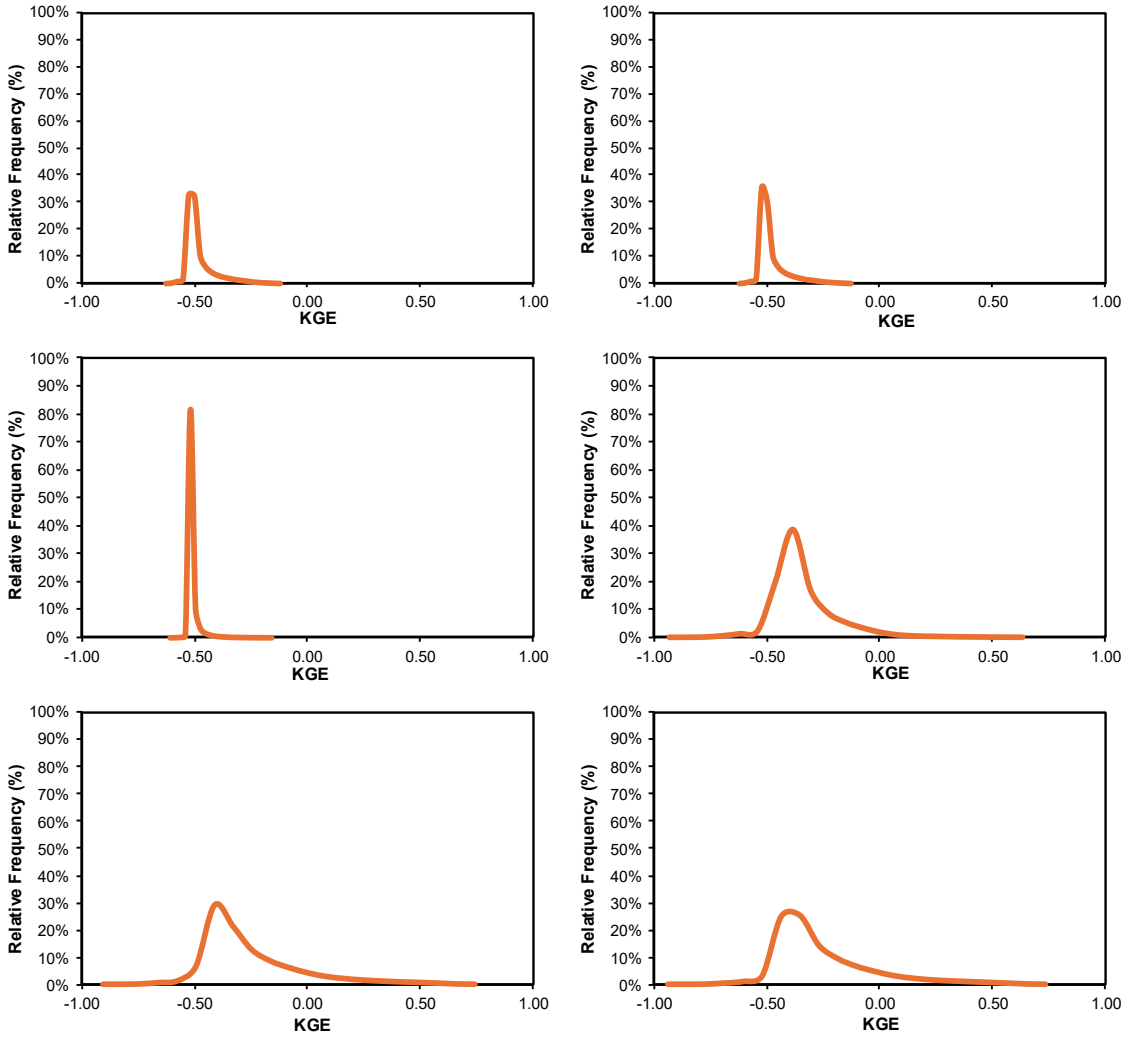
- Υψηλή διακύμανση και κυρίως αρνητικές τιμές KGE, με μεγαλύτερες αποκλίσεις από SM και ET.
- Εισαγωγή επιπλέον παραμέτρων βελτίωσαν τα χαρακτηριστικά της κατανομής, ειδικά για 9P.

SM

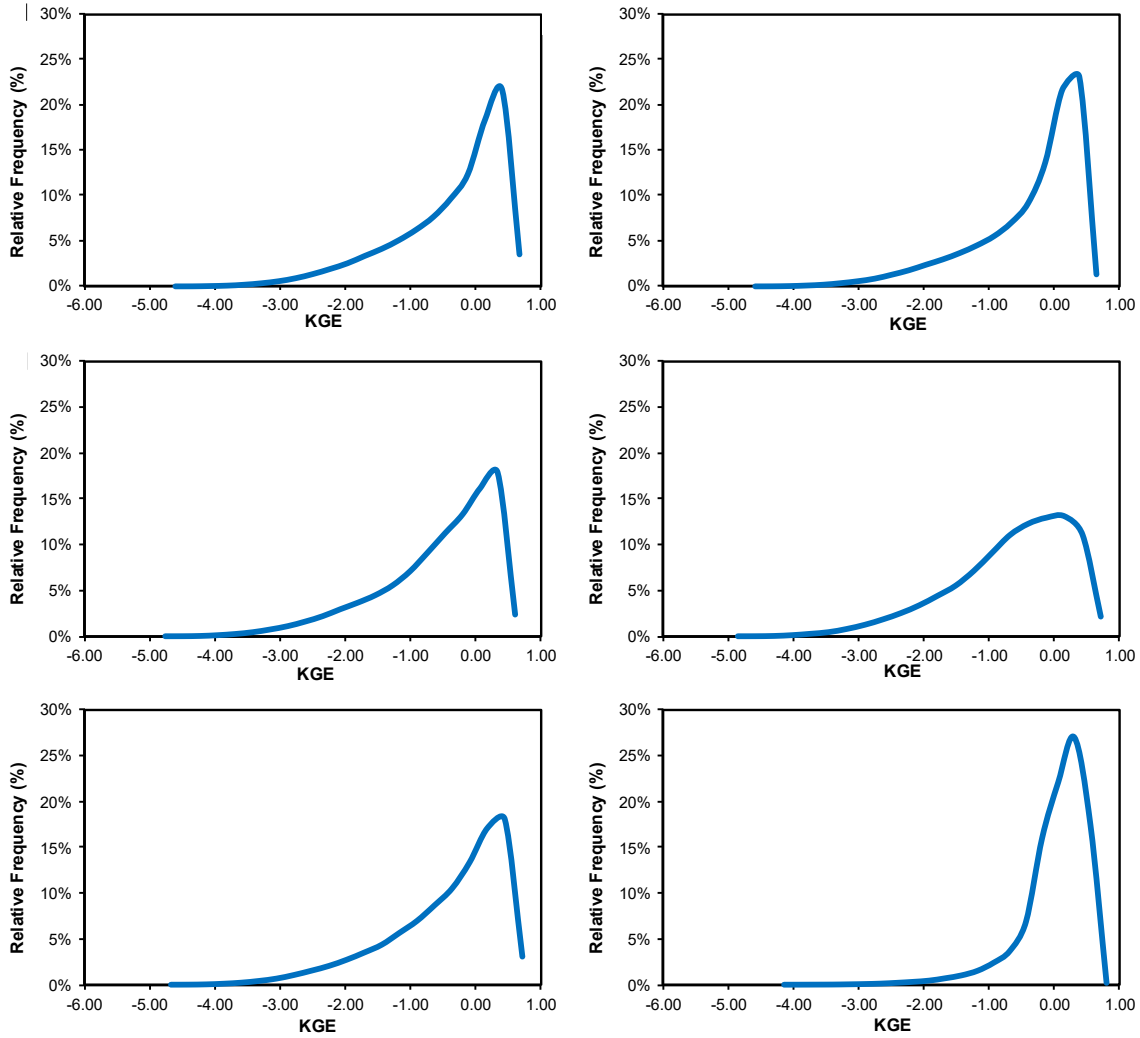


ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΒΟΙΩΤΙΚΟΣ ΚΗΦΙΣΟΣ

ET



Q



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΒΟΙΩΤΙΚΟΣ ΚΗΦΙΣΟΣ

- ***SM/ET***: Λόγω υψηλής τιμής του κατωφλιού KGE_{Beh} δεν ήταν δυνατός ο συνολικός καθορισμός της ευαισθησίας των παραμέτρων.

- ***Q*:**Κυρίαρχη επίδραση της *ξ*, σημαντικές διαφορές μεταξύ μεθόδων SA.

↓

Ανεπαρκής πληροφορία SM/ET: Σημαντικές διαφορές των αποτελεσμάτων σε σχέση με *Q*.

↓

Αδυναμία εφαρμογής RSA: *Λόγω υψηλής τιμής* KGE_{Beh}

↓

Υποστηρικτικά στοιχεία: Η 9P παραμετροποίηση παρουσίασε σαφής βελτιώσεις στα χαρακτηριστικά της κατανομής UA για *Q*-Επιπλέον ευελιξία

↓

Επιλογή παραμετροποίησης 9P για Βοιωτικό Κηφισό.

Παράμετρος	SM	ET	Q
κ	0/6	0/6	1/6
K	0/6	0/6	2/6
μ	0/6	0/6	0/6
ξ	0/6	0/6	4/6
φ	0/5	0/5	0/5
λ	0/4	0/4	0/4
ε	0/3	0/3	2/3
H1	0/2	0/2	0/2
H2	0/1	0/1	1/1

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΒΟΙΩΤΙΚΟΣ ΚΗΦΙΣΟΣ

Μονοκριτηριακή Βελτιστοποίηση

Σενάριο	Μεταβλητή	Στοχική Συνάρτηση	Σκόρ Calibration	Σκόρ Validation
S1	*SM*	KGE	*0.921*	*0.931*
S2	*ET*	KGE	*0.806*	*0.834*
S3	*SM*	ubRMSE	*7.583*	*8.553*
S4	*ET*	NRMSE	*0.142*	*0.145*
S5	ET_R	*r*	*0.445*	*0.472*

Πολυκριτηριακή Βελτιστοποίηση

Σενάριο	Μεταβλητή	Στοχική Συνάρτησεις	Σκόρ Calibration 1	Σκόρ Calibration 2	Σκόρ Validation 1	Σκόρ Validation 2
S6	*SM,ET*	KGE,KGE	*0.800*	*0.742*	*0.784*	*0.748*
S7	*SM,ET*	ubRMSE,NRMSE	*10.997*	*0.226*	*16.391*	*0.264*
S8	SM,ET_R	KGE,*r*	*0.928*	*0.537*	*0.911*	*0.593*
S9	SM,ET_R	ubRMSE,*r*	*10.305*	*0.429*	*9.059*	*0.528*

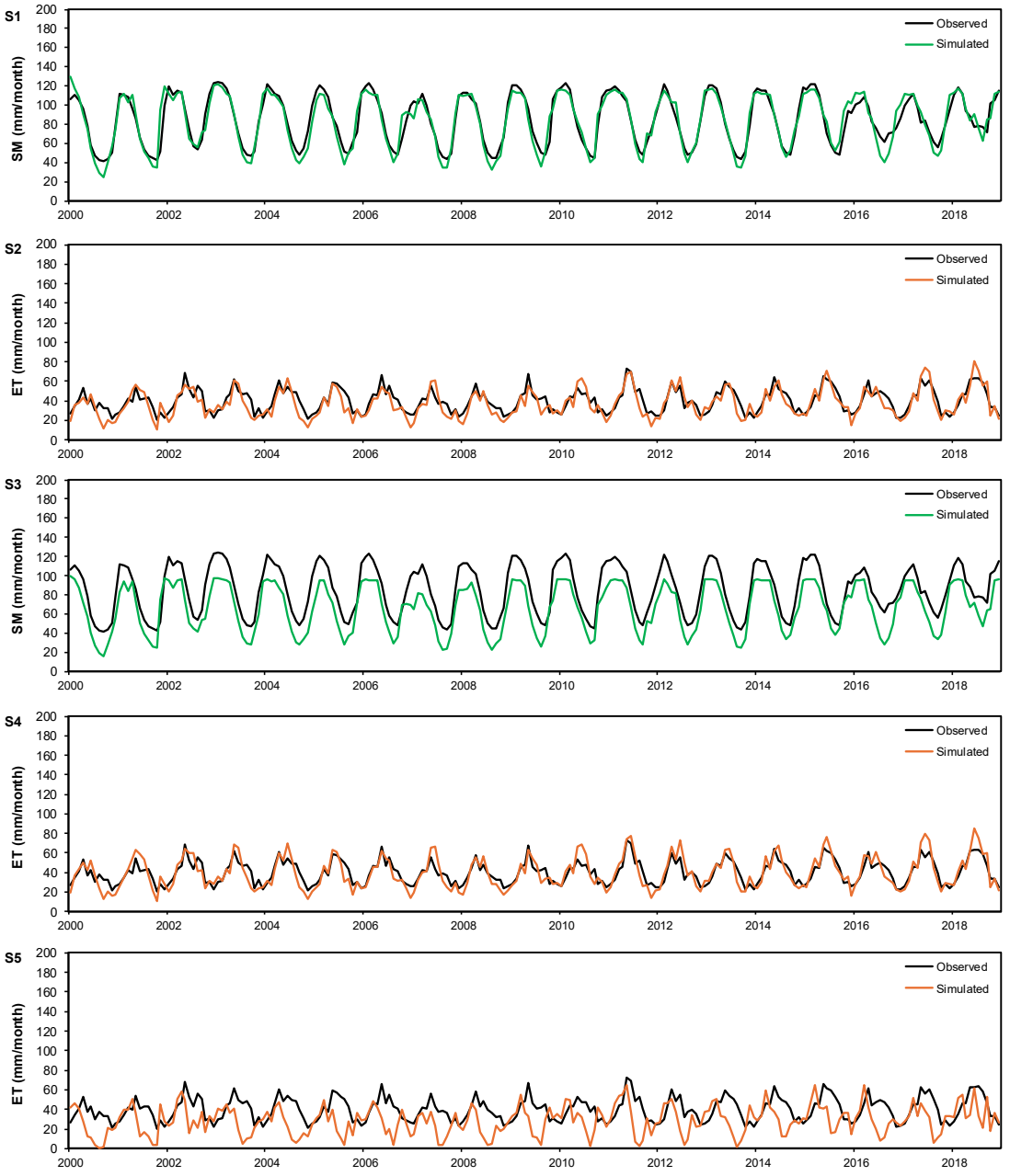
Μονοκριτηριακά Σενάρια:

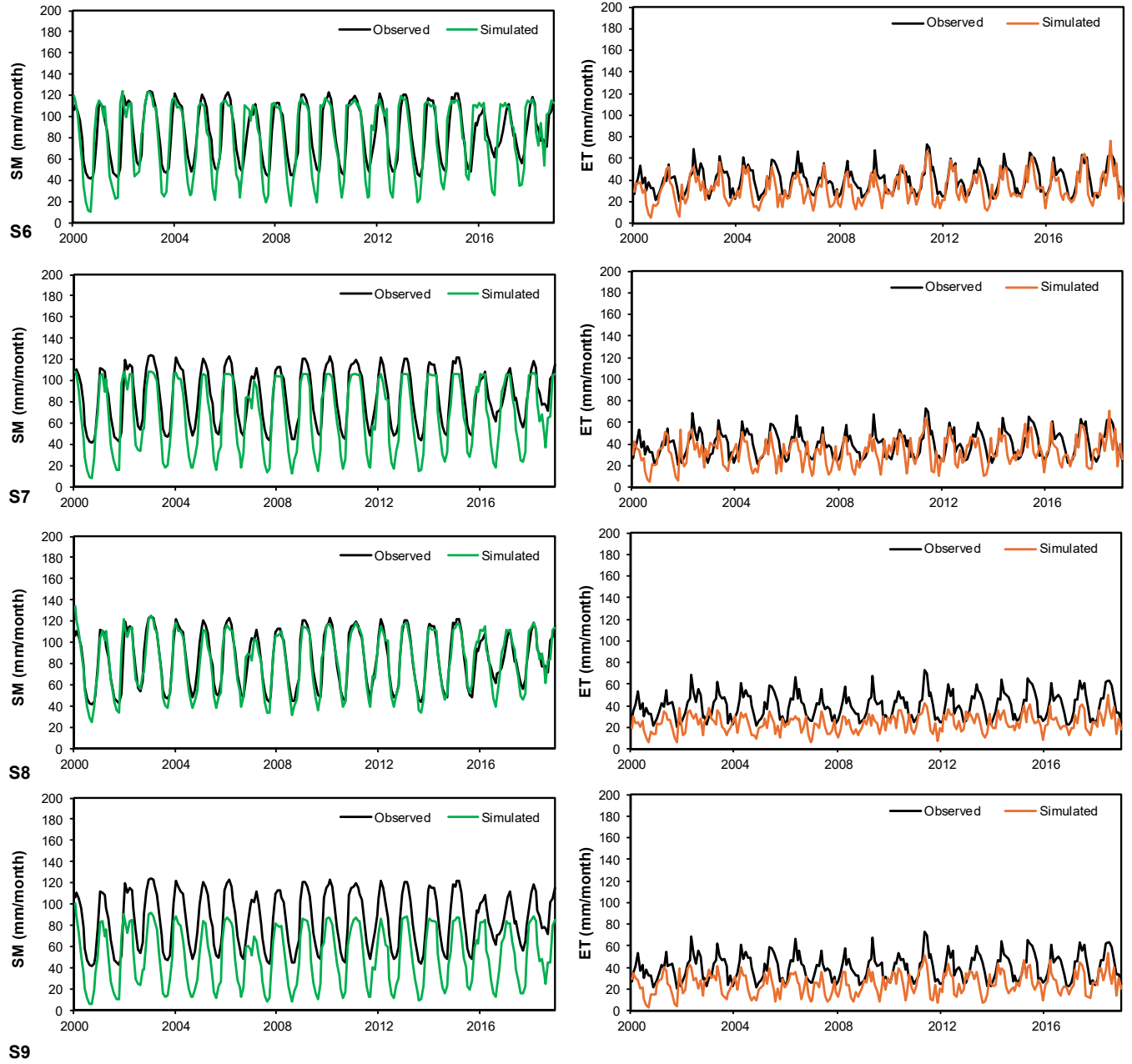
- Σαφώς καλύτερη αναπαραγωγή της *SM* και ως προς εποχικότητα και απόλυτα μεγέθη.
- Το S1 σχεδόν αναπαρήγαγε ακριβώς την μηνιαία μέση τιμή *SM* ενώ το S3 την υποεκτίμησε.
- Ικανοποιητική προσομοίωση της *ET*, ειδικά στα σενάρια S2 και S4.
- Το S4 προσέγγισε ακριβώς την ετήσια *ET,* ενώ το S5 την υποεκτίμησε σημαντικά.

Πολυκριτηριακά Σενάρια:

- Εμφανής οι συμβιβασμοί μεταξύ περιγραφής *SM* και *ET*,ακόμη ικανοποιητική προσομοίωση και των 2.
- Τα S6 και S8 προσέγγισαν καλύτερη την μέση μηνιαία SM, ενώ τα S7 και S9 υποεκτιμήσαν.
- Συστηματική υποεκτίμηση ET σε όλα τα MO σενάρια.
- Η προσθήκη δεύτερης μεταβλητής ελέγχου δεν φαίνεται να βελτίωσε σημαντικά την ολική εικόνα.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΒΟΙΩΤΙΚΟΣ ΚΗΦΙΣΟΣ





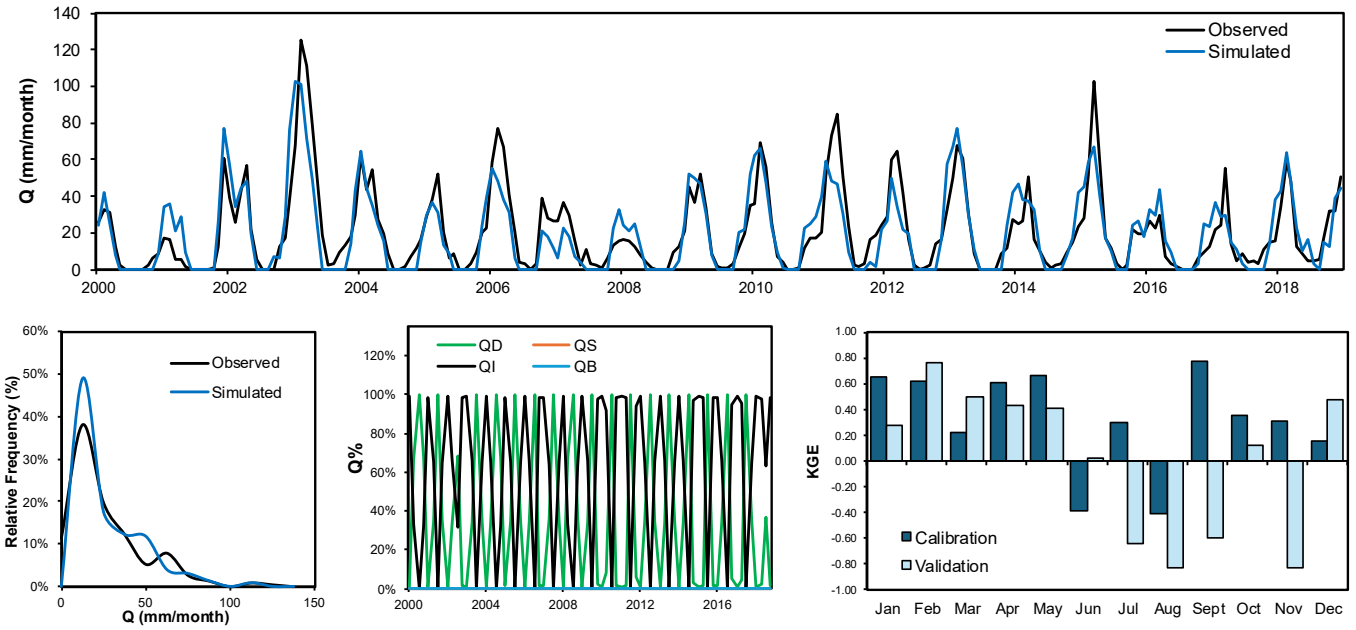
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΒΟΙΩΤΙΚΟΣ ΚΗΦΙΣΟΣ

- Ικανοποιητική περιγραφή της *Q* από το Base σενάριο με αποκλίσεις όμως σε αιχμές.
- Τα σενάρια S4 και S7 είχαν την καλύτερη επίδοση όσον αφορά τις τιμές KGE, από τα μοντέλα με βάση δεδομένα ΕΟ.
- Σενάρια *SM* υπερεκτίμησαν αρκετές αιχμές, ενώ σενάρια *ET* εμφάνισαν συχνά μηδενικές ροές.
- Πολύ χαμηλές τιμές για *μ*-σημαντικές διαφοροποιήσεις στις παραμέτρους για υπόγεια νερά.

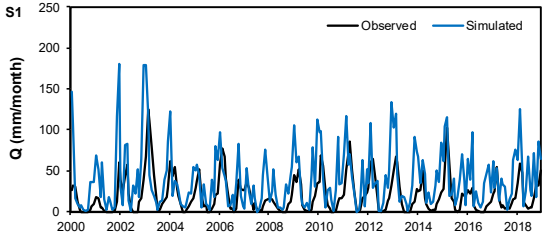
Σενάρια	KGE_Q Calibration	KGE_Q Validation
Base	*0.814*	0.802
S1	*-0.051*	-0.362
S2	*0.101*	0.361
S3	*0.110*	0.364
S4	*0.245*	0.440
S5	*0.260*	0.045
S6	*0.001*	0.262
S7	*0.192*	0.419
S8	*0.247*	-0.022
S9	*0.246*	-0.034

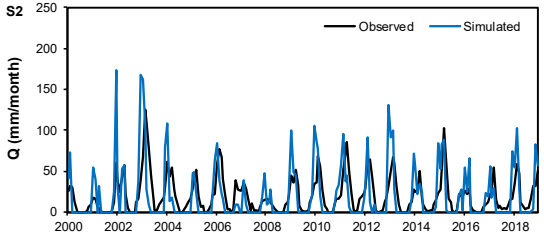
Τιμές Παραμέτρων

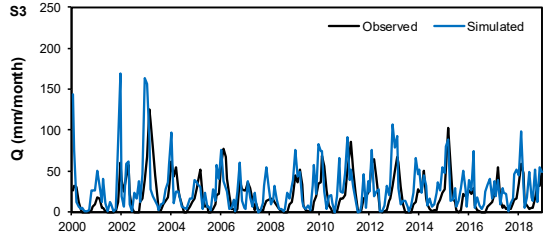
Σενάριο	κ	K	μ	ξ	φ	λ	ε	H_1	H_2
Base	*0.01*	749.55	*6.36E-05*	*0.56*	0.36	*0.29*	*0.00*	*167.80*	*722.95*
S1	*0.64*	744.43	*1.07E-04*	*0.52*	0.71	*0.83*	*0.05*	*110.10*	*461.20*
S2	*0.00*	749.53	*1.62E-04*	*0.37*	0.80	*0.89*	*0.16*	*200.08*	*793.52*
S3	*0.63*	662.67	*1.07E-03*	*0.61*	0.43	*0.97*	*0.31*	*95.39*	*751.75*
S4	*0.00*	749.58	*4.35E-05*	*0.69*	0.43	*0.81*	*0.14*	*229.76*	*698.03*
S5	*0.49*	160.92	*4.89E-03*	*0.39*	0.65	*0.89*	*0.18*	*54.37*	*1031.61*
S6	*0.14*	419.70	*1.01E-05*	*0.13*	0.97	*0.91*	*0.12*	*108.14*	*482.83*
S7	*0.42*	422.74	*1.38E-05*	*0.59*	0.85	*0.97*	*0.27*	*105.39*	*1314.64*
S8	*0.61*	743.38	*1.00E-05*	*0.79*	0.37	*0.79*	*0.18*	*109.75*	*478.88*
S9	*0.61*	398.80	*1.10E-05*	*0.32*	0.65	*0.87*	*0.18*	*83.33*	*425.92*

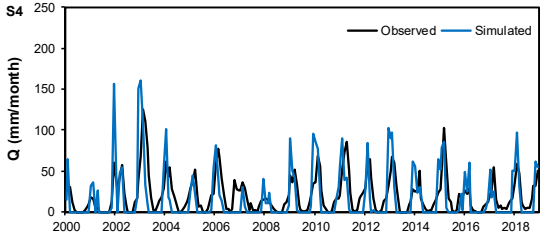


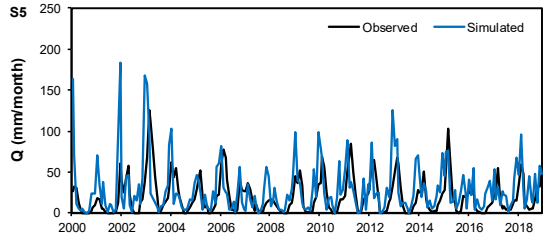
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΒΟΙΩΤΙΚΟΣ ΚΗΦΙΣΟΣ

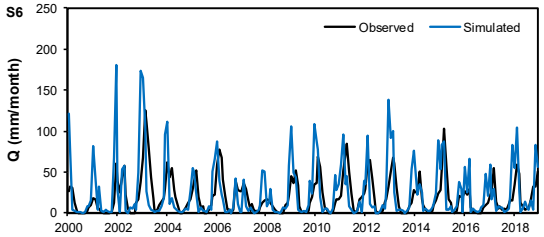


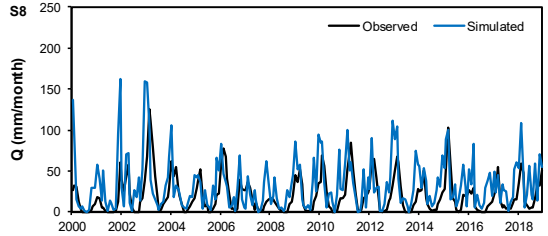


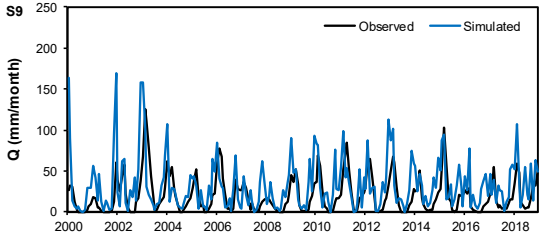


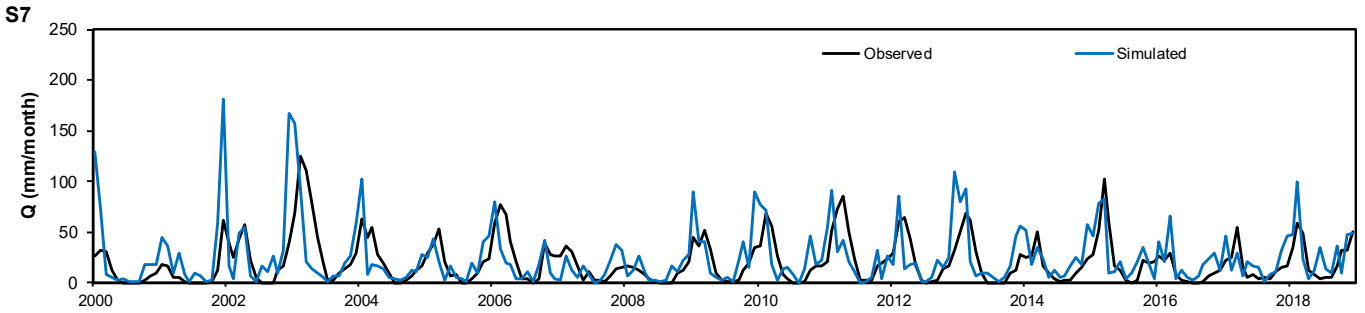


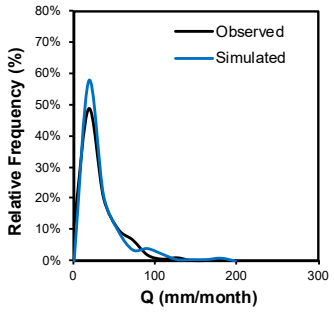


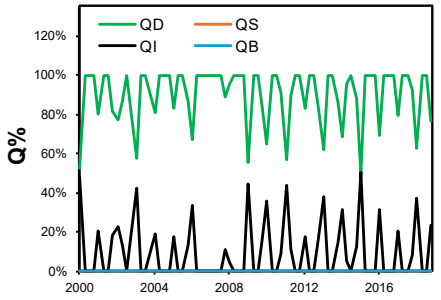


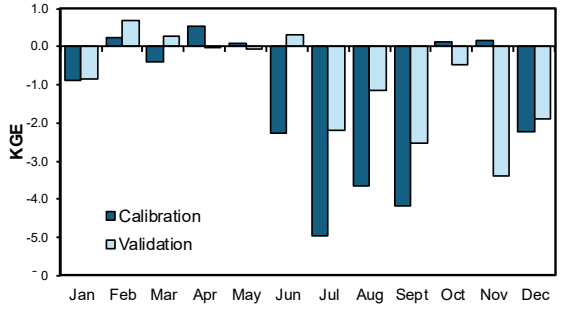












- Σκορ KGE σχετικά χαμηλό, αλλά από τα καλύτερα για μοντέλα ΕΟ.
- Καλύτερη αναπαραγωγή της μεταβλητότητας.
- Λιγότερες περίοδοι μηδενικής *Q*.

Επιλογή S7

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΒΟΙΩΤΙΚΟΣ ΚΗΦΙΣΟΣ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- **Η βαθμονόμηση με *SM* και *ET* παρήγαγε μοντέλα ικανά να εκτιμήσουν την *Q*, με διαφορετική αποτελεσματικότητα ανά λεκάνη.**
- **Το περιεχόμενο υδρολογικής πληροφορίας των *SM* και *ET* δεν ήταν επαρκές για να αναπαράγει την συμπεριφορά της *Q* κατά την επιλογή παραμετροποίησης.**
- **Η ικανοποιητική βαθμονόμηση ως προς SM και ET δεν εξασφάλισε αντίστοιχα καλές προβλέψεις *Q*.**
- **Η επιλογή στοχικών συναρτήσεων επηρέασε σημαντικά την προσομοίωση του *Q*. Όλα τα επιλεγμένα μοντέλα χρησιμοποιούσαν ubRMSE ή/και NRMSE, χωρίς να προκύπτει ξεκάθαρη υπεροχή της πολυκριτηριακής βαθμονόμησης.**
- **Η συνδυαστική SA/UA υποστήριξε την επιλογή απλούστερων δομών του μοντέλου «*Ζυγός*», ωστόσο η αποτελεσματικότητα της επηρεάστηκε έντονα από τις τιμές του κατωφλιού αποδεκτών (Behavioral) λύσεων.**
- **Παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στις βαθμονομημένες παραμέτρους μεταξύ σεναρίων, ακόμη και όταν επιτυγχανόταν καλή προσαρμογή στα ΕΟ δεδομένα, υποδεικνύοντας προβλήματα αναγνωσιμότητας.**
- **Η καλή αναπαραγωγή επιμέρους στατιστικών της *Q* δεν σήμαινε και σωστή υδρολογική απόκριση, με αποκλίσεις στις αιχμές, στον χρονισμό και στις χαμηλές ροές..**

Πλεονεκτήματα Μεθόδου:

- ✓ Χρήση απλού και ερμηνεύσιμου μοντέλου.
- ✓ Μικρό υπολογιστικό κόστος.
- ✓ Αξιοποίηση διαθέσιμων δεδομένων ΕΟ.
- ✓ Χρήση συνδυαστικής μεθόδου SA/UA.
- ✓ Αποφυγή χρήσης τεχνικών περιοχοποίησης.
- ✓ Ρητή καταγραφή κριτηρίων και παραδοχών.
- ✓ Εύκολα γενικεύσιμο μεθοδολογικό πλαίσιο.

Μειονεκτήματα Μεθόδου

- ❖ Έλλειψη άμεσης πληροφορίας για τον καθορισμό των μηχανισμών δημιουργίας *Q*.
- ❖ Εξάρτηση από κατώφλια στην δειγματοληψία.
- ❖ Υποκειμενικότητα στις επιλογές και στην κρίση διαφόρων διαγνωστικών.
- ❖ Μη-πλήρης αντιμετώπιση αβεβαιότητας.
- ❖ Περιπλοκότητα μεθοδολογικού πλαισίου.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- **Εφαρμογή σε περισσότερες λεκάνες και μοντέλα:** Εξέταση διαφορετικών υδροκλιματικών συνθηκών και τύπων μοντέλων, όπως μοντέλα Μηχανικής Μάθησης (ML).
- **Βελτίωση κριτηρίων παραμετροποίησης:** Πιο αντικειμενικός καθορισμός των behavioral thresholds και διερεύνηση αποδοτικότερων συνδυασμών μεθόδων SA.
- **Ενσωμάτωση αβεβαιότητας δεδομένων**: Για EO και μετεωρολογικά δεδομένα στις SA/UA. Αξιολόγηση εναλλακτικών προϊόντων.
- **Πρόσθετες μεταβλητές και στοχικές συναρτήσεις:** Αναζήτηση συνδυασμών που περιέχουν επαρκή υδρολογική πληροφορία για την αναπαράσταση της *Q*.
- **Ενσωμάτωση ανθρωπογενών παρεμβάσεων:** Με χρήση δεδομένων αρδευτικών και υπόγειων απολήψεων, ιδιαίτερα σε λεκάνες όπως ο Βοιωτικός Κηφισός.
- **Εναλλακτικές διαδικασίες επαλήθευσης:** Διαφορετικά σχήματα βαθμονόμησης–επαλήθευσης και χρήση στοχαστικών χρονοσειρών για εξέταση της σταθερότητας των προβλέψεων.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Beaudoing, H., Rodell, M., & Hydrological Sciences Laboratory (HSL). (2020). *GLDAS Noah Land Surface Model L4 3 hourly 0.25 x 0.25 degree, Version 2.1* [Data set]. NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center. https://doi.org/10.5067/E7TYRXPJKWOQ

Copernicus Climate Change Service. (2019). *ERA5-Land hourly data from 1950 to present* [Data set]. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). https://doi.org/10.24381/CDS.E2161BAC

Copernicus Land Monitoring Service. (2018). *CORINE Land Cover 2018*. https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018

Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, *6*(2), 182–197. https://doi.org/10.1109/4235.996017

Duan, Q., Sorooshian, S., & Gupta, V. (1992). Effective and efficient global optimization for conceptual rainfall-runoff models. *Water Resources Research*, *28*(4), 1015–1031. https://doi.org/10.1029/91WR02985

EYDAP. (n.d.). *Water Supply Sources*. Retrieved September 12, 2026, from https://www.eydap.gr/TheCompany/Water/WaterSources/

Greek Committee on Large Dams. (2013). *The Dams of Greece*. https://eemf.gr/en/information-about-greek-dams/

Hellenic Survey of Geology & Mineral Exploration. (n.d.). *Digital Geological Map of Greece*. Retrieved September 19, 2026, from https://www.eagme.gr/site/services?language=en&utm_source=chatgpt.com

Kollat, J. B., & Reed, P. M. (2006). Comparing state-of-the-art evolutionary multi-objective algorithms for long-term groundwater monitoring design. *Advances in Water Resources*, *29*(6), 792–807. https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.07.010

Kozanis, S., Christoforedes, A., & Efstratiadis, A. (2010). *Scientific documentation of the Hydrognomon software (version 4)*. http://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/928/

Ministry of Environment & Energy. (2024). *Approved River Basin Management Plans – 2nd Update*. https://wfdver.ypeka.gr/el/management-plans-gr/2revision-approved-management-plans-gr/

Morris, M. D. (1991). Factorial Sampling Plans for Preliminary Computational Experiments. *Technometrics*, *33*(2), 161–174. https://doi.org/10.1080/00401706.1991.10484804

Running, S., Mu, Q., Zhao, M., & Moreno, A. (2021). *MODIS/Terra Net Evapotranspiration Gap-Filled 8-Day L4 Global 500m SIN Grid V061* [Data set]. NASA Land Processes Distributed Active Archive Center. https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD16A2GF.061

Saltelli, A., Tarantola, S., & Chan, K. P.-S. (1999). A Quantitative Model-Independent Method for Global Sensitivity Analysis of Model Output. *Technometrics*, *41*(1), 39–56. https://doi.org/10.1080/00401706.1999.10485594

Spear, R. C., & Hornberger, G. M. (1980). Eutrophication in peel inlet—II. Identification of critical uncertainties via generalized sensitivity analysis. *Water Research*, *14*(1), 43–49. https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90040-8

Varotsos, K. V., Katavoutas, G., Kitsara, G., Karali, A., Lemesios, I., Patlakas, P., Hatzaki, M., Tenentes, V., Sarantopoulos, A., Psiloglou, B., Koutroulis, A. G., Grillakis, M. G., & Giannakopoulos, C. (2025). CLIMADAT-GRid: A high-resolution daily gridded precipitation and temperature dataset for Greece. *Earth System Science Data*, *17*(9), 4455–4477. https://doi.org/10.5194/essd-17-4455-2025

ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ