



ΑΝΩΤΑΤΗ ΣΧΟΛΗ ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ

ΑΣΠΑΙΤΕ

**ΑΝΩΤΑΤΗ ΣΧΟΛΗ ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ**

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών (Μ. Π. Σ.)

**«Τεχνολογίες Διαχείρισης Υδάτων, Ήπιων Μορφών Ενέργειας και
Περιβαλλοντικής Μηχανικής»**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**«Πηγές αβεβαιότητας υδρολογικών μοντέλων και οι επίδρασή τους στην
προσομοίωση υδροηλεκτρικών ταμιευτήρων»**

Εκπονών:

Λάγιος Β. Νικόλαος

Επιβλέπων Καθηγητής:

Ευστρατιάδης Ανδρέας
Διδάκτωρ Μηχανικός ΕΜΠ



ΑΘΗΝΑ 2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	v
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.1. Γενική τοποθέτηση	4
1.2. Αντικείμενο και διάρθρωση της εργασίας.....	5
2. θεωρητικό πλαίσιο	7
2.1 Υδρολογικά μοντέλα	7
2.2. Αβεβαιότητες	24
2.3.0. Μοντέλο διαχείρισης ταμιευτήρων	27
3. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	33
4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	38
5. αναπτυξη - ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ βαθμονομηση υδρολογικου μοντελου και ΜΟΝΤΕΛΟΥ διαχειρισης υ/η ταμιευτηρα	41
6. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	54
7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	63
8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	93
8.1 Σύνοψη	93
8.2 Συμπεράσματα.....	98
8.3 Πρωτότυπα σημεία	99
8.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	99

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η περίπλοκη φύση των υδρολογικών διεργασιών καθιστά τον υδρολογικό σχεδιασμό ενός υδραυλικού έργου (ή ενός συστήματος έργων) μια απαιτητική διαδικασία, η οποία καθοδηγείται από τους στόχους, τις απαιτήσεις και τους περιορισμούς της εκάστοτε μελέτης διαχείρισης και αξιοποίησης των υδατικών πόρων. Το υπόβαθρο της υδρολογίας είναι έντονα εμπειρικό και αποκαλύπτεται μέσα από την εφαρμογή πρακτικών που είτε ακολουθούν απλοποιημένες προσεγγίσεις, υπό τη θεώρηση ενός μακροσκοπικού πρίσματος, είτε βασίζονται σε αποτελέσματα πειραματικών λεκανών απορροής, οι οποίες επαληθεύονται για δεδομένες υδροκλιματικές και γεωμορφολογικές συνθήκες. Επιπρόσθετος παράγοντας που επιβαρύνει την επίτευξη ενός αξιόπιστου σχεδιασμού είναι η έλλειψη ικανοποιητικής, ποσοτικά και ποιοτικά, μετρητικής πληροφορίας πεδίου, που χρησιμοποιείται για τη βαθμονόμηση και την επαλήθευση των μοντέλων προσομοίωσης. Για τους λόγους αυτούς, τα περιθώρια της προόδου ολοένα και επεκτείνονται, αφενός τεχνολογικά, μέσω της αξιοποίησης των υπολογιστικών συστημάτων και των σχετικών υδρολογικών και υδραυλικών μοντέλων, και αφετέρου επιστημονικά, μέσω της διαρκούς έρευνας και αναζήτησης βελτιωμένων μεθοδολογιών, που ενσωματώνουν όσο γίνεται ρεαλιστικότερα τις αλληλοεπιδρώσες υδρολογικές συνιστώσες.

Η διακύμανση των μεταβλητών που σχετίζονται με τις διεργασίες του υδρολογικού κύκλου εισάγει ένα πιθανοτικό – στατιστικό πλαίσιο προσέγγισης, σε μια καθορισμένη χωρική και χρονική κλίμακα μελέτης του υδροσυστήματος. Η χρονική κλίμακα μπορεί να κυμαίνεται από μια λεπτή ανάλυση, λίγων λεπτών έως μερικών ημερών, για την μελέτη καταιγίδων και πλημμυρών, έως μια αδρή, μηνιαία ή ετήσια, που χρησιμοποιείται κατά κανόνα σε προβλήματα διαχείρισης συστημάτων υδατικών πόρων. Συνηθέστερη χωρική μονάδα μελέτης αποτελεί η λεκάνη απορροής.

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια να συσχετιστεί η επιρροή των υδρολογικών αβεβαιοτήτων των παραμέτρων του υδρολογικού μοντέλου λεκάνης απορροής στη λήψη των αποφάσεων που σχετίζονται με τη λειτουργία ενός υδροηλεκτρικού ταμιευτήρα. Ως περιοχή μελέτης, επιλέχθηκε το Υ/Η έργο της Μεσοχώρας, στον Αχελώο, και η ανάντη λεκάνη απορροής του.

Βασικό πυρήνα της μεθοδολογίας που αναπτύχθηκε αποτελούν τα δύο μοντέλα προσομοίωσης, τα οποία αφορούν στις υδρολογικές διεργασίες της λεκάνης απορροής και στη διαχείριση του Υ/Η έργου. Τα μοντέλα υλοποιήθηκαν σε υπολογιστικό περιβάλλον (MATLAB), ενώ στο ίδιο περιβάλλον αναπτύχθηκε μια πρωτότυπη διαδικασία βελτιστοποίησης των παραμέτρων τους, με την οποία ποσοτικοποιείται η αβεβαιότητα που οφείλεται στη χρονική περίοδο των δεδομένων εισόδου.

Συγκεκριμένα, με βάση τις χρονοσειρές εισόδου του υδρολογικού μοντέλου, δηλαδή την επιφανειακή βροχόπτωση, δυνητική εξατμοδιαπνοή και παρατηρημένη απορροή της λεκάνης της περιόδου 1960-2012, αναπτύχθηκε μια διαδικασία βαθμονόμησης που χρησιμοποιεί υποσύνολα των δειγμάτων, κυμαινόμενου μήκους. Επιλύοντας το πρόβλημα

βαθμονόμησης σε όλα τα υποδείγματα, παράγεται ένα πλήθος εναλλακτικών συνόλων τιμών παραμέτρων και αντίστοιχων προσομοιωμένων χρονοσειρών απορροής. Στη συνέχεια, τα δείγματα προσομοιωμένης απορροής εισήχθησαν στο μοντέλο διαχείρισης του ταμιευτήρα, στόχος του οποίου είναι η βελτιστοποίηση της αξιοπιστίας των δύο χρήσεων νερού που εξυπηρετεί ο ταμιευτήρας, ήτοι την ενεργειακή παραγωγή και την περιβαλλοντική παροχή. Στη συνέχεια, αναλύθηκαν οι συσχετίσεις των παραμέτρων και αποκρίσεων των δύο μοντέλων, μέσω μιας επίσης πρωτότυπης γραφικής μεθόδου.

Από τις παραπάνω αναλύσεις αναδεικνύεται ότι η κατανόηση της επιρροής των υδρολογικών αβεβαιοτήτων στον σχεδιασμό και την διαχείριση των Υ/Η έργων μπορεί να οδηγήσει σε χρήσιμα συμπεράσματα και εργαλεία πρόβλεψης των σχεδιαστικών παραμέτρων αυτών, δίνοντας το έναυσμα για περαιτέρω έρευνα σε ένα γνωστικό αντικείμενο που βρίσκεται ακόμη σε πρώιμο στάδιο.

SUMMARY

The complex nature of hydrologic activities make the hydrological planning of a hydraulic work (or a system of works) a demanding procedure, which is guided by the objectives, the requirements and the restrictions of each specific study, regarding the management and exploitation of water resources.

The background of hydrology is intensely based on experience, and it is revealed through the applied procedures that may follow simplified approaches, under the regard of macroscopic view, or is based on experimental drainage basins, that are verified with standard hydroclimatic and geomorphological conditions.

A additional factor that prevents the reliable planning is the lack of quantity and quality of filed information that are used for the calibration and the verification of simulation models. Therefore, the frontiers are continuously extended, on one side technologically, via the exploitation of computational systems and relative hydrologic and hydraulic models, and one the other scientifically, via the permanent research and search of improved methodologies, which incorporate if it becomes more realistically the interactive hydrologic components.

The variability of the processes that are associated with the hydrological cycle introduces a probabilistic – statistical framework of approach, in a specified spatial and time scale of the hydrosystem under study. The time scale can range from a fine analysis, of few minutes and certain days, for storm and floods studies, to monthly or annually time scale, which is usually employed as a rule water resource management problem. The drainage basin constitutes the most usual spatial unit of study.

The main effort of the present study is to link the influence of the hydrologic uncertainties that come with the hydrologic parameters of a river basin model in the decision-making simulation model that is related with the operation of a hydroelectric reservoir. As study area was selected the hydroelectric system of Mesochora, in Acheloos river, and its upstream catchment.

Basic core of the developed methodology constitute the two simulation models, one applied to the river basin and one to the hydroelectric system. The models have been implemented in a computer environment (MATLAB), while in the same environment was developed an innovative procedure for parameter optimization, also allowing for quantifying the sample uncertainty imposed by the time period of data.

Specifically, by accounting the time series of areal rainfall, potential evapotranspiration and the observed runoff of the basin (during the period 1960-2012) as inputs to the hydrological model, we developed a calibration procedure that uses subsets of varying length. By solving the calibration problem across all the subsets, a wide range of alternative optimized parameter sets and the corresponding simulated runoff series were produced. Afterwards, the simulated runoff data were imported within the reservoir simulation model, key objective of which is the optimization of the reliability of the two water uses that are served by the reservoir, i.e. the energy production and the environmental flows. Then, we analyzed the correlations of the model parameters and model responses, via an original graphical method.

From all the above analyses it becomes clear that the understanding of the impacts of hydrological uncertainties within the planning and the management of a hydroelectric system provides useful conclusions and tools of the design parameters, giving the opportunity for further research in a research field that is still in its early stages.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενική τοποθέτηση

Ο βέλτιστος σχεδιασμός συστημάτων υδατικών πόρων αποτελεί ένα ζήτημα – πρόκληση, λόγω της εγγενούς πολυπλοκότητας και της μη γραμμικής δυναμικής τους. Κατά κανόνα, η μελέτη που σχετίζεται με την επεξεργασία και την μοντελοποίηση ενός υδροσυστήματος αφορά τον κύκλο φυσική προσφορά → αποθήκευση → μεταφορά → κατανάλωση νερού, που περιλαμβάνει τις συνιστώσες του φυσικού περιβάλλοντος (λεκάνες απορροής, ποτάμια, υδροφορείς, κλπ.) και τα σχετιζόμενα υδραυλικά έργα (ταμιευτήρες, υδραγωγεία, αντλιοστάσια, γεωτρήσεις, κλπ.), χωρίς ωστόσο να εκτείνεται στη λεπτομέρεια των υδρευτικών ή αρδευτικών δικτύων διανομής.

Η συνθετότητα των διαχειριστικών προβλημάτων οφείλεται σε πληθώρα αιτιών, όπως η μη γραμμική δυναμική των φυσικών διεργασιών, η ανάγκη ταυτόχρονης ικανοποίησης πολλαπλών και, συχνά, αντικρουόμενων στόχων και περιορισμών, που επιβάλλονται από ομάδες με διαφορετικά συμφέροντα, η αβεβαιότητα στην πρόβλεψη των υδρολογικών εισροών και, σε μικρότερο βαθμό, της ζήτησης, καθώς και η ανάγκη συγκερασμού της οικονομικότητας και του ρίσκου, και μάλιστα σε μακροπρόθεσμο ορίζοντα.

Τα παραπάνω επιβάλλουν μια συστημική προσέγγιση στη θεώρηση του προβλήματος και, συνακόλουθα, τη λήψη των αποφάσεων, που επιτυγχάνεται με τη χρήση εξελιγμένων εργαλείων προσομοίωσης και βελτιστοποίησης, που κωδικοποιούνται σε κατάλληλα μοντέλα προσομοίωσης.

Η μοντελοποίηση αποτελεί μια απαιτητική και αβέβαιη διαδικασία, λόγω της αδυναμίας ενσωμάτωσης των πολύπλοκων φυσικών νόμων που διέπουν το υδατικό σύστημα και της στοχαστικής φύσης του υδάτινου στοιχείου. Η απόσταση μεταξύ της θεωρίας και της πράξης καλύπτεται εν μέρει από το εμπειρικό υπόβαθρο της Τεχνικής Υδρολογίας, που στηρίζεται σε απλοποιημένης μορφής προσεγγίσεις και παραδοχές.

Ειδικότερα, η περιγραφή των υδρολογικών διεργασιών μιας λεκάνης απορροής, στο πλαίσιο του σχεδιασμού και της διαχείρισης ενός ταμιευτήρα, απαιτεί την εκτίμηση παραμέτρων, ενδεικτικών της υδρολογικής απόκρισης της λεκάνης. Ανάλογα των χαρακτήρα των παραμέτρων του μοντέλου αλλά και των μεγεθών εισόδου ή απόκρισης τα μοντέλα διαφοροποιούνται σε δύο κατηγορίες: (α) ντετερμινιστικά και (β) στοχαστικά.

Στα μεν ντετερμινιστικά μοντέλα, οι παράμετροι και οι είσοδοι (inputs) τους λαμβάνουν συγκεκριμένες τιμές, στα δε στοχαστικά, διάφορα μεγέθη που υπεισέρχονται στην ανάλυση είναι τυχαίες μεταβλητές που ακολουθούν ένα φάσμα κατανομών πιθανοτήτων. Η στοχαστική προσομοίωση είναι συγκριτικά περισσότερο ασφαλής, μιας και μας κατευθύνει στην αντιπαράθεση με ζητήματα όπως η διαχείριση της αβεβαιότητας και η αποτίμηση του ρίσκου (ως μη δυνατότητα κάλυψης των χρήσεων νερού που εξυπηρετεί ο ταμιευτήρας).

Τα υδρολογικά μοντέλα λειτουργούν ως προγνωστικά εργαλεία, εκτιμούν δηλαδή τα υδρολογικά μεγέθη (χρονοσειρές απόκρισης) τόσο του παρελθόντος, χρησιμοποιώντας τις

ιστορικές φορτίσεις του συστήματος, όσο και τα μελλοντικά, χρησιμοποιώντας κατάλληλα σενάρια φορτίσεων για κάποιο χρονικό ορίζοντα.

Οι εκτιμήσεις των υδρολογικών αποκρίσεων διέπονται από πληθώρα αβεβαιοτήτων, οι οποίες οφείλονται σε σφάλματα που προέρχονται από διαφορετικές πηγές, τα οποία συνδυάζονται και αλληλοεπιδρούν κατά τρόπο μη ελεγχόμενο, μέσω της διαδικασίας βαθμονόμησης.

Ως γνωστό, ο ταμιευτήρας είναι ένα έργο πολλαπλού σκοπού, που εξυπηρετεί πλήθος στόχων, όπως ύδρευση, άρδευση, παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, αντιπλημμυρική προστασία, ναυσιπλοΐα, κτλ. Επιπλέον, η λειτουργία του ταμιευτήρα διέπεται με πληθώρα περιβαλλοντικών, ποιοτικών, λειτουργικών και θεσμικών περιορισμών, που σε συνδυασμό με την αβεβαιότητα των υδρολογικών εισροών, καθιστούν εξαιρετικά πολύπλοκη τη διαχείρισή του.

Ειδικότερα, η υδρολογική αβεβαιότητα εισάγει την έννοια της διακινδύνευσης σε κάθε συνιστώσα λήψης αποφάσεων, καθώς η κάθε δράση οφείλει να εξασφαλίζει αειφορική αξιοποίηση των υδατικών πόρων.

Στο πρόβλημα της βελτιστοποίησης συστημάτων ταμιευτήρων, ως επικρατέστερος τρόπος χειρισμού τους, συνίσταται η διατύπωση ενός μέτρου επίδοσης που αναφέρεται σε ένα πρωτεύον διαχειριστικό κριτήριο (π.χ., κόστος, απόληψη, ενέργεια), ενώ τα υπόλοιπα κριτήρια εισάγονται στο μοντέλο βελτιστοποίησης με τη μορφή περιορισμών. Με αυτό τον τρόπο προκύπτει μια ολικά βέλτιστη διαχειριστική πολιτική (ή σχεδιασμός), χωρίς ωστόσο να μπορεί να ελεγχθεί η αλληλεπίδραση των κριτηρίων.

Γίνεται σαφές, λοιπόν, πως οι αβεβαιότητες των υδρολογικών μοντέλων δύναται να επηρεάζουν την λήψη αποφάσεων, κατά την χρήση του μοντέλου διαχείρισης του ταμιευτήρα, όπως τα μεγέθη σχεδιασμού και διαχείρισης ενός υδροηλεκτρικού ταμιευτήρα στην προσπάθεια βέλτιστης επιλογής αυτών

1.2. Αντικείμενο και διάρθρωση της εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης των αβεβαιοτήτων των μοντέλων προσομοίωσης της απορροής μιας υδρολογικής λεκάνης, στα μεγέθη σχεδιασμού και διαχείρισης υδροηλεκτρικών ταμιευτήρων και την βελτιστοποίηση αυτών.

Η υδρολογική αβεβαιότητα αρχικά διαχωρίζεται σε φυσική και τεχνολογική. Στην φυσική αβεβαιότητα εντάσσονται αυτές των οποίων οι πηγές εντοπίζονται στους φυσικούς νόμους του υδρολογικού κύκλου και στην πολυπλοκότητα των υδρολογικών διεργασιών, ενώ στην τεχνολογική αβεβαιότητα αυτές που πηγάζουν από την αβεβαιότητα των δεδομένων, στην αβεβαιότητα της μοντελοποίησης και στην αβεβαιότητα της βαθμονόμησης. Κατά την δημιουργία, λοιπόν, των υδρολογικών μοντέλων και των παραγόμενων προσομοιωμένων τιμών π.χ. της απορροής γίνεται αντιληπτό πως τα αποτελέσματα δύναται να επηρεάζονται και να «μεταφέρουν» αυτές τις αβεβαιότητες.

Έτσι, στην περίπτωση που χρησιμοποιηθούν οι εν λόγω προσομοιωμένες τιμές σε κάποια άλλη μελέτη, π.χ. ενός διαχειριστικού μοντέλου ταμιευτήρα (όπως στην περίπτωσή μας), δημιουργείται εύλογα το ερώτημα αν και πόσο επηρεάζουν στην λήψη αποφάσεων και στα τεχνικά χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα τυχόν «μεταφερόμενες» αβεβαιότητες από το πρώτο μοντέλο.

Στην προσπάθεια εντοπισμού της επιρροής των αβεβαιοτήτων καταστρώσαμε μια μεθοδολογία στοχαστικής βαθμονόμησης, κατά την οποία εισάγαμε σε υδρολογικό μοντέλο τις παρατηρημένες τιμές βροχόπτωσης και δυνητικής εξατμοδιαπνοής τυχαία μεταβαλλόμενων χρονικών περιόδων, και για κάθε περίοδο εκτιμήσαμε διαφορετικά σύνολα βέλτιστων τιμών παραμέτρων. Στην συνέχεια, για κάθε σύνολο παραμέτρων, παράξαμε την αντίστοιχη προσομοιωμένη απορροή, την οποία εισαγάγαμε σε διαχειριστικό μοντέλο υδροηλεκτρικού ταμιευτήρα, για τον οποίο βελτιστοποιήσαμε την πολιτική λειτουργίας του, με στόχο την μέγιστη ενεργειακή επίδοση. Τέλος υπολογίζοντας το κέρδος σε κάθε επανάληψη (ανά σετ υδρολογικών παραμέτρων του πρώτου μοντέλου) προσπαθήσαμε να εντοπίσουμε το αν και πόσο υπάρχει συνάφεια των υδρολογικών παραμέτρων με τα αποτελέσματα εξόδου του διαχειριστικού μοντέλου, και να αξιολογήσουμε κατά πόσον επηρεάζονται τα μεγέθη του ταμιευτήρα από τις υδρολογικές αβεβαιότητες.

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας πραγματοποιήθηκε για τον υδροηλεκτρικό ταμιευτήρα της Μεσοχώρας, με εισροές που παρήχθησαν από ένα εννοιολογικό υδρολογικό μοντέλο. Οι χρονοσειρές εισόδου του υδρολογικού μοντέλου είναι η επιφανειακή βροχόπτωση (P) και η δυνητική εξατμοδιαπνοή (PET) της ανάντη λεκάνης απορροής της περιόδου 1960-2012. Από τη βαθμονόμηση του μοντέλου προέκυψαν διάφορα σενάρια προσομοιωμένης απορροής, που εισήχθησαν στο μοντέλο διαχείρισης του ταμιευτήρα.

Η εργασία διαρθρώνεται σε 6 κεφάλαια, συμπεριλαμβανομένου και του παρόντος. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το θεωρητικό πλαίσιο, απαραίτητο για την κατανόηση του υδρολογικού μοντέλου προσομοίωσης, του μοντέλου διαχείρισης του Υ/Η έργου και των αβεβαιοτήτων. Στο τρίτο κεφάλαιο τοποθετείται το πρόβλημα, παρουσιάζοντας την περιοχή μελέτης και την γενική περιγραφή της μεθοδολογίας που κατέστησε εφικτή τον συνδυασμό του υδρολογικού και του διαχειριστικού μοντέλου, ενώ στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στην ανάπτυξη και βαθμονόμηση του υδρολογικού μοντέλου προσομοίωσης. Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά το μοντέλο προσομοίωσης του Υ/Η ταμιευτήρα. Τέλος, στο έκτο κεφάλαιο δίνεται μια σύνοψη των συμπερασμάτων και η επισήμανση ορισμένων προτάσεων που δίνουν το έναυσμα για μελλοντική έρευνα.

2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Το παρόν κεφάλαιο έχει ως στόχο να καταστεί σαφές το γνωστικό υπόβαθρο που αφορά το αντικείμενο της εργασίας, τα υδρολογικά μοντέλα, τα μοντέλα διαχείρισης ταμιευτήρα και οι αβεβαιότητες τους.

2.1 Υδρολογικά μοντέλα

2.1.1 Γενικός ορισμός

Ένα μοντέλο είναι μια αφαιρετική αναπαράσταση ενός πραγματικού συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι υλοποιεί ορισμένες μόνο διεργασίες του πραγματικού συστήματος, και απορρίπτει τις υπόλοιπες. Η ανάγκη αυτή προκύπτει από το γεγονός ότι η πραγματικότητα είναι εξαιρετικά περίπλοκη και δεν μπορεί να αναπαρασταθεί πλήρως. Συνεπώς, το μοντέλο απλοποιεί την πραγματικότητα, επιλέγοντας ένα τμήμα της, και βεβαίως ένα μοντέλο δεν μπορεί να αναπαραστήσει όλες τις λειτουργίες του πραγματικού συστήματος.

Τίθεται επομένως το ερώτημα ποια από τα στοιχεία του πραγματικού συστήματος θα περιληφθούν και ποια θα αποκλειστούν. Η απάντηση στο ερώτημα αυτό δίνεται από τον σκοπό της κατασκευής του μοντέλου. Το μοντέλο κατασκευάζεται για να μελετηθούν ορισμένες λειτουργίες του πραγματικού συστήματος. Πρέπει λοιπόν να συμπεριληφθούν εκείνα τα στοιχεία του συστήματος που καθορίζουν τις συγκεκριμένες λειτουργίες. Άλλα στοιχεία, όσο σημαντικά και αν είναι για το πραγματικό σύστημα, αποκλείονται.

Κατά την επιλογή του μοντέλου, το κρίσιμο είναι να περιληφθούν όλα τα στοιχεία, τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες του πραγματικού συστήματος, που επηρεάζουν σημαντικά το φαινόμενο που εξετάζεται. Ο σχεδιαστής πρέπει να μπορεί να περιλάβει εκείνο το τμήμα της πραγματικότητας που θα επιτρέψει στο μοντέλο να συμπεριφερθεί, σε σχέση με το φαινόμενο που εξετάζεται, όσο το δυνατό όπως και το πραγματικό σύστημα.

Η βασική χρησιμότητα ενός μοντέλου είναι ότι επιτρέπει τη μελέτη της συμπεριφοράς του συστήματος, σε περιπτώσεις που ο πειραματισμός με το πραγματικό σύστημα δεν είναι εφικτός.

Τέτοιες περιπτώσεις είναι εκείνες όπου:

- Ο πειραματισμός με το πραγματικό σύστημα είναι ιδιαίτερα δαπανηρός.
- Ο πειραματισμός με το πραγματικό σύστημα είναι ιδιαίτερα επικίνδυνος.
- **Απαιτείται μελέτη φαινομένου με μεγάλη χρονική διάρκεια.** Στην περίπτωση αυτή πειραματισμός με το πραγματικό σύστημα μπορεί να σημαίνει αναμονή αιώνων, μέχρι το πείραμα να αποδώσει αποτελέσματα.
- Απαιτούνται πάρα πολλές επαναλήψεις του πειράματος με εναλλακτικά σενάρια, διαφορετικές παραμέτρους κλπ. Κάτι τέτοιο θα ήταν ιδιαίτερα χρονοβόρο. Με τη βοήθεια ενός υπολογιστικού μοντέλου και χάρη στην ικανότητα των υπολογιστών να εκτελούν ταχύτατα υπολογισμούς, το πείραμα μπορεί να εκτελεστεί εκατομμύρια φορές.

Τα μοντέλα κατηγοριοποιούνται σε αιτιοκρατικά ή ντετερμινιστικά και σε στοχαστικά:

- **Αιτιοκρατικά μοντέλα:** Σύμφωνα με τα αιτιοκρατικά ή ντετερμινιστικά μοντέλα, το αποτέλεσμα μιας διαδικασίας καθορίζεται επακριβώς από τις παραμέτρους και τις αρχικές συνθήκες, που καθορίζουν τις παραμέτρους. Συνεπώς, ένα πείραμα που θα επαναληφθεί με τις ίδιες ακριβώς συνθήκες, θα αποδώσει ακριβώς το ίδιο αποτέλεσμα.
- **Στοχαστικά μοντέλα:** Στα στοχαστικά μοντέλα εισάγεται ένας βαθμός αβεβαιότητας. Η ίδια διαδικασία δεν αποδίδει πάντα το ίδιο αποτέλεσμα, αλλά ένα σύνολο δυνατών αποτελεσμάτων, όπου για κάθε ένα από αυτά αντιστοιχεί μια πιθανότητα εμφάνισης. Οι τιμές των μεταβλητών εισόδου είναι πιθανολογικά ενδεχόμενα.

Τα προβλήματα του πραγματικού κόσμου είναι κατά κανόνα στοχαστικά.

2.1.2 Υδρολογικά μοντέλα

Ο όρος υδρολογικό μοντέλο αναφέρεται σε ένα ευρύ φάσμα μαθηματικών μετασχηματισμών που χρησιμοποιούν δεδομένα πεδίου και εύλογες υποθέσεις σχετικά με τους φυσικούς μηχανισμούς, με στόχο την ποσοτική εκτίμηση υδρολογικών μεταβλητών που είναι πρακτικά αδύνατο να μετρηθούν στο πεδίο. Τα μοντέλα αυτά περιγράφουν:

- Μεμονωμένα γεγονότα, όπως ένα υδρογράφημα ή την αιχμή μιας πλημμύρας όπου, η αναπαράσταση του γεγονότος γίνεται μέσω εμπειρικών, συνήθως, προσεγγίσεων (π.χ. ορθολογική μέθοδος, μοναδιαίο υδρογράφημα), στις οποίες αγνοούνται οι διεργασίες του υδρολογικού κύκλου που δεν ενδιαφέρουν στη μελέτη, όπως η εξάτμιση και η διήθηση.
- Τη διαχρονική εξέλιξη του ισοζυγίου των υδατικών πόρων μιας πεπερασμένης χωρικής ενότητας (π.χ. μιας λεκάνης απορροής), όπου η διαδικασία διέπεται, εν μέρει, από κάποιο φυσικό υπόβαθρο και χρησιμοποιούνται εργαλεία προσομοίωσης, μέσω των οποίων αναπαρίστανται υπόψη οι κύριες, τουλάχιστον, διεργασίες που επηρεάζουν τον κύκλο του νερού.

Τα μοντέλα υδρολογικής προσομοίωσης αναπαριστούν τις σημειακές φυσικές διεργασίες που πραγματοποιούνται σε συνεχή χρόνο, και άρα περιγράφονται από συστήματα διαφορικών εξισώσεων, μέσω αναδρομικών μαθηματικών σχέσεων, καθορισμένης χωρικής και χρονικής διακριτότητας. Με την παραπάνω παραδοχή, κάθε τέτοιο μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί ως ένας μη γραμμικός μετασχηματισμός.

Έτσι ως **υδρολογικό μοντέλο** νοείται ένα σύνολο εξισώσεων διακριτού, συνήθως, χρόνου, που χρησιμοποιεί δεδομένα πεδίου και εύλογες υποθέσεις σχετικά με τις διεργασίες του υδρολογικού κύκλου και τις αλληλεπιδράσεις τους, με στόχο την ποσοτική εκτίμηση των μεταβλητών ενδιαφέροντος (π.χ. απορροή).

Η γενική **μαθηματική αναπαράσταση** ενός υδρολογικού μοντέλου είναι:

$$y_t = h[x_t, \lambda, \theta, s_0]$$

όπου:

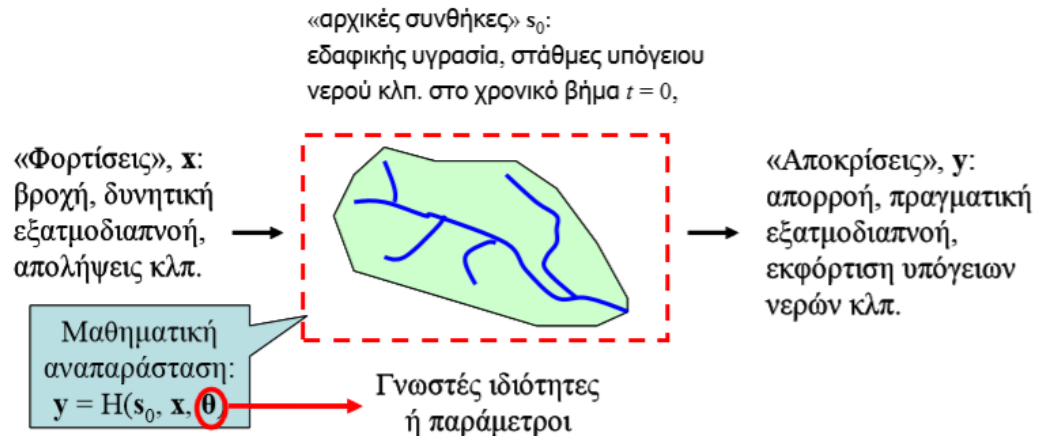
x_t οι μεταβλητές εισόδου (π.χ. βροχόπτωση),

y_t οι μεταβλητές εξόδου (π.χ. απορροή),

λ τα γνωστά (π.χ. από μετρήσεις) μεγέθη του φυσικού συστήματος (π.χ. έκταση λεκάνης),

θ τα άγνωστα μεγέθη (παράμετροι) που περιγράφουν τη λειτουργία του συστήματος, και

s_0 οι τιμές των μεταβλητών που αναφέρονται στις αρχικές και οριακές συνθήκες του συστήματος.



Εικόνα 2.1.2. Σχηματική αποτύπωση των εισόδων και εξόδων ενός υδρολογικού μοντέλου τύπου της μορφής $y_t = h[x_t, \lambda, \theta, s_0]$

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη (διάνυσμα θ) αποτυπώνουν τις ιδιότητες του φυσικού συστήματος, που είτε είναι απευθείας γνωστές από μετρήσεις πεδίου (π.χ. έκταση λεκάνης) είτε εκτιμώνται έμμεσα, με τρόπο ώστε το μοντέλο να αποτυπώνει όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα την παρατηρημένη συμπεριφορά του συστήματος. Στην τελευταία περίπτωση, τα εν λόγω χαρακτηριστικά ονομάζονται παράμετροι του μοντέλου.

2.1.3 Υδρολογικά μοντέλα φυσικής βάσης

Τα μοντέλα φυσικής βάσης (physically-based) είναι εξ ορισμού κατανεμημένα, καθώς αναπαριστούν τις υδρολογικές διεργασίες μικρής κλίμακας, βασιζόμενα στους φυσικούς νόμους που σχετίζονται με την κίνηση του νερού (δηλαδή τις ακόρεστης και κορεσμένης ροής), καθώς και σε ημιεμπειρικές σχέσεις που έχουν προκύψει από έρευνες σε πειραματικές λεκάνες.

- Επειδή η χωρική ανάλυση των μοντέλων αυτών είναι πυκνή, το πλήθος των χαρακτηριστικών μεγεθών τους είναι εξαιρετικά μεγάλο. Θεωρητικά, τα μεγέθη αυτά αντιπροσωπεύουν τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους και του υπεδάφους, οπότε είναι δυνατό να εκτιμηθούν με βάση τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης, καθώς και από παρατηρήσεις πεδίου. Αυτό είναι και το σημαντικότερο μειονέκτημα, αφού η έντονη ετερογένεια των φυσικών διεργασιών, προϋποθέτει την ύπαρξη των σχετικών πληροφοριών σε όσο το δυνατόν πιο λεπτομερή

χωρική κλίμακα (ειδικά όταν η μελέτη γίνεται για μικρές λεκάνες και σχετικά ξηρά κλίματα).

- Είναι τα μοναδικά μοντέλα που δεν βασίζονται σε μετρήσεις παροχής και πιεζομετρίας, για την προσαρμογή των παραμέτρων τους. Για τον λόγο αυτό, θεωρούνται κατάλληλα για την εκτίμηση υδρολογικών μεγεθών σε λεκάνες χωρίς μετρητικές υποδομές, κάτι που αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις των υδρολογικών επιστημών τα τελευταία έτη.
- Συνήθως, τα μοντέλα φυσικής βάσης χρησιμοποιούνται για εξειδικευμένες έρευνες, όπως η εκτίμηση των επιπτώσεων που επιφέρει σε μια λεκάνη η αλλαγή στο κλίμα, τη φυτοκάλυψη ή τις χρήσεις γης, ενώ συχνά συνδυάζονται με υδροδυναμικά μοντέλα, μοντέλα μεταφοράς-διάχυσης ρύπων στο νερό και το έδαφος, καθώς και μοντέλα μεταφοράς φερτών.
- Η διεθνής εμπειρία καταδεικνύει ότι η χρήση τους αποκλειστικά για την πρόγνωση της απορροής μιας λεκάνης, όχι μόνο είναι υπολογιστικά ασύμφορη, αλλά και δεν παρέχει κανένα ιδιαίτερο πλεονέκτημα ως προς την ακρίβεια των προγνώσεων σε σχέση με τα εννοιολογικά μοντέλα.

2.1.4 Εννοιολογικά υδρολογικά μοντέλα

Τα εννοιολογικά (conceptual) μοντέλα διατυπώνουν όχι τους φυσικούς νόμους αλλά παραμετρικές σχέσεις σε υδραυλικά ανάλογα, που αναπαριστούν τις υδρολογικές διεργασίες στην ελάχιστη χωρική ενότητα που υποστηρίζεται από την σχηματοποίηση (λεκάνη, υπολεκάνη). Ειδικότερα, τα επιφανειακά εννοιολογικά μοντέλα αναφέρονται και ως μοντέλα συγκέντρωσης της εδαφικής υγρασίας (soil moisture accounting models), καθώς το υδραυλικό ανάλογο που χρησιμοποιούν είναι μια υποθετική δεξαμενή νερού, η στάθμη της οποίας αναπαριστά το μέσο ύψος υγρασίας στην ακόρεστη ζώνη του εδάφους.

- Το πλεονέκτημα των εννοιολογικών σχημάτων είναι η απλότητά τους, που επιτρέπει την προσομοίωση πολύπλοκων φυσικών διεργασιών με έντονη χωρική ανομοιογένεια, μέσω ενός μικρού αριθμού παραμέτρων. Οι εν λόγω παράμετροι, αν και δεν έχουν πλήρη φυσική ερμηνεία, μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικές των «μακροσκοπικών» χαρακτηριστικών της χωρικής ενότητας. Τα εννοιολογικά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί σε διάφορες χρονικές διακριτότητες και διάφορους βαθμούς πολυπλοκότητας (ενδεικτικά, δέκα ή και περισσότερες παράμετροι για άνυδρες ή ημιάνυδρες λεκάνες, πολύ λιγότερες για λεκάνες με πλούσιο υδατικό δυναμικό).
- Αρκετοί ερευνητές εκφράζουν έντονο σκεπτικισμό ως προς τη δυνατότητα γενίκευσης των σημειακών φυσικών νόμων, που ισχύουν στην απειροστή κλίμακα (δηλαδή σε έναν πεπερασμένο όγκο αναφοράς), για την προσομοίωση χωρικά κατανεμημένων διεργασιών, έστω και σε μια σχετικά μικρή επιφάνεια. Έτσι, θεωρούν ότι ακόμη και τα κατανεμημένα σχήματα είναι στην πραγματικότητα εννοιολογικά, όχι όμως σε κλίμακα λεκάνης ή υπολεκάνης αλλά στη μονάδα χωρικής διακριτότητας που αναφέρεται η σχηματοποίηση του μοντέλου, στην οποία το σύστημα θεωρείται ομοιογενές και ισότροπο.

2.1.5 Στατιστικά και στοχαστικά υδρολογικά μοντέλα

Τα **στατιστικά και στοχαστικά μοντέλα**, που βασίζονται στην πιθανοτική προσέγγιση των υδρολογικών διεργασιών, τις οποίες αντιμετωπίζουν ως τυχαίες μεταβλητές, είτε μεμονωμένες είτε από κοινού. Ειδικότερα:

- Τα **στατιστικά μοντέλα** χρησιμοποιούν τεχνικές επαγωγικής στατιστικής, και είναι κατάλληλα όταν η πραγματοποίηση ενός υδρολογικού φαινομένου (π.χ. η αιχμή μιας πλημμύρας) είναι ή μπορεί να θεωρηθεί ανεξάρτητη από κάθε άλλη πραγματοποίηση του ίδιου φαινομένου.
- Τα **στοχαστικά μοντέλα**, τα οποία βασίζονται στη θεωρία των στοχαστικών ανελίξεων, είναι πληρέστερα, καθώς λαμβάνουν υπόψη και τη χρονική και χωρική αλληλεπίδραση (στατιστική εξάρτηση ή αλλιώς στοχαστική δομή των φαινομένων), οπότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προσομοίωση. Οι παράμετροί των παραπάνω μοντέλων εξαρτώνται από τα στατιστικά χαρακτηριστικά των παρατηρημένων δειγμάτων, τα οποία και αναπαράγουν, και όχι από τα ίδια τα δείγματα.

Σε αντίθεση με την καθαρά προσδιοριστική προσέγγιση που υιοθετούν τα μοντέλα φυσικής και εννοιολογικής βάσης, τα πιθανοτικά (στατιστικά και στοχαστικά) μοντέλα δεν δίνουν μονοσήμαντες προγνώσεις των μεταβλητών που αναπαριστούν, αλλά ποσοτικοποιούν την αβεβαιότητα των προγνώσεων. Αναπαράγοντας τα στατιστικά μεγέθη των παρατηρημένων δειγμάτων, όχι μόνο εξασφαλίζουν στατιστική συνέπεια, αλλά διατηρούν και μια στοιχειώδη, έστω, συνέπεια με τα χαρακτηριστικά του φυσικού συστήματος (π.χ. οι υψηλοί συντελεστές αυτοσυσχέτισης υποδηλώνουν ύπαρξη μεγάλης υστέρησης, που οφείλεται στο λιώσιμο του χιονιού ή την τροφοδοσία από πηγές).

2.1.6 Υδρολογικά μοντέλα μαύρου κουτιού (Black Box)

Στα μοντέλα **μαύρου κουτιού** (black-box), οι εξισώσεις δεν αναπαριστούν τις ενδιάμεσες διεργασίες τον υδρολογικού κύκλου, όπως συμβαίνει με τα εννοιολογικά και τα φυσικής βάσης μοντέλα. Το πλεονέκτημά τους είναι η δυνατότητα περιγραφής οσοδήποτε πολύπλοκων συστημάτων, με πολύ μικρότερο (σχεδόν αμελητέο) υπολογιστικό φόρτο σε σχέση με τα αναλυτικά μοντέλα προσομοίωσης.

Στην υδρολογία, ως μοντέλα μαύρου κουτιού αναφέρονται κυρίως τα νευρωνικά δίκτυα, που διατυπώνουν έντονα μη γραμμικούς μετασχηματισμούς των μεταβλητών εισόδου σε εξόδους. Η δομή (αριθμός νευρώνων και κρυμμένων επιπέδων) και οι παράμετροί τους δεν έχουν φυσικό υπόβαθρο, και προκύπτουν μέσω μιας αυτοματοποιημένης διαδικασίας προσαρμογής που βασίζεται στη χρήση γενετικών, συνήθως, αλγορίθμων και είναι γνωστή ως εκπαίδευση (training) του δικτύου. Στην πράξη, το νευρωνικό δίκτυο είναι ένας κρυφός υπολογιστικός κώδικας, στον οποίο δεν έχει πρόσβαση ο χρήστης.

Άλλη κατηγορία μοντέλων μαύρου κουτιού είναι τα γενετικού προγραμματισμού, στα οποία χρησιμοποιείται ένας γενετικός αλγόριθμος που εντοπίζει μια «βέλτιστη» σχέση ή και σύστημα εξισώσεων μεταξύ φορτίσεων και αποκρίσεων. Η διαφορά σε σχέση με τα

νευρωνικά δίκτυα είναι ότι οι εξισώσεις του μοντέλου, αν και επίσης δεν έχουν φυσική ερμηνεία, είναι ορατές στον χρήστη, οπότε προσεγγίζουν περισσότερο την κατηγορία των εννοιολογικών προσεγγίσεων.

Η διάδοση των νευρωνικών δικτύων στις υδρολογικές επιστήμες ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1990, και μια συνήθης εφαρμογή τους είναι για τη πρόγνωση πλημμυρικών φαινομένων. Ο γενετικός προγραμματισμός έχει περιορισμένη εφαρμογή στην προσομοίωση υδρολογικών διεργασιών.

2.1.7. Στάδια ανάπτυξης υδρολογικών μοντέλων

Η ανάπτυξη ενός υδρολογικού μοντέλου περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. Επιλογή διεργασιών για προσομοίωση (perceptual model)
2. Διατύπωση μαθηματικών εξισώσεων (conceptual model)
3. Κωδικοποίηση υπολογιστικής διαδικασίας (procedural model)
4. Υπολογισμός παραμέτρων (model calibration)
5. Αποτίμηση συνέπειας και ακρίβειας – επαλήθευση (model validation)

Σε αρκετές περιπτώσεις, οι απαιτήσεις των δύο πρώτων βημάτων, που συνιστούν τη μαθηματική δομή του μοντέλου, καλύπτονται από κάποιον υφιστάμενο κώδικα (βήμα 3). Ωστόσο, είναι συνηθισμένο να επιβάλλεται η εκ του μηδενός ανάπτυξη της δομής του μοντέλου, καθώς τα κριτήρια επιλογής διαφέρουν ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες.

Η επιλογή του μοντέλου εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- το σκοπό της μελέτης
- την εμπειρία του μελετητή
- τα διαθέσιμα δεδομένα.

Η ποσότητα αλλά και ποιότητα των διαθέσιμων στοιχείων αποτελεί, συχνά, τον κύριο περιοριστικό παράγοντα σε μια μελέτη, καθώς η επίτευξη μεγαλύτερης ακρίβειας, η οποία θεωρητικά εξασφαλίζεται από την χρήση αναλυτικότερων σχημάτων προσομοίωσης, προσκρούει στην ανεπάρκεια υδρολογικών μετρήσεων και άλλων δεδομένων (π.χ. κατανεμημένη γεωγραφική πληροφορία), που είναι απαραίτητα για την κατάστρωση και σχηματοποίηση του μοντέλου.

2.1.8. Κατηγορίες υδρολογικών μοντέλων

Η πρώτη απόπειρα προσομοίωσης του υδρολογικού κύκλου αποδίδεται στον Thornthwaite (1948), που ανέπτυξε ένα μονοπαραμετρικό σχήμα μηνιαίου υδατικού ισοζυγίου για την εκτίμηση της πραγματικής εξατμοδιαπνοής απλών λεκανών, εφήμερης δίαιτας και χωρίς συνεισφορά των υπόγειων νερών. Αργότερα, οι Thornthwaite and Mather (1955) παρουσίασαν μια τροποποιημένη εκδοχή του, η οποία αποτέλεσε τη βάση όλων των μεταγενέστερων σχημάτων υδρολογικής προσομοίωσης. Η εκτεταμένη χρήση των τελευταίων ξεκίνησε από τη δεκαετία του 1960, ταυτόχρονα με την ραγδαία εξάπλωση των υπολογιστικών εργαλείων.

Στη βιβλιογραφία ξεχωρίζουν περίπου 70 καταξιωμένα υδρολογικά σχήματα, τα οποία χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με:

- Το πεδίο εφαρμογής τους
- Τη χωρική τους κλίμακα
- Την μαθηματική τους δομή
- Τη χρονική τους διακριτότητα

2.1.9. Πεδίο εφαρμογής

Συνήθως το πεδίο εφαρμογής των υδρολογικών μοντέλων είναι:

Η λεκάνη απορροής όπου συνήθως εφαρμόζονται σχήματα υδατικού ισοζυγίου, που δίνουν μια συνολική αναπαράσταση του υδρολογικού κύκλου σε μια συγκεκριμένη χωρική ενότητα (που είναι είτε η ενιαία λεκάνη είτε διακριτά τμήματα αυτής), περιγράφοντας τον μετασχηματισμό των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων σε απορροή (απ' όπου και η παραδοσιακή ορολογία μοντέλα βροχής-απορροής). Η απορροή της λεκάνης είναι η κύρια έξοδος του μοντέλου, αλλά και η μεταβλητή εκείνη με την οποία ελέγχεται η προσαρμογή του. Η υπόγεια (βασική) ροή ως συνιστώσα της συνολικής απορροής, συνήθως εκτιμάται συγκεντρωτικά, με βάση απλοποιημένες παραδοχές (π.χ. θεωρώντας τον υδροφορέα ως γραμμικό ταμειυτήρα, η εκφόρτιση του οποίου τροφοδοτεί την υπόγεια απορροή).

Ο υδροφορέας όπου προσομοιώνεται ο μηχανισμός κίνησης του υπόγειου νερού, με την χωρική (ή και χρονική) διακριτότητα της προσομοίωσης να είναι, συνήθως, πολύ πιο λεπτομερής σε σχέση με τα μοντέλα επιφανειακής υδρολογίας. Πρόκειται για αριθμητικά σχήματα προσομοίωσης του πεδίου ροής του υδροφορέα, που προϋποθέτουν τη διακριτοποίησή του σε στοιχειώδη τμήματα, που καλούνται κύτταρα (cells). Για το σύνολο των κυττάρων, διατυπώνονται οι διαφορικές εξισώσεις συνέχειας και ροής, που επιλύονται με μεθόδους πεπερασμένων διαφορών, πεπερασμένων στοιχείων, πεπερασμένων όγκων, κλπ. Οι αρχικές και οριακές συνθήκες, καθώς και οι φορτίσεις (κατείδυση, αντλήσεις) θεωρούνται γνωστές και δίνονται «εξωτερικά»(από τον χρήστη του μοντέλου), ενώ η προσαρμογή του μοντέλου γίνεται με βάση παρατηρήσεις στάθμης.

Η συνδυασμένη προσομοίωση των επιφανειακών και υπόγειων διεργασιών είναι λιγότερο συχνή, αλλά θεωρείται επιβεβλημένη όταν υπάρχουν συνδυασμένες χρήσεις νερού και σημαντική συνεισφορά του υπόγειου δυναμικού στη συνολική απορροή της λεκάνης. Επιπλέον, είναι αναγκαία στην περίπτωση που, εξαιτίας του διαπερατού γεωλογικού υποβάθρου, ο χρόνος απόκρισης του υπόγειου συστήματος είναι συγκρίσιμος με το χρόνο απόκρισης του επιφανειακού συστήματος.

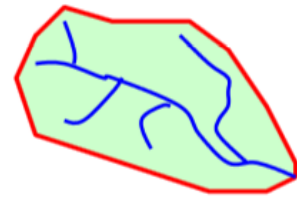
Για να είναι αποδοτική από πλευράς υπολογιστικού φόρτου, η συνδυασμένη προσομοίωση προϋποθέτει, αναγκαστικά, λιγότερο λεπτομερή περιγραφή του φυσικού συστήματος. Ωστόσο, παρέχει μια πιο ρεαλιστική εικόνα των υδρολογικών διεργασιών. Για παράδειγμα, η κατείδυση από τη βροχόπτωση, που αποτελεί την κύρια φόρτιση του υδροφορέα, υπολογίζεται από το ίδιο το μοντέλο και δεν ορίζεται, κατά αυθαίρετο τρόπο, από τον χρήστη. Επιπλέον, οι παράμετροι του μοντέλου που σχετίζονται με τις επιφανειακές και

υπόγειες διεργασίες εκτιμώνται συνδυαστικά, αξιοποιώντας μετρήσεις που αναφέρονται τόσο στα επιφανειακά όσο και στα υπόγεια νερά.

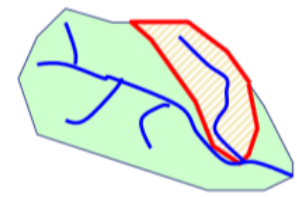
Τα όλο και πιο σύνθετα προβλήματα επιβάλλουν μια ολιστική θεώρηση των φυσικών διεργασιών και των επιπτώσεων των πρακτικών διαχείρισης των υδατικών πόρων σε αυτές. Έτσι, τα μοντέλα επιφανειακής και υπόγειας υδρολογίας δεν λειτουργούν πλέον αυτόνομα, αλλά αποτελούν συνιστώσες συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων, στα οποία συχνά εντάσσονται κλιματικά, διαχειριστικά και υδροδυναμικά μοντέλα, μοντέλα διαίτας ρύπων σε υδάτινα σώματα και στο υπέδαφος, καθώς και μοντέλα στερεομεταφοράς.

2.1.10.Χωρική κλίμακα

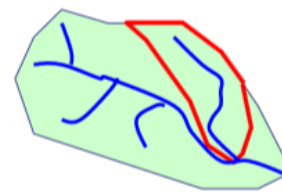
- **Αδιαμέριστη ή συγκεντρωτική(lumped).** Οι χρονοσειρές φόρτισης ολοκληρώνονται σε όλη την επιφάνεια της λεκάνης, για την οποία θεωρούνται ενιαίες τιμές παραμέτρων. Το μοντέλο προσομοίωσης αναπαριστά τις κύριες μεταβλητές του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης, για την εκτίμηση της απορροής στην έξοδο αυτής.



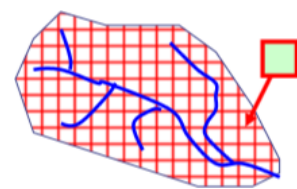
- **Ημι-κατανεμημένη(semi-distributed).** Η λεκάνη χωρίζεται σε διακριτές περιοχές, που αντιστοιχούν σε φυσικές υπολεκάνες ή σε χωρικές ενότητες με κοινά υδρολογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, σε κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχούν διαφορετικές χρονοσειρές φόρτισης και διαφορετικές τιμές παραμέτρων. Μετά το πέρας των υπολογισμών για κάθε ενότητα, η απόκριση (απορροή) «μεταφέρεται» στην έξοδο της λεκάνης, κάτι που σε μικρή χρονική κλίμακα προϋποθέτει την εφαρμογή σχημάτων διόδευσης.



- **Ημι-αδιαμέριστη(semi-lumped).** Πρόκειται για μια ενδιάμεση μορφή μεταξύ της αδιαμέριστης και της ημικατανεμημένης σχηματοποίησης, στην οποία θεωρούνται διακριτές χωρικές ενότητες που δέχονται διαφορετικές φορτίσεις, ωστόσο οι παράμετροι που εφαρμόζονται είναι κοινές για όλες τις ενότητες.



- **Κατανεμημένη (distributed).** Γίνεται κατάτμηση του φυσικού συστήματος σε χωρικές ενότητες μικρής κλίμακας (κύτταρα), που προκύπτουν είτε από την εφαρμογή ενός ορθογωνικού (συνήθως) κανάβου δεδομένης ισοδιάστασης είτε έχουν ακανόνιστο γεωμετρικό σχήμα. Σε κάθε περίπτωση, η χωρική διαμέριση δεν έχει γεωγραφικό ή φυσικό νόημα, και τα κύτταρα αντιπροσωπεύουν θεωρητικά ομοιογενή και ισότροπα εδαφικά τμήματα, τα οποία δέχονται διαφορετικές φορτίσεις και στα οποία αντιστοιχούν διαφορετικές τιμές παραμέτρων.



2.1.11. Χρονική διακριτότητα

Η χρονική διακριτότητα είναι άμεσα εξαρτώμενη από τον σκοπό του μοντέλου. Σχήματα προσομοίωσης που χρησιμοποιούνται για διαχειριστικούς σκοπούς υιοθετούν τη μηνιαία ή, σπανιότερα, την ημερήσια κλίμακα, ενώ τα μοντέλα πλημμυρών ή τα συνδυαστικά υδρολογικά-υδροδυναμικά μοντέλα υιοθετούν μικρότερες κλίμακες (ωριαία ή μικρότερη).

Η μικρή χρονική κλίμακα επιβάλλει αντίστοιχα μικρή διακριτότητα των μεταβλητών εισόδου. Αυτό προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλης μετρητικής υποδομής στη λεκάνη, από καταγραφικά όργανα σε συνεχή χρόνο, όπως βροχογράφους και σταθμηγράφους. Ακόμη, στις μικρές χρονικές κλίμακες, η επιφανειακή ολοκλήρωση των σημειακών υδρολογικών χρονοσειρών είναι ιδιαίτερα δύσκολη, αφού τα δείγματα πρέπει να είναι κατάλληλα χροнисμένα, ώστε να αποτυπώνουν τους πραγματικούς χρόνους υστέρησης.

2.1.12. Δεδομένα εισόδου

Οι τυπικές χρονοσειρές εισόδου των υδρολογικών μοντέλων είναι η επιφανειακή βροχόπτωση (P) στη λεκάνη και η δυνητική εξατμοδιαπνοή (PET).

- **Επιφανειακή βροχόπτωση (P)**
 - Χωρική ολοκλήρωση σημειακών δειγμάτων βροχής (πολύγωνα Thiessen, μέθοδος αντίστροφων αποστάσεων, γεωστατιστικά μοντέλα – Kriging).
 - Υψομετρική αναγωγή στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης.
- **Δυνητική εξατμοδιαπνοή (PET)**
 - Θεωρητική ζήτηση σε νερό που καταναλώνεται σε απώλειες λόγω εξάτμισης και διαπνοής από τη χλωρίδα.
 - Δεν είναι μετρήσιμο μέγεθος, αλλά εκτιμάται θεωρητικά με βάση μετεωρολογικά δεδομένα (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου, ηλιακή ακτινοβολία) και δεδομένα φυτοκάλυψης (τύπος χλωρίδας, στάδιο ανάπτυξης, έκταση φυλλωμάτων).
 - Συνήθως, οι εκτιμήσεις της γίνονται με βάση απλούστερα ημιεμπειρικά μοντέλα, με δεδομένο εισόδου μόνο τη θερμοκρασία.
 - Η δυνητική αποτελεί άνω όριο της πραγματικής εξατμοδιαπνοής (έξοδος μοντέλου), η οποία εξαρτάται από την επιφανειακή κατακράτηση νερού κατά τη διάρκεια των επεισοδίων βροχής (παρεμπόδιση βροχής από τη χλωρίδα, παγίδευση στο ανάγλυφο) και τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία.

2.1.13. Η έννοια της βαθμονόμησης

Ο όρος βαθμονόμηση (calibration) προέρχεται από τις στατιστικές επιστήμες, και υποδηλώνει μια συστηματική διαδικασία προσαρμογής των τιμών των παραμέτρων ενός υδρολογικού μοντέλου, έτσι ώστε οι προσομοιωμένες αποκρίσεις του να προσεγγίζουν όσο το δυνατό περισσότερο τις αντίστοιχες παρατηρημένες τιμές.

Διαφοροποιείται από τον γενικότερο όρο εκτίμηση παραμέτρων, που μπορεί να αναφέρεται σε μια εμπειρική ή διαισθητική διαδικασία «εκ των προτέρων» ορισμού των παραμέτρων

του μοντέλου, χωρίς «εκ των υστέρων» έλεγχο της επίδοσής του, με βάση πραγματικά δεδομένα. Για το λόγο αυτό, η βαθμονόμηση ενός μοντέλου προϋποθέτει ένα επαρκές χρονικό διάστημα για το οποίο διατίθενται συστηματικές μετρήσεις (χρονοσειρές) απόκρισης του φυσικού συστήματος, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των ιστορικών με τα προσομοιωμένα δεδομένα.

2.1.14. Βαθμονόμηση υδρολογικών μοντέλων

Το πρόβλημα της βαθμονόμησης υδρολογικών μοντέλων, αν και έχει διερευνηθεί διεξοδικά, παραμένει επίκαιρο, δεδομένου ότι τα μοντέλα τείνουν να γίνουν όλο και πιο σύνθετα (μεγάλος αριθμός παραμέτρων) και όλο και πιο απαιτητικά σε δεδομένα και σε υπολογιστικό φόρτο. Το πρόβλημα αυτό, αν και παραδοσιακά έχει θεωρηθεί ότι αφορά αποκλειστικά στα εννοιολογικά σχήματα, αποδεικνύεται τελικά κοινό και για τις υπόλοιπες κατηγορίες μοντέλων, καθώς σε όλες τις περιπτώσεις προκύπτει η ανάγκη εκτίμησης κάποιων παραμέτρων με προσαρμογή των αποκρίσεων του μοντέλου στις παρατηρήσεις του παρελθόντος

Σημειολογικά υπάρχει αμφισβήτηση στην καταλληλότητα του όρου «παράμετρος» για τις σταθερές εισόδου των μοντέλων φυσικής βάσης, αφού υποστηρίζεται ότι πρόκειται για ιδιότητες του φυσικού συστήματος, που μπορούν να είναι γνωστές από πληροφορίες πεδίου. Συχνά όμως, οι πληροφορίες αυτές είτε δεν είναι διαθέσιμες είτε προέρχονται από σημειακές μετρήσεις, που εξαιτίας της έντονης χωρικής ανομοιογένειας των χαρακτηριστικών της λεκάνης δεν είναι εφικτό να αναχθούν στη χωρική κλίμακα του μοντέλου, οσοδήποτε μικρή και αν είναι αυτή. Άρα η περιορισμένη χωρική πληροφορία οδηγεί σε μια υβριδική προσέγγιση, όπου η εκτίμηση ορισμένων τουλάχιστον χαρακτηριστικών μεγεθών, που υποτίθεται ότι αντιπροσωπεύουν μετρήσιμες ιδιότητες του φυσικού συστήματος, γίνεται με τις ίδιες τεχνικές που εφαρμόζονται στα εννοιολογικά μοντέλα, θεωρώντας τα εν λόγω χαρακτηριστικά ως (άγνωστες) παραμέτρους.

Συνεπώς, αναιρείται ο χαρακτηρισμός του μοντέλου ως φυσικής βάσης, αφού αν έστω και μία παράμετρος του προκύπτει μέσω βαθμονόμησης, τότε αυτή δεν αντιπροσωπεύει πλέον κάποιο φυσικό μέγεθος, και η όλη προσέγγιση αντιμετωπίζεται ως εννοιολογική.

2.1.15. Στρατηγικές βαθμονόμησης

Εμπειρική βαθμονόμηση: Πρόκειται για όχι αυστηρά συστηματική διαδικασία, που βασίζεται στη διερεύνηση εναλλακτικών συνδυασμών παραμέτρων που επιλέγει, σύμφωνα με την εμπειρία του, ο μελετητής. Η τελική επιλογή των παραμέτρων γίνεται ελέγχοντας «με το μάτι» την προσαρμογή του μοντέλου στα ιστορικά δεδομένα. Αν και η εμπειρική μέθοδος είναι μη αντικειμενική (η επιλογή δεν βασίζεται σε κάποιο αριθμητικό κριτήριο σφάλματος) και εξαιρετικά επίπονη (όταν ο αριθμός των παραμέτρων είναι σχετικά μεγάλος), εφαρμόζεται ακόμη και σήμερα δεδομένου ότι η εν λόγω διαδικασία ενσωματώνει την υδρολογική εμπειρία, οδηγώντας έτσι σε τιμές παραμέτρων που είναι ρεαλιστικές και αντιπροσωπευτικές των φυσικών χαρακτηριστικών της λεκάνης.

Αυτόματη βαθμονόμηση: Διατυπώνεται ένα μέτρο καλής προσαρμογής των προσομοιωμένων σε σχέση με τις παρατηρημένες αποκρίσεις της λεκάνης, το οποίο θεωρείται ως η αντικειμενική συνάρτηση ενός προβλήματος μη γραμμικής βελτιστοποίησης, με μεταβλητές ελέγχου τις παραμέτρους του μοντέλου. Η τελική επιλογή των παραμέτρων προκύπτει ως αποτέλεσμα της βελτιστοποίησης. Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η ευκολία και η αντικειμενικότητά της, ενώ το κύριο μειονέκτημά της είναι η πλήρης εξάρτηση των αποτελεσμάτων από το μέτρο προσαρμογής που χρησιμοποιείται, τα σφάλματα που μεταφέρονται από τα δεδομένα, τις τυπικές υπολογιστικές αδυναμίες της διαδικασίας αναζήτησης και άλλες πηγές αβεβαιότητας. Για τους παραπάνω λόγους, σε ορισμένες περιπτώσεις ένα υδρολογικό μοντέλο, παρόλο που δείχνει να προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις μετρήσεις, στην πραγματικότητα λειτουργεί υπό μορφή «μαύρου κουτιού», με παραμέτρους που δεν έχουν φυσικό νόημα και χωρίς να μπορεί να αναπαράγει όλο το φάσμα των δυνατών αποκρίσεων της λεκάνης.

Ημιαυτόματη βαθμονόμηση: Πρόκειται για μια διαδραστική μέθοδο, βάσει της οποίας ο μελετητής παρακολουθεί τη διαδικασία βελτιστοποίησης και επεμβαίνει σε αυτή, μεταβάλλοντας τα κριτήρια και τις υποθέσεις του προβλήματος, ώστε να κατευθύνει την πορεία αναζήτησης προς την επιθυμητή κατεύθυνση. Η μέθοδος αυτή αποσκοπεί να συνδυάσει τα πλεονεκτήματα της εμπειρικής και αυτόματης βαθμονόμησης, και θεωρείται ως η πλέον πρόσφορη, ιδιαίτερα στην περίπτωση των σύνθετων σχημάτων, στα οποία είναι και πιο έντονη η αβεβαιότητα στην εκτίμηση των παραμέτρων, λόγω της ύπαρξης πολλών ισοδύναμα καλών λύσεων

Ανεξάρτητα, όμως, από την στρατηγική που ακολουθείται, η βαθμονόμηση ενός υδρολογικού μοντέλου κρίνεται αξιόπιστη εφόσον:

- Το μοντέλο διαθέτει επαρκή προγνωστική ικανότητα, δηλαδή μπορεί να αναπαράγει όλο το φάσμα των αποκρίσεων μιας λεκάνης, με ικανοποιητική ακρίβεια
- Στις βελτιστοποιημένες παραμέτρους του μοντέλου μπορεί να αποδοθεί κάποιο φυσικό νόημα, ώστε να θεωρηθούν συμβατές με τα χαρακτηριστικά του φυσικού συστήματος

Πρόκειται για δύο θεμελιώδεις απαιτήσεις, που εξασφαλίζουν ότι το μοντέλο αναπαριστά με συνέπεια τους υδρολογικούς μηχανισμούς της λεκάνης, και το πεδίο εφαρμογής του δεν περιορίζεται στο διάστημα που υπάρχουν ιστορικές παρατηρήσεις (βάσει των οποίων έχει γίνει η προσαρμογή των παραμέτρων του) αλλά επεκτείνεται για οποιοδήποτε χρονικό ορίζοντα, είτε στο παρελθόν είτε στο μέλλον. Είναι προφανές ότι αυτό προϋποθέτει ότι τα ιστορικά δείγματα φορτίσεων και αποκρίσεων που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου είναι αντιπροσωπευτικά της υδρολογικής δίαιτας της λεκάνης.

2.1.16. Μέτρο σφάλματος

Ως σύνηθες μέτρο σφάλματος στη βαθμονόμηση υδρολογικών μοντέλων χρησιμοποιείται ο **συντελεστής προσδιορισμού** (coefficient of determination), που ορίζεται ως (Nash and Sutcliffe, 1970):

$$R = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

όπου:

- x_i** είναι η παρατηρημένη χρονοσειρά απορροής,
- \bar{x}** η μέση τιμή της,
- y_i** η προσομοιωμένη χρονοσειρά απορροής και
- n** ο χρονικός ορίζοντας ελέγχου.

Ο συντελεστής προσδιορισμού λαμβάνει τιμές από $-\infty$ έως 1. Αν $R = 1$ υπάρχει απόλυτη ταύτιση της παρατηρημένης με την προσομοιωμένη χρονοσειρά., ενώ εφόσον $R < 0$ η προσαρμογή του μοντέλου θεωρείται πολύ κακή, καθώς η προσομοιωμένη χρονοσειρά είναι χειρότερη εκτιμήτρια σε σχέση με την μέση παρατηρημένη τιμή \bar{x} .

2.1.17. Επαλήθευση (verification-validation-confirmation)

Γενικά, για την επιβεβαίωση της αξιοπιστίας μιας μαθηματικής υπόθεσης ή ενός μοντέλου, χρησιμοποιούνται τρεις όροι που έχουν παρεμφερή αλλά όχι ταυτόσημη έννοια:

Verification: Η απόδειξη της αλήθειας του μοντέλου. Είναι δυνατή σε κλειστά συστήματα όπου όλες οι συνιστώσες έχουν εδραιωθεί ανεξάρτητα και είναι γνωστό ότι είναι σωστές. Σε φυσικά συστήματα ο όρος δεν είναι αποδεκτός. Χρησιμοποιείται σε μαθηματικές συνιστώσες, αλλά δεν ισχύει σε εφαρμογές αριθμητικών μοντέλων, δεδομένων των αβεβαιοτήτων των εισαγόμενων παραμέτρων, των προβλημάτων κλίμακας και την αβεβαιότητα των μετρήσεων.

Validation: Είναι «ασθενέστερος» όρος από τον προηγούμενο αφού δεν σημαίνει την απόδειξη της αλήθειας, αλλά την απόδειξη της ορθότητας σε όρους συμβάσεων, συλλογισμών και μεθόδων.

Confirmation: Είναι «ασθενέστερος» όρος από τους δύο προηγούμενους και χρησιμοποιείται όταν φαίνεται ότι η θεωρία βρίσκεται σε συμφωνία με τις εμπειρικές παρατηρήσεις. Η συμφωνία αυτή δεν εγγυάται ότι η θεωρία είναι αληθινή.

Στην υδρολογία, ο όρος επαλήθευση (validation) αναφέρεται σε μια συστηματική διαδικασία αξιολόγησης της προγνωστικής ικανότητας του μοντέλων, ώστε να διαπιστωθεί αν αποτελούν αντιπροσωπευτικές αναπαραστάσεις του συστήματος που προσομοιώνουν. Συνήθως, η επαλήθευση ενός υδρολογικού μοντέλου γίνεται για το βέλτιστο σύνολο παραμέτρων που έχει προκύψει από τη βαθμονόμηση, ελέγχοντας το ίδιο κριτήριο

προσαρμογής για μια άλλη (συνήθως μεταγενέστερη της βαθμονόμησης) χρονική περίοδο, για την οποία επίσης διατίθενται μετρημένες φορτίσεις και αποκρίσεις της λεκάνης. Η προσέγγιση είναι γνωστή ως διαχωρισμός δεδομένων (data-split), και για να έχει νόημα θα πρέπει τα χαρακτηριστικά του συστήματος να έχουν διατηρηθεί αμετάβλητα για το σύνολο της περιόδου ελέγχου του μοντέλου (περίοδος βαθμονόμησης και επαλήθευσης μαζί), ώστε να εξασφαλιστεί ότι στη λεκάνη ισχύουν συνθήκες στασιμότητας (stationarity). Διαφορετικά, οι παράμετροι πρέπει να θεωρηθούν διαχρονικά μεταβαλλόμενες, κάτι που περιορίζει δραστικά την επιχειρησιακή χρησιμότητα του μοντέλου.

Μια επιτυχής βαθμονόμηση δεν συνεπάγεται απαραίτητα επιτυχή επαλήθευση του μοντέλου. Πράγματι, η εμπειρία έχει δείξει μια πολύ καλή προσαρμογή ενός μοντέλου στα ιστορικά δεδομένα κατά την περίοδο βαθμονόμησης, δεν εγγυάται πάντα την επίδοση του μοντέλου με βάση το ίδιο κριτήριο κατά την περίοδο επαλήθευσης. Με την προϋπόθεση της στασιμότητας, αυτό σημαίνει ότι οι βελτιστοποιημένες παράμετροι του μοντέλου δεν αντιπροσωπεύουν χαρακτηριστικά του φυσικού συστήματος, αλλά το μοντέλο λειτουργεί ως «μαύρο» κουτί, υλοποιώντας μη γραμμικούς μετασχηματισμούς χωρίς φυσικό νόημα. Το φαινόμενο αναφέρεται και ως υπερ-προσαρμογή (over-fitting) του μοντέλου, και αποτελεί ένα από τα πλέον προβληματικά ζητήματα σχημάτων με μεγάλο αριθμό παραμέτρων (και συνεπώς βαθμών ελευθερίας), όπως τα νευρωνικά δίκτυα.

Υπάρχει η άποψη ότι η παραδοσιακή προσέγγιση, που βασίζεται στον διαχωρισμό των δεδομένων, δεν αποτελεί ιδιαίτερα αξιόπιστο μέτρο της προγνωστικής ικανότητας ενός μοντέλου και κατά συνέπεια δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ισχυρό τεστ για την αξιολόγηση μοντέλων με κατανεμημένη δομή. Ορισμένοι ερευνητές προτείνουν μια στρατηγική βαθμονόμησης, η οποία βασίζεται σε πολλαπλές αποκρίσεις της λεκάνης και δίνει βάρος στα ακραία υδρολογικά γεγονότα, με σκοπό να εξασφαλίσει επιτυχή επαλήθευση. Άλλοι εκφράζουν την εντελώς αντίθετη άποψη εισάγοντας ένα πλαίσιο αποτίμησης της προγνωστικής ικανότητας των μοντέλων χωρίς την συνήθη διαδικασία βαθμονόμησης, ελέγχοντας την παρατηρημένη στατιστική συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων φόρτισης (βροχόπτωση, δυνητική εξατμοδιαπνοή) και της απορροής.



Εικόνα 2.1.17. Σχηματική απεικόνιση της αλληλοεπίδρασης των παραμέτρων, διεργασιών και διαδικασιών βαθμονόμησης ενός υδρολογικού μοντέλου.

2.1.18. Σύγχρονες τάσεις υδρολογικών μοντέλων

Κατανοώντας, αρχικά, την διαφορά του δίπολου Θεωρίας-Μοντέλο όπου η θεωρία αντιπροσωπεύει μια σύνθεση της κατανόησης και μας προσφέρει μια περιγραφή των συνιστωσών του συστήματος, των μεταξύ τους διασυνδέσεων αλλά και τους συλλογισμούς που προκύπτουν από αυτά, ενώ το μοντέλο είναι μια αναλογία ή αφαίρεση που καθορίζεται διαισθητικά και χωρίς επίσημη συλλογιστική ικανότητα, μπορούμε να πλησιάσουμε στις σύγχρονες σκέψεις και τάσεις των υδρολογικών μοντέλων.

Λόγω αυτής της διαφοράς η αξιοπιστία των μοντέλων συχνά αμφισβητείται δεδομένου ότι είναι δύσκολο να αναπαραχθούν η διαδικασία μοντελοποίησης και τα αποτελέσματα. Έτσι παραδεχόμαστε πως κάθε εννοιολογικό μοντέλο είναι λάθος και κάθε μοντέλο μπορεί να διαψευστεί εάν το διερευνήσουμε με λεπτομέρεια και ορίσουμε πολύ υψηλά κριτήρια επίδοσης. Συνεπώς η επίδοση ενός μοντέλου θα πρέπει να συγκρίνεται με την αβεβαιότητα των παρατηρήσεων που διατίθενται και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η κλίμακα της εφαρμογής με κοινοοικονομικά κριτήρια

Στην σύγχρονη εποχή λοιπόν εμπλέκονται τρεις κατηγορίες επιστημόνων στην δημιουργία ενός υδρολογικού μοντέλου, προγραμματιστές, χρήστες και διαχειριστές. Δεδομένου, όμως, ότι δεν μιλούν στην ίδια επιστημονική γλώσσα, η σύγκυση μεταξύ τους έχει αποτέλεσμα σημαντική αβεβαιότητα στη λήψη αποφάσεων.

Συλλογικά και οι τρεις κατηγορίες ακολουθούν τις τάσεις που επιτάσσουν οι σύγχρονες ανάγκες της υδρολογίας, οι χαρακτηριστικότερες παραθέτονται παρακάτω.

- Λεπτομερής χωρική και χρονική κλίμακα προσομοίωσης
- Φυσική προσέγγιση(εφαρμογή σε λεκάνες χωρίς μετρήσεις;)
- Αξιοποίηση κατανεμημένης γεωγραφικής πληροφορίας
- Συνδυασμένη αναπαράσταση επιφανειακών και υπόγειων διεργασιών
- Σύζευξη με κλιματικά, διαχειριστικά και υδροδυναμικά μοντέλα
- Προσομοίωση ποιοτικών χαρακτηριστικών του νερού
- Παραγωγή πολλαπλών αποκρίσεων, σε πολλαπλές θέσεις
- Λειτουργία σε πραγματικό χρόνο (πρόγνωση)

2.1.19. Επισκόπηση υδρολογικών μεθόδων (που βρίσκονται ακόμη σε χρήση)

Model name	Author(s) (year)	Model background	Application / remarks
Rational method	Mulvany (1850)	Empirical	Peak runoff
Darcy's law	Darcy (1856)	Experimental	Flow through porous media
Dupuit's law	Dupuit (1863)	Simplified physics	Steady groundwater flow
Unit hydrograph	Sherman (1932)	Empirical	Temporal distribution of runoff
Green-Ampt model	Green & Ampt (1911)	Simplified physics	Infiltration capacity rate
	Horton (1919)	Empirical	Interception
Kostiakov equation	Kostiakov (1932)	Empirical	Infiltration
Horton equation	Horton (1933)	Empirical	Rainfall excess
Muskingum method	McCarthy & others (1935, 1936)	Semi-empirical	Flow routing
Theis equation	Theis (1935)	Physics	Unsteady flow to wells
	Horton (1939)	Semi-empirical	Overland flow
Kinematic wave	Keulegan (1944); Izzard (1944)	Simplified physics / experimental	Overland flow
Horton's laws	Horton (1945)	Empirical	Erosion, quantitative geomorphology
Cooper-Jacob method	Cooper & Jacob (1946)	Simplified physics	Aquifer properties
Thornthwaite method	Thornthwaite (1948)	Semi-empirical	Evapotranspiration
Penman method	Penman (1948)	Physics (energy balance)	Evapotranspiration
Kinematic wave	Lighthill & Whitham (1955)	Simplified physics	Flow routing
Instantaneous unit hydrograph	Nash (1957)	Theory of linear systems	Temporal distribution of runoff
Generalized unit hydrograph	Dooge (1959)	Theory of linear systems	Temporal distribution of runoff

Πίνακας 2.1.18.1/3 Επισκόπηση υδρολογικών μοντέλων που βρίσκονται ακόμη σε χρήση

Model name	Author(s) (year)	Remarks	Application
Thornthwaite-Mather model	Thornthwaite & Mather (1955)	Monthly, conceptual, lumped (soil moisture capacity is the single model parameter)	Quantification of real evapotranspiration in impervious basins with ephemeral flow
Stanford Watershed Model (SWM; now HSPF)	Crawford & Linsley (1962, 1966)	Continuous, lumped (35 parameters, most based on the basin's characteristics)	Assumed the standard simulation model in 60's and early 70's
HEC-1; actually implemented within HEC-HMS package	Hydrologic Engineering Center (1968, 1981, 2000)	Single storm event, provides multiple sub-modelling options, semi-distributed (different parameters per sub-basin), physically-based	Design of drainage systems, quantifying land-use change effects
National Weather Service – River Forecast System (NWS-RFS); also known as Sacramento model	Burnash et al. (1973)	Lumped, continuous river forecast system, with 17 parameters, typically daily time-step	Standard model for flood forecasting in USA
HBV	Bergström (1976, 1992, 1995)	Lumped, continuous, streamflow simulation, typically daily time-step	Standard model for flow forecasting in Scandinavian countries
TOPMODEL	Beven and Kirby (1976, 1979); Beven (1995)	Physically-based, distributed, continuous rainfall-runoff model; uses the concept of the "topographic index"	Suitable for catchments with shallow soils and moderate topography, and without long dry periods
Xinanjiang model	Zhao et al. (1980), Zhan & Liu (1995)	Semi-distributed, continuous simulation model, suitable for humid or semi-humid basins	Commonly used model in China for rainfall-runoff simulation, flood forecasting and water resources planning and management
Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems (CREAMS)	Knisel (1980)	Physically-based, field-scale (lumped), agricultural runoff, erosion and water quality model; both continuous and event-type	Assessment of agricultural management practices

Πίνακας 2.1.18.2/3 Επισκόπηση υδρολογικών μεθόδων (που βρίσκονται ακόμη σε χρήση)

Model name	Author(s) (year)	Remarks	Application
SFB; now replaced by AWBM (Australian Water Balance Model)	Boughton (1984); Boughton & Carroll, (1993)	Conceptual, lumped, implements a daily version for estimation of water yield and an hourly version for flood estimation; embeds automatic calibration routines	Most widely used rainfall-runoff models in Australia; recently adapted for use on ungauged catchments
Simulator for Water Resources in Rural Basins (SWRRBW)	Williams et al. (1985); Arnold et al. (1990)	Continuous, semi-distributed, runoff and sediment transport in rural watersheds	Assessment of water management decisions in ungauged rural basins in USA
Système Hydrologique Européenne (SHE); implemented within MIKE-SHE and SHETRAN packages	Abbott et al. (1986)	Physically-based, distributed (grid-based), continuous streamflow and sediment simulation (SHETRAN); detailed modelling processes in unsaturated and saturated zones; contains thousands of parameters	Standard model for hydrologic analysis in most European countries
ARNO (Arno river) model	Todini (1988, 1996)	Semi-distributed, continuous rainfall-runoff model	Commonly used rainfall-runoff model in Italy
GR2M	Makhlouf & Michel (1994)	Lumped, conceptual, with two parameters, monthly time-step	Commonly used rainfall-runoff model in France
Soil & Water Assessment Tool (SWAT)	Arnold et al. (1998)	Distributed, physically-based, continuous simulation model (embeds routines from CREAMS, SWRRBW and other models)	Assessment of impacts of land management practices on water, sediment and agricultural chemical yields in large, complex watersheds

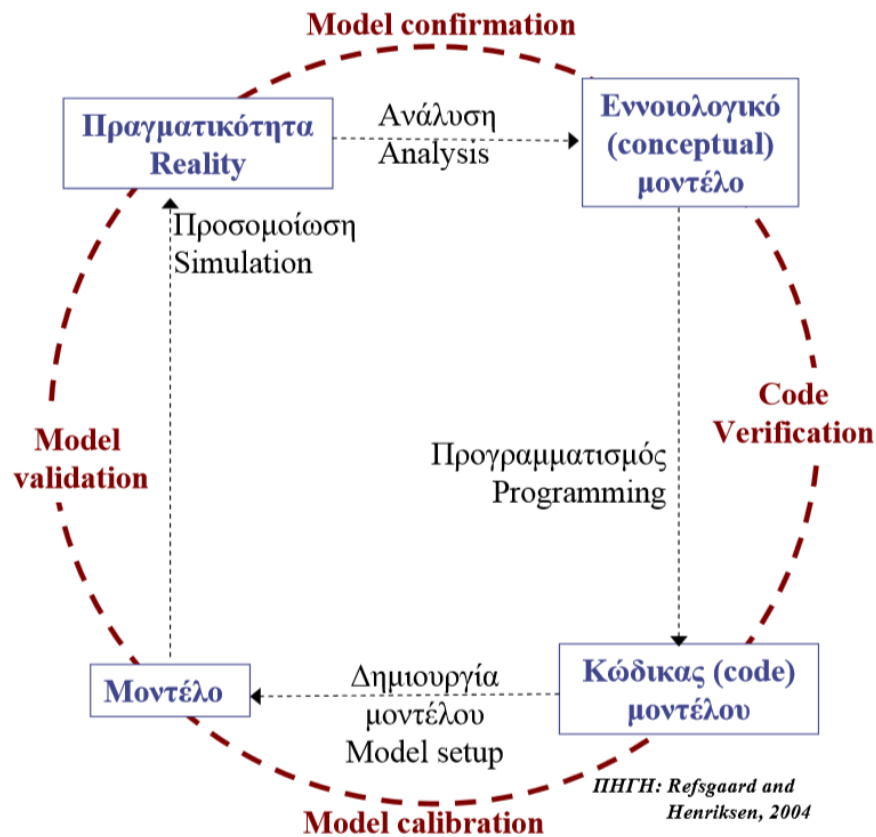
Πίνακας 2.1.18. 3/3 Επισκόπηση υδρολογικών μεθόδων (που βρίσκονται ακόμη σε χρήση)

2.1.20. Νοητική και πρακτική διαδικασία εκπόνησης μοντέλου

Κατά την προσπάθεια δημιουργίας ενός έργου ακολουθούνται κάποια φυσιολογικά βήματα, ξεκινάμε με την ενεργοποίηση του σχεδιασμού, την ένστοχη δηλαδή διαδικασία κατά την οποία αναλύουμε το πρόβλημα και η οποία ακολουθείται από τον σχεδιασμό των στόχων και κατόπιν την υλοποίηση αυτών. Στην συνέχεια ελέγχονται οι στόχοι και αξιολογείται το έργο με σκοπό την βελτιστοποίηση του.

Στην περίπτωση των μοντέλων ακολουθούνται παρόμοια βήματα αλλά λόγω της πολυπλοκότητας και των διαφορετικών επιστημών που εμπλέκονται τα διαχωρίζουμε σε δύο «κύκλους» αλληλοεπιδρώντων και συμπλεκόμενων διεργασιών.

Ο πρώτος κύκλος αφορά την ανάλυση του προβλήματος, τον σχεδιασμό και την υλοποίηση του μοντέλου, ενώ ο δεύτερος τον έλεγχο και την βελτιστοποίηση του μοντέλου. Αξίζει να σημειωθεί πως μέχρι την ολοκλήρωση της δημιουργίας του μοντέλου ίσως να είναι απαραίτητο να επαναληφθούν οι διαδικασίες αρκετές φορές μέχρι να καταλήξουμε στο επιθυμητό αποτέλεσμα.



Εικόνα 2.1.19. Σχηματική απεικόνιση εκπόνησης μοντέλου

Ορολογία :

Πραγματικότητα/Reality : Το φυσικό σύστημα ή πιο συγκεκριμένα η περιοχή μελέτης.

-Ανάλυση/Analysis: Το μοντέλο κατασκευάζεται για να μελετηθούν ορισμένες λειτουργίες του πραγματικού συστήματος. Έτσι διαχωρίζονται εκείνα τα στοιχεία του συστήματος που καθορίζουν τις συγκεκριμένες λειτουργίες από τα στοιχεία που, όσο σημαντικά και αν είναι για το πραγματικό σύστημα, αποκλείονται.

- **Εννοιολογικό (conceptual) μοντέλο:** Περιγραφή του φυσικού συστήματος με χρήση, εξισώσεων. Η αντίληψη του κατασκευαστή για τις βασικές διεργασίες και οι αντίστοιχες απλοποιήσεις και όρια που θεωρούνται αποδεκτά. Αποτελεί την επιστημονική υπόθεση θεωρία που υιοθετούμε για την μοντελοποίηση του συγκεκριμένου συστήματος.

Προγραμματισμός/Programming

- **Κώδικας (code) μοντέλου:** Μαθηματικός σχηματισμός σε μορφή προγράμματος υπολογιστή. Μπορεί να εφαρμοστεί σε διαφορετικές περιοχές αλλάζοντας τα δεδομένα εισόδου και τις παραμέτρους.

-Δημιουργία μοντέλου/Model setup: Δημιουργία ενός μοντέλου για μια συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιώντας το γενικό κώδικα. Περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των ορίων και των αρχικών συνθηκών και την εκτίμηση των τιμών των παραμέτρων από πειραματικά δεδομένα ή μετρήσεις πεδίου.

- **Μοντέλο:** Η προσαρμογή ενός μοντέλου για συγκεκριμένη περιοχή μελέτης καθώς και τα σχετικά δεδομένα εισόδου και οι τιμές των παραμέτρων

-Προσομοίωση/Simulation: Χρήση ενός επαληθευμένου μοντέλου για

- κατανόηση φυσικού συστήματος και διενέργεια προγνώσεων,
- διερεύνηση της αντίδρασης του φυσικού συστήματος σε ανθρώπινες επεμβάσεις. Η εκτίμηση της αβεβαιότητας των προγνώσεων είναι ιδιαίτερα σημαντική.

- **Model confirmation:** Προσδιορισμός της καταλληλότητας ενός μοντέλου να προσφέρει ένα αποδεκτό επίπεδο συμφωνίας για την περιοχή της σχεδιαζόμενης εφαρμογής. Η επιστημονική επιβεβαίωση της υπόθεσης-θεωρίας που είναι ενσωματωμένη στο μοντέλο.
- **Code Verification:** Τεκμηρίωση ότι ο κώδικας είναι αληθής αναπαράσταση του εννοιολογικού μοντέλου σε συγκεκριμένα όρια της εφαρμογής και τα αντίστοιχα όρια ακριβείας
- **Model Calibration:** Η διαδικασία εύρεσης των τιμών των παραμέτρων ώστε να αναπαράγει το φυσικό σύστημα μέσα στο εύρος που προσδιορίζεται από τα κριτήρια επίδοσης.
- **Model Validation:** Τεκμηρίωση ότι το μοντέλο μέσα στην περιοχή της εφαρμογής του κατέχει ένα ικανοποιητικό επίπεδο ακριβείας συμβατό με τη σχεδιαζόμενη εφαρμογή.

2.2. Αβεβαιότητες

2.2.1 Βεβαιότητα, Αβεβαιότητα, Ρίσκο.

Η λήψη αποφάσεων γίνεται στη βάση προσδοκώμενων αποτελεσμάτων που θα προκύψουν στο μέλλον. Το ερώτημα είναι εάν μπορεί να γνωρίζει κανείς τι θα συμβεί στο μέλλον. Υπάρχουν δύο ακραίες εκδοχές. Στη μια περίπτωση, κάποιος γνωρίζει με απόλυτη σιγουριά το αποτέλεσμα των ενεργειών του. Η απόφαση τότε λαμβάνεται σε συνθήκες βεβαιότητας. Στην αντίθετη ακραία εκδοχή υπάρχει απόλυτη άγνοια σχετικά με το αποτέλεσμα και η απόφαση λαμβάνεται σε συνθήκες αβεβαιότητας. Οι ενδιάμεσες καταστάσεις είναι εκείνες όπου τα αποτελέσματα είναι πιθανολογικά ενδεχόμενα. Στην περίπτωση αυτή, η απόφαση λαμβάνεται σε συνθήκες ρίσκου.

Βεβαιότητα. Λήψη αποφάσεων σε συνθήκες βεβαιότητας σημαίνει ότι είμαστε σίγουροι (ή υποθέτουμε ότι είμαστε σίγουροι) για το τι θα συμβεί στο μέλλον. Σε αυτήν την περίπτωση επιλέγουμε να πράξουμε αυτό που θα μας αποδώσει το μέγιστο όφελος. Σε πραγματικές συνθήκες, είναι αδύνατο να γνωρίζει κανείς με απόλυτη βεβαιότητα τι θα συμβεί στο μέλλον. Εάν όμως υποθέσει ότι η έκβαση είναι βέβαιη, τότε απλοποιείται σημαντικά το μοντέλο.

Ρίσκο. Αποφάσεις λαμβάνονται σε συνθήκες ρίσκου όταν στο μέλλον μπορεί να συμβεί μια σειρά από ενδεχόμενα γεγονότα. Η υπόθεση σε αυτήν την περίπτωση είναι ότι γνωρίζουμε εκ των προτέρων (ή μπορούμε να υπολογίσουμε) την πιθανότητα εμφάνισης του κάθε γεγονότος. Κάθε απόφαση μας θα αποδώσει ένα όφελος ή μια ζημία, ανάλογα με το τι θα συμβεί στο μέλλον.

Αβεβαιότητα. Όπως και στην περίπτωση του ρίσκου, στο μέλλον μπορεί να συμβούν μια σειρά από γεγονότα. Η διαφορά έγκειται στο ότι η πιθανότητα εμφάνισης του κάθε ενδεχόμενου γεγονότος δεν είναι γνωστή ούτε μπορεί να υπολογιστεί.

2.2.2 Πηγές αβεβαιότητας υδρολογικών μοντέλων

Γενικά οι πηγές αβεβαιότητας των υδρολογικών μοντέλων διακρίνονται στις εξής:

- Υδρολογική αβεβαιότητα: η αδυναμία πρόγνωσης της χρονικής εξέλιξης των υδρομετεωρολογικών διεργασιών
 - Εκτίμηση επιφανειακής βροχόπτωσης, δυνητικής εξατμοδιαπνοής και απορροής από αντίστοιχα μοντέλα
 - Σφάλματα λόγω αριθμητικών προσεγγίσεων (π.χ., συνεχείς διεργασίες αναπαρίστανται σε διακριτό χρόνο)
 - Αβεβαιότητα αρχικών και οριακών συνθηκών
 - Αβεβαιότητες διαδικασίας βαθμονόμησης
 - Μικρά σε μήκος ή μη αντιπροσωπευτικά δείγματα
 - Βέλτιστη λύση εξαρτώμενη από την επιλεχθείσα συνάρτηση προσαρμογής
 - Δυσχέρεια αλγορίθμων βελτιστοποίησης σε έντονα μη γραμμικούς χώρους
 - Δομικά σφάλματα μοντέλου
 - Υπο-παραμετροποίηση συναντάται κατά την:
 - Υπερβολικά αδρή αναπαράσταση των φυσικών διεργασιών, έως και απόκρυψη σημαντικών πτυχών του υδρολογικού κύκλου.
 - Χρήση χαμηλότερης χρονικής κλίμακας σε σχέση με αυτήν που υποστηρίζει το θεωρητικό υπόβαθρο του μοντέλου.
 - Υπερ-παραμετροποίηση συναντάται κατά την:
 - Χρήση περισσότερων παραμέτρων από όσες μπορούν να υποστηρίξουν η πολυπλοκότητα των φυσικών διεργασιών, σε συνδυασμό με τα διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα
- Και για την αντιμετώπισή των ακολουθούμε :
- Την αρχή της φειδωλής παραμετροποίησης (principle of parsimony): Ένα μαθηματικό μοντέλο που βαθμονομείται με στατιστικές μεθόδους προσαρμογής οφείλει να έχει την απλούστερη δυνατή παραμετροποίηση.
 - Τον εμπειρικό υδρολογικό κανόνα: Κάθε μεμονωμένο μέτρο προσαρμογής είναι επαρκές για την βαθμονόμηση 4 έως 6 παραμέτρων του μοντέλου.
- Σφάλματα δεδομένων εισόδου
 - Τα υδρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται ως στοιχεία εισόδου ή ελέγχου του μοντέλου διέπονται από πλήθος αβεβαιοτήτων λόγω:
 - Συστηματικών και τυχαίων σφάλματων μετρήσεων
 - Σφαλμάτων χρονικής μεταβλητότητας (υδρολογικές μεταβλητές σε συνεχή χρόνο, που εκτιμώνται από μετρήσεις σε διακριτό χρόνο)
 - Σφαλμάτων χωρικής μεταβλητότητας (ετερογενείς επιφανειακές διεργασίες που περιγράφονται από σημειακές μετρήσεις)
 - Σφαλμάτων αναγωγής της δευτερογενούς πληροφορίας σε πρωτογενή (π.χ. στάθμη σε παροχή, θερμοκρασία σε εξάτμιση, κλπ.).

- Γενικά, έχει παρατηρηθεί ότι η ευαισθησία των μοντέλων επηρεάζεται σημαντικά από την χωρική μεταβλητότητα της βροχόπτωσης.
- Σημαντική συνιστώσα αβεβαιότητας αποτελεί η εκτίμηση της συνεισφοράς της χιονόπτωσης στο υδατικό δυναμικό ορεινών λεκανών.
- Η επάρκεια των δεδομένων εξαρτάται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από την αντιπροσωπευτικότητα παρά το μήκος της υδρολογικής πληροφορίας.
- Ακαταλληλότητα μέτρων προσαρμογής

Το μέτρο προσαρμογής που χρησιμοποιείται στη βελτιστοποίηση πρέπει να είναι συμβατό με την στατιστική δομή των υπολοίπων,

$$e_t = y_t - y_t'$$

Το μέσο τετραγωνικό σφάλμα, που συχνά (και αβίαστα) υιοθετείται ως τυπικό στατιστικό μέτρο βαθμονόμησης, υποθέτει ότι τα υπόλοιπα:

- Ακολουθούν κανονική κατανομή, με μηδενική μέση τιμή
- Είναι ομοσκεδαστικά, δηλαδή διατηρούν σταθερή διασπορά
- Είναι ασυσχέτιστα στον χώρο και τον χρόνο.

Κατά κανόνα, καμία από τις παραπάνω υποθέσεις δεν ικανοποιείται, ενώ η υπόθεση της ομοσκεδαστικότητας παραβιάζεται εξορισμού, λόγω της διαδικασίας κατασκευής των σχέσεων στάθμης-παροχής.

Αν ζητείται η προσαρμογή του μοντέλου σε πολλαπλές μετρημένες αποκρίσεις ή/και σε πολλαπλά χαρακτηριστικά κάθε απόκρισης, τότε συνηθίζεται η διατύπωση ενός «καθολικού» μέτρου επίδοσης, με συνάθροιση των επιμέρους μέτρων σε μια αυθαίρετη αριθμητική έκφραση, που αποκρύπτει σημαντικές πτυχές του προβλήματος.

Συνοψίζοντας, η διατύπωση της κατάλληλης παραμετροποίησης βασίζεται στην υδρολογική εμπειρία, σε συνδυασμό με την καλή γνώση των χαρακτηριστικών του συστήματος, και επιπλέον από:

- τις φυσικές διεργασίες που κρίνονται σημαντικές για την ορθή αναπαράσταση του συστήματος
- τη χωρική και χρονική κλίμακα των διεργασιών
- την υδρολογική πληροφορία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διατύπωση του απαιτούμενου αριθμού μέτρων καλής προσαρμογής
- τους χρονικούς περιορισμούς της βελτιστοποίησης

2.3.0. Μοντέλο διαχείρισης ταμιευτήρων

2.3.1. Έργα ανάπτυξης και αξιοποίησης υδατικών πόρων

Τα έργα αξιοποίησης των άμεσα διαθέσιμων υδατικών πόρων ,που αποτελούν έργα χωρίς σημαντικές επεμβάσεις στη φυσική δίαιτα του υδατικού δυναμικού, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες- σκοπούς:

- στις υδροληψίες από επιφανειακούς υδατικούς πόρους (πηγές, ποτάμια, λίμνες)
- και στις υδροληψίες υπόγειων υδάτων (πηγάδια, γεωτρήσεις)

Ενώ τα έργα ανάπτυξης των ολικών διαθέσιμων υδατικών πόρων, δηλαδή του συνολικά εκμεταλλεύσιμου υδατικού δυναμικού, μετά από σημαντικές επεμβάσεις στη φυσική δίαιτα, με την κατασκευή μεγάλων υδραυλικών έργων, διακρίνονται :

- στους ταμιευτήρες, για τη συγκέντρωση των επιφανειακών νερών και ρύθμιση της δίαιτάς τους σε υπερετήσια, ετήσια ή εποχιακή κλίμακα·
- στα έργα εκτροπής υδατικού δυναμικού από μια περιοχή σε άλλη·
- στα έργα εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων
- στα έργα μεταφοράς και διανομής του νερού
- στα έργα μεταφοράς νερού από τις πηγές έως τις παρυφές της περιοχής της κατανάλωσης (υδραγωγεία, αντλιοστάσια)
- στα δίκτυα διανομής νερού στους καταναλωτές (δίκτυα ύδρευσης, αρδευτικά δίκτυα).

2.3.2. Αξιοποίηση υδατικού δυναμικού λεκάνης απορροής

Τα απλά έργα υδροληψίας αξιοποιούν μικρό μόνο ποσοστό της ετήσιας απορροής, καθώς δεν έχουν δυνατότητα αποθήκευσης των πλημμυρικών ροών (αξιοποιούν μόνο μέρος της βασικής απορροής του ποταμού). Έτσι για την ουσιαστική αξιοποίηση των επιφανειακών υδατικών πόρων, απαιτείται η κατασκευή φραγμάτων, που επιτρέπουν την αποθήκευση νερού, επιτυγχάνοντας έτσι χρονική αναρρύθμιση της ροής. Επειδή, όμως, ακόμα και σε μεγάλους ταμιευτήρες, δεν είναι δυνατή η αξιοποίηση του συνόλου της απορροής, λόγω των φυσικών απωλειών νερού (εξάτμιση, υπερχειλίση, διαφυγές) και άλλων περιορισμών.

Έτσι η αξιοποίηση των υδατικών πόρων μιας λεκάνης αποτιμάται σε όρους ασφαλούς απόδοσης, που ορίζεται ως η ποσότητα νερού που μπορεί να ληφθεί από ένα έργο αξιοποίησης με δεδομένα χαρακτηριστικά (π.χ. χωρητικότητα), για δεδομένο επίπεδο αξιοπιστίας.

2.3.3. Οι έννοιες της ασφαλούς απόδοσης και αξιοπιστίας

Η **αξιοπιστία** (reliability) αποτελεί θεμελιώδες μέγεθος ενός συστήματος υδατικών πόρων, και ορίζεται ως η πιθανότητα επίτευξης ενός συγκεκριμένου στόχου ή επίδοσης, για καθορισμένο χρονικό διάστημα και για καθορισμένες συνθήκες του συστήματος,

Συμπληρωματική της έννοιας της αξιοπιστίας, r , είναι η πιθανότητα αστοχίας:

$$\alpha = 1 - r = P(X < x^*)$$

όπου X τυχαία μεταβλητή που εκφράζει την πραγματική επίδοση που επιτυγχάνεται κατά το χρονικό διάστημα ελέγχου (π.χ., εκροή για ύδρευση, άρδευση, παραγωγή ενέργειας, κτλ.) και η x^* αντίστοιχη τιμή-στόχος που καλείται ασφαλής απόδοση (safe yield) ή, ειδικότερα:

- αν πρόκειται για ζήτηση νερού, καλείται **ασφαλής απόληψη** (safe release)
- αν πρόκειται για ζήτηση ενέργειας, καλείται **πρωτεύουσα ενέργεια** (firm energy)

Σε ένα σύστημα υδατικών πόρων, η πραγματική επίδοση X είναι τυχαία μεταβλητή, επειδή διάφορες συνιστώσες ή διεργασίες του διέπονται από αβεβαιότητα.

2.3.4. Βασικές παραδοχές

- Λαμβάνεται υπόψη μόνο η υδρολογική αβεβαιότητα, ενώ οι άλλες πηγές αβεβαιότητας του συστήματος αγνοούνται.
- Οι υδρολογικές εισροές αντιμετωπίζονται ως τυχαίες μεταβλητές, τα στατιστικά χαρακτηριστικά των οποίων θεωρείται ότι δεν μεταβάλλονται διαχρονικά (υπόθεση στασιμότητας, stationarity).
- Όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά μεγέθη του συστήματος είναι σταθερά (υπόθεση μόνιμων συνθηκών, steady state).

2.3.5. Φράγματα και ταμιευτήρες: βασικές έννοιες

Φράγμα: Τεχνικό έργο που κατασκευάζεται εγκάρσια στην κοίτη ενός ποταμού, με σκοπό τη δημιουργία χώρου αποθήκευσης των απορροών της ανάντη λεκάνης (ταμιευτήρας).

Υδροληψία: Τεχνικό έργο εισόδου που τοποθετείται σε κατάλληλο υψόμετρο (αρκετά ψηλότερα από τον πυθμένα) και συνδέεται με τα έργα προσαγωγής του νερού.

Υπερχειλιστής: Τεχνικό έργο που τοποθετείται χαμηλότερα από τη στέψη του φράγματος και επιτρέπει την ομαλή διοχέτευση των πλημμυρικών παροχών, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος υπερπήδησης του φράγματος.

2.3.6. Χαρακτηριστικά μεγέθη ταμιευτήρα

Κατώτατη στάθμη λειτουργίας (ΚΣΛ): Ελάχιστη τιμή στάθμης νερού στον ταμιευτήρα, πάνω από την οποία μπορεί να παραληφθεί νερό από την υδροληψία

Ανώτατη στάθμη λειτουργίας (ΑΣΛ): Μέγιστη στάθμη απολήψεων

- υψόμετρο στέψης υπερχειλιστή (ελεύθερος υπερχειλιστής, χωρίς θυροφράγματα)
- υψόμετρο άνω παρειάς θυροφραγμάτων (Υ/Η ταμιευτήρας, με εκχειλιστή)

Ανώτατη στάθμη πλημμύρας (ΑΣΠ): Μέγιστη στάθμη που εκτιμάται ότι μπορεί να ανέλθει το νερό στη διάρκεια της πλημμύρας σχεδιασμού του υπερχειλιστή

Ελεύθερο ύψος: υψομετρική διαφορά μεταξύ ΑΣΠ και στέψης φράγματος (περιθώριο ασφάλειας για κυματισμούς, κτλ.)

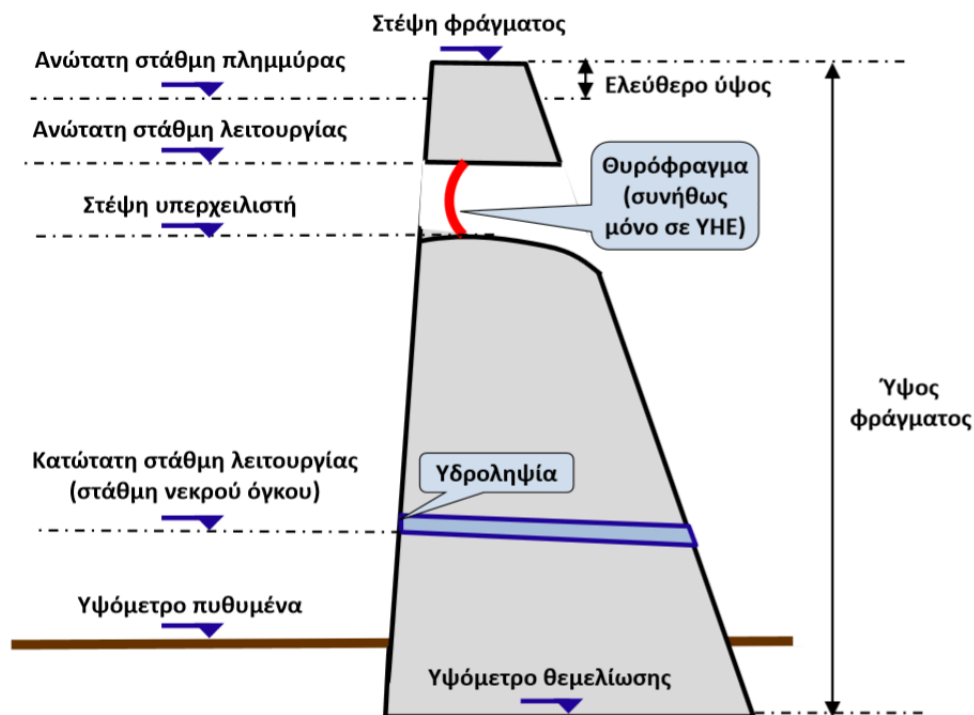
Νεκρός όγκος: Όγκος ταμιευτήρα μέχρι την ΚΣΛ, που στο πέρας της ζωής του έργου προβλέπεται να καταληφθεί από φερτά (μη απολήψιμο απόθεμα)

Ωφέλιμο απόθεμα: Όγκος νερού που μπορεί να αξιοποιηθεί για διάφορες χρήσεις, που υπολογίζεται αφαιρώντας το νεκρό όγκο από το συνολικό απόθεμα

Ωφέλιμη χωρητικότητα: Μέγιστος απολήψιμος όγκος νερού (μέγιστο ωφέλιμο απόθεμα), που ορίζεται ως η διαφορά αποθέματος μεταξύ της ΑΣΛ και της ΚΣΛ

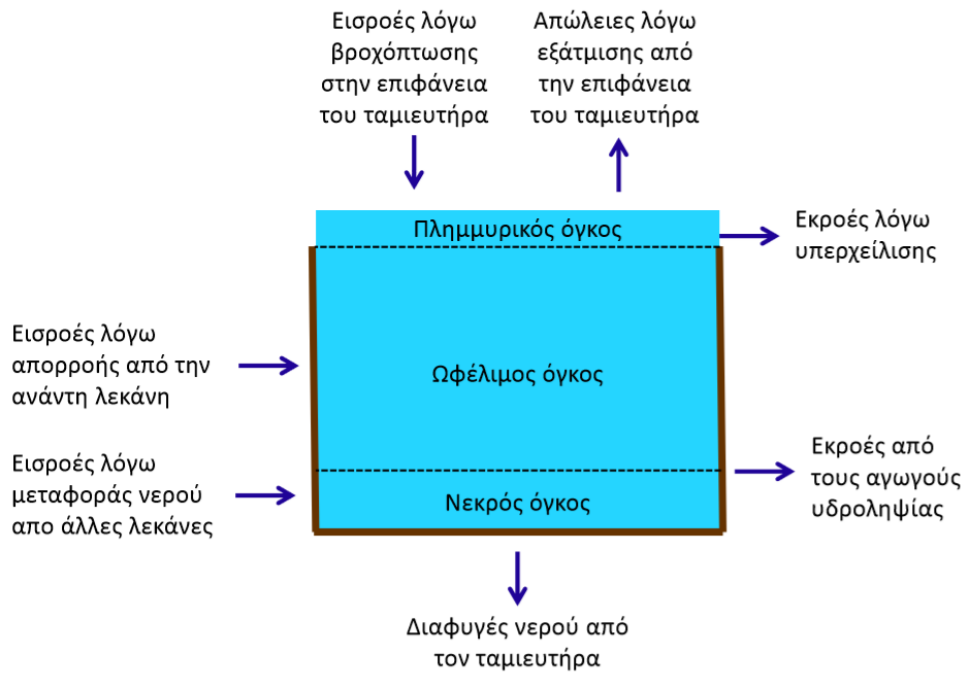
Μικτή χωρητικότητα: Συνολική χωρητικότητα ταμιευτήρα στην ΑΣΛ (= άθροισμα ωφέλιμης χωρητικότητας και νεκρού όγκου)

Πλημμυρικός όγκος: Μέγιστος όγκος πλημμύρας που μπορεί να ανασχεθεί στον ταμιευτήρα, θεωρώντας την ΑΣΛ κατά την έναρξη της πλημμύρας σχεδιασμού



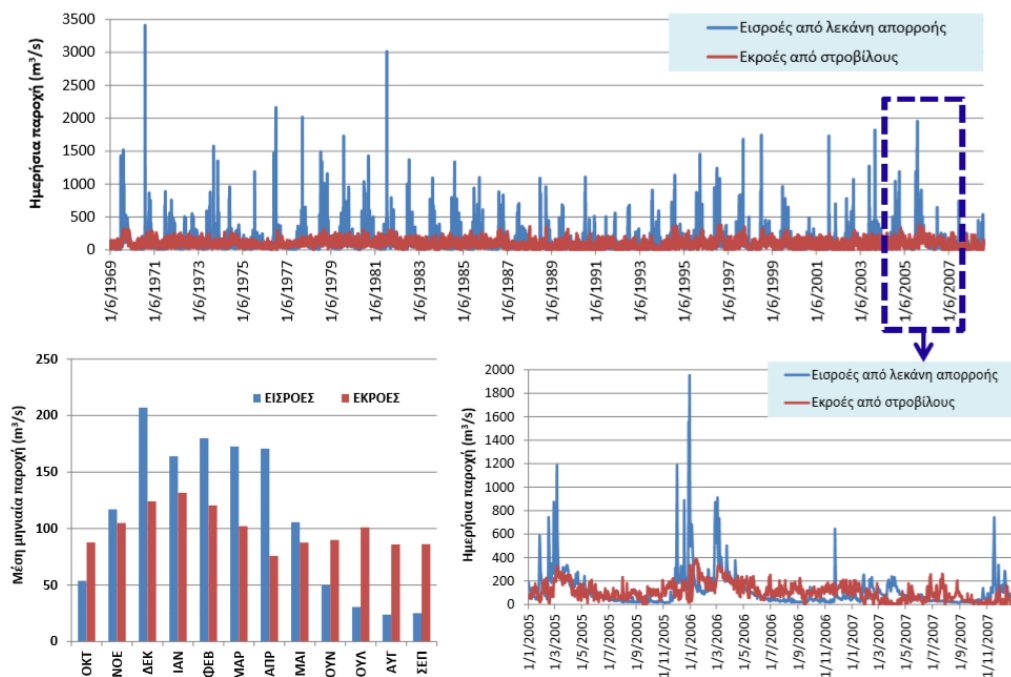
Α. Ευστρατιάδης, Υδατικοί πόροι και έργα αξιοποίησης

Εικόνα 2.3.6. Χαρακτηριστικά υψομετρικά μεγέθη.



Α. Ευστρατιάδης, Υδατικοί πόροι και έργα αξιοποίησης

Εικόνα 2.3.6. Υδατικό ισοζύγιο ταμιευτήρα.



Α. Ευστρατιάδης, Υδατικοί πόροι και έργα αξιοποίησης

Εικόνα 2.3.6. Ο αναρρυθμιστικός ρόλος των φραγμάτων.

2.3.7. Μοντέλα βέλτιστης διαχείρισης ταμιευτήρων

Η διαχείριση των ταμιευτήρων βασίζεται στη θεωρία ανάλυσης συστημάτων, που περιλαμβάνει την προσομοίωση και τη βελτιστοποίηση. Η προσομοίωση είναι ποσοτική μέθοδος, που αναπαριστά τη συμπεριφορά του συστήματος, ενώ η βελτιστοποίηση είναι μαθηματική τεχνική που αξιολογεί εναλλακτικές λύσεις με βάση κάποιον αλγόριθμο

(Loucks et al., 1981, Yeh, 1985, Maidment, 1993, Wurbs, 1993, 1995, Μιμίκου, 1994, Mays, 1996, Mays and Tung, 1996).

Ένα μοντέλο προσομοίωσης είναι μια αναπαράσταση του συστήματος και χρησιμοποιείται για να προβλέψει τη συμπεριφορά του κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες (Wurbs, 1995). Η βελτιστοποίηση είναι συνώνυμη του μαθηματικού προγραμματισμού (mathematical programming) (Wurbs, 1995) και αναφέρεται σε μια μαθηματική διαδικασία, στην οποία χρησιμοποιείται ένας κατάλληλος αλγόριθμος για τον εντοπισμό των τιμών μιας ομάδας μεταβλητών απόφασης (decision variables) οι οποίες ελαχιστοποιούν ή μεγιστοποιούν μια αντικειμενική συνάρτηση, κάτω από ορισμένους περιορισμούς. Ενώ τα μοντέλα βελτιστοποίησης αυτόματα επιδιώκουν την εύρεση των βέλτιστων τιμών των μεταβλητών απόφασης, τα μοντέλα προσομοίωσης περιορίζονται στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς του συστήματος για δεδομένες τιμές των μεταβλητών.

Το πρόβλημα του σχεδιασμού και κυρίως της λειτουργίας συστημάτων ταμιευτήρων αποτελεί κατεξοχήν πρόβλημα βελτιστοποίησης. Οι τεχνικές βελτιστοποίησης προσφέρουν τη δυνατότητα της λήψης αποφάσεων, οι οποίες να μεγιστοποιούν ή ελαχιστοποιούν ορισμένες υπό περιορισμούς αντικειμενικές συναρτήσεις, υπό την προϋπόθεση ότι το σύστημα μπορεί να περιγραφεί μαθηματικά. Η βελτιστοποίηση μπορεί να αποδειχθεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την επίλυση των προβλημάτων λειτουργίας των ταμιευτήρων. Παράλληλα με αυτά τα προβλήματα, τα οποία λίγο έως πολύ έχουν διερευνηθεί, ένα επίσης σημαντικό πρόβλημα έχει σχέση με την επιλογή της αντικειμενικής συνάρτησης. Μπορεί κανείς να ελαχιστοποιήσει το κόστος, να μεγιστοποιήσει τα κέρδη, να ελαχιστοποιήσει τις αποκλίσεις από κάποια ιδανική κατάσταση, να μεγιστοποιήσει κάποια συνάρτηση ωφελιμότητας, να μεγιστοποιήσει την απόδοση των καλλιεργειών ή ακόμα να εισέρχεται σε προγραμματισμό πολλαπλών στόχων (multi-objective programming). Η αλήθεια είναι ότι ανεξάρτητα από τον τύπο μοντέλου που χρησιμοποιείται και πόσο πολύπλοκο είναι αυτό, τα αποτελέσματά του εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο της αντικειμενικής συνάρτησης που χρησιμοποιείται, καθώς και την ακρίβεια με την οποία έχουν περιγραφεί στη συνάρτηση αυτή οι στόχοι και περιορισμοί.

Η επίλυση των προβλημάτων βελτιστοποίησης της λειτουργίας ταμιευτήρων είναι μια δύσκολη και επίπονη διαδικασία λόγω του μεγάλου αριθμού των μεταβλητών απόφασης, της στοχαστικής φύσης των υδρολογικών συνιστωσών, της μη γραμμικής δυναμικής των συστημάτων καθώς και της αβεβαιότητας ως προς τις τιμές των παραμέτρων. Για την επίλυση των προβλημάτων αυτών έχουν αναπτυχθεί διάφορες μαθηματικές μέθοδοι, που σε συνδυασμό με την αλματώδη ανάπτυξη των διαθέσιμων υπολογιστικών εργαλείων, παρέχουν ένα μεγάλο φάσμα επιλογών.

Η επιλογή της προσφορότερης μεθόδου εξαρτάται από τον τύπο της αντικειμενικής συνάρτησης, τη μορφή των περιορισμών, τον αριθμό των μεταβλητών απόφασης και των χαρακτηριστικών του προβλήματος (γραμμικότητα, στοχαστικότητα, ομογένεια, διακριτοποίηση, χρονική μεταβλητότητα κλπ.). Η βέλτιστη διαχείριση ενός ταμιευτήρα, που προμηθεύει νερό για σκοπούς παραγωγής ενέργειας, αποσκοπεί συνήθως στη μεγιστοποίηση της αξίας της παραγόμενης ενέργειας, με κατάλληλη χρονική ρύθμιση των

εκροών, κάτω από περιορισμούς, όπως είναι το ισοζύγιο νερού του ταμιευτήρα, οι ζητήσεις νερού σε κάθε χρονικό διάστημα, η περιβαλλοντική παροχή του νερού κ.λπ.

Η ανάπτυξη των μοντέλων βελτιστοποίησης άρχισε κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου για την επίλυση προβλημάτων, που αφορούσαν στρατιωτικά θέματα. Η υποδομή που αναπτύχθηκε χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια στη βιομηχανία. Ίδιες τεχνικές βελτιστοποίησης αποτέλεσαν σημαντικά εργαλεία και σε άλλους επιστημονικούς τομείς, μεταξύ των οποίων και στη διαχείριση των υδατικών πόρων και συγκεκριμένα, στη βελτιστοποίηση της λειτουργίας ταμιευτήρων. Για ένα πρόβλημα λειτουργίας ταμιευτήρα, οι μεταβλητές απόφασης μπορούν να είναι οι εκροές, ήτοι ποσότητες του νερού που «απελευθερώνονται» (release rates) ή οι αποθηκευμένοι όγκοι νερού στο τέλος της περιόδου ελέγχου (end-of-period storage volumes). Οι περιορισμοί είναι συνήθως η χωρητικότητα του ταμιευτήρα και άλλα φυσικά χαρακτηριστικά του συστήματος ταμιευτήρας – υδατόρευμα.

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν διάφορα μοντέλα βελτιστοποίησης, οι κριτήρια επίδοσης των οποίων εξαρτώνται από τη σκοπιμότητα του ταμιευτήρα (χορήγηση νερού για ύδρευση ή άρδευση, παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, έλεγχο πλημμύρας κ.λπ.).

Σε προβλήματα χορήγησης νερού, τα κριτήρια που εισάγονται στην αντικειμενική συνάρτηση μπορούν να είναι:

- Μεγιστοποίηση του οφέλους από τη χορήγηση νερού.
- Ελαχιστοποίηση των ελλειμμάτων νερού.
- Ελαχιστοποίηση των υπερχειλίσεων.
- Ελαχιστοποίηση των απωλειών εξάτμισης.

Η τεχνική βελτιστοποίησης που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα διαχειριστικό πρόβλημα ή πρόβλημα σχεδιασμού εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος ταμιευτήρων που εξετάζεται, από τα διαθέσιμα δεδομένα και από την αντικειμενική συνάρτηση και τους περιορισμούς. Σε γενικές γραμμές, οι διαθέσιμες τεχνικές βελτιστοποίησης μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις γενικές κατηγορίες (Yeh, 1985, Mays, 1996).

1. **Γραμμικός προγραμματισμός** (Linear Programming, LP), που περιλαμβάνει και τον στοχαστικό γραμμικό προγραμματισμό (Stochastic LP).
2. **Δυναμικός προγραμματισμός** (Dynamic Programming, DP), που περιλαμβάνει το διακριτό διαφορικό δυναμικό προγραμματισμό (Discrete Differential Dynamic Programming, DDDP), το στοχαστικό δυναμικό προγραμματισμό (Stochastic Dynamic Programming, SDP), το διαφορικό δυναμικό προγραμματισμό (Differential Dynamic Programming, DDP) και τον προσδιοριστικό δυναμικό προγραμματισμό (Deterministic Dynamic Programming, DDP).

Μη γραμμικός προγραμματισμός (Nonlinear Programming, NLP).

3. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η περιοχή μελέτης και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον συνδυασμό του υδρολογικού με το διαχειριστικό μοντέλο.

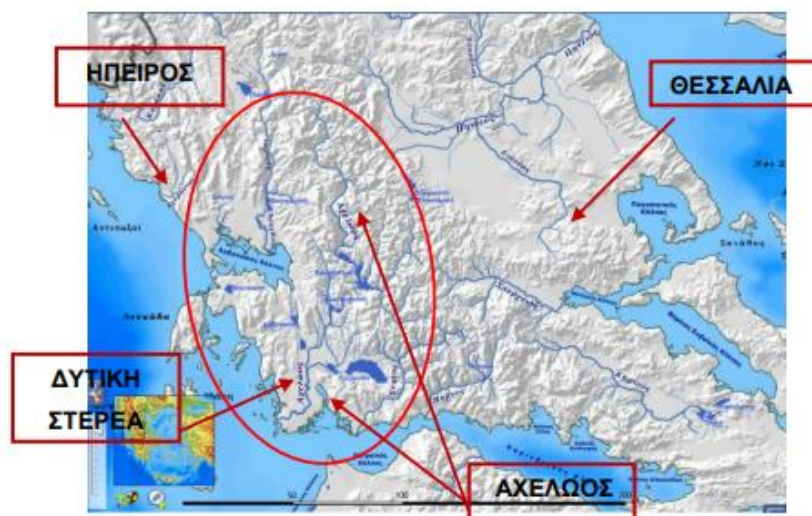
3.1.0. Περιοχή Μελέτης



Εικόνα 3.1.0. Γενική διάταξη υδροσυστήματος

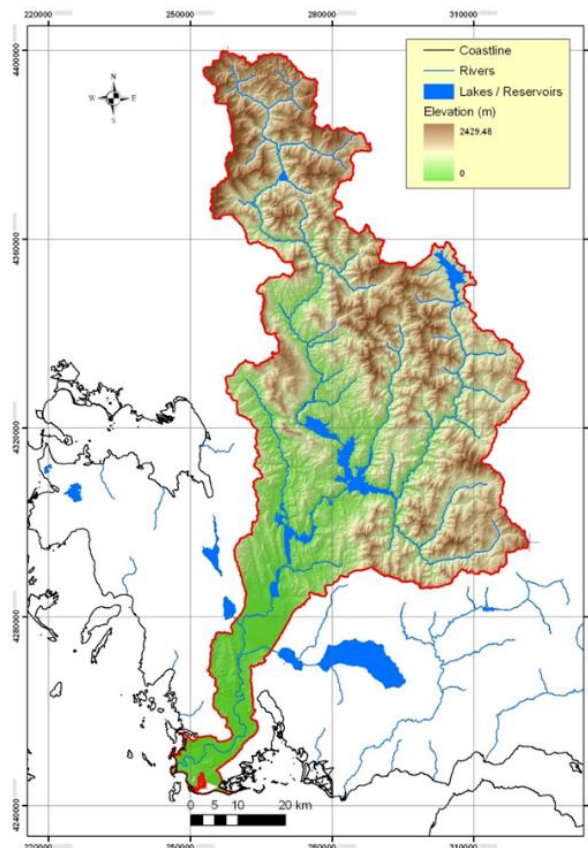
3.1.1. Γεωγραφία

Η περιοχή μελέτης είναι η λεκάνη απορροής ανάντη του φράγματος της Μεσοχώρας, στον άνω ρου του Αχελώου. Ο Αχελώος πηγάζει από την οροσειρά της Πίνδου στα σύνορα Θεσσαλίας-Ηπείρου και συγκεκριμένα από το όρος Περιστέρι (Λάκμων) σε ύψος 1800 m. Έχει μήκος 220 km περίπου και γενική κατεύθυνση από βορρά προς νότο τέμνοντας την οροσειρά της Πίνδου.



Εικόνα 3.1.1.: Γεωγραφική θέση Αχελώου

Οριοθετεί την Ήπειρο από τη Θεσσαλία, διασχίζει το όριο των νομών Ευρυτανίας και Αιτωλοακαρνανίας, διαχωρίζει την Αιτωλία από την Ακαρνανία διασχίζοντας διαδοχικά τις λίμνες Κρεμαστών, Καστρακίου και Στράτου. Αρδεύει την πεδιάδα του Αγρινίου. Εκβάλλει στο Ιόνιο πέλαγος και με τις προσχώσεις του έχει σχηματίσει τα νησιά Εχινάδες. Στη ροή του προς το Ιόνιο δέχεται τα νερά των παραποτάμων του Αγραφιώτη, Ταυρωπού ή Μέγδοβα, Τρικεριώτη και Ινάχου. Σήμερα οι τρεις πρώτοι, που είναι και οι κυριότεροι, χύνονται στην τεχνητή λίμνη των Κρεμαστών και ο τέταρτος στην τεχνητή λίμνη του Καστρακίου. Θεωρείται ο πλουσιότερος σε νερά γηγενής ποταμός της Ελλάδας, με μέση ετήσια παροχή της τάξης των $150 \text{ m}^3/\text{s}$. (που αντιστοιχεί σε μέση ετήσια απορροή περίπου $4.7 \times 10^9 \text{ m}^3$).



Εικόνα 3.1.1.: : Λεκάνη ποταμού Αχελώου

Η κοιλάδα του Αχελώου (GR 2110005) εντάσσεται στο δίκτυο «NATURA 2000» και το σύμπλεγμα των εκβολών του Αχελώου μαζί με τις λιμνοθάλασσες Μεσολογγίου-Αιτωλικού ως περιοχές μεγάλης οικολογικής και αισθητικής αξίας προστατεύονται από τη διεθνή σύμβαση RAMSAR. Η συνολική έκταση της λεκάνης απορροής του Αχελώου ανέρχεται σε 4.860 km^2 και το μέγιστο πλάτος ροής του φθάνει τα 90 m.

3.1.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου της Μεσοχώρας

Το υδροηλεκτρικό έργο στη Μεσοχώρα είναι το πρώτο από μια σειρά έργων που σχετίζονται με το σχέδιο μερικής εκτροπής του Αχελώου στη Θεσσαλία. Η υπολεκάνη ανάντη της θέσης του φράγματος έχει έκταση 633 km^2 . Στην έξοδο της υπολεκάνης έχει κατασκευαστεί το λιθόρριπτο φράγμα με ανάντη πλάκα από σκυρόδεμα, ύψους 135 m. Ο

ταμιευτήρας προβλέπεται να έχει ωφέλιμη χωρητικότητα 228 hm^3 ενώ καπάντη του φράγματος έχει κατασκευαστεί σήραγγα μήκους 7.5 km και διαμέτρου 5.0 m (με αγωγό πτώσης μήκους 0.5 km και διαμέτρου 4.3 m) καθώς και υδροηλεκτρικός σταθμός στη θέση Γλύστρα, εγκατεστημένης ισχύος 160 MW ($2 \times 80 \text{ MW}$).

Η κατασκευή του ξεκίνησε το έτος 1986 και ολοκληρώθηκε με την ολοκλήρωση και του σταθμού Γλύστρας τον Απρίλιο του 2001. Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι το έργο στη Μεσοχώρα είναι αμιγώς ενεργειακό, δεν προβλέπεται να χρησιμοποιηθούν τα νερά της τεχνητής λίμνης για ύδρευση ή άρδευση παρά μόνο για ενέργεια. Τα νερά μετά την είσοδό τους στον σταθμό επαναδιοχετεύονται στον Αχελώο.



Εικόνα 3.1.1. : Το φράγμα της Μεσοχώρας

Πρόκειται για ένα υδροενεργειακό έργο που μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα, ταυτόσημο με τα ήδη υπάρχοντα στον κάτω ρου του ποταμού, το φράγμα των Κρεμαστών, του Καστρακίου, του Στράτου. Μετά την τελευταία απόφαση του ΣτΕ του 2013 το έργο διαχωρίστηκε ευκρινώς από την 2^η εκτροπή των νερών του Αχελώου και δρομολογήθηκε η αποπεράτωσή του. Το έργο αποτελείται

- I) από το φράγμα Μεσοχώρας (λιθόρριπτο, ύψους 135 m)
- II) τη σήραγγα προσαγωγής και (μήκους 7.5 km και διαμέτρου 5.0 m)
- III) τον Υδροηλεκτρικό Σταθμό Γλύστρας (εγκατεστημένης ισχύος $2 \times 80 = 160 \text{ MW}$)

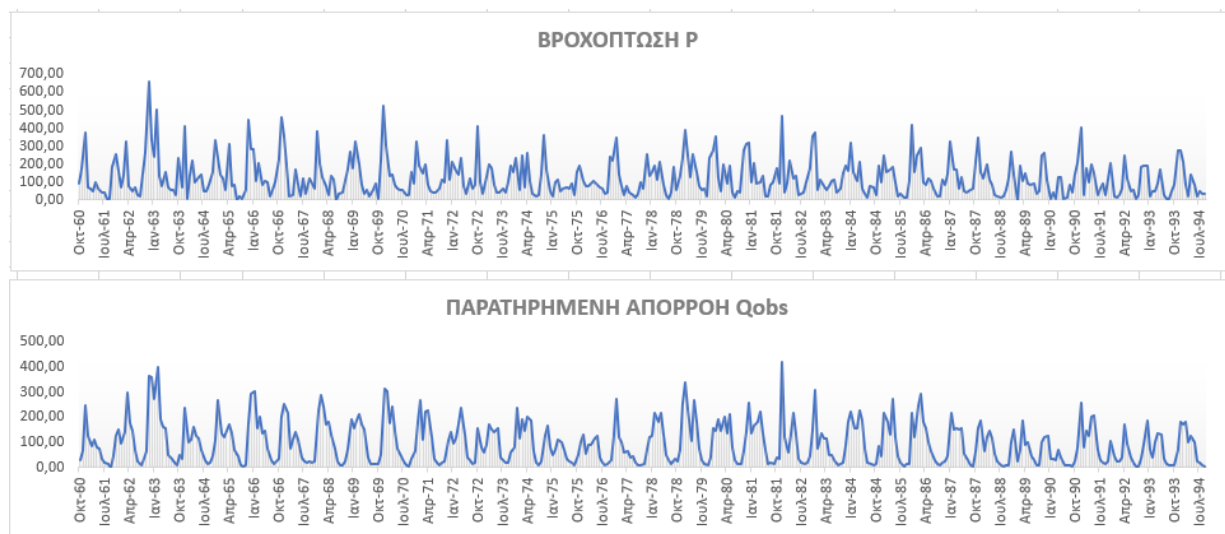
3.2.0. Δεδομένα εισόδου

3.2.1. Υδρολογικές χρονοσειρές

Πίνακας 3.2.1.: Στατιστικά χαρακτηριστικά χρονοσειρών απορροής και βροχόπτωσης στην λεκάνη απορροής ανάντη του φράγματος της Μεσοχώρας για τα υδρολογικά έτη 1960-61 έως 1993-94.

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ P ανά μήνα						
	MIN	MAX	ΑΥΤΟΣΥΧ.	ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ	ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.	Μ.Ο
ΟΚΤ	3,917	408,850	0,049	0,745	89,810	159,964
ΝΟΕ	64,780	662,460	0,016	1,180	129,369	239,206
ΔΕΚ	16,740	525,483	0,066	0,164	131,503	243,331
ΙΑΝ	0,000	389,667	0,341	0,434	108,042	143,777
ΦΕΒ	18,917	506,783	0,240	1,635	97,163	149,202
ΜΑΡ	7,333	325,983	-0,262	0,725	70,705	118,653
ΑΠΡ	26,467	311,083	0,086	0,967	72,541	128,581
ΜΑΪ	29,167	192,333	0,080	0,258	41,972	96,369
ΙΟΥΝ	5,667	138,533	0,149	0,885	32,390	51,509
ΙΟΥΛ	0,000	117,300	0,085	0,862	32,457	41,415
ΑΥΓ	4,660	89,780	0,072	0,481	23,769	41,809
ΣΕΠ	2,220	179,917	0,168	0,782	43,184	62,673

ΠΑΡΑΤΗΡΗΜΕΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗ Qobs ανά έτος						
	MIN	MAX	ΑΥΤΟΣΥΧ.	ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΑ	ΤΥΠ. ΑΠΟΚΛ.	Μ.Ο
ΟΚΤ	9,600	154,800	0,214	2,076	32,479	39,850
ΝΟΕ	22,000	362,300	0,163	1,859	65,863	107,929
ΔΕΚ	46,100	421,300	0,291	0,240	91,596	196,168
ΙΑΝ	22,200	340,000	0,628	0,488	89,902	151,621
ΦΕΒ	23,800	401,700	0,444	1,139	77,126	144,047
ΜΑΡ	26,100	299,500	0,298	0,133	56,669	148,500
ΑΠΡ	63,400	274,500	0,596	0,245	54,633	160,850
ΜΑΪ	37,300	210,700	0,652	-0,098	44,753	123,179
ΙΟΥΝ	9,800	78,500	0,496	0,036	18,296	49,532
ΙΟΥΛ	6,300	43,400	0,260	0,192	7,580	22,706
ΑΥΓ	3,900	20,500	0,246	0,339	4,231	11,588
ΣΕΠ	0,500	35,600	-0,003	1,235	8,277	12,547



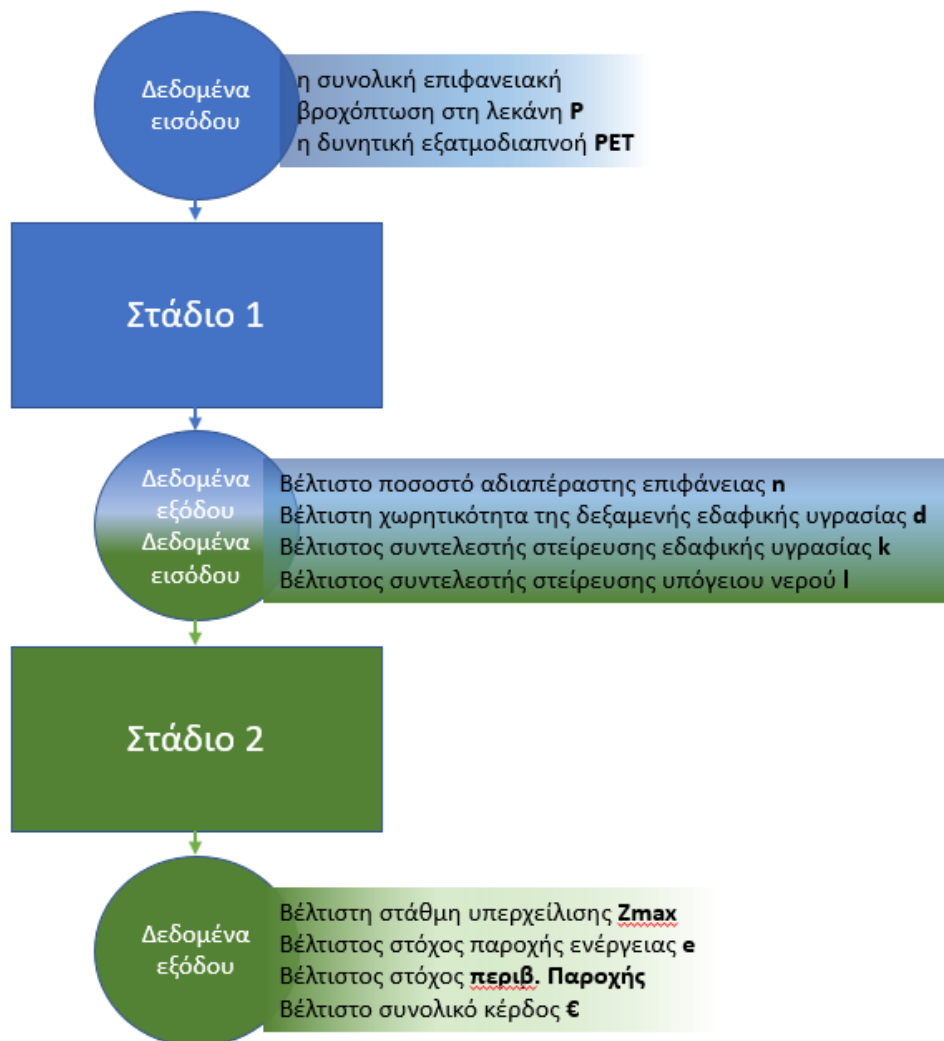
Διάγραμμα 3.2.1. : Διαγράμματα χρονοσειρών δεδομένων

3.2.2. Δεδομένα φράγματος

Το υδροηλεκτρικό έργο της Μεσοχώρας, στον άνω ρου του Αχελώου, περιλαμβάνει ταμιευτήρα, με ελάχιστη και μέγιστη στάθμη λειτουργίας +731m και +770 m, αντίστοιχα, και σταθμό παραγωγής που αποτελείται από δύο στροβίλους τύπου Francis, εγκατεστημένης ισχύος 160 MW. Προκειμένου να μεγιστοποιηθεί το διαθέσιμο ύψος πτώσης, ο σταθμός έχει τοποθετηθεί σε απόσταση 7.5 km από το φράγμα. Η προσαρμογή του νερού γίνεται μέσω σήραγγας παροχετευτικότητας 85 hm³/μήνα, ενώ το υψόμετρο εξόδου της διώρυγας φυγής είναι +550 m.

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

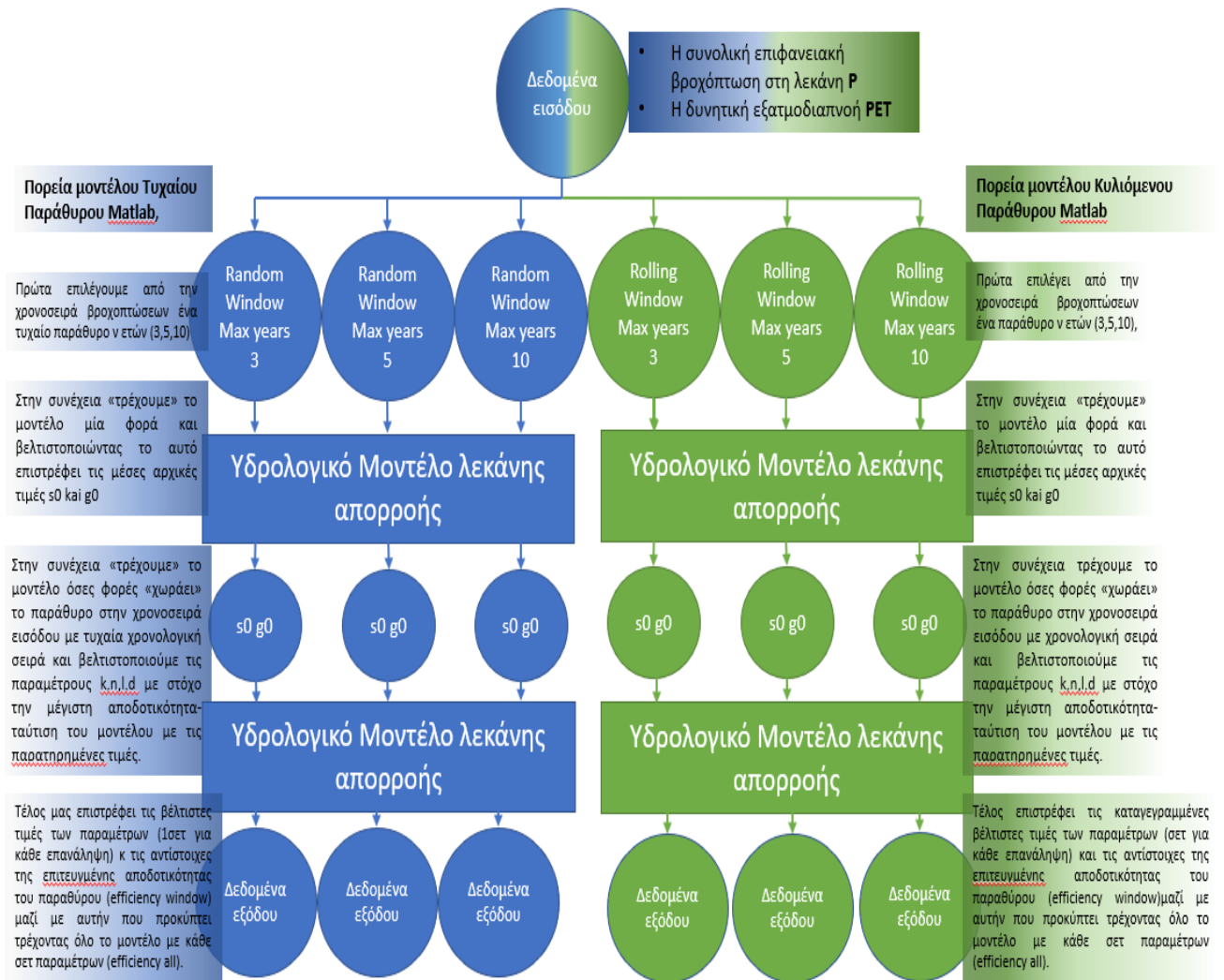
Με σκοπό την συσχέτιση της επιρροής των αβεβαιοτήτων των παραμέτρων του υδρολογικού μοντέλου της λεκάνης απορροής ανάντη του φράγματος στην βελτιστοποίηση των παραμέτρων του διαχειριστικού μοντέλου του ταμιευτήρα χωρίσαμε την εργασία σε δύο προβλήματα, αυτό της βαθμονόμησης των παραμέτρων του υδρολογικού μοντέλου (Στάδιο 1) και σε αυτό της βελτιστοποίησης των μεγεθών σχεδιασμού και διαχείρισης του υδροηλεκτρικού ταμιευτήρα, χρησιμοποιώντας τις προσομοδιωμένες εξόδους του πρώτου (Στάδιο 2). Μέσω αυτής της μεθοδολογίας προσπαθήσαμε να κρατήσουμε συνδεδεμένο το εκάστοτε σετ βελτιστοποιημένων παραμέτρων του υδρολογικού μοντέλου με τα αντίστοιχα δεδομένα εισόδου του διαχειριστικού μοντέλου, με απώτερο σκοπό την έμμεση σύνδεση των πρώτων με τα δεδομένα εξόδου του τελευταίου. Σύνδεση που μας θα μας επιτρέψει στο τέλος να εντοπίσουμε τις επιθυμητές συσχετίσεις-επιδράσεις των αβεβαιοτήτων στη λήψη αποφάσεων που αφορούν στον σχεδιασμό και προγραμματισμό του ταμιευτήρα.



Εικόνα 4.0.0. Σχηματική απεικόνιση μεθοδολογίας

4.1.0.Στάδιο 1: Στοχαστική βαθμονόμηση υδρολογικού μοντέλου

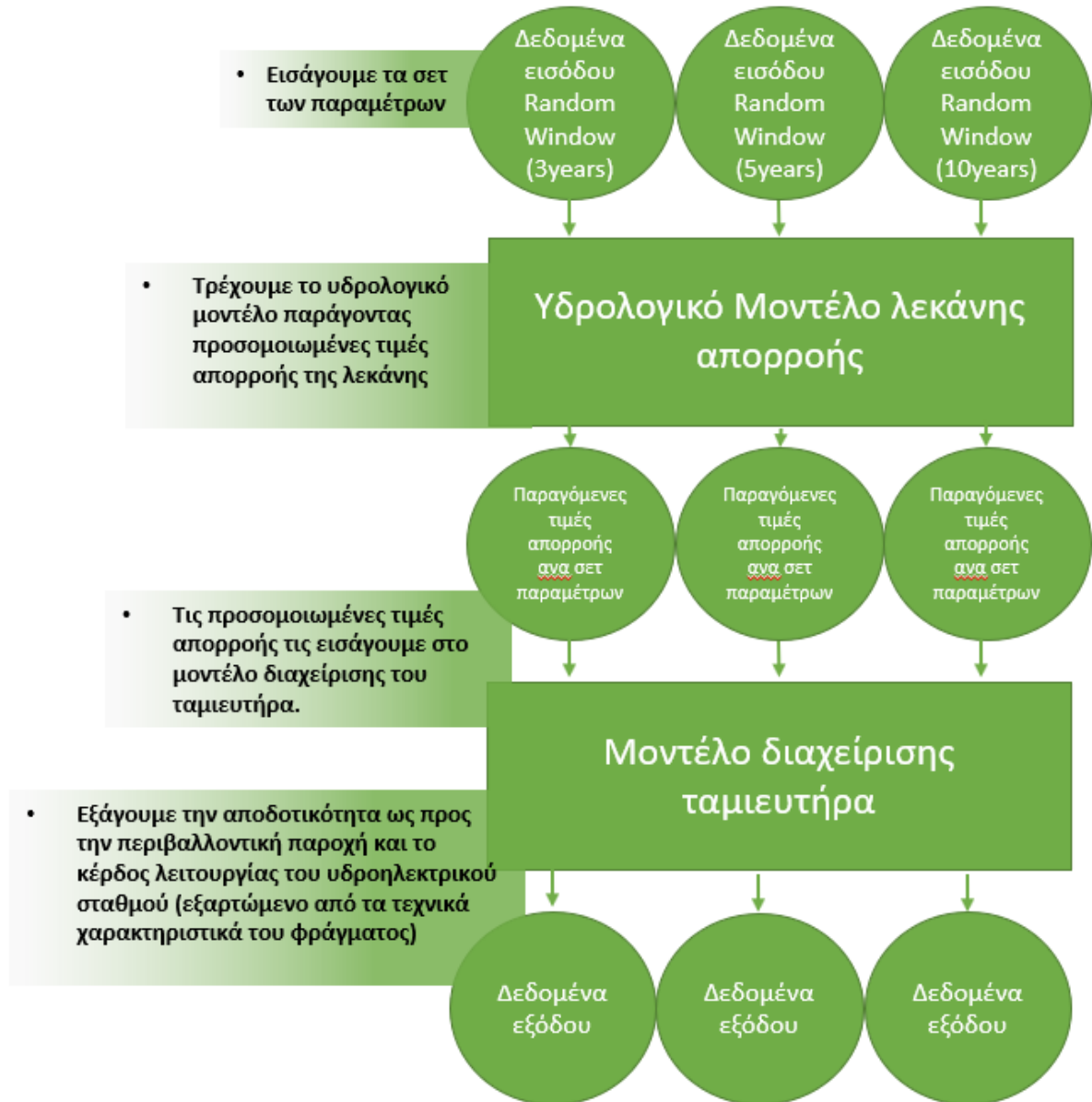
Στο πρώτο στάδιο χωρίσαμε τις χρονοσειρές εισόδου σε 3 χρονικά παράθυρα (3, 5, 10 ετών) και δύο μεθόδους εναλλαγής των παραθύρων μέσα στο σύνολο των χρονοσειρών και βαθμονομήσαμε το υδρολογικό μοντέλο, βελτιστοποιώντας τις παραμέτρους για κάθε χρονικό διάστημα.



Εικόνα 4.1.0. Σχηματική απεικόνιση μεθοδολογία Σταδίου 1

4.2.0. Στάδιο 2: Βελτιστοποίηση λειτουργίας ταμιευτήρα με σενάρια εισροών

Στο δεύτερο στάδιο εισαγάγαμε τα δεδομένα εισόδου που προέκυψαν από το Στάδιο 1 στο διαχειριστικό μοντέλο και βελτιστοποιήσαμε τις παραμέτρους σχεδιασμού και διαχείρισης του ταμιευτήρα.



Εικόνα 4.2.0. Σχηματική απεικόνιση μεθοδολογίας Σταδίου 2

5. ΑΝΑΠΤΥΞΗ - ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ Υ/Η ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

Υπάρχουν περιπτώσεις, όπου το πραγματικό σύστημα είναι τόσο περίπλοκο ή χαρακτηρίζεται από τέτοια στοιχεία αβεβαιότητας, ώστε είναι αδύνατον ή είναι πάρα πολύ δύσκολο να αποτυπωθεί πλήρως σε μαθηματικές σχέσεις και σε μοντέλα βελτιστοποίησης. Σε αυτές τις περιπτώσεις κατασκευάζεται ένα λογισμικό, το οποίο μιμείται τη συμπεριφορά του πραγματικού συστήματος, αναπαριστώντας με μαθηματικό τρόπο τη λειτουργία τμημάτων του πραγματικού συστήματος, καθώς και την αλληλεπίδραση αυτών των τμημάτων. Το λογισμικό αυτό αποτελεί ένα μοντέλο, που προσομοιάζει τη συμπεριφορά του συστήματος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διεξαγωγή πειραμάτων. Ο χρήστης τροφοδοτεί το μοντέλο με διάφορες τιμές για τις μεταβλητές εισόδου και παρατηρεί τις αντιδράσεις και τη συμπεριφορά του μοντέλου.

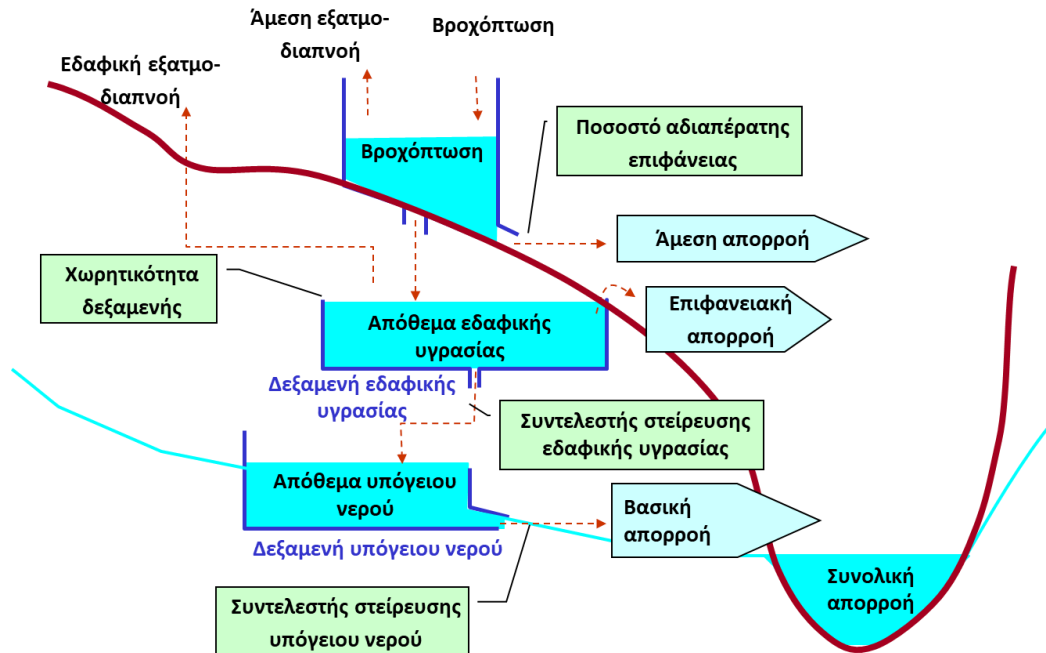
Στο κεφάλαιο αυτό παραθέτονται η ανάπτυξη του υδρολογικού μοντέλου (Στάδιο 1), η διαδικασία βαθμονόμησης που εφαρμόστηκε και η ανάπτυξη του διαχειριστικού μοντέλου.

5.1.0. Ανάπτυξη υδρολογικού μοντέλου

Είδαμε πως ως **υδρολογικό μοντέλο** νοείται ένα σύνολο εξισώσεων διακριτού, συνήθως, χρόνου, που χρησιμοποιεί δεδομένα πεδίου και εύλογες υποθέσεις σχετικά με τις διεργασίες του υδρολογικού κύκλου και τις αλληλεπιδράσεις τους, με στόχο την ποσοτική εκτίμηση των μεταβλητών ενδιαφέροντος. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα στάδια ανάπτυξης και γίνεται αναλυτική περιγραφή του μοντέλου που καταστρώσαμε για τις ανάγκες της εργασίας.

5.1.1. Κατάσρωση υδρολογικού μοντέλου

Το υδρολογικό μοντέλο που επιλέξαμε για την προσομοίωση της λεκάνης απορροής, και διακρίνεται στο παρακάτω σχήμα, αφορά αδιαμέριστο εννοιολογικό μοντέλο υδατικού ισοζυγίου στο οποίο η παραγωγή της απορροής στην έξοδο της λεκάνης πραγματοποιείται με εφαρμογή διαδοχικών μετασχηματισμών της βροχόπτωσης, μέσω ενός συστήματος διασυνδεδεμένων δεξαμενών.



Εικόνα 5.1.1.(1) Σχηματική απεικόνιση υδρολογικού μοντέλου

Οι μεταβλητές εισόδου του μοντέλου είναι

- η συνολική επιφανειακή βροχόπτωση στη λεκάνη P και
- η δυνητική εξατμοδιαπνοή PET ,

ενώ έξοδοι του μοντέλου είναι :

- Το απόθεμα εδαφικής υγρασίας S,
- Το απόθεμα δεξαμενής υπόγειου νερού G
- Η **πραγματική εξατμοδιαπνοή E**, που επιμερίζεται σε
 - ο άμεση εξατμοδιαπνοή ED
 - ο και εδαφική εξατμοδιαπνοή Es
- Η **συνολική απορροή Q**, Που επιμερίζεται σε
 - ο άμεση απορροή QD ,
 - ο επιφανειακή απορροή Qs ,
 - ο και βασική απορροή QB

Όλες οι μεταβλητές εκφράζονται σε ισοδύναμα ύψη και δίνονται σε μηνιαίο χρονικό βήμα.

Οι παράμετροι του μοντέλου είναι :

- το **ποσοστό αδιαπέραστης επιφάνειας n v** , που εκφράζει το τμήμα της βροχόπτωσης που απορρέει επιφανειακά, χωρίς να διεισδύσει στο έδαφος.
- Η **χωρητικότητα της δεξαμενής εδαφικής υγρασίας d K** , που εκφράζει την μέγιστη αποθηκευτική ικανότητα της ακόρεστης ζώνης του εδάφους.
- Ο **συντελεστής στείρευσης εδαφικής υγρασίας k κ** , που εκφράζει το ποσοστό του νερού που διακινείται από την δεξαμενή εδαφικής υγρασίας προς την δεξαμενή υπόγειου νερού, δηλαδή το νερό που ρέει από την ακόρεστη προς την κορεσμένη ζώνη του εδάφους (κατείσδυση)

- Ο συντελεστής στέρησης υπόγειου νερού $I \lambda$, που εκφράζει το ποσοστό του υπόγειου νερού που απορρέει ως βασική απορροή στο υδρογραφικό δίκτυο.

Σε κάθε χρονικό βήμα (μήνα) t θεωρούνται γνωστά

- η βροχόπτωση $P(t)$
- η δυνητική εξατμοδιαπνοή $PE(t)$, καθώς και
- η αποθήκευση των δεξαμενών εδαφικής υγρασίας $S(t-1)$ και
- υπόγειου νερού $G(t-1)$

Αρχικά ποσοστό ν της βροχόπτωσης μετατρέπεται σε άμεση απορροή, $QD(t)$, ενώ ποσοστό λ του αποθηκευμένου υπόγειου νερού $G(t-1)$ απορρέει ως βασική απορροή $QB(t)$.

Η περίσσεια της βροχόπτωσης $\Delta P(t) = P(t) - QD(t)$ συγκρίνεται με την δυνητική εξατμοδιαπνοή $PE(t)$.

Εφόσον $\Delta P(t) > PE(t)$, η άμεση εξατμοδιαπνοή $ED(t)$ ταυτίζεται με την δυνητική και η ποσότητα $\Delta P(t) - PE(t)$ αποθηκεύεται στη δεξαμενή εδαφικής υγρασίας. Εφόσον έχει κορεσθεί το έδαφος, η περίσσεια $QS(t)$ (δηλαδή η υπερχειλίση της δεξαμενής) απορρέει επιφανειακά. Αντίθετα στην περίπτωση που το περίσσειμα βροχής $\Delta P(t)$ είναι μικρότερο από την δυνητική εξατμοδιαπνοή, όλη η ποσότητα της βροχόπτωσης μετατρέπεται σε άμεση εξατμοδιαπνοή, ενώ επιπλέον εξατμίζεται μέρος της αποθηκευμένης υγρασίας (εφόσον υπάρχει) ως εδαφική εξατμοδιαπνοή, $Es(t)$. Η εδαφική εξατμοδιαπνοή είναι ανάλογη της υπολειπόμενης ζήτησης για εξατμοδιαπνοή και του λόγου πλήρωσης της δεξαμενής εδαφικής υγρασίας, και υπολογίζεται μέσω της σχέσης :

$$Es(t) = S(t-1) \{ 1 - \exp[\Delta P(t) - PE(t)] / K \}$$

Η δεξαμενή υπόγειου νερού τροφοδοτείται από την δεξαμενή εδαφικής υγρασίας, με ποσότητα ανάλογη (συντελεστής στέρησης κ) του αποθηκευμένου νερού.

Η τελική αποθήκευση $G(t)$ προκύπτει προσθέτοντας στην αποθήκευση του προηγούμενου μήνα $G(t-1)$ την ποσότητα που διεισδύει από την ακόρεστη ζώνη, και αφαιρώντας τη βασική απορροή.

Η συνολική απορροή στην έξοδο της λεκάνης υπολογίζεται προσθέτοντας την άμεση, την επιφανειακή και την βασική απορροή.

Για την κατανόηση και την δημιουργία του μοντέλου αρχικά χρησιμοποιήσαμε το excel

Μεταβλητές εισόδου				Ξεδοί μοντέλου				Παράμετροι Μοντέλου													
<ul style="list-style-type: none"> η συνολική επιφανειακή βροχόπτωση στη λεκάνη Ρ η δυναμική εξατμοδιαπνοή PET 				<ul style="list-style-type: none"> Το απόθεμα εδαφικής υγρασίας S Το απόθεμα δεξαμενής υπόγειου νερού G Η πραγματική εξατμοδιαπνοή E άμεση εξατμοδιαπνοή ED εδαφική εξατμοδιαπνοή Es Η συνολική απορροή Q <ul style="list-style-type: none"> ο άμεση απορροή QD ο επιφανειακή απορροή Qs βασική απορροή QB 				<ul style="list-style-type: none"> Ποσοστό αδιαπεραστής επιφάνειας n 0,5377 Χωρητικότητα της δεξαμενής εδαφικής υγρασίας d 548,92 Συντελεστής στέρησης εδαφικής υγρασίας k 0,1069 Συντελεστής στέρησης υπόγειου νερού l 1,4838 													
Μήνας	Βροχόπτωση P	Δυναμική εξατμοδιαπνοή PET	Παρ/μένη απορροή Qobs(mm)	QD	DP	ED	Sinit	QS	S	ES	S	Ginit	GS	Gfinal	QG	G	Sfinal	E	Q		
1960/10	91,58	46,24	28,40	49,25	42,34	42,34	86,45	0,00	86,45	0,61	85,84	4,80	9,17	13,97	7,12	6,85	76,66	42,95	56,37		
1960/11	169,67	25,76	65,00	91,24	78,43	25,76	180,85	0,00	180,85	0,00	180,85	6,85	19,33	26,18	10,17	16,01	161,53	25,76	101,40		
1960/12	378,02	25,92	248,30	203,27	174,74	25,92	362,19	0,00	362,19	0,00	362,19	16,01	38,71	54,72	23,76	30,96	323,48	25,92	227,03		
1961/01	67,65	28,16	124,30	36,38	31,27	28,16	382,91	0,00	382,91	0,00	382,91	30,96	40,92	71,88	45,94	25,94	341,99	28,16	82,32		
1961/02	58,10	27,84	85,10	31,24	26,86	26,86	395,71	0,00	395,71	0,71	395,00	25,94	42,21	68,16	38,50	29,66	352,79	27,84	69,74		
1961/03	43,78	42,64	111,10	23,54	20,24	20,24	393,26	0,00	393,26	16,05	377,22	29,66	40,31	69,98	44,01	25,96	336,90	36,25	67,56		
1961/04	600,00	54,64	54,64	54,64	45,06	45,06	427,03	0,00	427,03	7,46	419,56	76,96	44,84	70,80	48,52	34,78	374,74	52,51	90,94		
1961/05	64,63	92,24	74,40	34,76	29,88	29,88	434,49	0,00	434,49	49,36	385,13	32,28	41,16	73,44	47,90	25,54	343,97	79,24	82,65		
1961/06	500,00	135,28	59,36	21,52	18,51	18,51	380,36	0,00	380,36	81,05	299,31	25,34	32,03	57,60	37,00	19,70	207,26	59,36	59,43		
1961/07	40,17	178,16	16,30	21,60	18,57	18,57	305,02	0,00	305,02	88,68	216,34	19,70	23,12	42,82	29,23	13,59	193,22	107,25	50,83		
1961/08	400,00	141,30	32,50	2,51	2,15	2,15	197,33	0,00	197,33	30,15	167,18	15,59	15,75	29,34	20,17	9,18	131,03	52,30	22,67		
1961/09	2,22	98,64	0,50	1,19	1,03	1,03	133,68	0,00	133,68	25,77	109,91	9,18	11,75	20,92	13,61	7,31	98,16	24,88	14,81		
1961/10	300,00	80,24	83,50	90,36	82,80	86,24	227,74	0,00	227,74	0,00	227,74	7,31	24,28	31,59	10,84	20,75	202,95	45,24	107,20		
1961/11	250,00	80,24	127,50	134,78	125,80	125,80	344,38	0,00	344,38	0,00	344,38	20,75	36,82	57,57	30,79	26,79	307,75	25,76	165,57		
1961/12	200,00	80,24	150,00	88,49	75,50	75,50	409,38	0,00	409,38	0,00	409,38	31,59	43,47	70,51	38,70	0,81	365,80	25,92	128,03		
1962/01	70,00	80,24	150,00	54,64	48,16	48,16	409,38	0,00	409,38	0,00	409,38	43,47	55,36	81,65	50,67	380,89	28,16	83,53			
1962/02	100,00	80,24	150,00	54,64	48,16	48,16	409,38	0,00	409,38	0,00	409,38	55,36	67,25	93,51	420,77	27,84	118,08				
1962/03	30,90	80,24	150,00	54,64	48,16	48,16	409,38	0,00	409,38	0,00	409,38	67,25	79,14	105,38	490,26	42,64	293,16				
1962/04	4,90	80,24	150,00	40,28	34,62	34,62	559,50	10,58	548,92	20,02	528,90	41,48	56,52	80,01	61,55	400,45	472,38	112,41			
1962/05	45,85	92,24	178,16	24,66	21,19	21,19	514,77	0,00	514,77	66,63	448,14	36,45	47,89	84,35	54,09	30,26	400,25	87,81	78,75		
1962/06	69,23	135,28	70,90	37,23	32,00	32,00	464,26	0,00	464,26	87,35	376,91	30,26	40,28	70,54	44,89	25,64	336,63	119,35	82,12		
1962/07	35,07	178,16	32,30	13,48	11,50	11,50	350,81	0,00	350,81	100,10	250,62	25,64	26,78	52,43	38,05	14,38	223,84	120,77	51,53		

Εικόνα 5.1.1. (2) Αποτύπωση του μοντέλου στο excel

Αποτελεσματικότητα (efficiency):

Αφού έχουμε εκτιμήσει την απορροή Q από το μοντέλο, υπολογίζουμε την αποτελεσματικότητά του συγκρίνοντας τη διασπορά των σφαλμάτων του μοντέλου προς τη διασπορά των παρατηρημένων τιμών. Ο σχετικός δείκτης λαμβάνει τιμές από $-\infty$ μέχρι 1 (τέλεια προσαρμογή). Η τιμή $EFF = 0$ υποδηλώνει ότι η μέση τιμή των παρατηρήσεων, δηλαδή η στοιχειώδης πρόγνωση $y_i = \mu_y$, είναι ισοδύναμη εκτιμήτρια με το μοντέλο

$$EFF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_i')^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \mu_y)^2}$$

												Efficiency :	
												0,619314266	
												Eff = 1 - (Sum[(Qobs - Q)^2] / Sum[(Qobs - AvgQ)^2])	
												Sum[(Qobs - Q)^2]	Sum[(Qobs - AvgQ)^2]
												1080085,90	2837211,39
(y-y') ² (Qobs-Q) ²	(y-ym) ² (Qobs-Qavg) ²	y-y' Qobs-Q	log(qobs)	log(qsim)	(y-y') ²	(y-ym) ²	(qobs) ²	(qsim) ²	(y-y') ²	(y-ym) ²	(Qobs - Q) ²	(Qobs - AvgQ) ²	
782,24	4757,75	-27,97	1,45	1,75	0,09	0,10	806,56	3177,41	5620952,39	244283349,59	782,24	4757,75	
1325,09	1048,24	-36,40	1,81	2,01	0,04	0,00	4225,00	10282,32	36691177,92	149111610,88	1325,09	1048,24	
452,29	22777,91	21,27	2,39	2,36	0,00	0,39	61652,89	51543,94	102190864,23	2044555699,64	452,29	22777,91	
1762,66	724,88	41,98	2,09	1,92	0,03	0,11	15450,49	6775,92	75248093,54	971479,35	1762,66	724,88	
236,00	150,71	15,36	1,93	1,84	0,01	0,03	7242,01	4863,34	5658094,42	84531778,58	236,00	150,71	
1896,07	188,34	43,54	2,05	1,83	0,05	0,08	12343,21	4563,84	60518657,42	16751965,64	1896,07	188,34	
111,17	288,20	-10,54	1,91	1,96	0,00	0,02	6464,16	8270,74	3263721,30	99440116,27	111,17	288,20	
68,10	527,92	-8,25	1,87	1,92	0,00	0,01	5535,36	6831,35	1679598,23	118826710,72	68,10	527,92	
682,61	4105,79	-26,13	1,52	1,77	0,06	0,06	1108,89	3531,55	5869279,32	234924179,33	682,61	4105,79	
1192,00	6573,39	-34,53	1,21	1,71	0,24	0,31	265,69	2583,21	5370899,83	261483017,23	1192,00	6573,39	
95,48	7136,27	-9,77	1,11	1,36	0,06	0,43	166,41	514,00	120819,99	264703675,63	95,48	7136,27	
204,70	9385,05	-14,31	-0,30	1,17	2,17	4,29	0,25	219,26	47966,37	270138036,97	204,70	9385,05	
4007,41	2859,73	-63,30	1,64	2,03	0,15	0,02	1927,21	11492,72	91498921,16	210508658,57	4007,41	2859,73	
1456,67	901,41	-38,17	2,11	2,22	0,01	0,11	16230,76	27412,23	125025327,91	42175,41	1456,67	901,41	
482,59	2769,24	21,97	2,18	2,11	0,00	0,17	22500,00	16392,23	37304821,79	36770561,59	482,59	2769,24	
95,46	16,62	9,77	1,97	1,92	0,00	0,04	8704,89	6977,18	2984991,90	59772018,12	95,46	16,62	
557,74	1964,58	23,62	2,15	2,07	0,01	0,15	20078,89	13943,73	37640204,86	13269725,77	557,74	1964,58	
40,18	40853,92	6,34	2,48	2,47	0,00	0,50	89700,25	85943,30	14114688,93	5367631789,35	40,18	40853,92	
4107,11	6260,53	64,09	2,25	2,05	0,04	0,23	31152,25	12636,74	342824029,03	216564290,29	4107,11	6260,53	
4685,92	2482,38	68,45	2,17	1,90	0,07	0,16	21667,84	6200,96	239224281,90	27370825,94	4685,92	2482,38	
125,98	701,00	-11,22	1,85	1,91	0,00	0,01	5026,81	6744,34	2949895,78	130172503,44	125,98	701,00	
854,25	5636,48	-29,23	1,35	1,71	0,13	0,18	497,29	2655,09	4656081,04	254046509,60	854,25	5636,48	
521,56	7582,31	-22,84	1,01	1,52	0,26	0,57	106,09	1098,10	984089,67	266670092,73	521,56	7582,31	
3583,10	3828,70	-59,86	1,55	1,98	0,18	0,05	1260,25	9093,34	61357245,84	230307228,14	3583,10	3828,70	

Εικόνα 5.1.1. (3) Αποτύπωση του μοντέλου στο excel – υπολογισμός αποδοτικότητας

5.2.0. Βαθμονόμηση υδρολογικού μοντέλου

Στο πλαίσιο της βαθμονόμησης του υδρολογικού μοντέλου ακολουθήσαμε την μέθοδο της αυτόματης βαθμονόμησης ακολουθώντας τα εξής βήματα:

Βήμα 1. Επιλέξαμε τις παραμέτρους (μεταβλητές ελέγχου) του μοντέλου θ .

Βήμα 2. Επιλέξαμε ένα δείγμα παρατηρήσεων (παράθυρο ετών) ως προς τις αποκρίσεις y , για χρονικό ορίζοντα T .

Βήμα 3. Διαμορφώσαμε ένα βαθμωτό μέτρο προσαρμογής g μεταξύ των προσομοιωμένων, y' , και των παρατηρημένων, y , χρονοσειρών απόκρισης.

Βήμα 4. Ορίσαμε το πεδίο αναζήτησης θ των παραμέτρων, που κατά κανόνα δίνεται με τη μορφή άνω και κάτω ορίων τους.

Βήμα 5. Διατυπώσαμε το πρόβλημα μη γραμμικής βελτιστοποίησης:

$$\max g(\theta), \theta \in \Theta$$

Βήμα 6. Με εφαρμογή ενός αλγορίθμου μη γραμμικής βελτιστοποίησης, εντοπίσαμε τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων, θ^* .

5.2.1. Μαθηματικό πλαίσιο βαθμονόμησης

$$\begin{aligned} \max \mathbf{g}(\mathbf{e}) &= \mathbf{g} [\mathbf{y} - \mathbf{h}(\mathbf{s}_0, \mathbf{x}, \boldsymbol{\theta})] \\ \text{s.t. } \boldsymbol{\theta} &\in \Theta \end{aligned}$$

όπου

$\mathbf{g}(\cdot)$ ένα σύνολο μέτρων καλής προσαρμογής (goodness-of-fit), $\Theta \subset \mathbb{R}^p$ ο εφικτός χώρος, και

\mathbf{e} διάνυσμα σφάλματος ή αλλιώς υπόλοιπο (residual) του μοντέλου, που ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ των παρατηρημένων και προσομοιωμένων αποκρίσεων, δηλαδή

$$\mathbf{e} = \mathbf{y} - \mathbf{y}'$$

Συνήθως, ο εφικτός χώρος ορίζεται από δύο διανύσματα ακραίων τιμών $\boldsymbol{\theta}_{\min}$ και $\boldsymbol{\theta}_{\max}$, που εκφράζουν τα επιτρεπόμενα όρια διακύμανσης των τιμών των παραμέτρων

5.3.0. Ανάπτυξη διαχειριστικού μοντέλου.

Για την επίτευξη του 2^{ου} σταδίου καταστρώσαμε διαχειριστικό μοντέλο ταμιευτήρα προσαρμοσμένο στο υδροηλεκτρικό έργο της Μεσοχώρας.

5.3.1. Αναλυτική περιγραφή μοντέλου

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο το υδροηλεκτρικό έργο της Μεσοχώρας, περιλαμβάνει ταμιευτήρα, με εύρος στάθμης λειτουργίας +731m και +770m, και σταθμό παραγωγής εγκατεστημένης ισχύος 160MW. Ο σταθμός έχει τοποθετηθεί σε απόσταση 7.5 km από το φράγμα. Η προσαρμογή του νερού γίνεται μέσω σήραγγας παροχευτικότητας 85 hm³/μήνα, ενώ το υψόμετρο εξόδου της διώρυγας φυγής είναι +550 m.

Η σχέση στάθμης-αποθέματος του ταμιευτήρα προσεγγίζεται από την εξίσωση δύναμης:

$$s = 0.0003 (z - z_0)^{2.878}$$

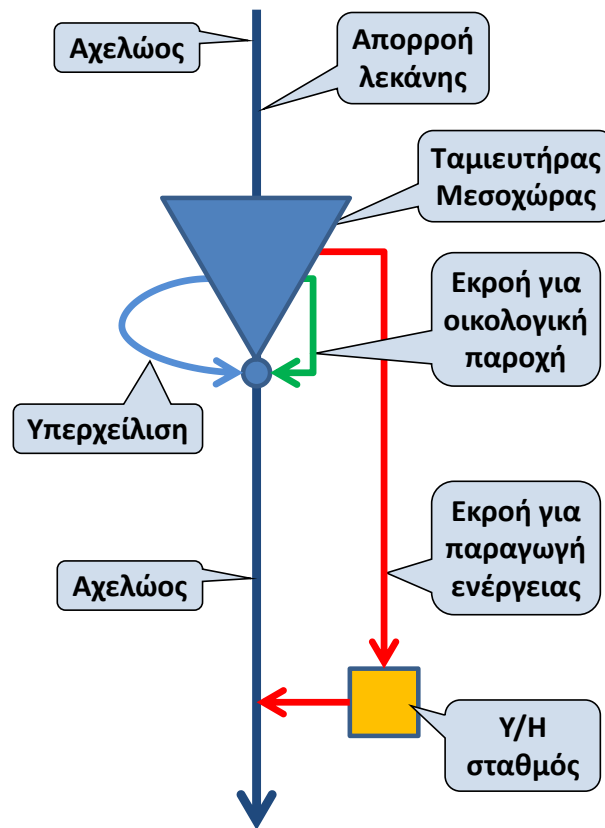
όπου s το απόθεμα του ταμιευτήρα (hm³), z η αντίστοιχη στάθμη (m) και z_0 το υψόμετρο της βάσης του φράγματος, στα 640 m.

Η μηνιαία παραγωγή ενέργειας (σε GWh) εκτιμάται από την σχέση:

$$E = 0.00227 V h$$

όπου V ο όγκος νερού που διέρχεται από τους στροβίλους (hm³) και h το ακαθάριστο ύψος πτώσης (m), δηλαδή η υψομετρική διαφορά της στάθμης του ταμιευτήρα (ανάντη ενεργειακό υψόμετρο, μεταβλητό) από την έξοδο της διώρυγας φυγής (κατάντη ενεργειακό υψόμετρο, σταθερό).

Σύμφωνα με την μελέτη λειτουργίας του ταμιευτήρα, επειδή ο σταθμός παραγωγής βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση, προβλέπεται η διοχέτευση σταθερής περιβαλλοντικής εκροής $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ στο τμήμα του ποταμού Αχελώου κατάντη του φράγματος, μέσω ειδικού τεχνικού έργου. Πέραν της περιβαλλοντικής παροχής, η οποία έχει τεθεί σε υψηλότερη προτεραιότητα σε σχέση με την παραγωγή ενέργειας, δεν προβλέπονται άλλες χρήσεις νερού ή περιορισμοί.



Εικόνα 5.3.1. Σχηματική απεικόνιση διάταξης έργου

Χαρακτηριστικά υψόμετρα:

- Υψόμετρο πυθμένα, z_0
- Κατώτατη στάθμη υδροληψίας, z_{\min}
- Στάθμη υπερχειλίσης, z_{\max}
- Υψόμετρο εξόδου αγωγού φυγής, z_{Σ}

Χαρακτηριστικά μεγέθη ταμιευτήρα:

- Σχέση στάθμης-αποθέματος, $s = \kappa (z - z_0)\lambda$
- Μικτή χωρητικότητα, $s_{\max} = \kappa (z_{\max} - z_0)\lambda$
- Νεκρός όγκος, $s_{\min} = \kappa (z_{\min} - z_0)\lambda$
- Ωφέλιμη χωρητικότητα, $k = s_{\max} - s_{\min}$

Χαρακτηριστικά μεγέθη υδροηλεκτρικού έργου:

- Παροχεταιυτικότητα στροβίλων, v_{\max} (δίνεται σε μονάδες όγκου)
- Σχέση παραγωγής ενέργειας-όγκου εκροής-στάθμης, $e = \psi v (z - z_{\Sigma})$

Χαρακτηριστικά διαχειριστικά μεγέθη:

- Στόχος περιβαλλοντικής εκροής, v_{Π} (δίνεται σε μονάδες παροχής, m^3/s , και πρέπει να μετατραπεί σε μονάδες όγκου – προσοχή, προκύπτουν διαφορετικές τιμές για κάθε μήνα του έτους)
- Στόχος παραγωγής ενέργειας, e^*

Μεταβλητές προβλήματος:

- Απορροή ανάντη λεκάνης, i
- Μικτό απόθεμα ταμιευτήρα, s
- Στάθμη ταμιευτήρα, $z = z_0 + (s/\kappa)1/\lambda$
- Στόχος παραγωγής ενέργειας, $vE^* = e^* / \psi (z - z_\Sigma)$
- Εκροή μέσω του έργου υδροληψίας, $r\Pi$ (ποσότητα που διοχετεύεται αμέσως κατόπιν του φράγματος για την υλοποίηση του στόχου περιβαλλοντικής παροχής)
- Εκροή από τους στροβίλους, rE (ποσότητα που διοχετεύεται, μέσω σήραγγας, στον υδροηλεκτρικό σταθμό, για παραγωγή ενέργειας)
- Υπερχείλιση, w (πλεονάζουσα ποσότητα πάνω από την ανώτατη στάθμη του ταμιευτήρα, η οποία διέρχεται μέσω του υπερχειλιστή)

5.3.2. Σχέση ωφέλιμης χωρητικότητας – ασφαλούς απόληψης – αξιοπιστίας

Έχουμε ταμιευτήρα ωφέλιμης χωρητικότητας k , για τον οποίο τίθεται ένας στόχος σταθερής ζήτησης d , με δεδομένη χρονοσειρά εισροών it για ένα χρονικό ορίζοντα ελέγχου, μήκους n , και δεδομένο αρχικό απόθεμα s_0 .

Μαθηματική διατύπωση μοντέλου προσομοίωσης ταμιευτήρα:

$$st = st - 1 + it - xt - wt \text{ για κάθε } t = 1, \dots, n \text{ (υδατικό ισοζύγιο)}$$

$$xt = \min(st, d) \text{ για κάθε } t = 1, \dots, n \text{ (περιορισμοί απολήψεων)}$$

$$wt = \max(0, st - k) \text{ για κάθε } t = 1, \dots, n \text{ (περιορισμοί υπερχειλίσεων)}$$

Λόγω της αναρρυθμιστικής λειτουργίας του ταμιευτήρα, η στατιστική δίαιτα των απολήψεων διαφοροποιείται από την δίαιτα των εισροών, και συνεπώς η αξιοπιστία του ταμιευτήρα μπορεί να εκτιμηθεί μόνο εμπειρικά.

Η ποσότητα $d = f(r, k)$, δηλαδή η ασφαλής απόληψη, κατά κανόνα ορίζεται (όπως και η αξιοπιστία r) σε ετήσια βάση.

Εναλλακτικές διατυπώσεις:

- Δίνονται $d, r \rightarrow$ προσδιορισμός χωρητικότητας, k (πρόβλημα διαστασιολόγησης, αφορά στον σχεδιασμό του ταμιευτήρα)
- Δίνονται $k, d \rightarrow$ εκτίμηση αξιοπιστίας, r (πρόβλημα αποτίμησης της επίδοσης υφιστάμενου ταμιευτήρα)

5.3.3. Η περίπτωση υδροηλεκτρικού ταμιευτήρα

Η παραγόμενη ενέργεια από Υ/Η έργο δίνεται από τη σχέση:

$$E = \eta \gamma V H n$$

όπου:

- η ο βαθμός απόδοσης των στροβίλων (για μεγάλο YHE, $\eta = 0.85-0.90$),
- γ το ειδικό βάρος του νερού (9.81 kN/m^3),

V ο όγκος νερού που διέρχεται από τους στροβίλους και

H_n το καθαρό ύψος πτώσης, δηλαδή η διαφορά μεταξύ της στάθμης νερού στον ταμιευτήρα και του ενεργειακού υψομέτρου κατάντη, αφαιρουμένων των υδραυλικών απωλειών (κυρίως συνάρτηση της διαμέτρου και της παροχής).

Η παραπάνω σχέση αναδιατυπώνεται στη μορφή:

$$E = \psi V (z - z_0)$$

όπου:

ψ συντελεστής, με θεωρητικό άνω όριο 0.2725 kWh/m⁴ (για μηδενικές απώλειες),

V ο διερχόμενος όγκος νερού (m³),

z η στάθμη του ταμιευτήρα (απόλυτο υψόμετρο, m) και

z_0 το υψόμετρο στην έξοδο του ΥΗΕ (m).

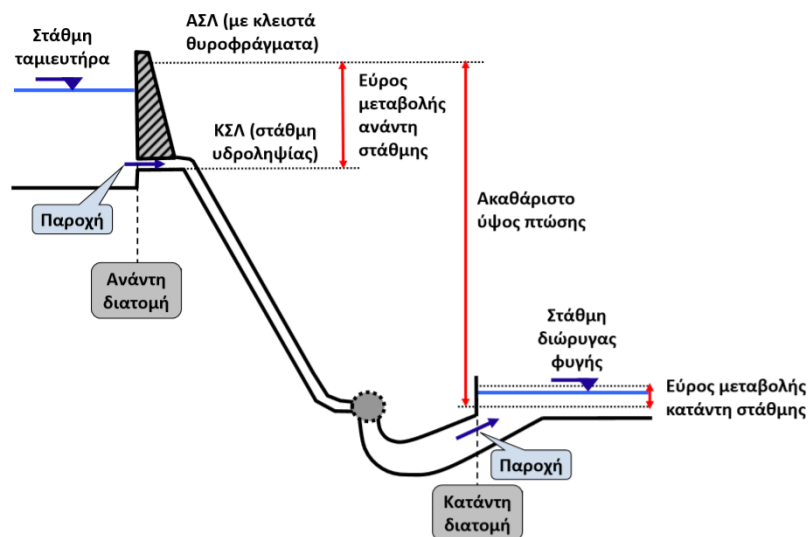
Έστω, λοιπόν, ταμιευτήρας ωφέλιμης χωρητικότητας k , για τον οποίο τίθεται ένας στόχος σταθερής ζήτησης e^* , με δεδομένη χρονοσειρά εισροών it για ένα χρονικό ορίζοντα ελέγχου, μήκους n , και δεδομένο αρχικό απόθεμα s_0 .

Το μοντέλο λειτουργίας του ταμιευτήρα διαφοροποιείται καθώς ο στόχος εκροής (ζήτηση νερού) δεν είναι σταθερός, καθώς εξαρτάται και από την στάθμη του ταμιευτήρα, δηλαδή:

$$dt = e^*/[\psi (zt - z_0)]$$

Το απόθεμα s υπολογίζεται από τη στάθμη z , μέσω σχέσεων της μορφής:

$$s = \kappa (z - z_0)\lambda$$



Εικόνα 5.3.3. Χαρακτηριστικά μεγέθη και μεταβλητές ΥΗΕ

5.3.4. Μοντέλο λειτουργίας υδροηλεκτρικού ταμιευτήρα

Έστω ταμιευτήρας ωφέλιμης χωρητικότητας k , για τον οποίο τίθεται στόχος σταθερής ενεργειακής ζήτησης e^* (στόχος παραγωγής πρωτεύουσας ενέργειας).

Σε κάθε χρονικό βήμα $t = 1, \dots, n$ ορίζεται ένας μεταβλητός στόχος εκροής νερού από τους στροβίλους, που εξαρτάται από την τρέχουσα στάθμη του ταμιευτήρα, z_t , δηλαδή:

$$dt = e^* / [\psi (z_t - z_k)]$$

Το μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας του ταμιευτήρα γράφεται:

$$st = st - 1 + it - rt - rt' - wt \quad (\text{εξίσωση υδατικού ισοζυγίου})$$

$$rt = \min(st, dt, ut) \quad (\text{εκροές από στροβίλους, με βάση τον στόχο } e^*)$$

$$rt' = \min(ut - rt, st - k) \quad (\text{επιπλέον εκροές από στροβίλους, αν } st > k)$$

$$wt = \max(0, st - k) \quad (\text{απώλειες λόγω υπερχειλίσεων})$$

Εφόσον ο ταμιευτήρας εξυπηρετεί και άλλες χρήσεις νερού (π.χ. ύδρευση, άρδευση, οικολογική παροχή), η εκροή από τους στροβίλους εξαρτάται και από τις τιμές-στόχους και την ιεραρχία των λοιπών χρήσεων.

Αν υπάρχει πλεονάζον απόθεμα στον ταμιευτήρα, διοχετεύεται κατά προτεραιότητα από τους στροβίλους αντί για τον υπερχειλιστή, παράγοντας ενέργεια πέραν του στόχου e^* , η οποία καλείται δευτερεύουσα ενέργεια (στην πράξη, όποτε πραγματοποιείται υπερχείλιση, επιδιώκεται πάντοτε η λειτουργία των στροβίλων στην πλήρη παροχετευτικότητά τους).

Το ποσοστό των χρονικών βημάτων κατά τα οποία επιτυγχάνεται ο στόχος παραγωγής ενέργειας αποτελεί **μέτρο της αξιοπιστίας** της υδροηλεκτρικής παραγωγής.

5.3.5. Αποτίμηση ενεργειακής επίδοσης

Η αποτίμηση γίνεται με βάση την προσομοιωμένη χρονοσειρά παραγωγής ενέργειας, e_t , με βάση την οποία εκτιμώνται:

- η αξιοπιστία κάλυψης της ενεργειακής ζήτησης (εκτιμάται εμπειρικά ως ποσοστό των χρονικών βημάτων για τα οποία ισχύει $e_t \geq e^*$)
- η παραγωγή ενέργειας πάνω από τον στόχο e^* (δευτερεύουσα ενέργεια)
- η παραγωγή ενέργειας κάτω από τον στόχο e^* (έλλειμμα ενέργειας)

Κατατάσσοντας τη χρονοσειρά σε φθίνουσα σειρά, και αντιστοιχώντας μια πιθανότητα υπέρβασης σε κάθε τιμή, προκύπτει η καμπύλη διάρκειας-παραγωγής ενέργειας.

Αν n είναι το μέγεθος της προσομοιωμένης χρονοσειράς, η εμπειρική πιθανότητα υπέρβασης της ταξινομημένης τιμής που βρίσκεται στη θέση i εκτιμάται από τη σχέση:

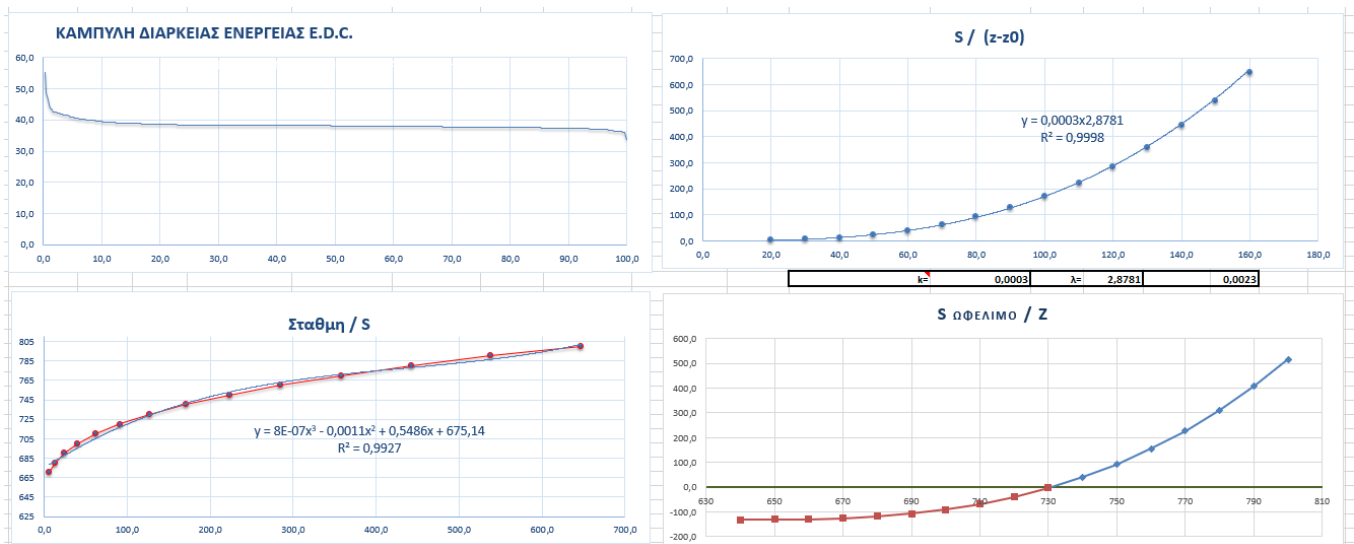
$$p_i = i / (n + 1)$$

Με βάση την καμπύλη διάρκειας μπορεί να εκτιμηθεί η ενέργεια που εξασφαλίζεται για υψηλό (της τάξης του 95 έως 99%) επίπεδο αξιοπιστίας (προτεύουσα ενέργεια).

Για την κατανόηση και την δημιουργία του μοντέλου αρχικά χρησιμοποιήσαμε το excel

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ & Υ/Η.Σ.							
ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΠΥΘΜΕΝΑ (m)	z0	640,0	m				
ΚΑΤΩΤΑΤΗ ΣΤΑΘΜΗ ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ (m)	zmin	731,0	m	130,4	hm ³		
ΣΤΑΘΜΗ ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗΣ (m)	zmax	741,0	m	176,1	hm ³		
ΜΗΝΙΑΙΑ ΠΑΡΟΧΕΥΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΓΩΓΟΥ ΠΡΟΣΑΓΩΓΗΣ (hm ³)	Vστρ	75,0	hm ³				
ΕΙΔΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ (GWh/hm ⁴)		0,2	GWh/hm ⁴	395,5	μεση ετησια ενεργ		
ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΕΞΟΔΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΦΥΓΗΣ (m)	zστρ	550,0	m				
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ (m ³ /s)		1,5	m ³ /s				
ΣΤΟΧΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	e	18,0	GWh/month				
ΑΡΧΙΚΗ ΣΤΑΘΜΗ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ		750,0	m				
ΜΗΚΟΣ ΑΓΩΓΟΥ		7500,0	m				
Στάθμη z (m)	z-z0	Απόθεμα (hm ³) S	Επιφάνεια (km ²)	S0	Smin	Σωφ	E GWh/m
640	0,0	0,0	0,0	0,0	130,4	-130,4	15,3
650	10,0	0,1	0,1	0,2		-130,4	17,0
660	20,0	1,6	0,2	1,7		-128,9	18,7
670	30,0	5,3	0,5	5,4		-125,1	20,4
680	40,0	12,5	0,9	12,2		-117,9	22,1
690	50,0	23,9	1,4	23,3		-106,5	23,8
700	60,0	40,1	1,9	39,3		-90,4	25,5
710	70,0	62,4	2,6	61,3		-68,1	27,2
720	80,0	91,4	3,2	90,0		-39,0	28,9
730	90,0	127,5	4,0	126,4		-3,0	30,6
740	100,0	171,1	4,8	171,1		40,7	32,3
750	110,0	223,3	5,7	225,1		92,8	34,1
760	120,0	285,3	6,7	289,2		154,8	35,8
770	130,0	358,1	7,8	364,1		227,6	37,5
780	140,0	442,1	9,0	450,7		311,7	39,2
790	150,0	537,9	10,2	549,7		407,4	40,9
800	160,0	646,5	11,6	661,9		516,1	42,6

Εικόνα 5.3.5.(1) Αποτύπωση του μοντέλου στο excel –διαχειριστικό μοντέλο ταμειυτήρα (Μεσοχώρας)



Διάγραμμα 5.3.5. Αποτύπωση του μοντέλου στο excel -καμπύλη διάρκειας ενέργειας – Στάθμη/S- Σωφ/Ζ - S/(z-z0)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο ΑΝΑΠΤΥΞΗ-ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ Υ/Η
ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ

ΜΗΝΑΣ	ΑΠΟΡΡΟΗ	Π. Παροχ	Αποθεμα 1	Απόθεμα 2 (Η.Π.ρ)	Στάθμη	V*1	V*2(διαφορά νερού θανάου)	Απόθεμα 3 (V*α)	Πλεονασμα	Νοτρ *	Απόθεμα 4 (πλην)	E +	Π.Ελλειμμα	Υπερχείλιση	Έλλειμμα	Ανα Ετος	Ε SUM	Κέρδος / Κόστος	Επιση			
Οκτ-60	12,0	4,02	235,3	231,2	753,1	43,0	43,0	188,2	12,1	32,0	188,2	5,3	0,0	0,0	0,0		731,0	741,0	25,1	31,0	2,2	29,4
Νοε-60	57,4	3,89	245,6	241,7	754,8	42,6	42,6	199,1	23,0	32,4	199,1	10,0	0,0	0,0	0,0		731,0	741,0	29,8		2,4	
Δεκ-60	259,5	4,02	458,6	454,6	772,4	38,9	38,9	415,7	239,6	36,1	176,1	15,6	0,0	203,5	0,0		731,0	741,0	35,3		2,7	
Ιαν-61	144,1	4,02	320,2	316,1	763,9	40,6	40,6	275,5	99,4	34,4	176,1	14,9	0,0	65,0	0,0		731,0	741,0	34,6		2,6	
Φεβ-61	132,9	3,66	309,0	305,3	762,9	40,8	40,8	264,5	88,4	34,2	176,1	14,8	0,0	54,2	0,0		731,0	741,0	34,5		2,6	
Μαρ-61	115,9	4,02	292,0	288,0	761,0	41,2	41,2	246,8	70,7	33,8	176,1	14,6	0,0	36,9	0,0		731,0	741,0	34,4		2,6	
Απρ-61	108,7	3,89	284,8	280,9	760,2	41,4	41,4	239,5	63,4	33,6	176,1	14,6	0,0	29,8	0,0	0,0	480,8	731,0	34,3		2,6	
Μαϊ-61	118,0	4,02	294,1	290,1	761,2	41,2	41,2	269,5	93,4	33,8	176,1	14,7	0,0	59,6	0,0		731,0	741,0	34,4		2,6	
Ιουν-61	110,2	3,89	286,3	282,4	760,4	41,4	41,4	241,0	64,9	33,6	176,1	14,6	0,0	31,3	0,0		731,0	741,0	34,3		2,6	
Ιουλ-61	79,5	4,02	255,6	251,5	756,3	42,3	42,3	209,3	33,2	32,7	176,1	14,2	0,0	0,4	0,0		731,0	741,0	34,0		2,6	
Αυγ-61	50,8	4,02	226,9	222,9	751,6	43,4	43,4	179,5	3,4	31,6	179,5	1,5	0,0	0,0	0,0		731,0	741,0	21,3		2,0	
Σεπ-61	25,7	3,89	205,2	201,3	747,5	44,4	44,4	157,0	0,0	30,6	157,0	0,0	0,0	0,0	0,0		731,0	741,0	19,9		1,9	
Οκτ-61	30,2	4,02	187,2	183,2	743,6	45,3	45,3	137,8	0,0	29,7	137,8	0,0	0,0	0,0	0,0		731,0	741,0	19,9	30,7	1,9	29,2
Νοε-61	96,7	3,89	234,5	230,6	753,0	43,0	43,0	187,6	11,5	32,0	187,6	5,0	0,0	0,0	0,0		731,0	741,0	24,8		2,1	
Δεκ-61	177,4	4,02	365,0	360,9	767,5	39,9	39,9	321,0	144,9	35,1	176,1	15,2	0,0	109,8	0,0		731,0	741,0	34,9		2,6	
Ιαν-62	151,5	4,02	327,6	323,5	764,6	40,5	40,5	283,1	107,0	34,5	176,1	15,0	0,0	72,4	0,0		731,0	741,0	34,7		2,6	
Φεβ-62	142,0	3,66	318,1	314,4	763,8	40,7	40,7	273,8	97,7	34,3	176,1	14,9	0,0	63,3	0,0		731,0	741,0	34,6		2,6	
Μαρ-62	336,6	4,02	512,7	508,6	774,9	38,5	38,5	470,2	294,1	36,5	176,1	15,8	0,0	257,5	0,0	0,0	713,1	731,0	35,5		2,7	
Απρ-62	151,8	3,89	327,9	324,0	764,6	40,5	40,5	283,5	107,4	34,5	176,1	15,0	0,0	72,9	0,0		731,0	741,0	34,7		2,6	
Μαϊ-62	143,1	4,02	319,2	315,2	763,8	40,6	40,6	294,9	118,8	34,4	176,1	14,9	0,0	84,4	0,0		731,0	741,0	34,6		2,6	
Ιουν-62	114,7	3,89	290,8	286,9	760,9	41,3	41,3	245,6	69,5	33,7	176,1	14,6	0,0	35,8	0,0		731,0	741,0	34,4		2,6	
Ιουλ-62	95,8	4,02	271,9	267,9	758,5	41,8	41,8	226,1	50,0	33,2	176,1	14,4	0,0	16,8	0,0		731,0	741,0	34,2		2,6	
Αυγ-62	54,6	4,02	230,7	226,7	752,3	43,2	43,2	183,5	7,4	31,8	183,5	3,2	0,0	0,0	0,0		731,0	741,0	23,0		2,1	
Σεπ-62	46,8	3,89	230,3	226,4	752,2	43,2	43,2	183,2	7,1	31,8	183,2	3,1	0,0	0,0	0,0		731,0	741,0	22,9		2,0	
Οκτ-62	175,1	4,02	358,2	354,2	767,0	40,0	40,0	314,2	138,1	35,0	176,1	15,2	0,0	103,1	0,0		731,0	741,0	34,9	35,0	2,6	31,8
Νοε-62	679,9	3,89	856,0	852,1	838,9	29,4	29,4	822,7	646,6	45,6	176,1	19,8	0,0	601,0	0,0		731,0	741,0	39,0		2,9	
Δεκ-62	355,6	4,02	531,7	527,7	775,9	38,3	38,3	489,4	313,3	36,7	176,1	15,9	0,0	276,6	0,0		731,0	741,0	35,5		2,7	
Ιαν-63	269,9	4,02	446,0	442,0	771,8	39,1	39,1	403,0	226,9	35,9	176,1	15,6	0,0	190,9	0,0		731,0	741,0	35,2		2,7	
Φεβ-63	534,6	3,66	710,7	707,0	795,9	34,9	34,9	672,1	496,0	40,1	176,1	17,4	0,0	455,9	0,0		731,0	741,0	36,9		2,7	
Μαρ-63	171,9	4,02	348,0	344,0	766,3	40,1	40,1	303,9	127,8	34,9	176,1	15,1	0,0	92,9	0,0	0,0	2088,4	731,0	34,8		2,6	
Απρ-63	154,0	3,89	330,1	326,2	764,8	40,4	40,4	285,8	109,7	34,6	176,1	15,0	0,0	75,1	0,0		731,0	741,0	34,7		2,6	
Μαϊ-63	224,9	4,02	401,0	396,9	769,6	39,5	39,5	377,2	201,1	35,5	176,1	15,4	0,0	165,6	0,0		731,0	741,0	35,1		2,7	
Ιουν-63	152,3	3,89	328,4	324,5	764,7	40,5	40,5	284,0	107,9	34,5	176,1	15,0	0,0	73,4	0,0		731,0	741,0	34,7		2,6	
Ιουλ-63	124,6	4,02	300,7	296,6	762,0	41,0	41,0	255,6	79,5	34,0	176,1	14,7	0,0	45,5	0,0		731,0	741,0	34,5		2,6	
Αυγ-63	87,4	4,02	263,5	259,4	757,4	42,0	42,0	217,4	41,3	33,0	176,1	14,3	0,0	8,3	0,0		731,0	741,0	34,1		2,6	

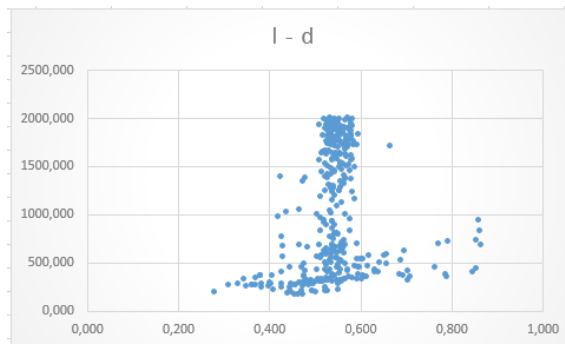
Εικόνα 5.3.5.(2) Αποτύπωση του μοντέλου στο excel –διαχειριστικό μοντέλο ταμιευτήρα (Μεσοχώρας) υπολογισμός βημάτων

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ	
Ελλειματικά έτη	1,0
Πλεονασματικά Έτη	34,0
Περιβ.Ελλειματικά Έτη	0,0
Σύνολο Ετών με αστοχία	1,0
Μέσο Ετ.Υπερ	887,7
Μέσο Ετ. Ελλειμ. %ετους	0,1
Μεγεθος Δείγματος (έτη)	34,0
Αξιοπιστία γ	0,97
Αξιοπιστία περβ παροχ	1,00
Αξιοπιστία (%)	97,1
Ποσοστό πιθανής Αστοχίας(%)	2,9
Αξιοπιστία (%) περβ παροχης	100,0
Ποσοστό πιθανής Αστοχίας(%)	0,0
ΚΟΣΤΟΣ - ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ	
Κόστος Φράγματος (Μ€)	15,7
Πρωτεύουσα ενέργεια	0,1
Δευτερεύουσα ενέργεια	0,1
Έλλειμα	1,0
ΕΣΟΔΑ	
σύνολο 34 ετων (Μ€)	1039,5
ΜΟ ετους (Μ€)	30,6
ΜΟ μηνια (Μ€)	2,5
Μείον κοστος Φρ	1023,9

Εικόνα 5.3.5.(3) Αποτύπωση του μοντέλου στο excel –διαχειριστικό μοντέλο ταμιευτήρα (Μεσοχώρας) υπολογισμός αξιοπιστίας

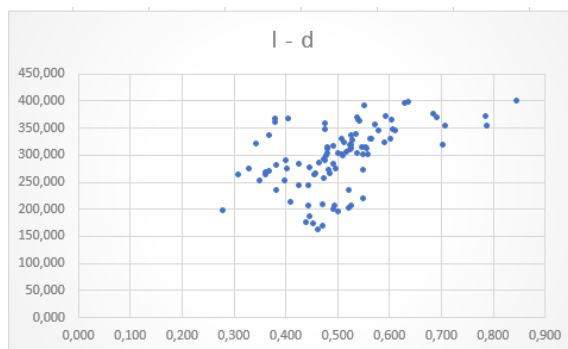
5.3.6. Δεδομένα εισόδου

Κατά την ολοκλήρωση του 1^{ου} σταδίου (παραγωγή βελτιστοποιημένων παραμέτρων του μοντέλου προσομοίωσης) παρατηρήσαμε την απόκλιση κάποιων, λογικών μαθηματικά, παραμέτρων από τις τιμές που μπορούν να λάβουν στην φύση, με αποτέλεσμα οι κατανομές των παραμέτρων να παρουσιάζουν αρκετά σημεία εκτός της αναμενόμενης κατανομής, όπως στο παρακάτω γράφημα των παραμέτρων d (χωρητικότητα της δεξαμενής εδαφικής υγρασίας) και I (συντελεστής στέρειυσης υπόγειου νερού).



Διάγραμμα διασποράς 5.2.0. (1) συντελεστής στέρειυσης υπόγειου νερού I - d χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας

Επομένως πριν εισάγουμε στο στάδιο 2 τις βελτιστοποιημένες παραμέτρους του υδρολογικού μοντέλου αφαιρέσαμε τα σετ των μη φυσικών παραμέτρων (που προέκυψαν λόγω της μαθηματικής προσαρμογής κατά την βελτιστοποίηση του μοντέλου). Έτσι, προέκυψε το παραπάνω γράφημα:



Διάγραμμα διασποράς 5.2.0.(2) συντελεστής στέρειυσης υπόγειου νερού I - d χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας

Απαλλαγμένοι πλέον από τις άστοχες (από φυσικής διάστασης) παραμέτρους εισαγάγαμε τις προσομοιωμένες, εκ των σετ των βελτιστοποιημένων παραμέτρων, χρονοσειρές απορροής στο διαχειριστικό μοντέλο του ταμιευτήρα.

Στο δεύτερο στάδιο επιλέξαμε να μην προκρίνουμε την περίπτωση του τυχαίου παραθύρου καθώς μη έχοντας χρονική συνέχεια δεν αποτελούσε ασφαλή πηγή δεδομένων για την διαχείριση του ταμιευτήρα. Από το μοντέλο προέκυψαν οι τιμές της βέλτιστης περιβαλλοντικής παροχής και το συνολικό κέρδος που προέκυπτε έμμεσα από κάθε σετ βελτιστοποιημένων παραμέτρων (μέσω της προσομοιωμένης απορροής).

6. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

6.1.0. Υλοποίηση υδρολογικού μοντέλου σε περιβάλλον MATLAB

Στο πλαίσιο των υπολογισμών εισαγάγαμε τις χρονοσειρές της βροχόπτωσης και της παρατηρημένης απορροής λεκάνης απορροής στις παρακάτω περιπτώσεις

- Για **τυχαίο παράθυρο** στις χρονοσειρές (Random Window) και για μέγεθος παραθύρου:
 - $v = 3$ έτη
 - $v = 5$ έτη
 - $v = 10$ έτη
- Για **κυλιόμενο παράθυρο** στις χρονοσειρές (Rolling Window)
 - $v = 3$ έτη
 - $v = 5$ έτη
 - $v = 10$ έτη

Για την λύση του προβλήματος δημιουργήσαμε 4 βασικές function

6.1.1. Rolling Window

Για το κυλιόμενο παράθυρο επιλογής δεδομένων εισόδου, Rolling Window

- Main function (ορίζουμε τα έτη του παραθύρου και καλούμε τις υπόλοιπες συναρτήσεις)
 - HydromodelFull Function («τρέχει» μία φορά το υδρολογικό μοντέλο με σκοπό τον υπολογισμό των αρχικών συνθηκών $s0$ $g0$)
 - Hydromodel Function («τρέχει» το υδρολογικό μοντέλο με σκοπό την εξαγωγή των βέλτιστων παραμέτρων k , n , l , d)
 - Credibility Function (υπολογίζει την αξιοπιστία του μοντέλου σε κάθε επανάληψη)

```

ROLLINGWINDOW MAIN FUNCTION
filename = 'dataset.xlsx';
data = xlsread(filename);
len=length(data);
nvars=4;A=[];b=[];Aeq=[];beq=[];nonlcon=[];
LB = [0,0,0,0];
UB = [1,1,1,2000];
MaxYears=10; % < = synolika xronia
WinSize=12*MaxYears; % Months * MaxYears
Oct=(1:12:(length(data)-WinSize));
Wstart=randsample(Oct,1);
Wend=Wstart+WinSize-1;
[paramsALL,objValueALL] = ga(@ (par) credibility(data,par,Wstart,Wend,0,0),nvars,A,b,Aeq,beq,LB,UB,nonlcon);
[st,gt]=HydroModelFull(data,paramsALL,0,0);
gt=reshape(gt,12,len/12)';
st=reshape(st,12,len/12)';
meanst=mean(gt,1);
meanst=mean(st,1);
repmeanst= repmat(meanst,1,34);
repmeanst= repmat(meanst,1,34);
for i=1:(408-WinSize)
    s0=repmeanst(i);
    g0=repmeanst(i);
    Wstart=i;
    Wend=Wstart+WinSize-1;
    [params,objValue] = ga(@ (par) credibility(data,par,Wstart,Wend,s0,g0),nvars,A,b,Aeq,beq,LB,UB,nonlcon);
    eff = -credibility(data,params,Wstart,Wend,s0,g0);
    ParamRMat(i,:)=params;
    ParamEffRWin(i,:)=eff;
    ParamRWin(i,:)= [Wstart,Wend];
end
%% gia na sygrinoyme to set twm param se olo to dataset me rolling
ParamEffRAll=NaN((408-WinSize),1);
for i=1:(408-WinSize)
    tempPar=ParamRMat(i,:);
    ParamEffRAll(i,:)=-credibility(data,tempPar,1,length(data),s0,g0);
end

```

Εικόνα 6.1.1. (1) Rolling Window main function

```

ROLLING WINDOW HYDROMODELFULL FUNCTION
function [st4n,gt2n] = HydroModelFull(data,par,s0,g0)
%trexei to modelo mia fora gia na oristoyn ta mean s0 g0
-
k=par(1);
n=par(2);
l=par(3);
d=par(4);

[r,~] = size(data);
st4n = zeros();
gt2n = zeros();
Qmod=NaN(r,1);
for i=1:r
    p = data(i,1);
    pet = data(i,2);
    qdt = p*n;
    dpt = p - qdt;
    edt = min(pet,dpt);
    dpet = pet-edt;

    if i==1
        [st1,est,st2,qst,perct,st3,st4n(i)] = st4(s0,dpt,edt,dpet,k,d);
        [qbt,gt1,gt2n(i)] = gt2(g0,perct,1);
    else
        [st1,est,st2,qst,perct,st3,st4n(i)] = st4(st4n(i-1),dpt,edt,dpet,k,d);
        [qbt,gt1,gt2n(i)] = gt2(gt2n(i-1),perct,1);
    end
    Qmod(i,1) = qdt + qst + qbt;
end
st4n=st4n';
gt2n=gt2n';
end

```

Εικόνα 6.1.1. (2) Rolling Window Full Hydromodel function

```

ROLLING WINDOW HYDROMODEL FUNCTION
function [Qmod] = HydroModel(data,par,s0,g0)

κ=par(1);
n=par(2);
l=par(3);
d=par(4);

[r,~] = size(data);
st4n = zeros();
gt2n = zeros();
Qmod=NaN(r,l);
for i=1:r
    p = data(i,1);
    pet = data(i,2);
    qdt = p^n;
    dpt = p - qdt;
    edt = min(pet,dpt);
    dpet = pet-edt;

    if i==1
        [st1,est,st2,qst,perct,st3,st4n(i)] = st4(s0,dpt,edt,dpet,k,d);
        [qbt,gt1,gt2n(i)] = gt2(g0,perct,l);
    else
        [st1,est,st2,qst,perct,st3,st4n(i)] = st4(st4n(i-1),dpt,edt,dpet,k,d);
        [qbt,gt1,gt2n(i)] = gt2(gt2n(i-1),perct,l);
    end
    Qmod(i,1) = qdt + qst + qbt;
end
end

```

Εικόνα 6.1.1. (3) Rolling Window Hydromodel function

```

ROLLING WINDOW CREDIBILITY FUNCTION
function [cr] = credibility(data,par,Wstart,Wend,s0,g0)

[r,~] = size(data);

p1 = NaN(r,l); % (qobs-qsum)^2
p2 = NaN(r,l); % (qobs- SQRT[average1])^2
[Qmod]=HydroModel(data,par,s0,g0); %trexei to model oloklhro
Qmod=Qmod(Wstart:Wend,l); %krataei to window
Qobs=data(Wstart:Wend,3);
p1=(Qobs-Qmod).^2;
avg1 = mean(Qobs);

p2=(Qobs-avg1).^2;

cr =1-(sum(p1)/sum(p2)); %αξιολογιστικά
cr=-cr;
end

```

Εικόνα 6.1.1. (4) Rolling Window credibility function

6.1.2. Random Window

Για το τυχαία κυλιόμενο παράθυρο επιλογής δεδομένων εισόδου, Random Window

- Main function (ορίζουμε τα έτη του παραθύρου και καλούμε τις υπόλοιπες συναρτήσεις)
- HydromodelFull Function («τρέχει» μία φορά το υδρολογικό μοντέλο με σκοπό τον υπολογισμό των αρχικών συνθηκών s_0 g_0)
- Hydromodel Function («τρέχει» το υδρολογικό μοντέλο με σκοπό την εξαγωγή των βέλτιστων παραμέτρων k , n , l , d)
- Credibility Function (υπολογίζει την αξιοπιστία του μοντέλου σε κάθε επανάληψη)

RANDOM WINDOW MAIN FUNCTION

```

filename = 'dataset.xlsx';
data = xlsread(filename);
len=length(data);
nvars=4;A=[];b=[];Aeq=[];beq=[];nonlcon=[];
LB = [0,0,0,0];
UB = [1,1,1,2000];
MaxYears=10; % < = synolika xronia
WinSize=12*MaxYears; % Months * MaxYears
Oct=(1:12:(length(data)-WinSize));
Wstart=randsample(Oct,1);
Wend=Wstart+WinSize-1;
[paramsALL,objValueALL] = ga(@(par) credibility(data,par,Wstart,Wend,0,0),nvars,A,b,Aeq,beq,UB,nonlcon);
[st,gt]=HydroModelFull(data,paramsALL,0,0);
gt=reshape(gt,12,len/12)';
st=reshape(st,12,len/12)';
meanst=mean(st,1);
repmeanst= repmat(meanst,1,34);
meanst=mean(st,1);
repmeanst= repmat(meanst,1,34);
% Random Window
MaxIt=400;
ParamMat=NaN(MaxIt,nvars);
ParamEffWin=NaN(MaxIt,1);
ParamWin=NaN(MaxIt,2);
for i=1:MaxIt

    Wstart=randsample(Oct,1);
    s0=repmeanst(i);
    g0=repmeangt(i);
    Wend=Wstart+WinSize-1;
    [params,objValue] = ga(@(par) credibility(data,par,Wstart,Wend,s0,g0),nvars,A,b,Aeq,beq,UB,nonlcon);
    eff = -credibility(data,params,Wstart,Wend,s0,g0);
    ParamMat(i,:)=params;
    ParamEffWin(i,:)=eff;
    ParamWin(i,:)=[Wstart,Wend];
end
% gia na sygrinoyme to set twm param se olo to dataset me random
ParamEffAll=NaN(MaxIt,1);
for i=1:MaxIt
    tempPar=ParamMat(i,:);
    ParamEffAll(i,:)=-credibility(data,tempPar,1,length(data),s0,g0);
end

```

Εικόνα 6.1.2. (1) Random Window main function

RANDOM WINDOW HYDROMODELFULL FUNCTION

```

function [st4n,gt2n] = HydroModelFull(data,par,s0,g0)
%trexei to modelo mia fora gia na oristoyn ta mean s0 g0

k=par(1);
n=par(2);
l=par(3);
d=par(4);

[r,~] = size(data);
st4n = zeros();
gt2n = zeros();
Qmod=NaN(r,1);
for i=1:r
    p = data(i,1);
    pet = data(i,2);
    qdt = p*n;
    dpt = p - qdt;
    edt = min(pet,dpt);
    dpet = pet-edt;

    if i==1
        [st1,est,st2,qst,perct,st3,st4n(i)] = st4(s0,dpt,edt,dpet,k,d);
        [qbt,gt1,gt2n(i)] = gt2(g0,perct,1);
    else
        [st1,est,st2,qst,perct,st3,st4n(i)] = st4(st4n(i-1),dpt,edt,dpet,k,d);
        [qbt,gt1,gt2n(i)] = gt2(gt2n(i-1),perct,1);
    end
    Qmod(i,1) = qdt + qst + qbt;
end
st4n=st4n';
gt2n=gt2n';
end

```

Εικόνα 6.1.2. (2) Random Window Full Hydromodel function

RANDOM WINDOW HYDROMODEL FUNCTION

```

function [Qmod] = HydroModel(data,par,s0,g0)
k=par(1);
n=par(2);
l=par(3);
d=par(4);

[r,~] = size(data);
st4n = zeros();
gt2n = zeros();
Qmod=NaN(r,1);
for i=1:r
    p = data(i,1);
    pet = data(i,2);
    qdt = p*n;
    dpt = p - qdt;
    edt = min(pet,dpt);
    dpet = pet-edt;

    if i==1
        [st1,est,st2,qst,perct,st3,st4n(i)] = st4(s0,dpt,edt,dpet,k,d);
        [qbt,gt1,gt2n(i)] = gt2(g0,perct,1);
    else
        [st1,est,st2,qst,perct,st3,st4n(i)] = st4(st4n(i-1),dpt,edt,dpet,k,d);
        [qbt,gt1,gt2n(i)] = gt2(gt2n(i-1),perct,1);
    end
    Qmod(i,1) = qdt + qst + qbt;
end
end

```

Εικόνα 6.1.2. (3) Random Window Hydromodel function

RANDOM WINDOW CREDIBILITY FUNCTION

```
function [cr] = credibility(data,par,Wstart,Wend,s0,g0)
[
[r,~] = size(data);
p1 = NaN(r,1); %(qobs-qsum)^2
p2 = NaN(r,1); %(qobs- Sqrt[averagel])^2
[Qmod]=HydroModel(data,par,s0,g0); %trexei to model oloklhro
Qmod=Qmod(Wstart:Wend,1); %krataei to window
Qobs=data(Wstart:Wend,3);
p1=(Qobs-Qmod).^2;
avg1 = mean(Qobs);
p2=(Qobs-avg1).^2;
cr =1-(sum(p1)/sum(p2)); %αξιολογιστρία
cr=-cr;
end
```

Εικόνα 6.1.2. (4) Random Window Credibility Function

6.2.0. Υλοποίηση Διαχειριστικού Μοντέλου σε υπολογιστικό περιβάλλον (MATLAB)

Για την λύση του προβλήματος δημιουργήσαμε 2 βασικές function

- **Main function** (διαβάζει την παραγόμενη προσομοιωμένη απορροή του υδρολογικού μοντέλου, που έχει προκύψει από κάθε set βελτιστοποιημένων παραμέτρων, και «καλεί» την credibility function βελτιστοποιώντας τις παραμέτρους σχεδιασμού και διαχείρισης)
- **Credibility Function** («τρέχει» το διαχειριστικό μοντέλο με σκοπό τον υπολογισμό της αξιοπιστίας του ταμιευτήρα)

```

main.m | credibility.m | +
1 function [eff,effpar,bl] = credibility(data,par)
2 z0 = 640; %τυπομετρο py8mena (m)
3 zmin = 731; %katwath sta8mh ydrolhpsias(m)
4 e = par(1); %στοκος ενεργειας (GWh/month) -solver
5 zstr = 550; %προσμετρο εκποδοy agwwoy rjghs (m)
6 len = 7500; %mhkos agwwoy (m)
7 vstr = 75; %mhniaia paroketeythkothta agwwoy proasomogh3 (hm3)
8 s = 223.3; %apo8ema (hm3)
9 m = 0.0023; %ayntelesths
10 zmax = par(2); % sta8mh yperkeillhsh (m) -solver
11 zmax2 = 372.3; %ata8mh yperkeillhsh se hm3
12 zmin2 = 130.4; %katwath sta8mh ydrolhpsias se hm3
13 smin = 130.4; %nekros oqkos
14 monthCount = 0;
15 [r,R] = size(data);
16
17 apoth1 = zeros(1); %prothoygmeno apo8ema (apoth4) + aporroh
18 apoth2 = zeros(1); %apoth1 + pzeiv parokh
19 apoth3 = zeros(1); %an((apoth2-V^2)>Smin;nai:(an apoth2>V2*;nai:apoth2-V^2;oxi:apoth2-((-1)*(apoth2-V^2)));oxi:Smin)--ka8e maio kleinei l5merea gia synt
20 apoth3 = zeros(1); %an(pleonasma>0;nai:apoth3;oxi:(an pleon<Vopt*;nai:apoth3;oxi:apothMax))
21 v1 = zeros(1); %Vstr apo sta8mh kai stocho-an(sta8mh>Zmin;nai:(an(stocho>e)/(0.0023*(sta8-Zstr-(0.25%*len))>Vstr;nai:Vstr;oxi:(e/(0.0023*(sta8-Zstr-(0.25%*len))>Vstr);oxi:0)
22 v2 = zeros(1); %(-diafora nekroy agwoy)an V^2=0;nai:0;oxi:(an(apoth2-V^2)>Smin;nai:V^2;oxi:(apoth2-Smin))
23 vstr2 = zeros(1); %ypoloipo leno stoys strotvloy3 Vstr-V^2
24 stath = zeros(1); %apo thn polyonimikh synarthsh lynn ws pros y(h sta8mh)
25 pleon = zeros(1); %an(apoth3>apothMax;nai:apoth3-apothMax;oxi:0)
26 eplus = zeros(1); %pleonasma ενεργειας
27 templ = 0; % xtiainporoielatai sthn praxi mesa sto eplus
28 pzi = zeros(1); %ellhima pzeiv parokh3-an apoth1>(p-parok3Smin);nai:0;oxi:(p-parok3-apoth1-Smin)
29 ype = zeros(1); %an(pleonasma>0;nai:0;oxi:(an(pleonasma<Vstr2;nai:0;oxi:pleonasma-Vstr2))
30 elim = zeros(1); %V1-V2 -- epeidi den 8a pzei katw apo t Smin to ellelima 8a to emfanisoyme me thn diafora ogoy-stochoy kai toy ogkoy pou perase apo toys strotvloy3
31 esum = zeros(1);
32 %
33 %profit = zeros(1); %kerdos / kostos
34 pkrce = 0.1; %proteyoyssa ενεργεια- gia ton ypoloigmo toy kerdoy3
35 deyte = 0.05; %deyteyeyoussa ενεργεια- gia ton ypoloigmo toy kerdoy3
36 keleim = 1; %kostos elleimatou- gia ton ypoloigmo toy kerdoy3
37 %D = [];
38 bl=[];
39 %D1 = zeros(1);
40 %D2 = zeros(1);
41 profit = 0;
42 profitall = zeros(1);
43 %kerdos = NaN(r,1);
44
45 for i=1:r
46 monthCount = monthCount + 1;
47 apor = data(i,1);
48 ppar = data(i,2);
49 if i==1
50 apoth1(i)=+apor;
51
52 else
53 apoth1(i) = apoth1(i-1)+apor;
54 end
55 if(apoth1(i)>smin+ppar)
56 apoth2(i) = apoth1(i)-ppar;
57
58 else
59 apoth2(i) = apoth1(i)-(apoth1(i)-smin);
60
61 end
62 if(apoth2(i)>smin)
63 stath(i) = (0.00000008 * apoth2(i)^3) - (0.0011 * apoth2(i)^2) + (0.5486 * apoth2(i)) + 675.14;
64
65 else
66 stath(i) = zmin;
67 end
68 if(stath(i)>zmin)
69 if(e/(m * (stath(i) - zstr - (0.0025 * len))) > vstr)
70 v1(i) = vstr;
71
72 else
73 v1(i) = e/(m * (stath(i) - zstr - (0.0025 * len)));
74
75 end
76 if(v1(i) == 0)
77 v2(i) = 0;
78
79 else
80 if(apoth2(i) - v1(i) > smin)
81 v2(i) = v1(i);
82
83 else
84 v2(i) = apoth2(i) - smin;
85
86 end
87
88 if(apoth2(i) - v2(i) > smin)
89 if(apoth2(i) > v2(i))
90 apoth3(i) = apoth2(i) - v2(i);
91
92 if(monthCount == 8)
93 apoth3(i) = apoth2(i) - v2(i)/2;
94
95 monthCount = 0;
96
97 end
98
99 else
100 apoth3(i) = apoth2(i) - ((-1) * (apoth2(i) - v2(i)));
101
102 end
103
104 else
105 apoth3(i) = smin;
106
107 end

```

Εικόνα 6.2.0. (1) Credibility Function (1/2)

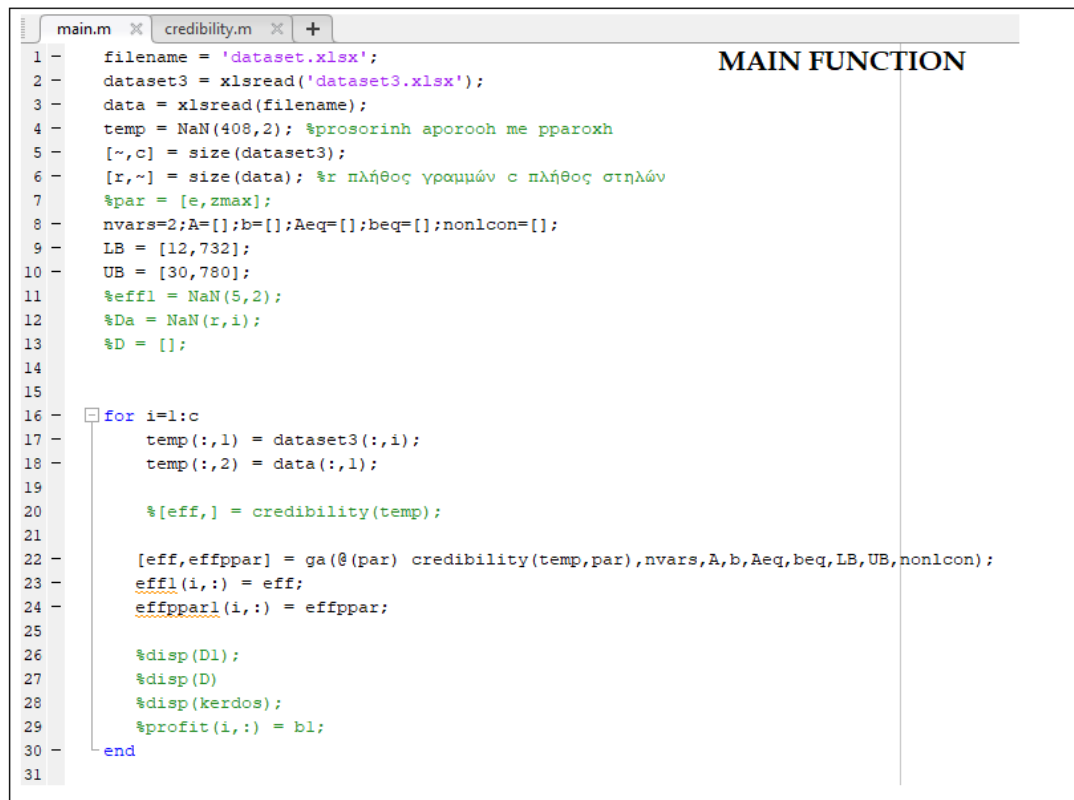
```

95 - if (apoth3(i) > zmax2)
96 -   pleon(i) = apoth3(i) - zmax2;
97 - else
98 -   pleon(i) = 0;
99 - end
100 - vstr2(i) = vstr - v2(i);
101 - if (pleon(i) == 0)
102 -   apoth4(i) = apoth3(i);
103 - else
104 -   if (pleon(i) < vstr2(i))
105 -     apoth4(i) = apoth3(i);
106 -   else
107 -     apoth4(i) = zmax2;
108 -   end
109 - end
110 - if (pleon(i) == 0)
111 -   eplus(i) = 0;
112 - else
113 -   if (pleon(i) < vstr2(i))
114 -     temp1 = pleon(i);
115 -   else
116 -     temp1 = vstr2(i);
117 -   end
118 -   eplus(i) = m * temp1 * (zmax - zstr);
119 - end
120 - if (apoth1(i) > ppar + smin)
121 -   pel(i) = 0;
122 - else
123 -   pel(i) = ppar - (apoth1(i) - smin);
124 - end
125 - if (pleon(i) == 0)
126 -   yper(i) = 0;
127 - else
128 -   if (pleon(i) < vstr2(i))
129 -     yper(i) = 0;
130 -   else
131 -     yper(i) = pleon(i) - vstr2(i);
132 -   end
133 - end
134 - elim(i) = v1(i) - v2(i);
135 - %maxxi edw ok ta noumera!
136 - %disp([apoth1(i),apoth2(i),stath(i),v1(i),v2(i),apoth3(i),pleon(i),vstr2(i),apoth4(i),eplus(i),pel(i),yper(i),elim(i)]);
137 - esum(i) = m * v2(i) * (stath(i) - zstr) + eplus(i);
138 - if (esum(i) > e)
139 -   eprofit(i) = (e * prote + ((esum(i) - e)*deyte));
140 - else
141 -   eprofit(i) = ((e * prote) - (e - esum(i))*keleim);
142 - end
143 - %profit = profit + eprofit(i); %kerdos
144 - b1 = sum(eprofit,'omitnan'); %kerdos b tropos
145 -
146 -end
147 -
148 -
149 - avg = mean(esum);
150 -
151 - yearCount = 1;
152 - maxYears = z/12;
153 - sumPel = 0;
154 - sumYper = 0;
155 - sumElim = 0;
156 - resPel = zeros();
157 - resYper = zeros();
158 - resElim = zeros();
159 -
160 -
161 - i=1;
162 - for j=1:z
163 -   sumPel = sumPel + pel(j);
164 -   sumYper = sumYper + yper(j);
165 -   sumElim = sumElim + elim(j);
166 -   if (yearCount == 12)
167 -
168 -     resPel(i) = sumPel;
169 -     resYper(i) = sumYper;
170 -     resElim(i) = sumElim;
171 -     %disp([sumPel, sumYper, sumElim]);
172 -     yearCount = 0;
173 -     sumPel = 0;
174 -     sumYper = 0;
175 -     sumElim = 0;
176 -     i = i+1;
177 -
178 -   end
179 -   yearCount = yearCount + 1;
180 - end
181 - %allYears = sum(resElim(:) > 0);
182 - %pleonYears = sum(resYper(:) > 0);
183 - %pelYears = sum(resPel(:) > 0);
184 - avgElim = mean(resElim);
185 - avgYper = mean(resYper);
186 - avgPel = mean(resPel);
187 -
188 - %disp(resPel);
189 - %disp(resYper);
190 - %disp(resElim);
191 - eff = (maxYears - (maxYears-pleonYears))/maxYears;
192 - effppar = (maxYears - pelYears)/maxYears;
193 - %profit = sum(eprofit,'omitnan');
194 - %disp(D1);
195 - end

```

CREDIBILITY 2/2

Εικόνα 6.2.0. (2) Credibility Function (2/2)



```
main.m x credibility.m x +
1 - filename = 'dataset.xlsx';
2 - dataset3 = xlsread('dataset3.xlsx');
3 - data = xlsread(filename);
4 - temp = NaN(408,2); %prosorinh aporooh me pparoxh
5 - [~,c] = size(dataset3);
6 - [r,~] = size(data); %r πλήθος γραμμών c πλήθος στηλών
7 - %par = [e,zmax];
8 - nvars=2;A=[];b=[];Aeq=[];beq=[];nonlcon=[];
9 - LB = [12,732];
10 - UB = [30,780];
11 - %eff1 = NaN(5,2);
12 - %Da = NaN(r,i);
13 - %D = [];
14
15
16 - for i=1:c
17 -     temp(:,1) = dataset3(:,i);
18 -     temp(:,2) = data(:,1);
19
20 -     %[eff,] = credibility(temp);
21
22 -     [eff,effppar] = ga(@par credibility(temp,par),nvars,A,b,Aeq,beq,UB,nonlcon);
23 -     eff1(i,:) = eff;
24 -     effppar1(i,:) = effppar;
25
26 -     %disp(D1);
27 -     %disp(D)
28 -     %disp(kerdos);
29 -     %profit(i,:) = bl;
30 - end
31
```

Εικόνα 6.2.0. (3) Main Function

7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

7.1.0. Αποτελέσματα υδρολογικού Μοντέλου

Για τον σκοπό της εργασίας, λοιπόν, την χωρίσαμε σε δύο στάδια (1,2).

Στο πρώτο στάδιο εισαγάγαμε τις χρονοσειρές της βροχόπτωσης και της παρατηρημένης απορροής λεκάνης απορροής. Επιλέξαμε να «τρέξουμε» το μοντέλο για τις παρακάτω περιπτώσεις

- Για **τυχαίο παράθυρο** στις χρονοσειρές (Random Window) και για μέγεθος παραθύρου:
 - $v = 3$ έτη
 - $v = 5$ έτη
 - $v = 10$ έτη

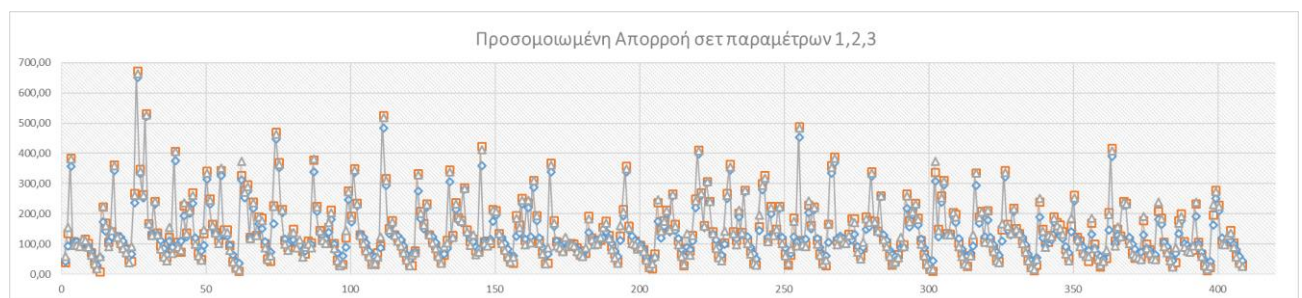
- Για **κυλιόμενο παράθυρο** στις χρονοσειρές (Rolling Window)
 - $v = 3$ έτη
 - $v = 5$ έτη
 - $v = 10$ έτη

7.1.1. RANDOM WINDOW Για $v = 3$ έτη

Αρχικά παρατίθενται τρία σεντ παραμέτρων, όπως προέκυψαν από το στάδιο 1, με την αποδοτικότητα τους στην προσομοίωση της απορροής.

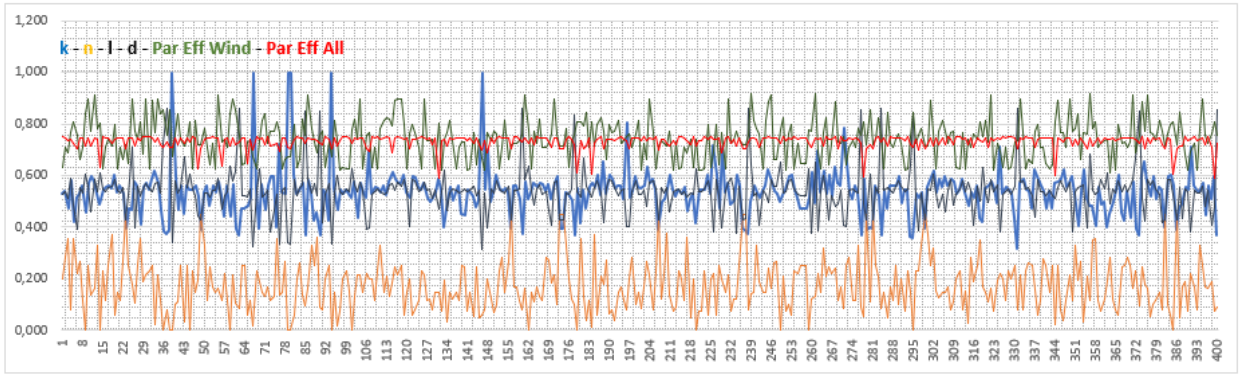
	k	n	l	d	eff	S0
1	0,4892	0,0004	0,6108	239,4514	0,842752	67,82
2	0,5144	0,2200	0,3916	240,7715	0,68318	G0
3	0,595	0,073	0,481	175,45	0,82683	69,4

Πίνακας 7.1.1.($v=3$) Τρία ενδεικτικά σεντ των παραμέτρων k n l d και της αποδοτικότητας (eff)

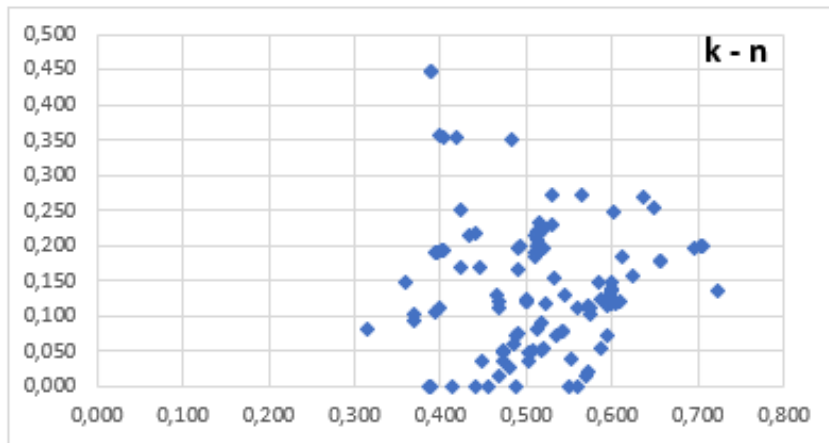


Διάγραμμα 7.1.1.($v=3$). εμφανίζονται οι προσομοιωμένες απορροές των 3 σεντ παραμέτρων του ως άνω πίνακα

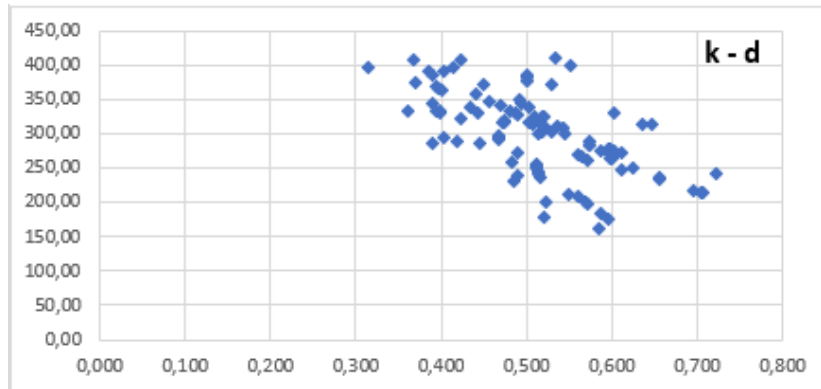
Στην συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα των συνολικών αποτελεσμάτων



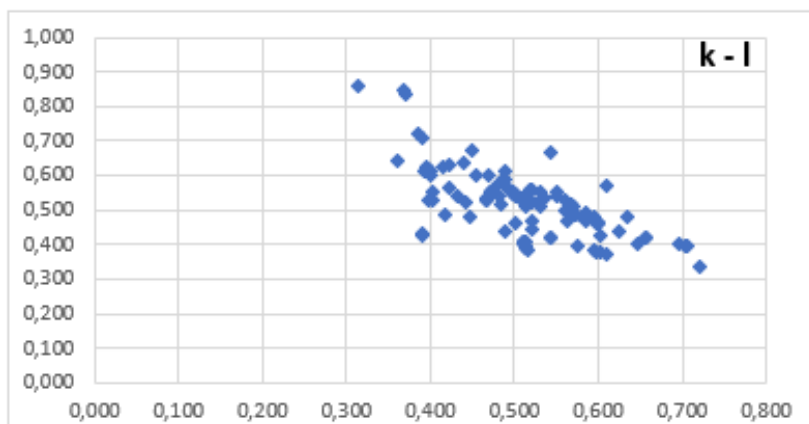
Διάγραμμα 7.1.1.(ν=3). εμφανίζονται οι παράμετροι σε σχέση με την αποδοτικότητα του μοντέλου



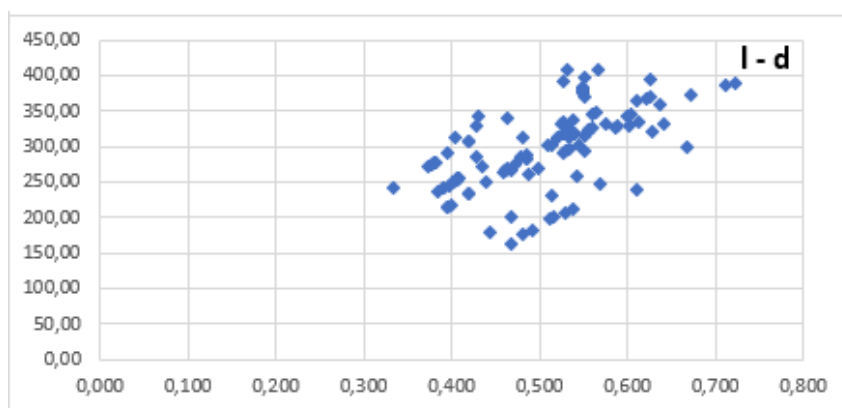
Διάγραμμα διασποράς 7.1.1.(1) συντελεστής στέρειυσης εδαφικής υγρασίας k-n ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας



Διάγραμμα διασποράς 7.1.1.(2) συντελεστής στέρειυσης εδαφικής υγρασίας k-d χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας



Διάγραμμα διασποράς 7.1.1.(3) συντελεστής στέρειυσης εδαφικής υγρασίας k-l συντελεστής στέρειυσης υπόγειου νερού



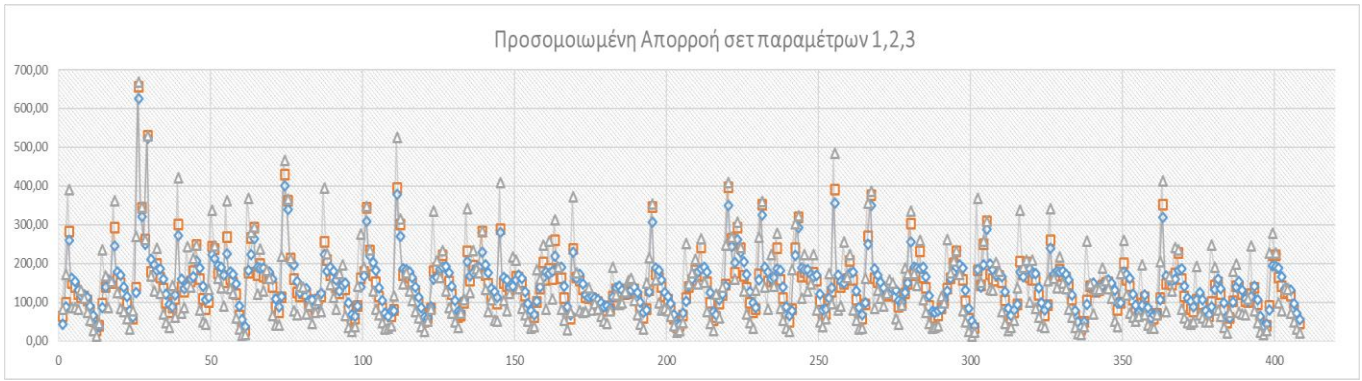
Διάγραμμα διασποράς 7.1.1.(4) συντελεστής στέρειυσης υπόγειου νερού l-d χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας

7.1.2. Random Window Για $v=5$ έτη

Αρχικά παρατίθενται τρία σεντ παραμέτρων, όπως προέκυψαν από το στάδιο 1, με την αποδοτικότητα τους στην προσομοίωση της απορροής.

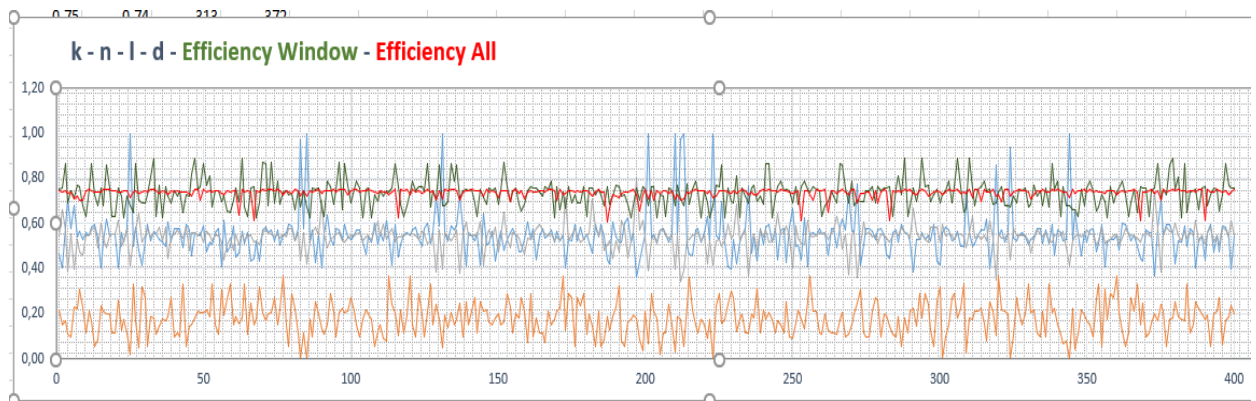
	k	n	l	d	eff	S0
1	0,4052	0,1529	0,6599	400,7283	0,650672	92,4427
2	0,5436	0,0833	0,4823	384,7185	0,799167	G0
3	0,441	0,175	0,507	185,30	0,792588	82,92325

Πίνακας 7.1.2.($v=5$) Τρία ενδεικτικά σεντ των παραμέτρων k n l d και της αποδοτικότητας (eff)

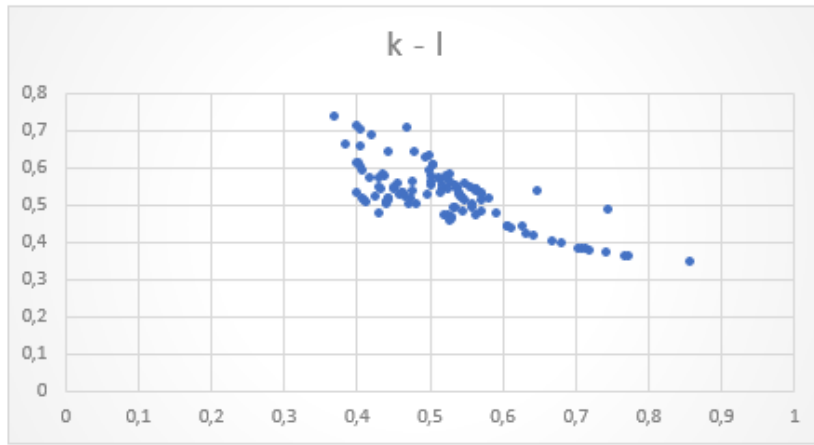


Διάγραμμα 7.1.2.(ν=5). εμφανίζονται οι προσομοιωμένες απορροές των 3 σετ παραμέτρων του ως άνω πίνακα

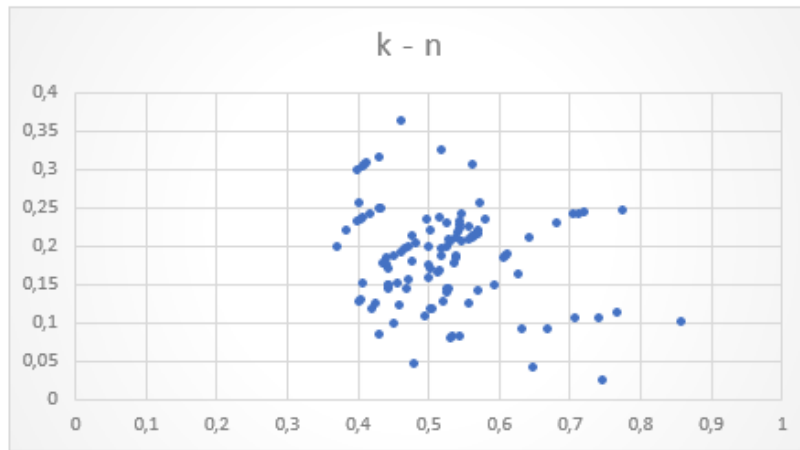
Στην συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα των συνολικών αποτελεσμάτων



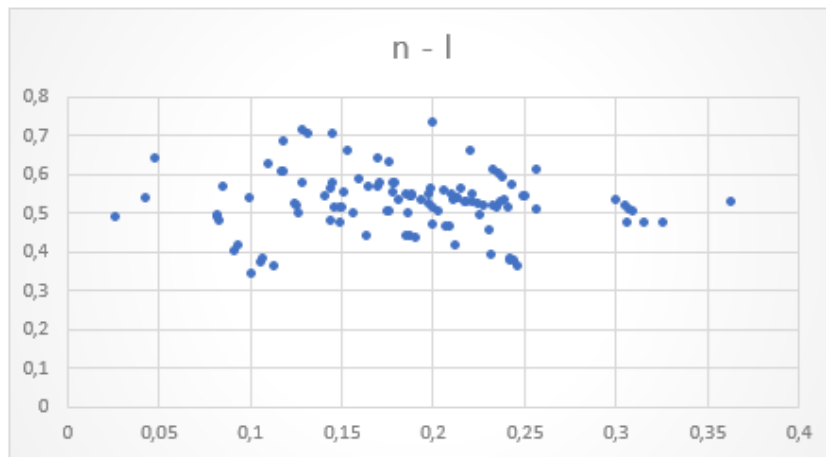
Διάγραμμα 7.1.2.(ν=5) εμφανίζονται οι παράμετροι σε σχέση με την αποδοτικότητα του μοντέλου



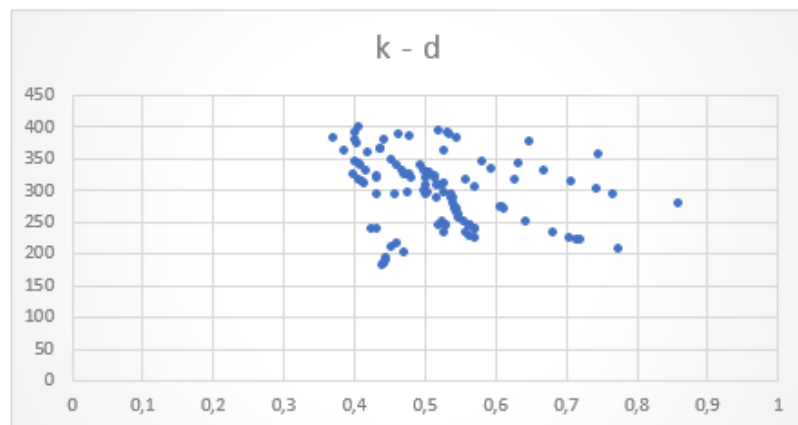
Διάγραμμα διασποράς 7.1.2.(1) συντελεστής στέρειυσης εδαφικής υγρασίας k-l συντελεστής στέρειυσης υπόγειου νερού



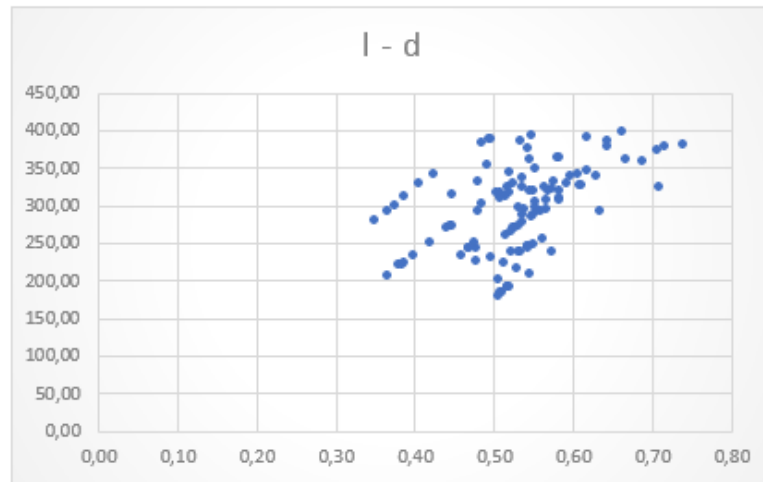
Διάγραμμα διασποράς 7.1.2.(2) συντελεστής στέρησης εδαφικής υγρασίας k-n ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας



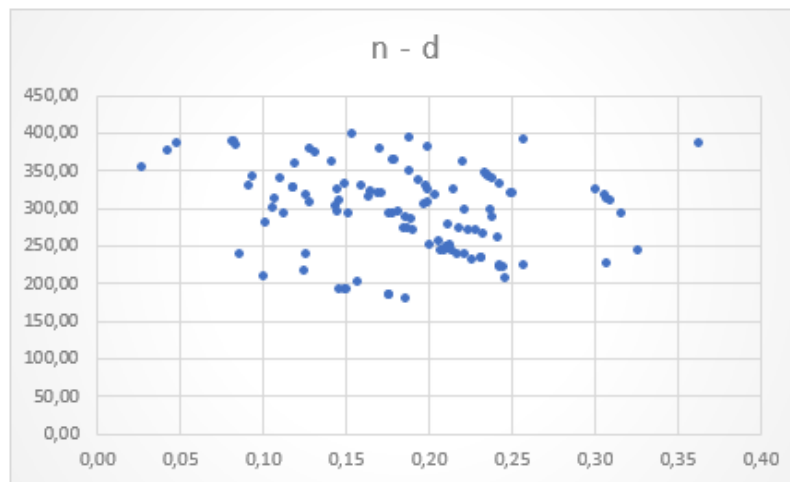
Διάγραμμα διασποράς 7.1.2.(3) ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας n-l συντελεστής στέρησης υπόγειου νερού



Διάγραμμα διασποράς 7.1.2.(4) συντελεστής στέρησης εδαφικής υγρασίας k-d χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας



Διάγραμμα διασποράς 7.1.2.(5) συντελεστής στέρησης υπόγειου νερού l-d χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας



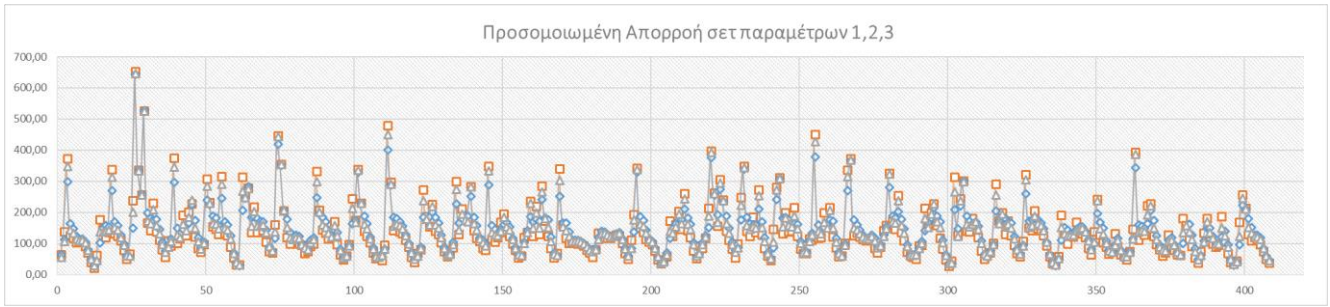
Διάγραμμα διασποράς 7.1.2.(6) ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας n-d χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας

7.1.3. Random Window Για $v=10$ έτη

Αρχικά παρατίθενται τρία σετ παραμέτρων, όπως προέκυψαν από το στάδιο 1, με την αποδοτικότητα τους στην προσομοίωση της απορροής.

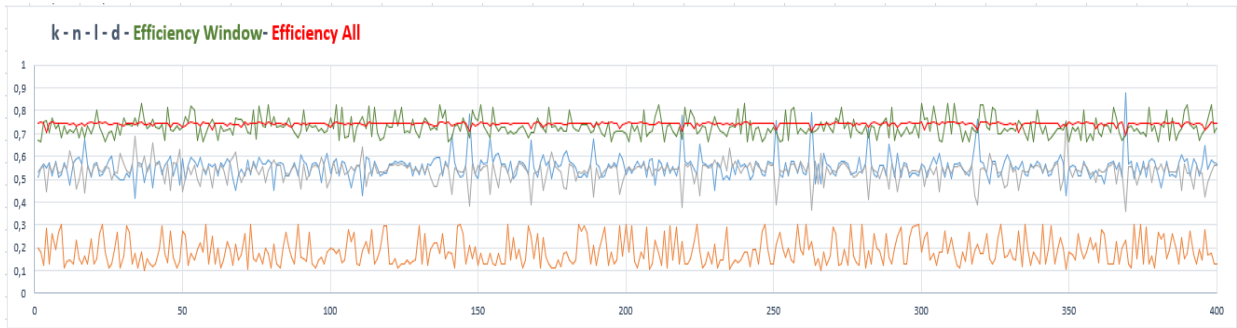
	k	n	l	d	eff	S0
1	0,5495	0,2819	0,4472	227,1284	0,757272	103,2056
2	0,5157	0,1597	0,5715	355,6172	0,692536	G0
3	0,546	0,168	0,486	288,35	0,683884	92,9398

Πίνακας 7.1.3.($v=10$) Τρία ενδεικτικά σετ των παραμέτρων k n l d και της αποδοτικότητας (eff)

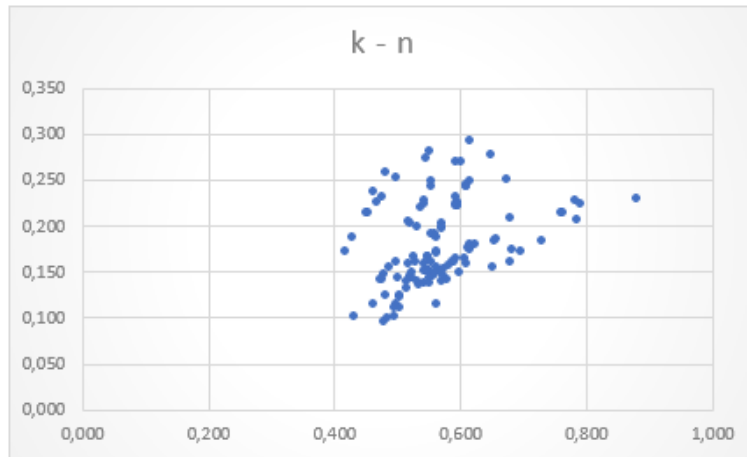


Διάγραμμα 7.1.3.(ν=10). εμφανίζονται οι προσομοιωμένες απορροές των 3 σετ παραμέτρων του ως άνω πίνακα

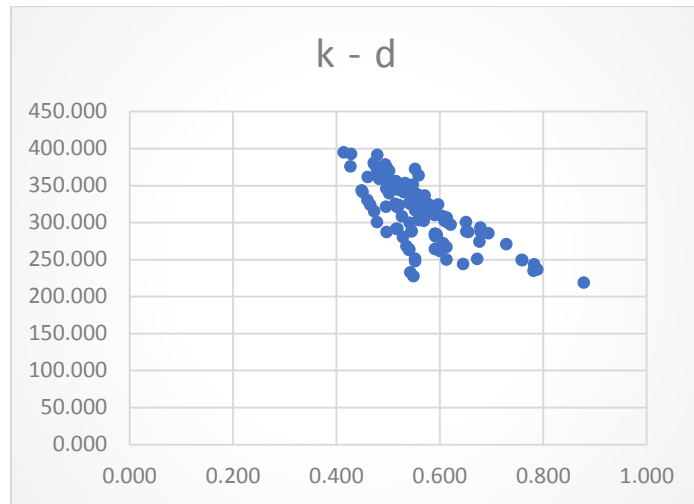
Στην συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα των συνολικών αποτελεσμάτων



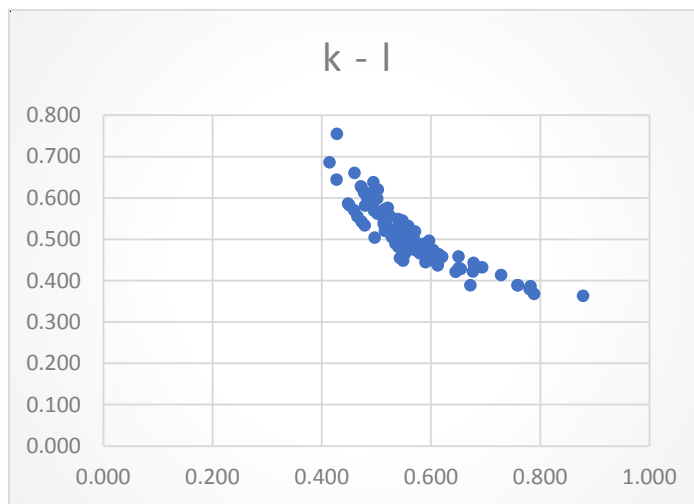
Διάγραμμα 7.1.3.(ν=10) εμφανίζονται οι παράμετροι σε σχέση με την αποδοτικότητα του μοντέλου



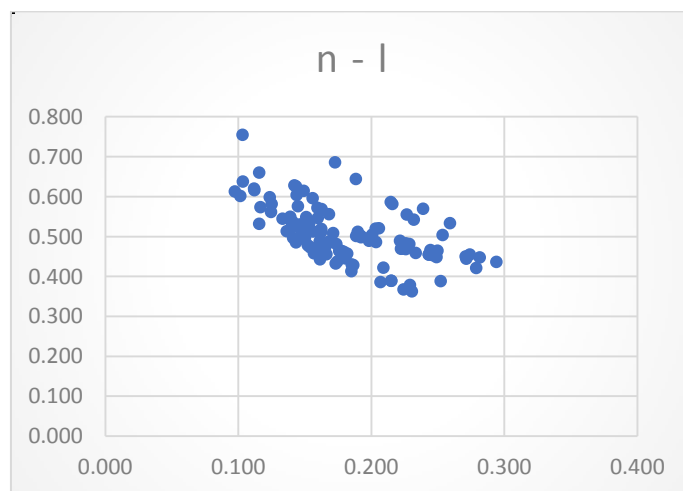
Διάγραμμα διασποράς 7.1.3.(1) συντελεστής στέρησης εδαφικής υγρασίας k-n ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας



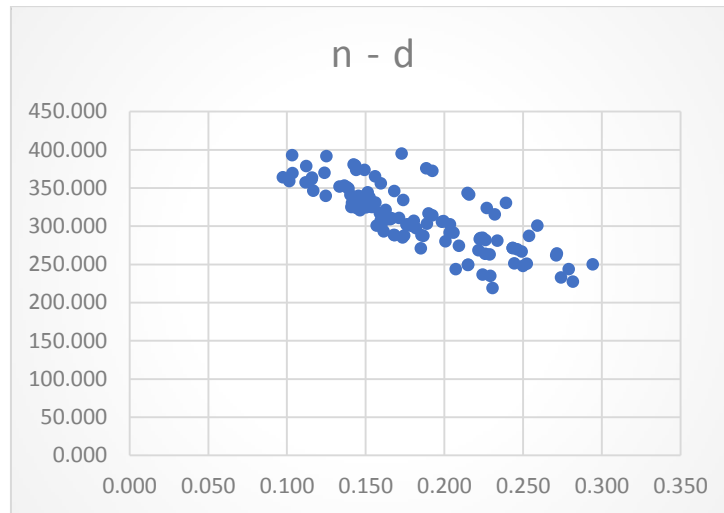
Διάγραμμα διασποράς 7.1.3.(2) συντελεστής στείρευσης εδαφικής υγρασίας k-d χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας



Διάγραμμα διασποράς 7.1.3.(3) συντελεστής στείρευσης εδαφικής υγρασίας k-l συντελεστής στείρευσης υπόγειου νερού



Διάγραμμα διασποράς 7.1.3.(4) ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας n-l συντελεστής στείρευσης υπόγειου νερού



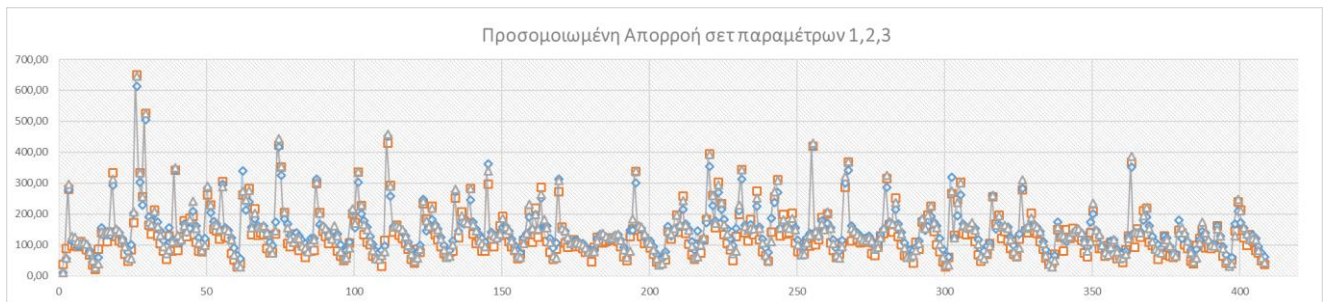
Διάγραμμα διασποράς 7.1.3.(5) ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας n-d χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας

7.1.4. Rolling Window Για $v=3$ έτη

Αρχικά παρατίθενται τρία σεντ παραμέτρων, όπως προέκυψαν από το στάδιο 1, με την αποδοτικότητα τους στην προσομοίωση της απορροής και το βέλτιστο κέρδος του ταμιευτήρα.

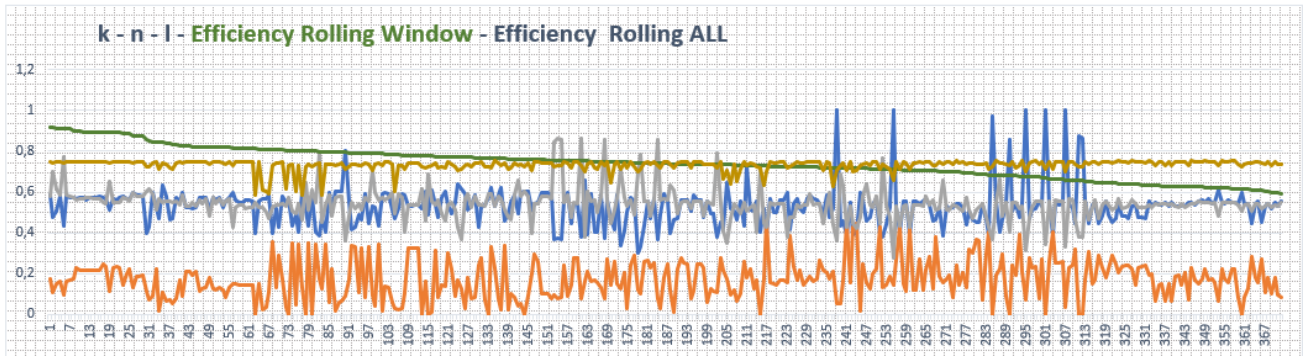
	k	n	l	d	eff	€	SO
1	0,3914	0,4300	0,4482	274,7064	0,749053	1002,767	1,8934
2	1,0000	0,1430	0,2798	195,5623	0,80882	961,6206	G0
3	0,573	0,143	0,494	281,45	0,699971	699,34	4,9476

Πίνακας 7.1.4.($v=3$) Τρία ενδεικτικά σεντ των παραμέτρων k n l d και της αποδοτικότητας (eff)

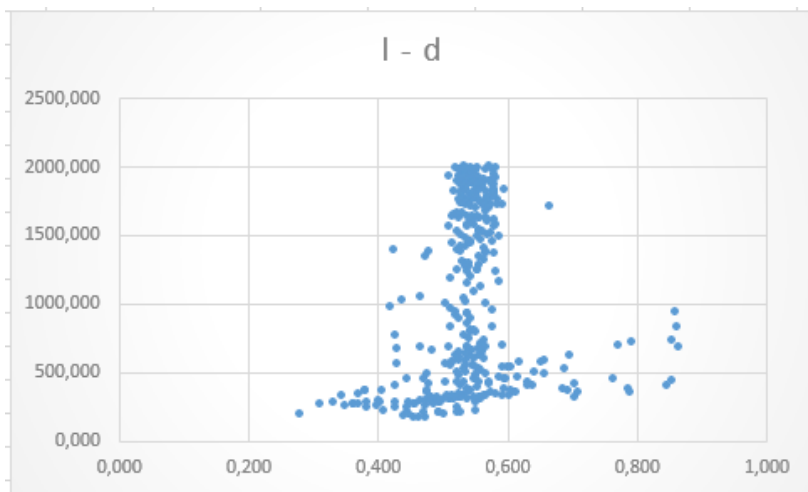


Διάγραμμα 7.1.4.($v=3$). εμφανίζονται οι προσομοιωμένες απορροές των 3 σεντ παραμέτρων του ως άνω πίνακα

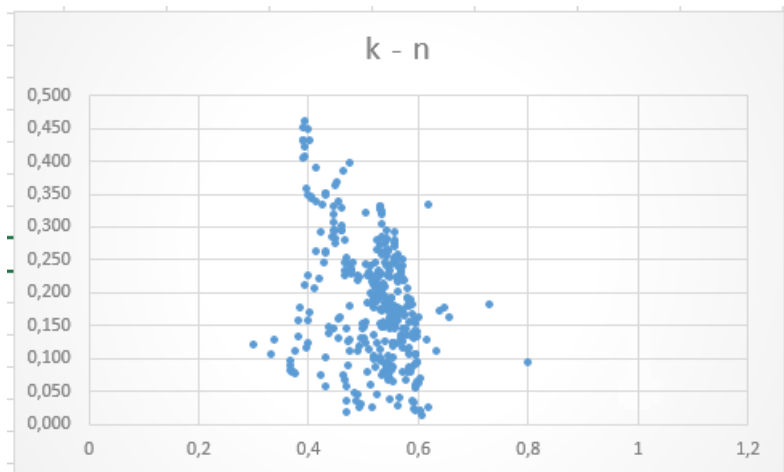
Στην συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα των συνολικών αποτελεσμάτων



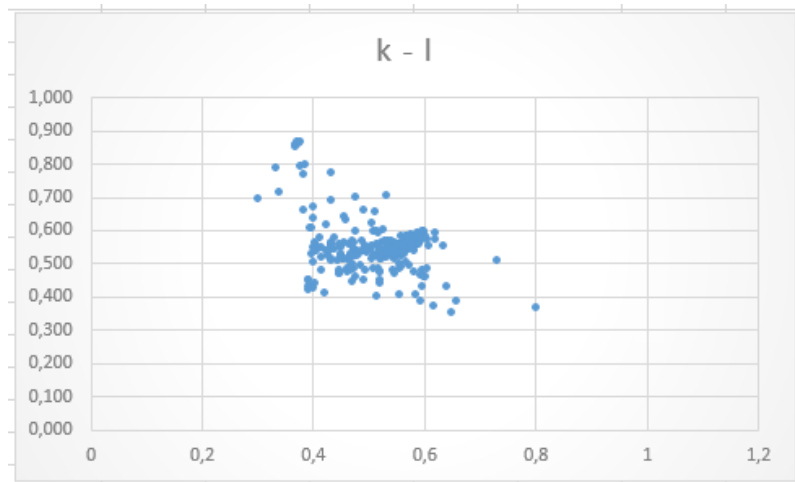
Διάγραμμα 7.1.4.(ν=3) εμφανίζονται οι παράμετροι σε σχέση με την αποδοτικότητα του μοντέλου



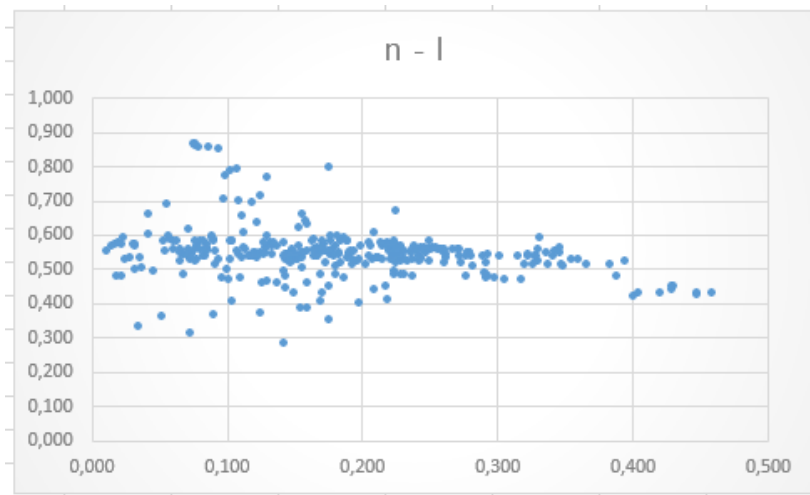
Διάγραμμα διασποράς 7.1.4.(1) συντελεστής στέρησης υπόγειου νερού l-d χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας



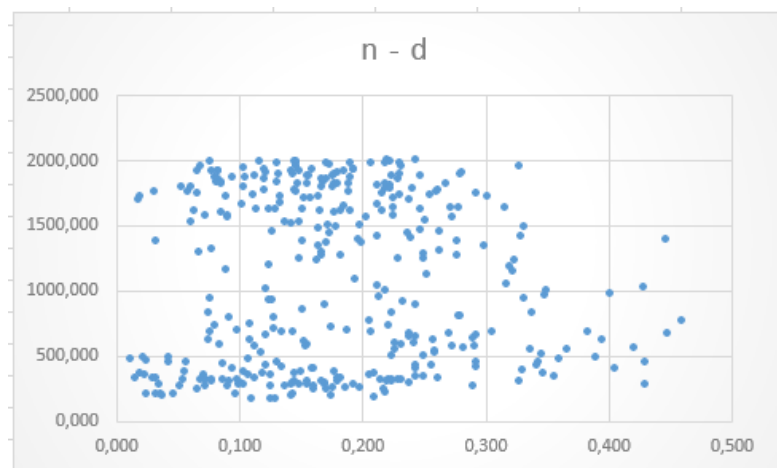
Διάγραμμα διασποράς 7.1.4.(2) συντελεστής στέρησης εδαφικής υγρασίας k-n ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας



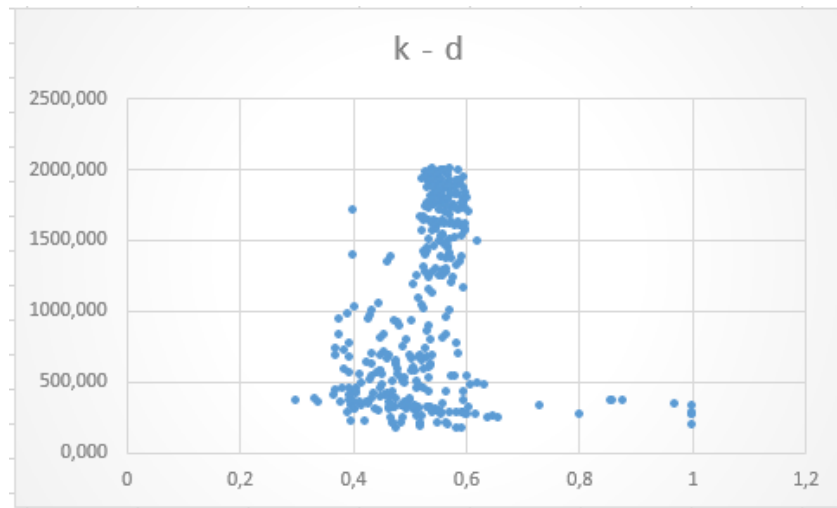
Διάγραμμα διασποράς 7.1.4.(3) συντελεστής στέρησης εδαφικής υγρασίας k-l συντελεστής στέρησης υπόγειου νερού



Διάγραμμα διασποράς 7.1.4.(4) ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας n-l συντελεστής στέρησης υπόγειου νερού



Διάγραμμα διασποράς 7.1.4.(5) ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας n-d χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας



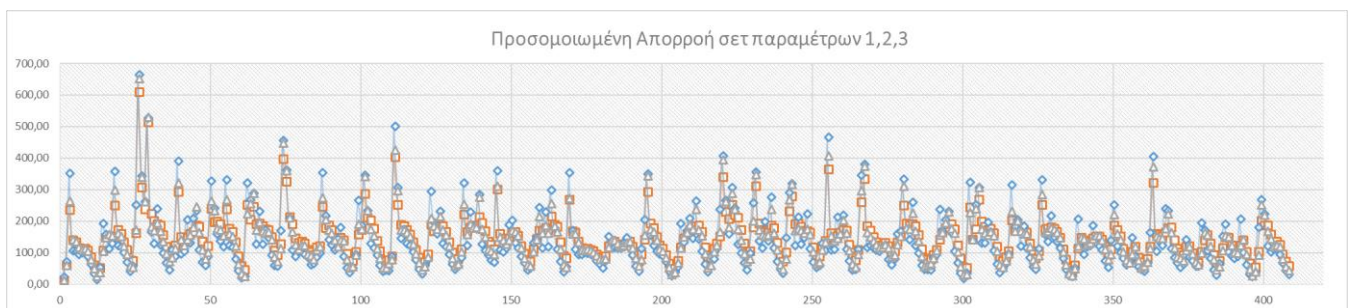
Διάγραμμα διασποράς 7.1.4.(6) συντελεστής στέρεισης εδαφικής υγρασίας k-d χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας

7.1.5. Rolling Window Για $v=5$ έτη

Αρχικά παρατίθενται τρία σετ παραμέτρων, όπως προέκυψαν από το στάδιο 1, με την αποδοτικότητα τους στην προσομοίωση της απορροής και το βέλτιστο κέρδος του ταμειυτήρα.

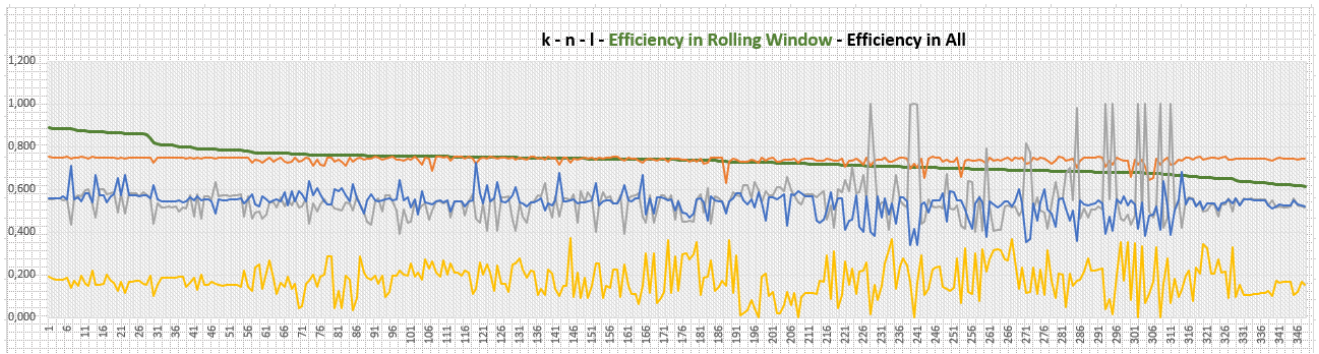
	k	n	l	d	eff	€	S0
1	0,7278	0,1569	0,3826	298,5479	0,749	983,753	2,3184
2	0,5015	0,2632	0,5289	222,2327	0,667	947,017	G0
3	0,496	0,147	0,604	339,40	0,679	697,129	4,783

Πίνακας 7.1.5.(v=5) Τρία ενδεικτικά σετ των παραμέτρων k n l d και της αποδοτικότητας (eff)

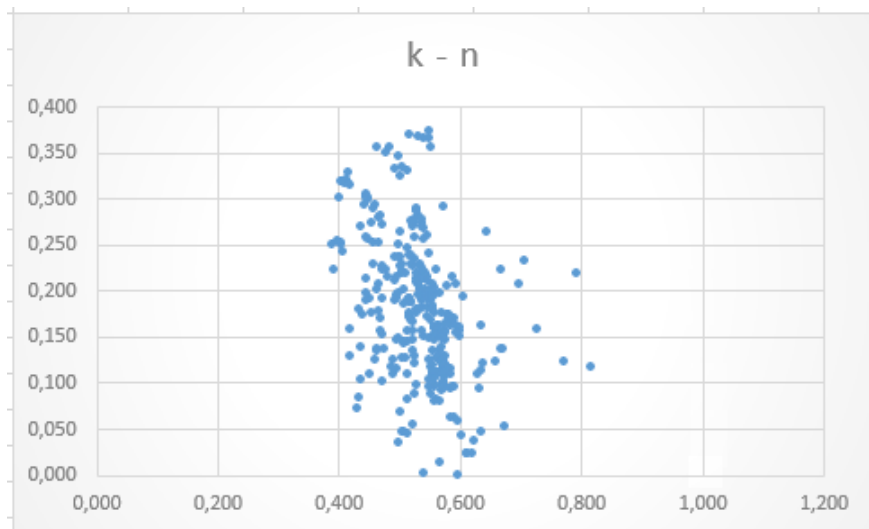


Διάγραμμα 7.1.5.(v=5). εμφανίζονται οι προσομοιωμένες απορροές των 3 σετ παραμέτρων του ως άνω πίνακα

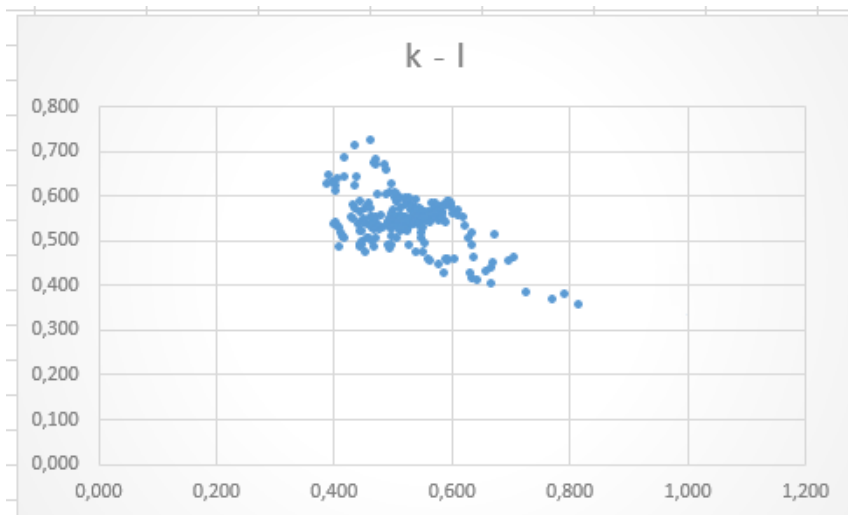
Στην συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα των συνολικών αποτελεσμάτων



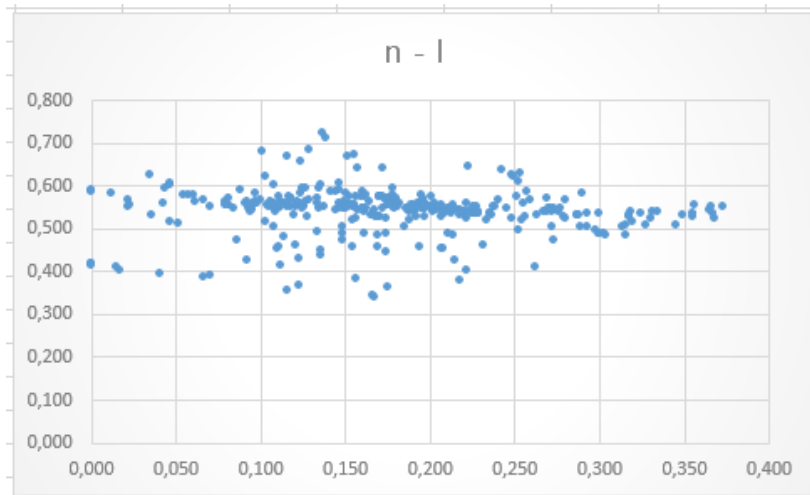
Διάγραμμα 7.1.5.(ν=5) εμφανίζονται οι παράμετροι σε σχέση με την αποδοτικότητα του μοντέλου



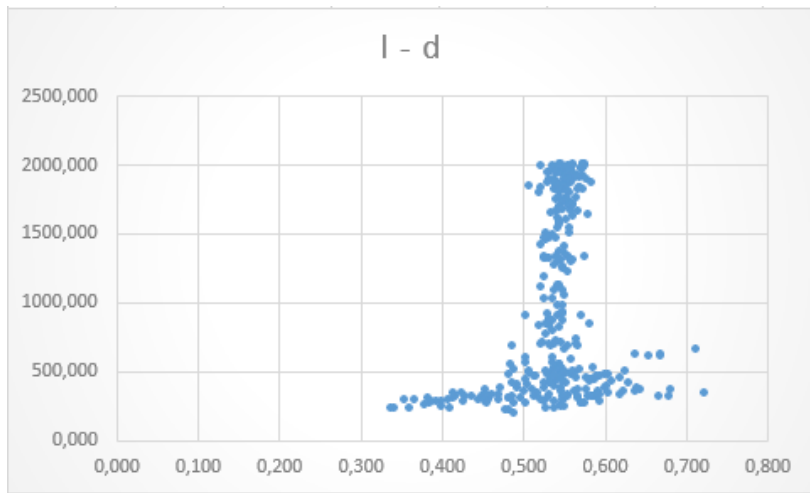
Διάγραμμα διασποράς 7.1.5.(1) συντελεστής στέρησης εδαφικής υγρασίας k-n ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας



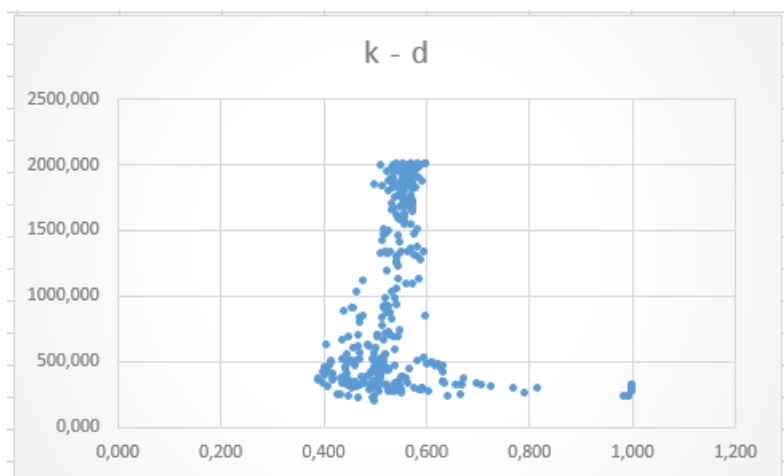
Διάγραμμα διασποράς 7.1.5.(2) συντελεστής στέρησης εδαφικής υγρασίας k-l συντελεστής στέρησης υπόγειου νερού



Διάγραμμα διασποράς 7.1.5.(3) ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας n-l συντελεστής στέρειυσης υπόγειου νερού



Διάγραμμα διασποράς 7.1.5.(4) συντελεστής στέρειυσης υπόγειου νερού l-d χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας



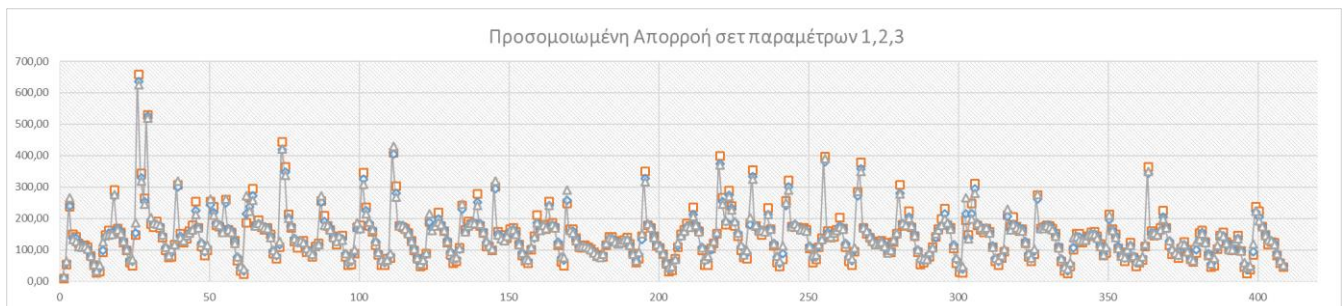
Διάγραμμα διασποράς 7.1.5.(5) συντελεστής στέρειυσης εδαφικής υγρασίας k-d χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας

7.1.6. Rolling Window Για $v=10$ έτη

Αρχικά παρατίθενται τρία σετ παραμέτρων, όπως προέκυψαν από το στάδιο 1, με την αποδοτικότητα τους στην προσομοίωση της απορροής και το βέλτιστο κέρδος του ταμιευτήρα.

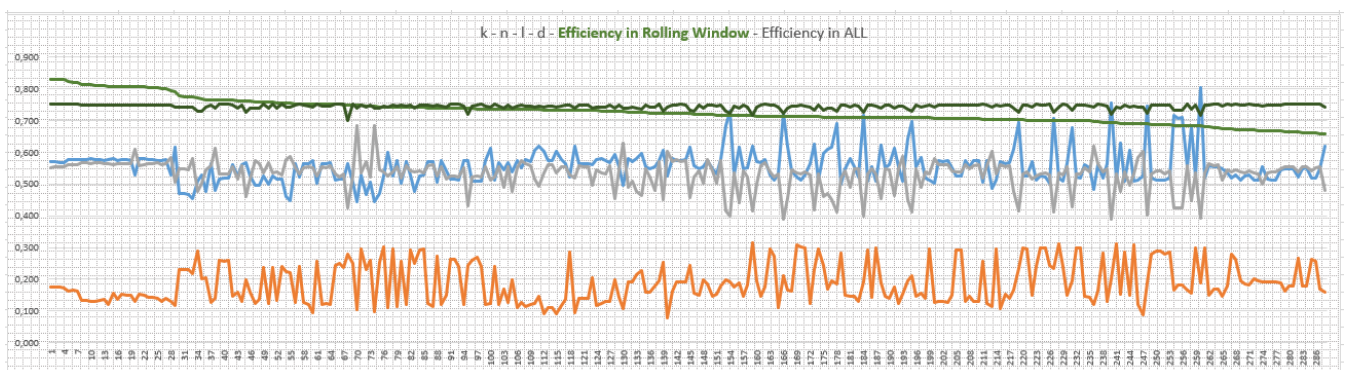
	k	n	l	d	eff	€	S0
1	0,4457	0,1036	0,6829	389,3892	0,749	978,197	1,7787
2	0,5331	0,1539	0,5036	345,4981	0,706	931,346	G0
3	0,692	0,187	0,411	274,22	0,722	691,791	4,7992

Πίνακας 7.1.6.($v=10$) Τρία ενδεικτικά σετ των παραμέτρων k n l d και της αποδοτικότητας (eff)

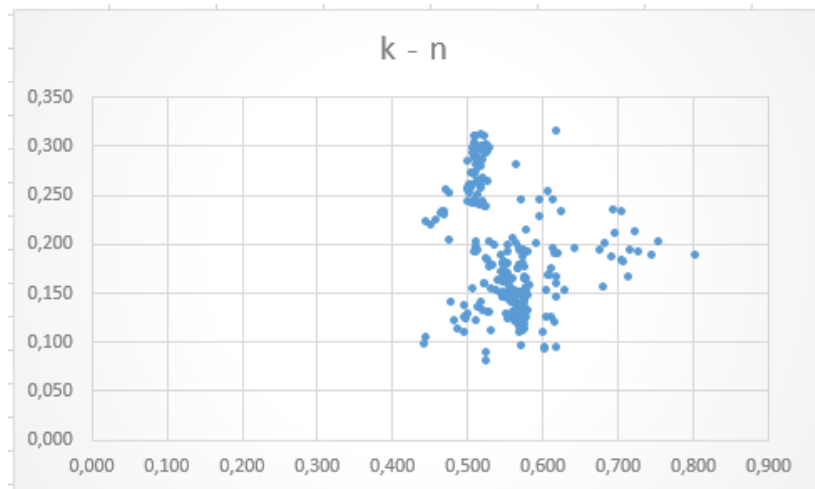


Διάγραμμα 7.1.6.($v=10$). εμφανίζονται οι προσομοιωμένες απορροές των 3 σετ παραμέτρων του ως άνω πίνακα

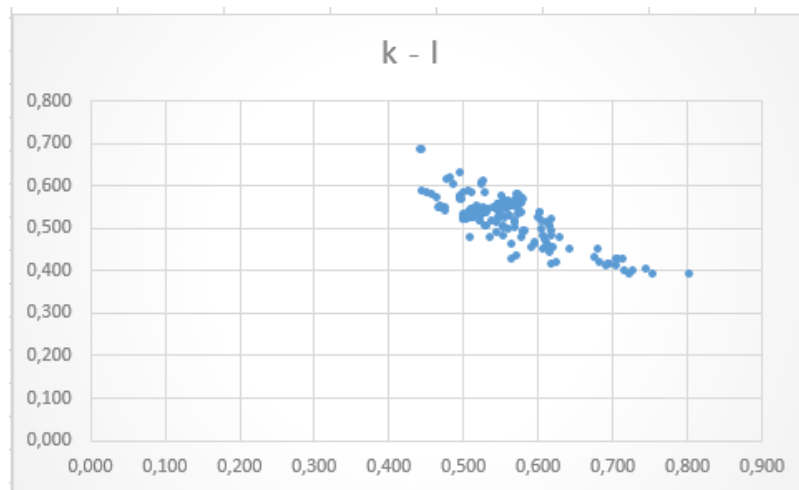
Στην συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα των συνολικών αποτελεσμάτων



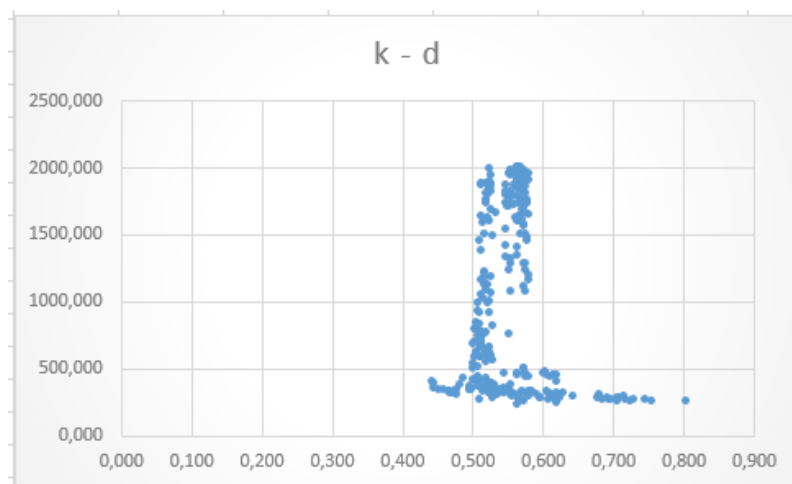
Διάγραμμα 7.1.6.($v=10$) εμφανίζονται οι παράμετροι σε σχέση με την αποδοτικότητα του μοντέλου



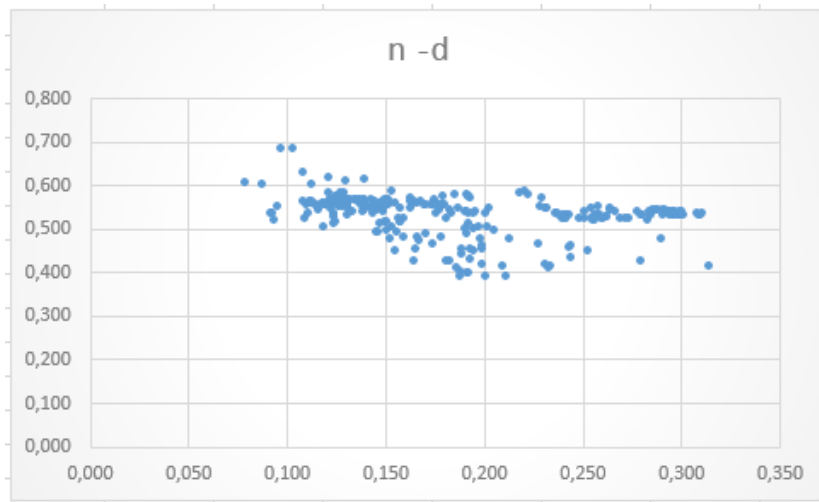
Διάγραμμα διασποράς 7.1.6.(1) συντελεστής στέρειυσης εδαφικής υγρασίας k-n ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας



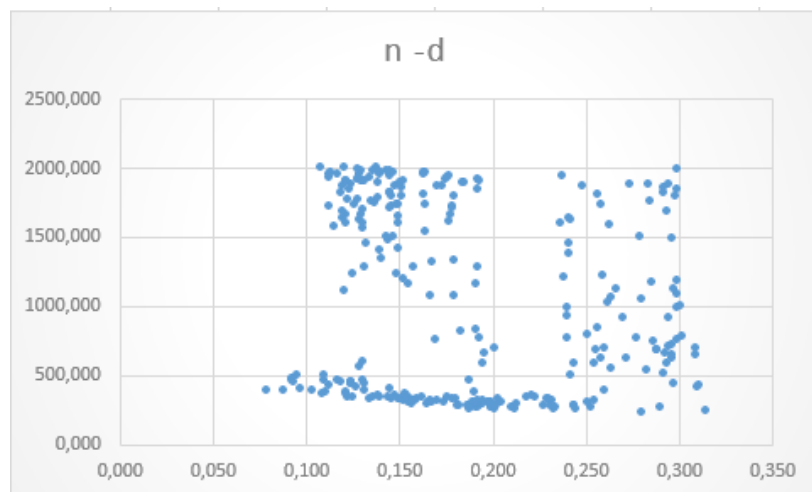
Διάγραμμα διασποράς 7.1.6.(2) συντελεστής στέρειυσης εδαφικής υγρασίας k-l συντελεστής στέρειυσης υπόγειου νερού



Διάγραμμα διασποράς 7.1.6.(3) συντελεστής στέρειυσης εδαφικής υγρασίας k-d χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας



Διάγραμμα διασποράς 7.1.6.(4) ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας n-d χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας



Διάγραμμα διασποράς 7.1.6.(5) συντελεστής στείρευσης εδαφικής υγρασίας k-d χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας

7.2.0. Αποτελέσματα Διαχειριστικού Μοντέλου

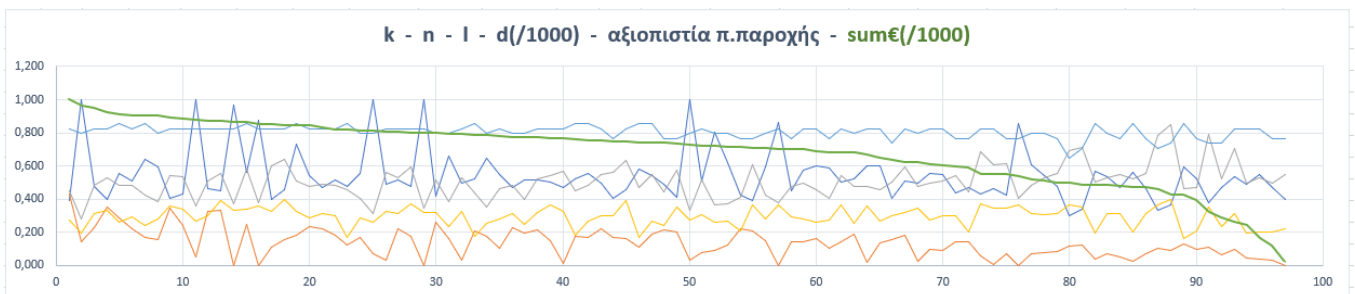
Στο δεύτερο στάδιο, λοιπόν, εισαγάγαμε τις βελτιστοποιημένες παραμέτρους του πρώτου σταδίου για τις παρακάτω περιπτώσεις

- Για **κυλιόμενο παράθυρο** στις χρονοσειρές (Rolling Window)
 - $v = 3$ έτη
 - $v = 5$ έτη
 - $v = 10$ έτη

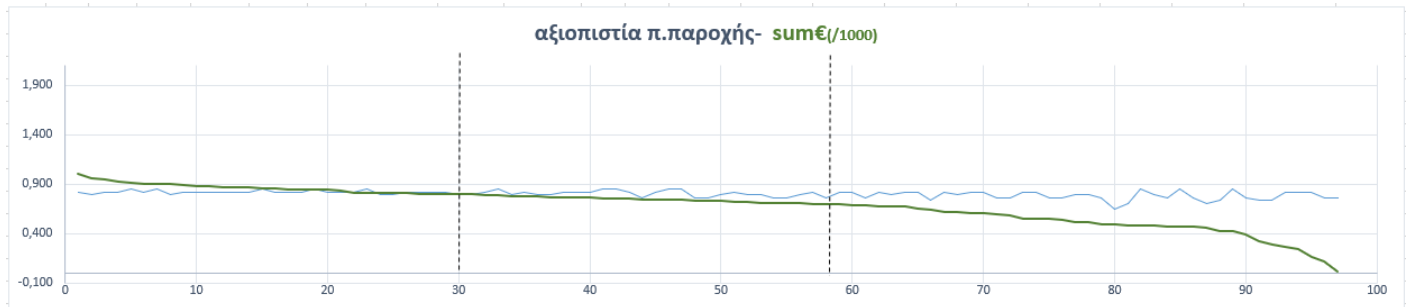
7.2.1. ROLLING WINDOW Για v=3 έτη

Max Years: 3		Rolling window mode:		STAGE 1							STAGE 2											
				Βελτιστοποιημένες παράμετροι																		
		k	n	l	d/1000	d	zmax	στόχος e	π. παροχή	sum €	sum €/1000											
1	0,391	0,430	0,448	0,275	274,706	758,628	29,964	0,824	1002,767	1,003		47	0,541	0,192	0,551	0,271	270,581	770,349	28,839	0,853	740,040	0,740
2	1,000	0,143	0,280	0,196	195,562	764,737	28,088	0,794	961,621	0,962		48	0,491	0,218	0,446	0,242	242,078	768,165	29,999	0,765	739,087	0,739
3	0,474	0,229	0,483	0,312	311,726	745,121	27,357	0,824	949,173	0,949		49	0,413	0,206	0,574	0,354	353,653	769,133	29,653	0,765	732,790	0,733
4	0,400	0,356	0,527	0,336	335,501	736,563	29,490	0,824	926,991	0,927		50	1,000	0,035	0,331	0,273	272,695	754,267	29,079	0,794	731,759	0,732
5	0,558	0,290	0,486	0,264	263,521	733,493	28,429	0,853	911,676	0,912		51	0,508	0,078	0,519	0,304	304,235	772,543	28,743	0,824	722,789	0,723
6	0,510	0,224	0,481	0,297	296,601	760,577	27,809	0,824	907,301	0,907		52	0,803	0,091	0,364	0,263	262,838	741,473	29,404	0,794	719,139	0,719
7	0,640	0,171	0,426	0,242	241,978	737,866	27,187	0,853	905,105	0,905		53	0,618	0,125	0,370	0,268	268,220	746,960	29,726	0,794	716,049	0,716
8	0,595	0,155	0,383	0,280	280,416	773,114	28,009	0,794	904,498	0,904		54	0,422	0,219	0,411	0,212	212,092	778,052	29,878	0,765	715,686	0,716
9	0,402	0,347	0,544	0,362	361,993	749,402	29,930	0,824	893,298	0,893		55	0,395	0,210	0,605	0,363	363,104	733,621	29,832	0,765	711,062	0,711
10	0,429	0,243	0,537	0,337	337,229	737,051	28,207	0,824	882,718	0,883		56	0,598	0,150	0,428	0,281	281,461	755,378	29,721	0,794	710,031	0,710
11	1,000	0,052	0,362	0,267	267,188	775,583	28,043	0,824	878,607	0,879		57	0,861	0,000	0,382	0,365	364,800	758,514	29,497	0,824	704,762	0,705
12	0,464	0,327	0,512	0,298	298,087	761,218	29,938	0,824	874,654	0,875		58	0,448	0,144	0,475	0,292	291,893	757,520	29,247	0,765	704,721	0,705
13	0,449	0,330	0,554	0,390	390,314	733,717	29,967	0,824	873,453	0,873		59	0,573	0,143	0,494	0,281	281,452	765,089	29,555	0,824	699,340	0,699
14	0,970	0,000	0,369	0,334	334,396	776,023	27,676	0,824	866,069	0,866		60	0,603	0,160	0,457	0,261	261,106	767,493	29,732	0,824	689,475	0,689
15	0,559	0,250	0,582	0,343	342,785	748,083	28,219	0,853	863,235	0,863		61	0,585	0,104	0,405	0,274	274,079	776,018	29,564	0,765	686,066	0,686
16	0,877	0,000	0,382	0,360	359,975	755,107	27,531	0,824	853,637	0,854		62	0,502	0,145	0,542	0,364	363,958	779,859	29,866	0,824	682,164	0,682
17	0,399	0,113	0,604	0,329	329,284	751,854	27,152	0,824	850,643	0,851		63	0,522	0,187	0,475	0,255	254,894	746,086	29,977	0,794	680,971	0,681
18	0,458	0,159	0,639	0,397	397,461	744,592	28,217	0,824	845,048	0,845		64	0,598	0,019	0,477	0,358	357,947	745,408	29,047	0,824	672,172	0,672
19	0,731	0,180	0,509	0,327	327,226	764,906	27,659	0,853	844,258	0,844		65	0,601	0,138	0,459	0,265	264,793	774,816	29,769	0,824	651,613	0,652
20	0,544	0,238	0,477	0,288	287,686	742,148	29,017	0,824	844,035	0,844		66	0,403	0,156	0,504	0,302	301,922	771,649	29,874	0,735	639,098	0,639
21	0,468	0,224	0,493	0,316	316,046	742,289	28,940	0,824	832,420	0,832		67	0,510	0,182	0,593	0,321	321,495	745,515	29,993	0,824	626,019	0,626
22	0,518	0,180	0,483	0,301	301,292	761,070	28,565	0,824	818,224	0,818		68	0,494	0,023	0,477	0,346	346,118	770,764	29,596	0,794	625,221	0,625
23	0,477	0,126	0,456	0,172	171,991	774,590	26,229	0,853	818,089	0,818		69	0,557	0,100	0,498	0,273	272,662	748,042	29,638	0,824	613,792	0,614
24	0,555	0,169	0,403	0,289	288,927	740,227	29,026	0,794	816,843	0,817		70	0,548	0,092	0,511	0,300	300,300	757,366	29,727	0,824	606,598	0,607
25	1,000	0,073	0,311	0,261	261,193	758,019	28,909	0,794	812,420	0,812		71	0,439	0,145	0,540	0,303	302,598	760,555	29,991	0,765	596,047	0,596
26	0,488	0,032	0,564	0,328	327,954	733,229	26,911	0,824	809,263	0,809		72	0,470	0,144	0,445	0,205	205,920	771,319	29,644	0,765	588,259	0,588
27	0,515	0,222	0,528	0,317	316,510	756,780	29,090	0,824	804,950	0,805		73	0,434	0,056	0,685	0,375	374,747	767,420	28,986	0,824	552,757	0,553
28	0,476	0,178	0,595	0,371	370,532	767,629	28,214	0,824	802,254	0,802		74	0,465	0,009	0,608	0,345	345,071	778,956	28,869	0,824	551,948	0,552
29	1,000	0,000	0,345	0,320	320,406	779,267	28,996	0,824	801,016	0,801		75	0,426	0,072	0,613	0,344	343,961	763,716	29,010	0,765	549,017	0,549
30	0,417	0,261	0,514	0,323	322,705	759,725	29,886	0,794	799,618	0,800		76	0,856	0,000	0,406	0,366	366,380	770,657	29,897	0,765	539,438	0,539
31	0,659	0,160	0,383	0,234	234,243	738,124	29,083	0,794	797,202	0,797		77	0,607	0,069	0,483	0,311	311,274	752,188	29,943	0,794	521,640	0,522
32	0,499	0,029	0,531	0,327	326,953	751,794	27,383	0,824	794,444	0,794		78	0,540	0,078	0,526	0,308	307,840	740,015	29,787	0,794	513,180	0,513
33	0,521	0,210	0,440	0,175	174,969	770,836	28,479	0,853	787,068	0,787		79	0,475	0,086	0,559	0,311	310,792	754,435	29,878	0,765	497,448	0,497
34	0,649	0,176	0,351	0,252	251,854	772,000	29,983	0,794	784,783	0,785		80	0,301	0,119	0,693	0,367	366,912	760,678	29,617	0,647	497,366	0,497
35	0,548	0,102	0,466	0,284	283,580	744,811	28,843	0,824	783,904	0,784		81	0,339	0,126	0,710	0,353	353,228	737,098	29,806	0,706	489,574	0,489
36	0,469	0,232	0,483	0,313	312,650	755,575	29,949	0,794	774,835	0,775		82	0,568	0,038	0,503	0,194	193,609	735,169	27,666	0,853	486,755	0,487
37	0,515	0,198	0,400	0,250	250,105	762,534	29,759	0,794	772,953	0,773		83	0,537	0,073	0,528	0,310	310,404	738,810	29,887	0,794	486,137	0,486
38	0,518	0,215	0,525	0,317	317,010	771,772	29,437	0,824	772,235	0,772		84	0,471	0,055	0,549	0,313	313,163	750,664	29,590	0,765	477,496	0,477
39	0,501	0,151	0,539	0,368	368,225	766,430	28,564	0,824	769,566	0,770		85	0,565	0,025	0,524	0,200	200,067	733,161	27,390	0,853	474,047	0,474
40	0,473	0,015	0,566	0,328	328,290	767,776	26,903	0,824	766,903	0,767		86	0,464	0,072	0,557	0,314	313,612	772,892	29,920	0,765	470,505	0,471
41	0,521	0,176	0,448	0,185	184,801	746,086	28,210	0,853	761,855	0,762		87	0,335	0,103	0,787	0,369	369,147	736,485	29,672	0,706	460,535	0,461
42	0,557	0,170	0,485	0,271	270,617	735,451	28,766	0,853	757,215	0,757		88	0,368	0,094	0,847	0,398	398,245	762,099	29,910	0,735	427,740	0,428
43	0,495	0,220	0,551	0,300	299,942	738,102	29,489	0,824	756,021	0,756		89	0,595	0,130	0,464	0,160	160,417	744,004	29,399	0,853	426,018	0,426
44	0,405	0,167	0,561	0,299	299,162	764,964	28,535	0,765	749,743	0,750		90	0,522	0,097	0,473	0,207	206,989	747,281	29,968	0,765	397,586	0,398
45	0,460	0,160	0,631	0,394	394,428	746,446	28,806	0,824	748,893	0,749		91	0,378	0,108	0,789	0,352	351,618	733,563	29,980	0,735	323,215	0,323
46	0,584	0,111	0,474	0,167	167,490	778,342	28,265	0,853	741,766	0,742		92	0,468	0,066	0,523	0,234	233,507	745,955	29,841	0,735	287,999	0,288
												93	0,533	0,098	0,705	0,316	316,448	763,030	29,700	0,824	266,587	0,267
												94	0,487	0,047	0,494	0,199	198,755	752,618	29,374	0,824	242,831	0,243
												95	0,550	0,036	0,529	0,205	205,428	733,292	29,730	0,824	165,227	0,165
												96	0,472	0,032	0,496	0,206	205,645	747,352	29,971	0,765	119,895	0,120
												97	0,398	0,000	0,552	0,219	218,824	771,769	29,338	0,765	20,310	0,020

Πίνακας 7.2.1.(v=3). Συνολικά αποτελέσματα k n l Efficiency (στάδιο1) και βελτιστοποιημένων παραμέτρων σταδίου 2



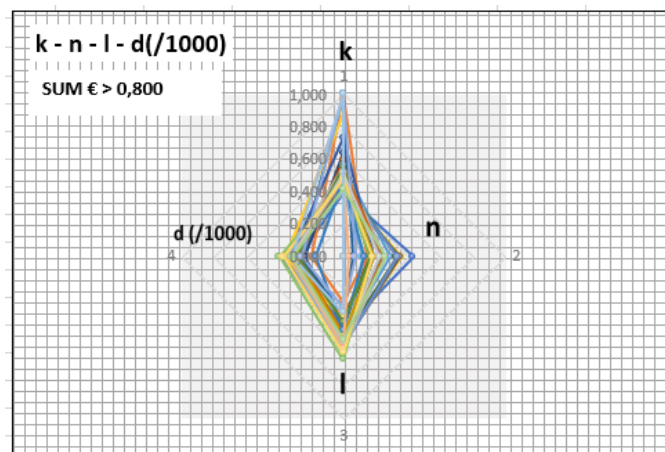
προκύπτουν από το μοντέλο διαχείρισης εισάγοντας την προσομοιωμένη παροχή που έχει προκύψει από τις παραμέτρους αυτές..



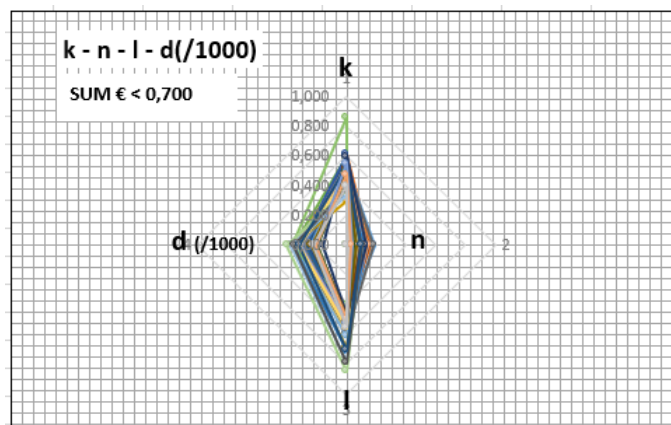
Διάγραμμα 7.2.1.(ν=3) (2) Αξιοπιστία π. Παροχής / συνολικό κέρδος

Στο διάγραμμα αποτυπώνεται η αξιοπιστία της περιβαλλοντικής παροχής με το αντίστοιχο συνολικό κέρδος.

Αν θεωρήσουμε κάθε set παραμέτρων ένα ρόμβο με κέντρο το σημείο (0,0) μπορούμε να εξετάσουμε την συσχέτιση μεταξύ τους με μεγέθη όπως το εμβαδόν και η περίμετρος του κάθε ρόμβου,

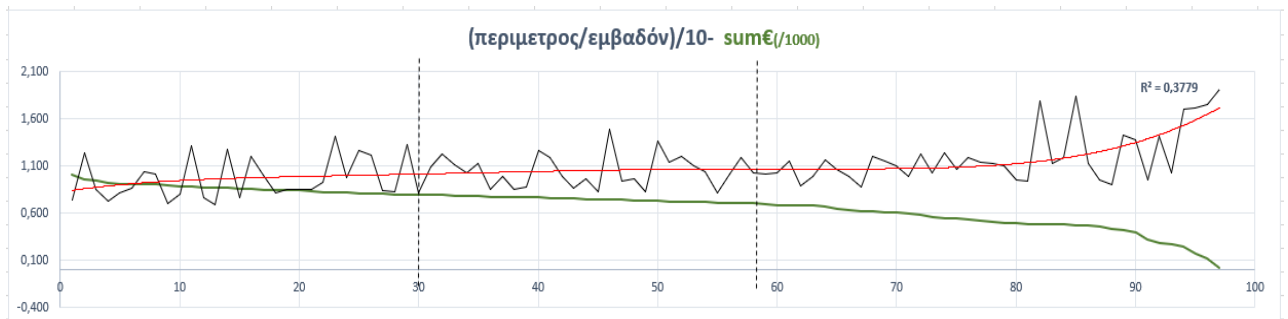


Διάγραμμα 7.2.1.(ν=3) (3) Τα σετ-«ρόμβοι» των παραμέτρων που «παράγουν» κέρδος > 0,800€



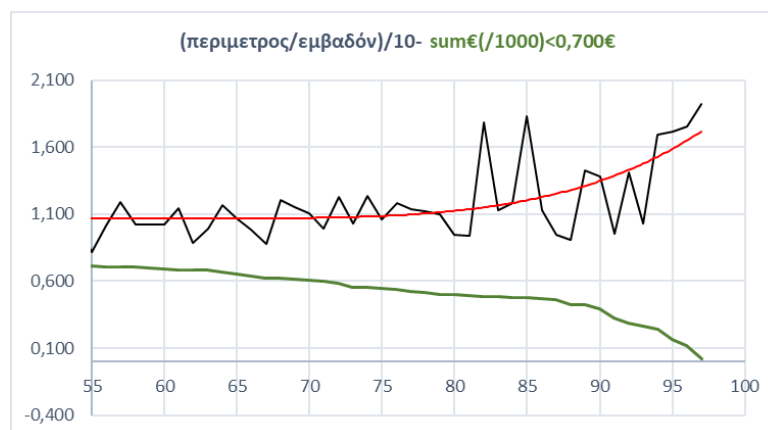
Διάγραμμα 7.2.1.(ν=3) (4) Τα σετ-«ρόμβοι» των παραμέτρων που «παράγουν» κέρδος < 0,700€

Ένα από τα μεγέθη που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είναι η περίμετρος δια το εμβαδόν του κάθε «ρόμβου» και η πολυωνυμική γραμμή τάσης (σειράς 5) όπου φαίνεται να συμπεριφέρεται κάπως αντιστρόφως ανάλογα με το συνολικό κέρδος που προκύπτει από κάθε σετ βελτιστοποιημένων παραμέτρων του υδρολογικού μοντέλου.

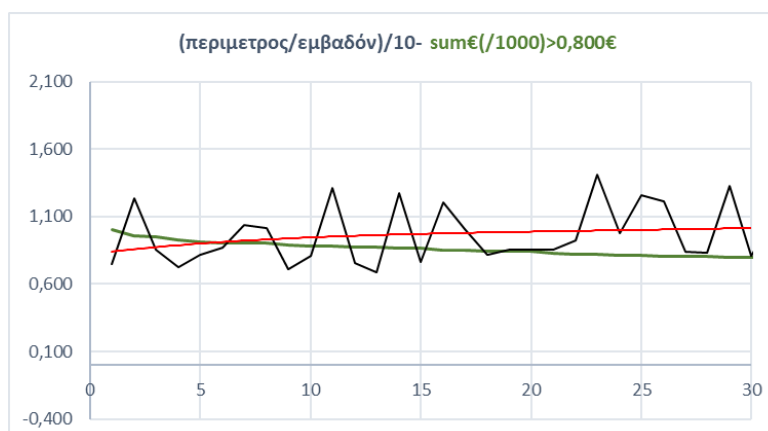


Διάγραμμα 7.2.1.(ν=3) (5) (περίμετρος/εμβαδόν)/10 – συνολικό κέρδος

Στην συνέχεια χωρίσαμε τα σετ των παραμέτρων στα δύο πιο «σημαντικά» «πακέτα», ένα με τις παραμέτρους από τις οποίες προκύπτει το μεγαλύτερο κέρδος ($\text{sum}\text{€}/1000 > 0,800$) και ένα από αυτές που προκύπτει το μικρότερο ($\text{sum}\text{€}/1000 < 0,700$). Κατόπιν εξετάσαμε την πολυωνυμική γραμμή τάσης (σειράς 5) που προκύπτει από τα(2) σετ παραμέτρων και εξαγάγαμε το R^2 για κάθε «πακέτο».



Διάγραμμα 7.2.1.(ν=3) (6) (περίμετρος/εμβαδόν)/10 των σετ παραμέτρων με συνολικό κέρδος < 0.700



Διάγραμμα 7.2.1.(ν=3) (7) (περίμετρος/εμβαδόν)/10 των σετ παραμέτρων με συνολικό κέρδος > 0.800

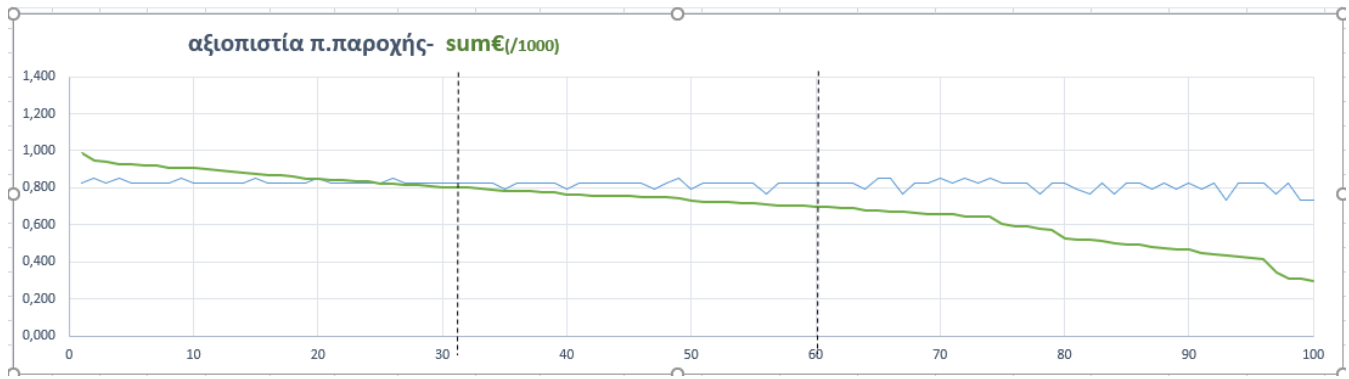
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ							
	Περίμετρος	Εμβαδόν	(περ/εμβ)/10				
1	2,206	0,296	0,746	48	2,088	0,215	0,969
2	2,685	0,217	1,239	49	2,289	0,276	0,829
3	2,202	0,259	0,852	50	2,799	0,205	1,368
4	2,318	0,320	0,724	51	2,233	0,196	1,138
5	2,365	0,289	0,818	52	2,476	0,206	1,199
6	2,243	0,258	0,869	53	2,151	0,194	1,107
7	2,297	0,220	1,042	54	1,875	0,179	1,045
8	2,161	0,213	1,015	55	2,330	0,286	0,813
9	2,371	0,335	0,707	56	2,242	0,221	1,014
10	2,263	0,280	0,807	57	2,707	0,227	1,193
11	2,852	0,217	1,312	58	2,059	0,201	1,024
12	2,320	0,305	0,760	59	2,313	0,227	1,021
13	2,473	0,361	0,685	60	2,291	0,223	1,026
14	2,863	0,224	1,279	61	2,147	0,187	1,148
15	2,577	0,338	0,762	62	2,357	0,266	0,887
16	2,733	0,227	1,205	63	2,185	0,220	0,992
17	2,234	0,222	1,007	64	2,369	0,203	1,168
18	2,502	0,305	0,820	65	2,283	0,213	1,070
19	2,698	0,315	0,858	66	2,050	0,208	0,987
20	2,300	0,268	0,857	67	2,440	0,278	0,878
21	2,210	0,259	0,852	68	2,164	0,179	1,208
22	2,233	0,241	0,926	69	2,261	0,196	1,151
23	1,961	0,139	1,411	70	2,292	0,208	1,104
24	2,139	0,220	0,974	71	2,174	0,219	0,992
25	2,762	0,219	1,260	72	1,962	0,160	1,230
26	2,295	0,190	1,210	73	2,481	0,241	1,029
27	2,353	0,281	0,839	74	2,351	0,190	1,236
28	2,434	0,294	0,829	75	2,300	0,216	1,064
29	2,867	0,216	1,328	76	2,739	0,231	1,185
30	2,204	0,272	0,810	77	2,355	0,207	1,138
31	2,240	0,205	1,091	78	2,308	0,206	1,123
32	2,253	0,184	1,227	79	2,255	0,205	1,099
33	2,073	0,185	1,121	80	2,285	0,241	0,947
34	2,192	0,214	1,026	81	2,366	0,251	0,941
35	2,196	0,195	1,125	82	2,212	0,124	1,784
36	2,198	0,259	0,848	83	2,308	0,204	1,131
37	2,044	0,205	0,995	84	2,225	0,188	1,185
38	2,350	0,278	0,846	85	2,251	0,123	1,835
39	2,358	0,270	0,873	86	2,230	0,197	1,132
40	2,270	0,179	1,271	87	2,513	0,265	0,947
41	2,069	0,175	1,185	88	2,711	0,299	0,906
42	2,270	0,229	0,989	89	2,197	0,154	1,431
43	2,342	0,272	0,860	90	2,091	0,151	1,381
44	2,162	0,225	0,960	91	2,570	0,268	0,958
45	2,487	0,302	0,823	92	2,095	0,148	1,413
46	2,190	0,147	1,489	93	2,646	0,257	1,031
47	2,377	0,253	0,940	94	2,043	0,120	1,698
				95	2,237	0,130	1,715
				96	2,022	0,115	1,756
				97	1,999	0,104	1,920

Πίνακας 7.2.1.(ν=3) (1) (περίμετρος/εμβαδόν)/10 ανά σετ παραμέτρων

7.2.2. ROLLING WINDOW Για ν=5 έτη

Max Years: 5										
Window mode: Rolling window										
STAGE 1					STAGE 2					
Βελτιστοποιημένες παράμετροι					Βελτιστοποιημένες παράμετροι					
k	n	l	d/1000	d	zmax	στόχος e	π. παροχή	sum €	sum €/1000	
1	0,728	0,157	0,385	0,299	298,548	755,162	26,829	0,824	983,753	0,984
2	0,502	0,263	0,529	0,222	222,233	749,577	26,919	0,853	947,017	0,947
3	0,451	0,190	0,547	0,348	348,224	737,503	26,612	0,824	938,284	0,938
4	0,485	0,356	0,527	0,373	373,257	775,663	29,674	0,853	930,608	0,931
5	0,411	0,316	0,482	0,302	302,456	736,141	29,053	0,824	924,271	0,924
6	0,391	0,223	0,645	0,356	356,208	747,556	26,829	0,824	918,555	0,919
7	0,456	0,274	0,471	0,286	285,963	746,298	28,375	0,824	918,316	0,918
8	0,493	0,211	0,486	0,308	308,086	764,079	27,640	0,824	908,696	0,909
9	0,700	0,207	0,453	0,324	323,932	734,353	27,567	0,853	908,432	0,908
10	0,448	0,298	0,494	0,397	397,144	762,900	29,493	0,824	905,602	0,906
11	0,589	0,215	0,426	0,281	281,261	741,302	28,158	0,824	898,375	0,898
12	0,468	0,252	0,496	0,299	299,346	754,776	28,290	0,824	894,077	0,894
13	0,996	0,167	0,338	0,233	232,581	744,847	28,585	0,824	889,684	0,890
14	0,405	0,319	0,538	0,384	383,720	733,055	29,749	0,824	884,302	0,884
15	0,708	0,232	0,458	0,310	310,310	739,986	28,467	0,853	875,357	0,875
16	0,995	0,166	0,342	0,233	232,944	771,186	29,020	0,824	865,480	0,865
17	0,555	0,134	0,492	0,389	389,325	758,157	28,159	0,824	864,965	0,865
18	0,578	0,174	0,445	0,294	293,581	739,206	27,967	0,824	863,169	0,863
19	0,449	0,255	0,518	0,308	308,910	739,301	28,911	0,824	849,085	0,849
20	0,542	0,196	0,571	0,263	263,179	733,354	27,284	0,853	845,383	0,845
21	0,794	0,218	0,379	0,251	250,916	762,626	29,627	0,824	839,785	0,840
22	0,440	0,173	0,639	0,389	379,971	744,552	27,413	0,824	839,615	0,840
23	0,400	0,300	0,533	0,324	323,919	765,943	29,902	0,824	838,524	0,839
24	0,660	0,123	0,429	0,317	316,618	778,015	27,903	0,824	835,757	0,836
25	0,668	0,135	0,438	0,315	314,599	746,665	28,080	0,824	824,707	0,825
26	0,643	0,263	0,411	0,229	228,989	758,441	29,991	0,853	822,557	0,823
27	0,634	0,093	0,425	0,343	343,291	764,892	29,012	0,824	817,092	0,817
28	0,549	0,104	0,513	0,312	311,936	761,789	28,211	0,824	812,805	0,813
29	0,391	0,249	0,623	0,345	344,955	762,804	29,171	0,824	805,941	0,806
30	0,420	0,157	0,639	0,390	389,845	765,433	28,566	0,824	804,481	0,804
31	0,595	0,208	0,453	0,277	277,473	755,663	29,283	0,824	800,588	0,801
32	0,669	0,222	0,401	0,241	240,939	750,739	29,935	0,824	799,513	0,800
33	1,000	0,071	0,388	0,278	277,903	765,087	29,088	0,824	799,141	0,799
34	0,984	0,175	0,361	0,232	232,194	763,821	29,821	0,824	791,216	0,791
35	0,817	0,117	0,354	0,283	283,338	758,800	29,269	0,794	785,428	0,785
36	0,592	0,169	0,458	0,286	286,141	741,056	28,830	0,824	784,031	0,784
37	0,515	0,245	0,547	0,370	370,246	758,604	29,880	0,824	782,551	0,783
38	0,498	0,249	0,521	0,292	291,945	768,740	29,925	0,824	777,949	0,778
39	0,447	0,196	0,564	0,355	355,018	753,878	28,999	0,824	777,554	0,778
40	0,772	0,123	0,367	0,290	289,861	762,292	29,496	0,794	764,687	0,765
41	0,496	0,214	0,484	0,303	302,796	766,153	29,788	0,824	760,409	0,760
42	0,593	0,154	0,457	0,291	291,219	778,148	28,986	0,824	759,692	0,760
43	0,495	0,237	0,531	0,300	300,457	767,927	29,948	0,824	757,580	0,758
44	0,483	0,214	0,555	0,321	320,818	745,395	29,374	0,824	757,118	0,757
45	0,553	0,087	0,473	0,379	378,828	757,723	29,293	0,824	756,191	0,756
46	0,638	0,121	0,462	0,329	329,270	743,293	29,652	0,824	753,029	0,753
47	0,635	0,112	0,415	0,338	337,700	772,397	29,054	0,794	749,584	0,750
48	0,495	0,195	0,548	0,319	318,636	750,528	29,182	0,824	749,079	0,749
49	0,552	0,192	0,527	0,277	276,887	752,366	29,017	0,853	740,123	0,740
50	0,563	0,111	0,455	0,365	364,975	753,441	28,985	0,794	727,249	0,727
51	0,605	0,194	0,456	0,269	269,073	779,071	29,982	0,824	726,027	0,726
52	0,500	0,198	0,556	0,308	308,225	755,036	29,492	0,824	724,079	0,724
53	0,566	0,110	0,454	0,328	328,474	755,215	29,970	0,824	720,324	0,720
54	0,530	0,175	0,489	0,268	267,577	746,189	29,363	0,824	717,540	0,718
55	0,510	0,185	0,503	0,270	269,562	778,021	29,540	0,824	715,277	0,715
56	0,446	0,188	0,519	0,338	338,410	765,670	29,877	0,765	709,048	0,709
57	0,477	0,136	0,600	0,378	377,909	760,264	29,041	0,824	706,351	0,706
58	0,456	0,175	0,568	0,313	313,054	761,250	29,208	0,824	705,930	0,706
59	0,508	0,202	0,550	0,302	301,945	750,680	29,753	0,824	703,954	0,704
60	0,491	0,108	0,603	0,384	383,822	774,508	28,383	0,824	699,843	0,700
61	0,496	0,147	0,604	0,339	339,395	757,630	29,098	0,824	697,129	0,697
62	0,551	0,149	0,502	0,352	352,403	746,127	29,566	0,824	688,538	0,689
63	0,673	0,136	0,449	0,313	313,128	772,832	29,670	0,824	687,909	0,688
64	0,435	0,178	0,579	0,366	365,691	756,038	29,823	0,794	677,020	0,677
65	0,536	0,201	0,572	0,264	264,002	762,487	29,439	0,853	675,036	0,675
66	0,532	0,195	0,577	0,269	269,076	742,619	29,354	0,853	671,575	0,672
67	0,540	0,149	0,470	0,324	323,857	750,527	29,942	0,765	670,735	0,671
68	0,492	0,188	0,538	0,274	273,781	776,250	29,831	0,824	666,930	0,667
69	0,464	0,134	0,569	0,304	304,376	759,569	29,423	0,824	660,808	0,661
70	0,538	0,181	0,549	0,291	290,543	777,665	29,690	0,853	660,778	0,661
71	0,466	0,178	0,550	0,305	304,627	753,070	29,834	0,824	659,105	0,659
72	0,553	0,202	0,546	0,256	256,355	734,245	29,816	0,853	647,384	0,647
73	0,509	0,145	0,585	0,312	312,175	756,701	29,652	0,824	646,198	0,646
74	0,501	0,149	0,490	0,193	192,905	738,448	28,779	0,853	643,914	0,644
75	0,462	0,124	0,580	0,311	310,638	735,275	29,828	0,824	602,929	0,603
76	0,999	0,067	0,385	0,263	263,023	771,216	29,656	0,824	590,755	0,591
77	0,509	0,142	0,585	0,314	314,102	746,629	29,895	0,824	589,115	0,589
78	0,468	0,169	0,484	0,210	209,642	756,998	29,970	0,765	581,393	0,581
79	0,504	0,125	0,592	0,346	345,519	738,191	29,666	0,824	573,743	0,574
80	0,528	0,179	0,594	0,277	276,598	743,472	29,729	0,824	529,561	0,530
81	1,000	0,041	0,394	0,271	270,787	769,268	29,800	0,794	523,058	0,523
82	0,420	0,129	0,682	0,363	363,359	769,802	29,981	0,765	521,492	0,521
83	0,523	0,146	0,589	0,315	315,134	773,286	29,756	0,824	514,193	0,514
84	0,438	0,103	0,620	0,327	327,385	779,448	29,849	0,765	502,937	0,503
85	0,513	0,082	0,569	0,357	356,817	769,372	29,971	0,824	492,952	0,493
86	0,524	0,135	0,591	0,317	317,443	763,659	29,745	0,824	490,689	0,491
87	1,000	0,017	0,401	0,281	281,293	739,970	29,743	0,794	481,811	0,482
88	0,472	0,151	0,666	0,313	313,251	733,028	29,587	0,824	473,861	0,474
89	0,510	0,127	0,595	0,320	319,828	748,813	29,860	0,794	469,140	0,469
90	1,000	0,000	0,416	0,316	316,082	745,332	29,417	0,824	466,238	0,466
91	1,000	0,015	0,408	0,292	292,193	765,975	29,958	0,794	444,290	0,444
92	1,000	0,000	0,416	0,308	307,592	746,791	29,864	0,824	438,755	0,439
93	0,498	0,114	0,479	0,211	210,632	776,040	29,894	0,735	432,361	0,432
94	0,463	0,137	0,724	0,334	333,911	737,798	29,431	0,824	430,673	0,431
95	1,000	0,001	0,414	0,306	306,179	748,577	29,886	0,824	419,396	0,419
96	0,674	0,052	0,513	0,358	357,763	762,491	29,660	0,824	417,524	0,418
97	0,451	0,109	0,538	0,225	225,287	779,382	29,961	0,765	340,039	0,340
98	0,472	0,101	0,680	0,318	318,346	762,069	29,887	0,824	312,648	0,313
99	0,434	0,084	0,547	0,239	238,846	767,451	29,841	0,735	307,113	0,307
100	0,431	0,071	0,551	0,245	244,501	751,745	29,715	0,735	297,211	0,297

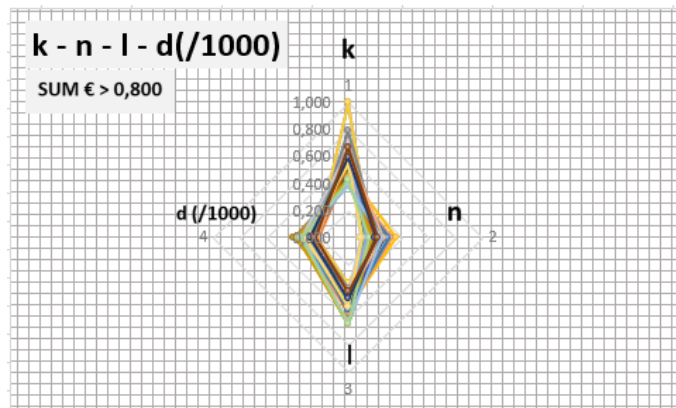
Πίνακας 7.2.2.(ν=5). Συνολικά αποτελέσματα k n l d Efficiency (στάδιο1) και βελ



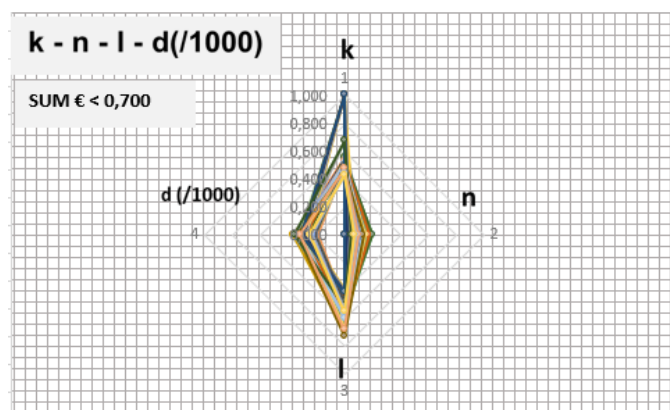
Διάγραμμα 7.2.2.(ν=5) (2) Αξιοπιστία π. Παροχής / συνολικό κέρδος

Στο διάγραμμα αποτυπώνεται η αξιοπιστία περιβαλλοντικής παροχής με το αντίστοιχο συνολικό κέρδος.

Αν θεωρήσουμε κάθε set παραμέτρων ένα ρόμβο με κέντρο το σημείο (0,0) μπορούμε να εξετάσουμε την συσχέτιση μεταξύ τους με μεγέθη όπως το εμβαδόν και η περίμετρος του κάθε ρόμβου,

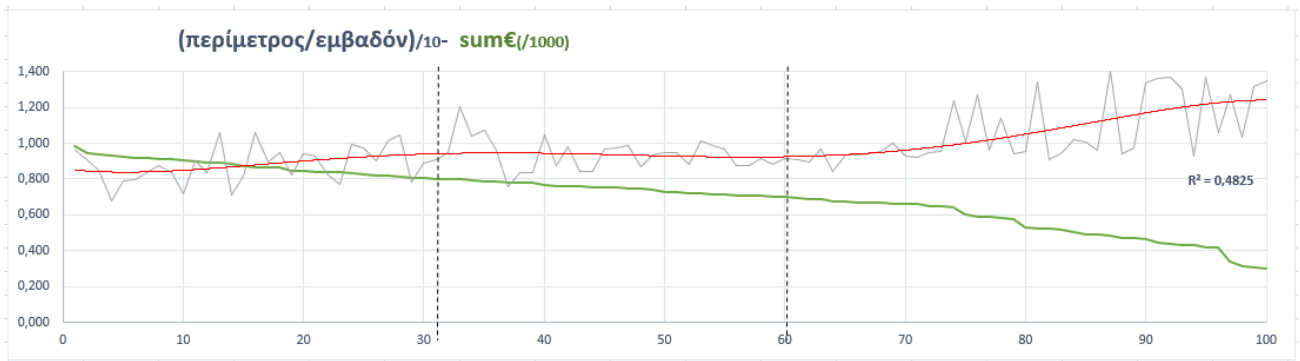


Διάγραμμα 7.2.2.(ν=5) (3) Τα σετ-«ρόμβοι» των παραμέτρων που «παράγουν» κέρδος > 0,800€



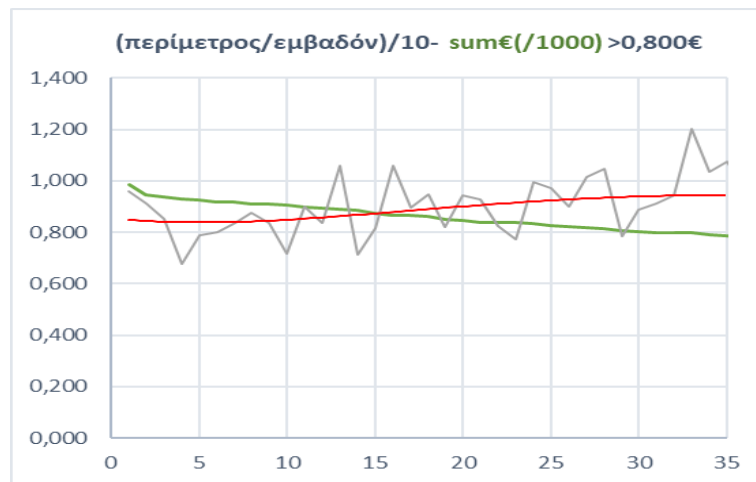
Διάγραμμα 7.2.2.(ν=5) (4) Τα σετ-«ρόμβοι» των παραμέτρων που «παράγουν» κέρδος < 0,700€

Ένα από τα μεγέθη που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είναι η περίμετρος δια το εμβαδόν του κάθε «ρόμβου» και η πολυωνυμική γραμμή τάσης (σειράς 5) όπου φαίνεται να συμπεριφέρεται κάπως αντιστρόφως ανάλογα με το συνολικό κέρδος που προκύπτει από κάθε σετ βελτιστοποιημένων παραμέτρων του υδρολογικού μοντέλου.

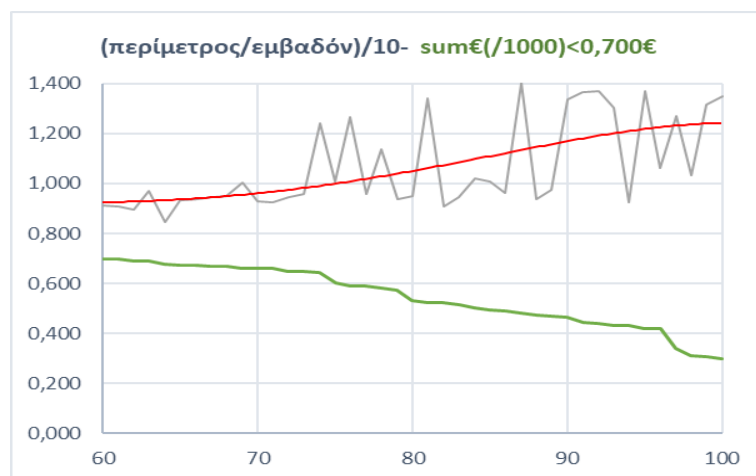


Διάγραμμα 7.2.2.(ν=5) (5) (περίμετρος/εμβαδόν)/10 – συνολικό κέρδος

Στην συνέχεια χωρίσαμε τα σετ των παραμέτρων στα δύο πιο «σημαντικά» «πακέτα», ένα με τις παραμέτρους από τις οποίες προκύπτει το μεγαλύτερο κέρδος ($\text{sum}\text{€}/1000 > 0,800$) και ένα από αυτές που προκύπτει το μικρότερο ($\text{sum}\text{€}/1000 < 0,700$). Κατόπιν εξετάσαμε την πολυωνυμική γραμμή τάσης (σειράς 5) που προκύπτει από τα(2) σετ παραμέτρων και εξαγάγαμε το R^2 για κάθε «πακέτο».



Διάγραμμα 7.2.2.(ν=5) (6) (περίμετρος/εμβαδόν)/10 των σετ παραμέτρων με συνολικό κέρδος > 0.800)



Διάγραμμα 7.2.2.(ν=5) (7) (περίμετρος/εμβαδόν)/10 των σετ παραμέτρων με συνολικό κέρδος < 0.700)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ							
	περίμετρος	εμβαδόν	(περ/εμβ)/10				
1	2,430	0,253	0,961	50	2,296	0,242	0,948
2	2,279	0,250	0,911	51	2,324	0,246	0,946
3	2,288	0,269	0,851	52	2,352	0,267	0,880
4	2,495	0,369	0,676	53	2,257	0,223	1,011
5	2,173	0,276	0,788	54	2,229	0,225	0,989
6	2,399	0,300	0,799	55	2,225	0,230	0,967
7	2,166	0,259	0,835	56	2,215	0,254	0,872
8	2,223	0,254	0,875	57	2,429	0,277	0,877
9	2,556	0,306	0,835	58	2,285	0,250	0,914
10	2,346	0,327	0,717	59	2,351	0,266	0,883
11	2,268	0,252	0,900	60	2,452	0,269	0,912
12	2,223	0,266	0,836	61	2,433	0,268	0,910
13	2,820	0,266	1,058	62	2,361	0,264	0,895
14	2,360	0,331	0,712	63	2,446	0,252	0,970
15	2,585	0,316	0,818	64	2,330	0,276	0,844
16	2,825	0,267	1,059	65	2,407	0,258	0,934
17	2,364	0,264	0,897	66	2,408	0,257	0,936
18	2,263	0,239	0,946	67	2,255	0,239	0,944
19	2,242	0,273	0,822	68	2,263	0,238	0,951
20	2,410	0,255	0,944	69	2,267	0,226	1,002
21	2,548	0,275	0,927	70	2,379	0,256	0,928
22	2,461	0,298	0,824	71	2,263	0,245	0,923
23	2,251	0,291	0,773	72	2,383	0,252	0,947
24	2,383	0,239	0,996	73	2,392	0,250	0,957
25	2,417	0,249	0,972	74	2,097	0,169	1,239
26	2,337	0,259	0,901	75	2,286	0,226	1,009
27	2,343	0,231	1,015	76	2,892	0,228	1,268
28	2,315	0,221	1,048	77	2,393	0,249	0,960
29	2,368	0,301	0,787	78	2,051	0,180	1,137
30	2,382	0,269	0,887	79	2,422	0,258	0,938
31	2,316	0,254	0,911	80	2,429	0,255	0,951
32	2,342	0,248	0,945	81	2,912	0,217	1,340
33	2,912	0,242	1,203	82	2,460	0,271	0,908
34	2,840	0,274	1,037	83	2,429	0,257	0,946
35	2,516	0,234	1,075	84	2,325	0,228	1,022
36	2,301	0,239	0,963	85	2,391	0,237	1,008
37	2,464	0,327	0,754	86	2,432	0,252	0,964
38	2,309	0,276	0,838	87	2,930	0,209	1,403
39	2,321	0,278	0,834	88	2,481	0,264	0,938
40	2,462	0,235	1,046	89	2,411	0,247	0,976
41	2,221	0,253	0,878	90	2,988	0,224	1,335
42	2,298	0,234	0,982	91	2,951	0,216	1,364
43	2,318	0,275	0,842	92	2,979	0,218	1,368
44	2,343	0,277	0,845	93	2,067	0,159	1,303
45	2,317	0,239	0,970	94	2,588	0,279	0,927
46	2,412	0,248	0,974	95	2,974	0,217	1,372
47	2,329	0,236	0,986	96	2,580	0,243	1,062
48	2,337	0,268	0,872	97	2,102	0,165	1,271
49	2,357	0,253	0,932	98	2,490	0,241	1,031
				99	2,089	0,159	1,318
				100	2,090	0,155	1,350

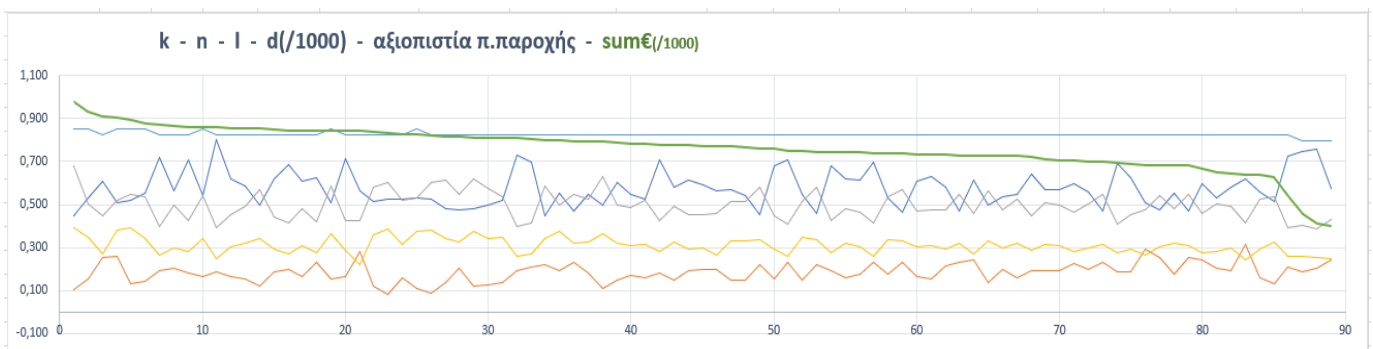
Πίνακας 7.2.2.(ν=5) (7) (περίμετρος/εμβαδόν)/10 ανά σετ παραμέτρων

7.2.3. ROLLING WINDOW Για v=10 έτη

Max Years: 10 50 60
 Window mode: Rolling window 1,7787 4,7992

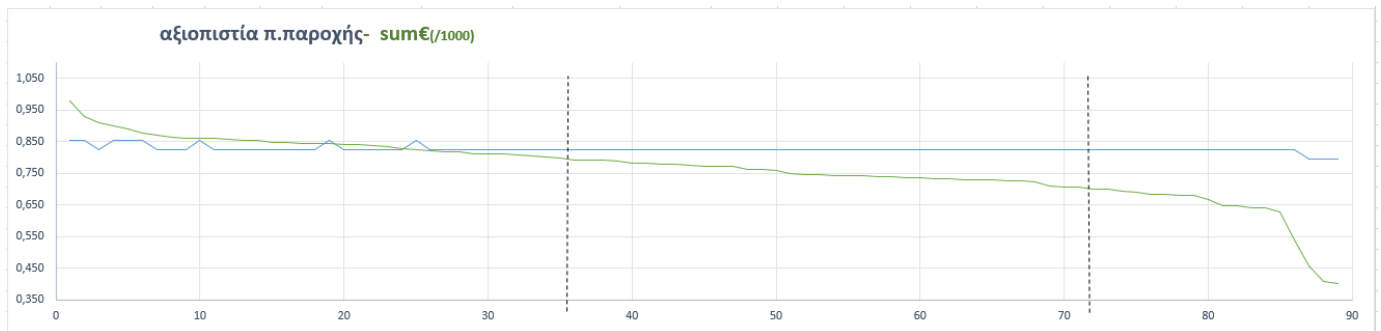
STAGE 1										STAGE 2											
Βελτιστοποιημένες παράμετροι					Βελτιστοποιημένες παράμετροι					sum €					sum €/1000						
k	n	l	d/1000	d	ε _{max}	στόχος ε	π. παροχή	sum €	sum €/1000												
1	0,446	0,104	0,683	0,389	389,389	744,853	28,467	0,853	978,197	0,978	47	0,570	0,150	0,515	0,331	331,061	754,860	29,887	0,824	772,022	0,772
2	0,533	0,154	0,504	0,345	345,498	745,377	27,880	0,853	931,346	0,931	48	0,540	0,151	0,515	0,330	329,843	742,520	29,537	0,824	764,033	0,764
3	0,607	0,253	0,449	0,268	267,625	756,027	26,839	0,824	909,397	0,909	49	0,453	0,218	0,580	0,339	338,781	738,397	29,596	0,824	760,959	0,761
4	0,508	0,260	0,521	0,383	382,739	776,722	27,967	0,853	901,907	0,902	50	0,681	0,155	0,447	0,295	294,683	769,515	29,342	0,824	759,505	0,760
5	0,521	0,131	0,547	0,390	390,126	761,702	28,952	0,853	891,629	0,892	51	0,706	0,233	0,411	0,257	256,609	735,360	29,164	0,824	750,717	0,751
6	0,550	0,144	0,537	0,342	342,414	768,153	28,617	0,853	877,271	0,877	52	0,547	0,147	0,512	0,350	349,890	778,082	29,769	0,824	747,317	0,747
7	0,717	0,192	0,399	0,265	265,443	736,768	27,789	0,824	857,127	0,870	53	0,460	0,223	0,578	0,339	339,432	767,318	29,992	0,824	744,979	0,745
8	0,562	0,205	0,497	0,296	295,844	762,849	28,210	0,824	864,392	0,864	54	0,678	0,193	0,427	0,276	276,040	774,891	29,818	0,824	743,361	0,743
9	0,705	0,183	0,423	0,279	278,698	771,367	28,007	0,824	862,322	0,862	55	0,620	0,159	0,478	0,318	317,557	774,484	29,543	0,824	742,817	0,743
10	0,541	0,163	0,544	0,340	339,957	739,377	28,757	0,853	861,265	0,861	56	0,614	0,174	0,465	0,303	302,651	759,863	29,459	0,824	742,414	0,742
11	0,803	0,188	0,391	0,250	250,342	756,076	29,103	0,824	860,998	0,861	57	0,695	0,234	0,414	0,261	261,017	763,872	28,915	0,824	740,759	0,741
12	0,619	0,166	0,452	0,302	301,838	779,867	28,398	0,824	857,030	0,857	58	0,530	0,176	0,536	0,336	336,133	741,077	29,877	0,824	738,821	0,739
13	0,584	0,156	0,491	0,320	320,166	747,049	28,235	0,824	855,394	0,855	59	0,466	0,230	0,569	0,331	330,817	761,579	29,650	0,824	737,321	0,737
14	0,499	0,123	0,568	0,342	342,033	761,263	29,275	0,824	853,206	0,853	60	0,610	0,160	0,471	0,306	306,180	740,912	28,891	0,824	734,514	0,735
15	0,617	0,189	0,442	0,293	292,698	777,117	28,173	0,824	846,516	0,847	61	0,630	0,152	0,477	0,310	309,704	778,641	29,705	0,824	733,750	0,734
16	0,684	0,199	0,416	0,268	267,798	767,931	28,253	0,824	846,324	0,846	62	0,580	0,213	0,476	0,293	293,164	745,403	29,314	0,824	732,576	0,733
17	0,609	0,167	0,478	0,307	307,111	746,963	28,796	0,824	844,813	0,845	63	0,469	0,229	0,549	0,320	319,906	764,692	29,901	0,824	728,893	0,730
18	0,626	0,232	0,419	0,274	273,580	738,081	27,979	0,824	844,312	0,844	64	0,615	0,244	0,456	0,271	270,972	750,985	29,043	0,824	729,474	0,729
19	0,508	0,153	0,586	0,363	363,239	777,978	29,315	0,853	843,652	0,844	65	0,496	0,136	0,564	0,333	332,858	755,220	29,719	0,824	729,444	0,729
20	0,715	0,165	0,426	0,285	284,723	771,047	28,519	0,824	842,073	0,842	66	0,537	0,199	0,477	0,296	295,558	771,082	29,235	0,824	727,131	0,727
21	0,565	0,280	0,426	0,221	221,330	756,422	28,266	0,824	841,739	0,842	67	0,549	0,160	0,523	0,320	319,516	766,162	29,760	0,824	725,879	0,726
22	0,512	0,122	0,582	0,360	360,241	740,137	29,801	0,824	838,809	0,839	68	0,643	0,195	0,449	0,286	285,565	734,754	29,016	0,824	722,200	0,722
23	0,526	0,079	0,604	0,388	388,111	763,457	29,538	0,824	833,906	0,834	69	0,570	0,192	0,511	0,314	314,256	752,035	29,834	0,824	710,117	0,710
24	0,524	0,158	0,517	0,312	311,882	749,654	29,109	0,824	827,224	0,827	70	0,570	0,195	0,499	0,308	307,895	742,059	29,375	0,824	705,550	0,705
25	0,532	0,111	0,533	0,378	377,952	751,474	29,503	0,853	826,208	0,826	71	0,597	0,228	0,465	0,280	279,960	758,385	29,585	0,824	704,970	0,705
26	0,526	0,088	0,602	0,381	380,980	742,390	29,526	0,824	820,687	0,821	72	0,556	0,198	0,503	0,300	299,592	775,857	29,664	0,824	700,784	0,701
27	0,478	0,140	0,612	0,341	341,134	761,412	29,166	0,824	817,768	0,818	73	0,470	0,232	0,548	0,317	316,594	734,691	29,919	0,824	698,443	0,698
28	0,476	0,203	0,545	0,327	326,745	743,664	28,953	0,824	816,764	0,817	74	0,692	0,187	0,411	0,274	274,224	759,024	28,638	0,824	691,791	0,692
29	0,483	0,121	0,618	0,376	376,094	772,611	29,859	0,824	810,742	0,811	75	0,622	0,189	0,454	0,295	294,693	760,404	29,487	0,824	688,862	0,689
30	0,496	0,125	0,572	0,343	343,166	772,973	29,604	0,824	810,582	0,811	76	0,510	0,290	0,477	0,264	264,454	754,571	28,677	0,824	684,108	0,684
31	0,519	0,139	0,538	0,347	347,038	759,651	29,451	0,824	810,481	0,810	77	0,478	0,251	0,539	0,305	305,343	756,851	29,514	0,824	683,763	0,684
32	0,729	0,191	0,398	0,258	257,967	774,923	29,062	0,824	807,579	0,808	78	0,555	0,179	0,479	0,321	321,481	762,290	29,995	0,824	680,854	0,681
33	0,698	0,210	0,413	0,269	268,520	766,239	28,448	0,824	804,136	0,804	79	0,472	0,254	0,546	0,311	310,574	749,133	29,965	0,824	680,841	0,681
34	0,446	0,221	0,586	0,344	343,779	736,797	29,418	0,824	801,513	0,802	80	0,598	0,244	0,460	0,275	274,996	754,226	29,667	0,824	667,452	0,667
35	0,554	0,191	0,498	0,374	373,623	763,127	29,580	0,824	797,173	0,797	81	0,530	0,202	0,503	0,279	279,208	754,932	29,742	0,824	649,089	0,649
36	0,468	0,232	0,545	0,318	318,127	747,120	29,337	0,824	793,347	0,793	82	0,581	0,191	0,489	0,298	298,034	740,072	29,886	0,824	645,998	0,646
37	0,550	0,181	0,523	0,326	326,425	749,395	29,362	0,824	791,919	0,792	83	0,619	0,315	0,415	0,240	240,377	754,483	28,541	0,824	640,244	0,640
38	0,497	0,109	0,629	0,366	365,746	759,322	29,530	0,824	790,986	0,791	84	0,556	0,157	0,522	0,290	290,473	754,129	29,973	0,824	639,552	0,640
39	0,605	0,151	0,495	0,321	320,947	739,383	29,181	0,824	788,340	0,788	85	0,514	0,134	0,537	0,328	328,225	777,917	29,957	0,824	628,433	0,628
40	0,545	0,170	0,489	0,309	308,920	744,781	28,747	0,824	782,216	0,782	86	0,724	0,212	0,390	0,257	256,940	761,067	29,962	0,824	538,376	0,538
41	0,524	0,158	0,517	0,312	311,847	777,108	28,920	0,824	780,468	0,780	87	0,747	0,188	0,402	0,260	260,488	742,395	29,651	0,794	456,128	0,456
42	0,708	0,181	0,423	0,279	278,859	737,067	28,545	0,824	779,552	0,780	88	0,756	0,201	0,388	0,252	252,141	766,058	29,890	0,794	409,199	0,409
43	0,580	0,146	0,490	0,324	323,745	739,691	29,392	0,824	778,891	0,779	89	0,573	0,244	0,431	0,246	246,232	776,410	29,854	0,794	401,660	0,402
44	0,615	0,194	0,451	0,294	294,285	767,612	28,483	0,824	776,971	0,777											
45	0,593	0,200	0,453	0,298	298,038	748,777	29,572	0,824	773,724	0,774											
46	0,566	0,199	0,461	0,265	265,310	769,860	28,540	0,824	773,622	0,774											

Πίνακας 7.2.3.(v=10). Συνολικά αποτελέσματα k n l d Efficiency (στάδιο1) και βελτιστοποιημένων παραμέτρων σταδίου 2



Διάγραμμα 7.2.3.(v=10) (1)Εμφανίζονται οι παράμετροι (στάδιο1) σε σχέση με την αξιοπιστία και το συνολικό κέρδος

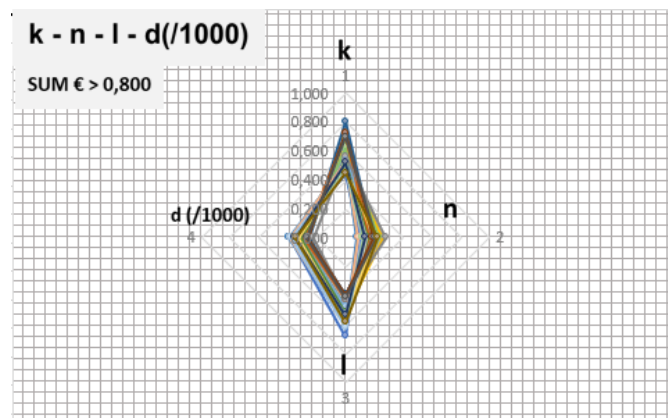
Στο διάγραμμα απεικονίζονται οι βελτιστοποιημένες παράμετροι του υδρολογικού μοντέλου με την αξιοπιστία της περιβαλλοντικής παροχής και του συνολικού κέρδους, που προκύπτουν από το μοντέλο διαχείρισης εισάγοντας την προσομοιωμένη παροχή που έχει προκύψει από τις παραμέτρους αυτές



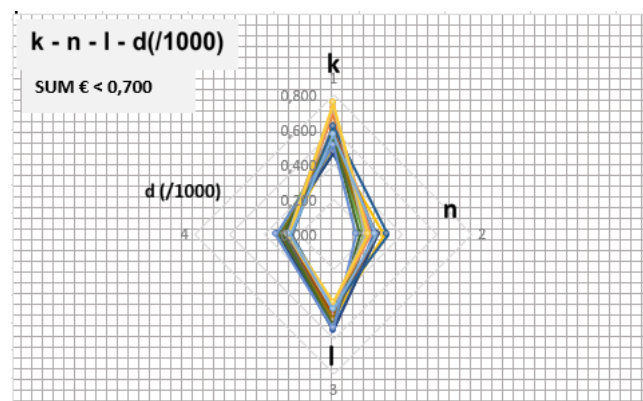
Διάγραμμα 7.2.3.(ν=10) (2) Αξιοπιστία π. Παροχής / συνολικό κέρδος

Στο διάγραμμα αποτυπώνεται η αξιοπιστία περιβαλλοντικής παροχής με το αντίστοιχο συνολικό κέρδος.

Αν θεωρήσουμε κάθε set παραμέτρων ένα ρόμβο με κέντρο το σημείο (0,0) μπορούμε να εξετάσουμε την συσχέτιση μεταξύ τους με μεγέθη όπως το εμβαδόν και η περίμετρος του κάθε ρόμβου,

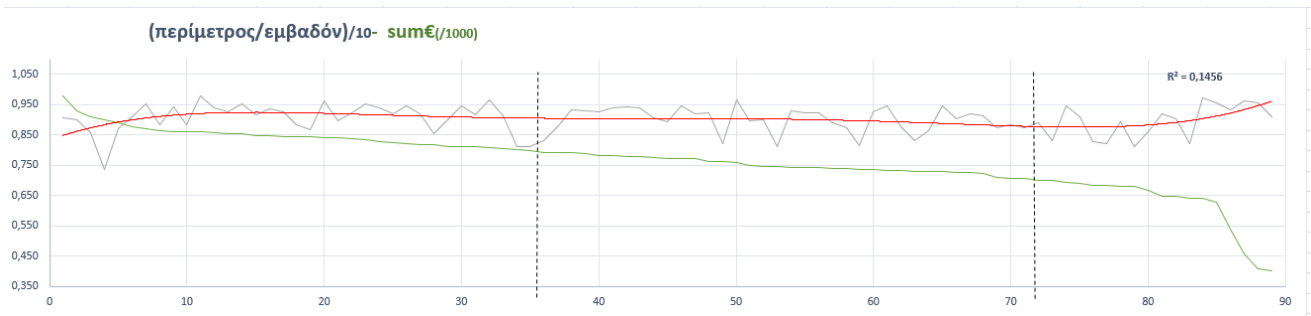


Διάγραμμα 7.2.3.(ν=10) (3) Τα σετ-«ρόμβου» των παραμέτρων που «παράγουν» κέρδος > 0,800€



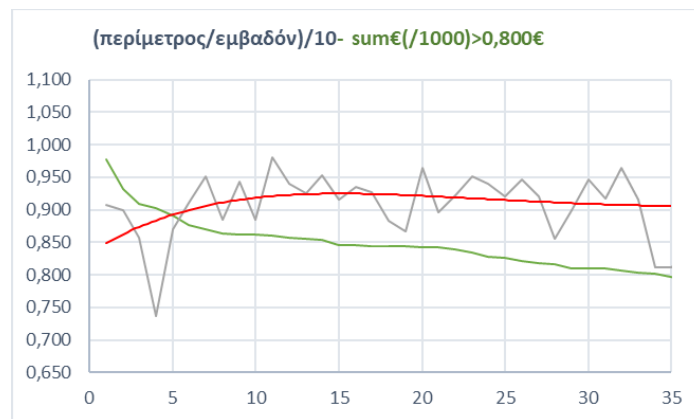
Διάγραμμα 7.2.3.(ν=10) (4) Τα σετ-«ρόμβου» των παραμέτρων που «παράγουν» κέρδος < 0,700€

Ένα από τα μεγέθη που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε είναι η περίμετρος δια το εμβαδόν του κάθε «ρόμβου» και η πολυωνυμική γραμμή τάσης (σειράς 5) όπου φαίνεται να συμπεριφέρεται κάπως αντιστρόφως ανάλογα με το συνολικό κέρδος που προκύπτει από κάθε σετ βελτιστοποιημένων παραμέτρων του υδρολογικού μοντέλου.

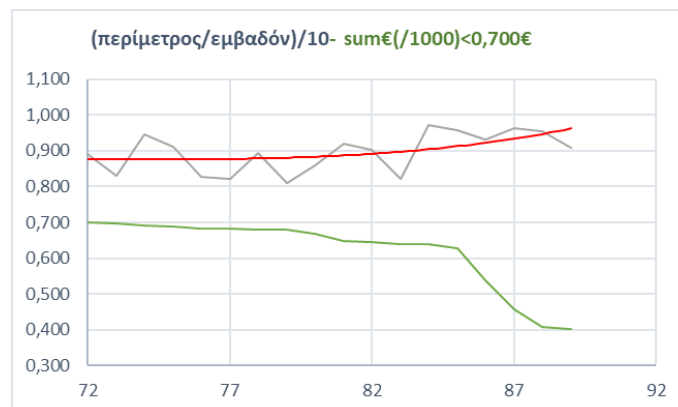


Διάγραμμα 7.2.3.(ν=10) (5) (περίμετρος/εμβαδόν)/10 – συνολικό κέρδος

Στην συνέχεια χωρίσαμε τα σετ των παραμέτρων στα δύο πιο «σημαντικά» «πακέτα», ένα με τις παραμέτρους από τις οποίες προκύπτει το μεγαλύτερο κέρδος ($\text{sum}\text{€}/1000 > 0,800$) και ένα από αυτές που προκύπτει το μικρότερο ($\text{sum}\text{€}/1000 < 0,700$). Κατόπιν εξετάσαμε την πολωνυμική γραμμή τάσης (σειράς 5) που προκύπτει από τα(2) σετ παραμέτρων και εξαγάγαμε το R^2 για κάθε «πακέτο».



Διάγραμμα 7.2.3.(ν=10) (6) (περίμετρος/εμβαδόν)/10 των σετ παραμέτρων με συνολικό κέρδος > 0.800)



Διάγραμμα 7.2.3.(ν=10) (7) (περίμετρος/εμβαδόν)/10 των σετ παραμέτρων με συνολικό κέρδος < 0.700)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ			
	περίμετρος	εμβαδόν	(περ/εμβ)/10
1	2,526	0,278	0,908
2	2,327	0,259	0,899
3	2,360	0,275	0,858
4	2,435	0,331	0,736
5	2,423	0,279	0,870
6	2,408	0,264	0,911
7	2,429	0,255	0,951
8	2,350	0,265	0,885
9	2,455	0,260	0,943
10	2,413	0,273	0,885
11	2,564	0,262	0,980
12	2,356	0,251	0,940
13	2,373	0,256	0,926
14	2,362	0,248	0,953
15	2,339	0,255	0,917
16	2,404	0,257	0,936
17	2,388	0,258	0,927
18	2,329	0,264	0,883
19	2,449	0,282	0,867
20	2,474	0,257	0,964
21	2,228	0,248	0,897
22	2,431	0,264	0,923
23	2,512	0,264	0,951
24	2,302	0,245	0,941
25	2,393	0,260	0,920
26	2,503	0,264	0,947
27	2,414	0,262	0,921
28	2,312	0,270	0,855
29	2,464	0,274	0,900
30	2,368	0,250	0,947
31	2,357	0,257	0,918
32	2,443	0,253	0,965
33	2,432	0,266	0,915
34	2,367	0,292	0,812
35	2,409	0,297	0,812
36	2,311	0,279	0,830
37	2,388	0,272	0,878
38	2,490	0,267	0,933
39	2,417	0,260	0,931
40	2,294	0,248	0,926
41	2,302	0,245	0,941
42	2,460	0,260	0,944
43	2,363	0,252	0,939
44	2,355	0,260	0,906
45	2,326	0,260	0,894
46	2,260	0,239	0,947
47	2,398	0,261	0,919
48	2,342	0,254	0,923
49	2,360	0,288	0,820
50	2,449	0,254	0,965
51	2,451	0,273	0,897
52	2,368	0,263	0,900
53	2,374	0,292	0,813
54	2,414	0,259	0,931
55	2,415	0,262	0,923
56	2,374	0,257	0,923
57	2,440	0,274	0,890
58	2,383	0,273	0,873
59	2,364	0,290	0,814
60	2,376	0,256	0,928
61	2,419	0,256	0,946
62	2,348	0,267	0,879
63	2,320	0,279	0,830
64	2,381	0,276	0,864
65	2,348	0,248	0,945
66	2,263	0,250	0,903
67	2,367	0,257	0,921
68	2,398	0,263	0,913
69	2,399	0,274	0,876
70	2,372	0,269	0,883
71	2,359	0,270	0,875
72	2,348	0,263	0,891
73	2,318	0,279	0,831
74	2,406	0,254	0,947
75	2,372	0,260	0,911
76	2,264	0,274	0,827
77	2,322	0,283	0,820
78	2,313	0,259	0,894
79	2,332	0,288	0,811
80	2,360	0,275	0,860
81	2,284	0,249	0,919
82	2,363	0,262	0,902
83	2,359	0,287	0,822
84	2,349	0,241	0,973
85	2,325	0,243	0,957
86	2,434	0,261	0,932
87	2,484	0,258	0,964
88	2,479	0,259	0,956
89	2,238	0,246	0,909

Πίνακας 7.2.3.(ν=10) (7) (περίμετρος/εμβαδόν)/10 ανά σελ παράμετρον

7.3.0. R² / Κατηγορία ν

Τα παραγόμενα R² ανά κατηγορία.

	Συν. κέρδος € (/10) >0,800	Συν. κέρδος € (/10) <0,700
R ² Για ν = 3 έτη	0,1005	0,4957
R ² Για ν = 5 έτη	0,2513	0,3859
R ² Για ν = 10 έτη	0,3388	0,4678

Πίνακας 7.3.0. παραγόμενα R² ανά κατηγορία.

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

8.1 Σύνοψη

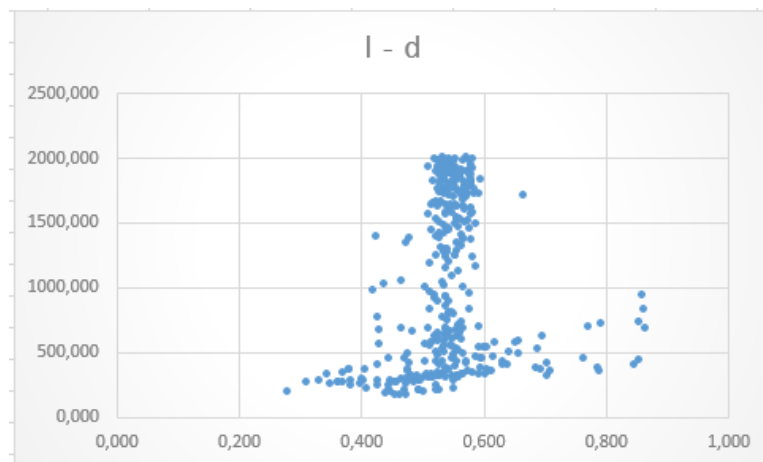
Σκοπός της εργασίας ήταν η εκτίμηση της αβεβαιότητας ενός απλού υδρολογικού μοντέλου τεσσάρων παραμέτρων, η οποία οφείλεται στο δείγμα που χρησιμοποιείται στη διαδικασία βαθμονόμησης, και στη συνέχεια η αξιολόγηση των επιπτώσεων της εν λόγω αβεβαιότητας στα αποτελέσματα ενός διαχειριστικού μοντέλου υδροηλεκτρικού ταμιευτήρα, που έχει ως είσοδο της απορροή που παράγεται από το υδρολογικό μοντέλο. Η εφαρμογή έγινε στη λεκάνη της Μεσοχώρας και τον ομώνυμο ταμιευτήρα.

Για τον σκοπό της εργασίας, η υπολογιστική διαδικασία χωρίστηκε σε δύο στάδια (1,2).

Στο πρώτο στάδιο χρησιμοποιήσαμε τις χρονοσειρές βροχόπτωσης, δυνητικής εξατμοδιαπνοής και παρατηρημένης απορροής της λεκάνης. Επιλέξαμε να «τρέξουμε» το υδρολογικό μοντέλο για τις παρακάτω περιπτώσεις

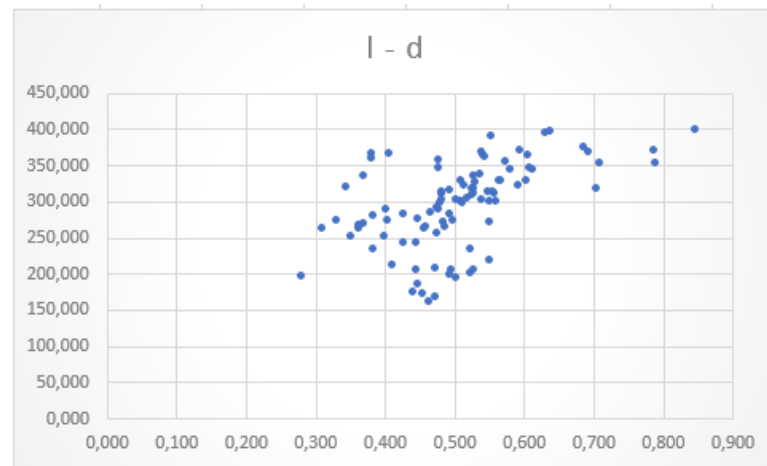
- Για τυχαίο παράθυρο στις χρονοσειρές (Random Window) και για μέγεθος παραθύρου:
 - $v = 3$ έτη
 - $v = 5$ έτη
 - $v = 10$ έτη
- Για κυλιόμενο παράθυρο στις χρονοσειρές (Rolling Window)
 - $v = 3$ έτη
 - $v = 5$ έτη
 - $v = 10$ έτη

Κατά την ολοκλήρωση του 1^{ου} σταδίου (παραγωγή βελτιστοποιημένων παραμέτρων του μοντέλου προσομοίωσης) παρατηρήσαμε την απόκλιση κάποιων, λογικών μαθηματικά, παραμέτρων από τις τιμές που μπορούν να λάβουν στην φύση, με αποτέλεσμα οι κατανομές των παραμέτρων να παρουσιάζουν αρκετά σημεία εκτός της αναμενόμενης κατανομής, όπως στο παρακάτω γράφημα των παραμέτρων d (χωρητικότητα της δεξαμενής εδαφικής υγρασίας) και l (συντελεστής στέρειυσης υπόγειου νερού).



Διάγραμμα διασποράς 8.1.0..(1) l-d

Επομένως πριν εισάγουμε στο στάδιο 2 τις βελτιστοποιημένες παραμέτρους του υδρολογικού μοντέλου αφαιρέσαμε τα σετ των μη φυσικών παραμέτρων (που προέκυψαν λόγω της μαθηματικής προσαρμογής κατά την βελτιστοποίηση του μοντέλου). Έτσι το παραπάνω γράφημα:



Διάγραμμα διασποράς 8.1.0..(2) I-d

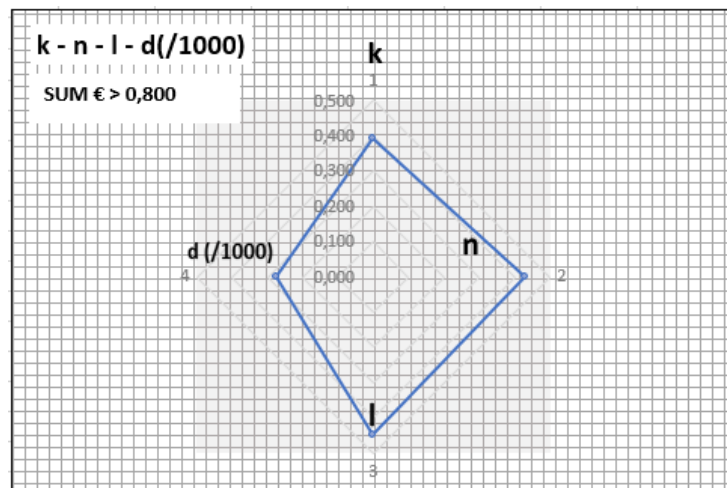
Απαλλαγμένοι πλέον από τις άστοχες (από φυσικής διάστασης) παραμέτρους εισάγαμε τις προσομοιωμένες, εκ των σετ των βελτιστοποιημένων παραμέτρων, χρονοσειρές απορροής στο διαχειριστικό μοντέλο του ταμιευτήρα.

Στο δεύτερο στάδιο επιλέξαμε να μην προκρίνουμε την περίπτωση του τυχαίου παραθύρου καθώς μη έχοντας χρονική συνέχεια δεν αποτελούσε ασφαλή πηγή δεδομένων για την διαχείριση του ταμιευτήρα.

Από το μοντέλο προέκυψαν οι τιμές της βέλτιστης περιβαλλοντικής παροχής και το συνολικό κέρδος που προέκυπτε έμμεσα από κάθε σετ βελτιστοποιημένων παραμέτρων (μέσω της προσομοιωμένης απορροής).

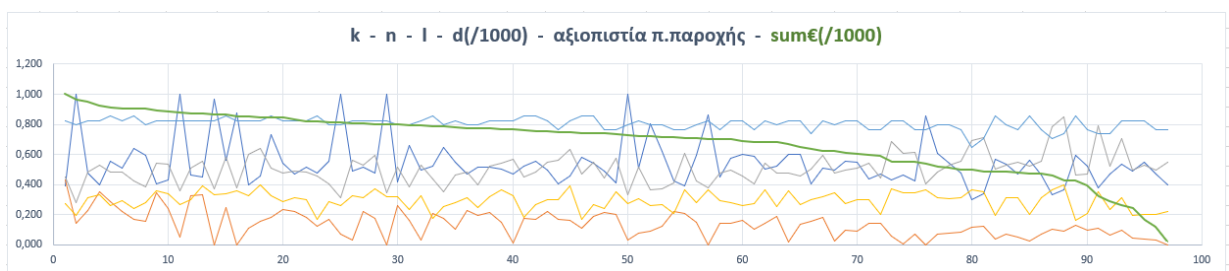
Στην συνέχεια προχωρήσαμε σε επεξεργασία των αποτελεσμάτων και προσπαθήσαμε να εξάγουμε συμπεράσματα ως προς την συσχέτιση και των τεσσάρων παραμέτρων με την περιβαλλοντική παροχή και το κέρδος.

Για τον σκοπό αυτό αναπτύξαμε μια πρωτότυπη γραφική μέθοδο απεικόνισης των σετ παραμέτρων αναπαριστώντας τις τιμές των (ποσοστό αδιαπέρατης επιφάνειας n , χωρητικότητα δεξαμενής εδαφικής υγρασίας d , συντελεστής στέρειυσης εδαφικής υγρασίας k , συντελεστής στέρειυσης υπόγειου νερού l) ως γωνίες ενός υποτιθέμενου ρόμβου με κέντρο το σημείο μηδέν του άξονα στο παρακάτω γράφημα.



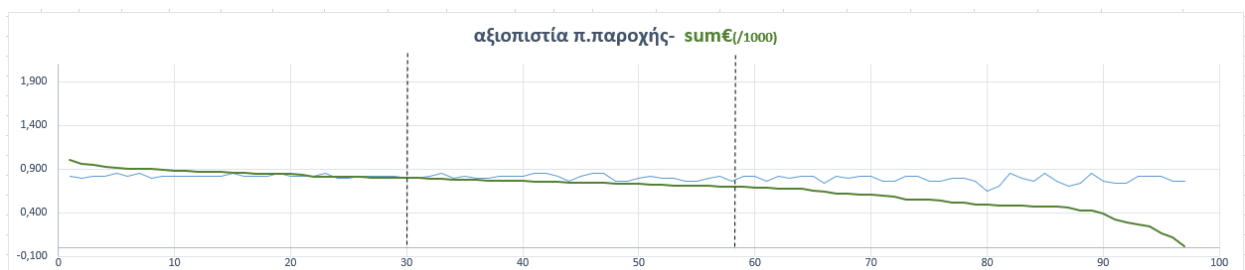
Διάγραμμα 8.1.0..(3) Υπόδειγμα «ρόμβου» ενός σετ παραμέτρων

Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να υπολογίσουμε την περίμετρο και το εμβαδόν του ρόμβου ως ενδεικτικούς δείκτες της συσχέτισης και των τεσσάρων παραμέτρων. Ταξινομώντας τα δεδομένα εξόδου με φθίνουσα σειρά ως προς το κέρδος προκύπτει το παρακάτω γράφημα.



Διάγραμμα 8.1.0. (4)Εμφανίζονται οι παράμετροι (στάδιο1) σε σχέση με την αξιοπιστία και το συνολικό κέρδος

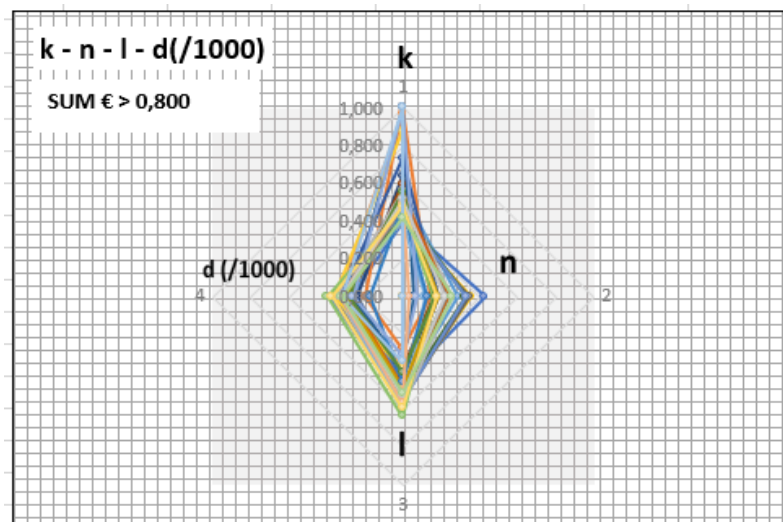
Αντίστοιχα, η σχέση της αξιοπιστίας της περιβαλλοντικής παροχής και του κέρδους διακρίνονται από το παρακάτω διάγραμμα.



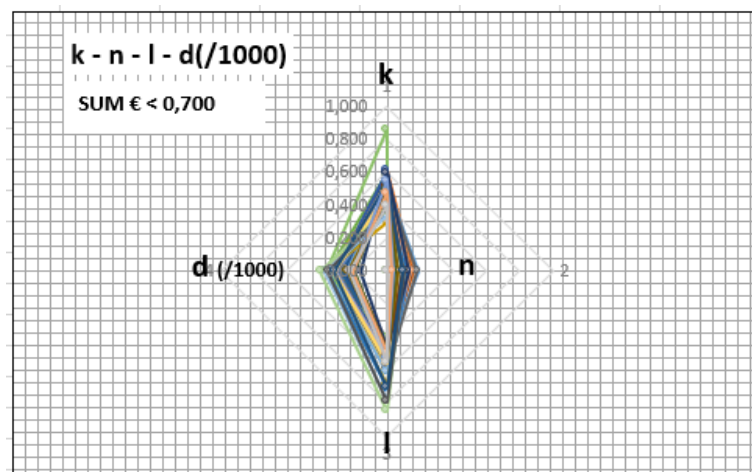
Διάγραμμα 8.1.0. (5) Αξιοπιστία π. Παροχής / συνολικό κέρδος

Παρατηρούμε πως από ένα σημείο και μετά ενώ επιτυγχάνεται η αξιοπιστία της περιβαλλοντικής παροχής το κέρδος μειώνεται, χωρίσαμε λοιπόν σε δύο υποσύνολα τα σετ των παραμέτρων, ήτοι σε αυτό που το κέρδος διατηρείται υψηλά (>0,800) και σε αυτό που μειώνεται σημαντικά (<0,700).

Για να συγκρίνουμε τις συσχετίσεις των παραμέτρων στο πρώτο και στο δεύτερο «πακέτο» υπολογίσαμε τον συνδυασμό των μεγεθών της περιμέτρου και του εμβαδού των «ρόμβων», που δημιουργούν τα σεν των παραμέτρων, αυτών.



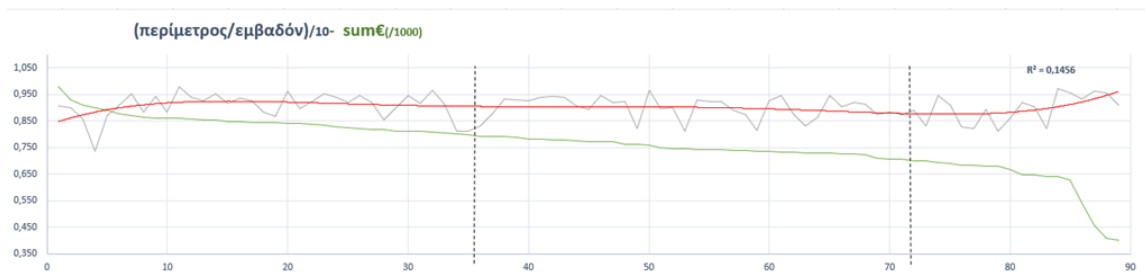
Διάγραμμα 8.1.0. (6) Πακέτο 1



Διάγραμμα 8.1.0. (7) Πακέτο 2

Ενώ οπτικά αντιλαμβάνεται κανείς πως τα σεν των παραμέτρων μπορούν να ομαδοποιηθούν με κάποιον τρόπο, ώστε να μπορούμε να προβλέψουμε αν θα οδηγήσουν σε υψηλό κέρδος και αξιοπιστία περιβαλλοντικής παροχής, χρειάζεται να δημιουργήσουμε κάποιου είδους δείκτη, που θα περιγράφει και την συσχέτιση αλλά και το πακέτο στο οποίο πιθανόν ανήκει το σεν των παραμέτρων.

Μετά από δοκιμές διάφορων συνδυασμών υπολογιστικών μεγεθών των σεν παραμέτρων και συγκρίσεων με τις τιμές της αξιοπιστίας της περιβαλλοντικής παροχής και του συνολικού κέρδους καταλήξαμε στο παρακάτω διάγραμμα



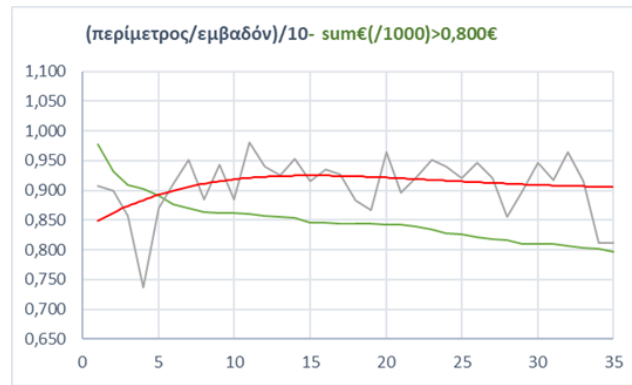
Διάγραμμα 8.1.0.(8) (περίμετρος/εμβαδόν)/10 – συνολικό κέρδος

που εμφανίζει την πολυωνμική γραμμή τάσης (σειράς 5), του λόγου της περιμέτρου δια το εμβαδόν κάθε «ρόμβου»-σετ παραμέτρων, όπου φαίνεται να συμπεριφέρεται αντιστρόφως ανάλογα με το συνολικό κέρδος που προκύπτει από κάθε σετ βελτιστοποιημένων παραμέτρων του υδρολογικού μοντέλου.

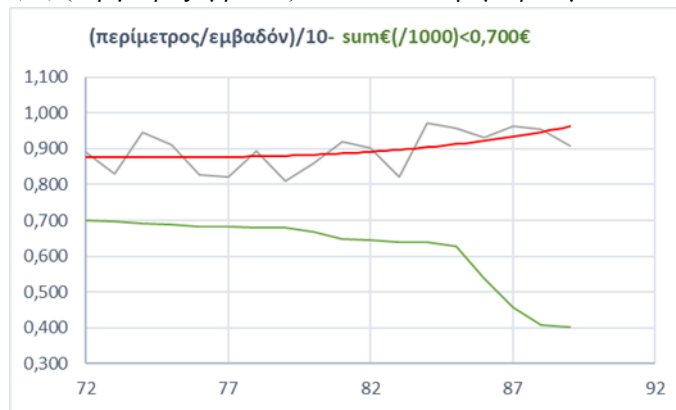
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ			
	Περίμετρος	Εμβαδόν	(περ/εμβ)/10
1	2,206	0,296	0,746
2	2,685	0,217	1,239
3	2,202	0,259	0,852
4	2,318	0,320	0,724
5	2,365	0,289	0,818
6	2,243	0,258	0,869
7	2,297	0,220	1,042
8	2,161	0,213	1,015
9	2,371	0,335	0,707
10	2,263	0,280	0,807
11	2,852	0,217	1,312
12	2,320	0,305	0,760
13	2,473	0,361	0,685
14	2,863	0,224	1,279
15	2,577	0,338	0,762
16	2,733	0,227	1,205
17	2,234	0,222	1,007
18	2,502	0,305	0,820
19	2,698	0,315	0,858
48	2,088	0,215	0,969
49	2,289	0,276	0,829
50	2,799	0,205	1,368
51	2,233	0,196	1,138
52	2,476	0,206	1,199
53	2,151	0,194	1,107
54	1,875	0,179	1,045
55	2,330	0,286	0,813
56	2,242	0,221	1,014
57	2,707	0,227	1,193
58	2,059	0,201	1,024
59	2,313	0,227	1,021
60	2,291	0,223	1,026
61	2,147	0,187	1,148
62	2,357	0,266	0,887
63	2,185	0,220	0,992
64	2,369	0,203	1,168
65	2,283	0,213	1,070
66	2,050	0,208	0,987
67	2,440	0,278	0,878
68	2,164	0,179	1,208
69	2,261	0,196	1,151
70	2,292	0,208	1,104

Πίνακας 8.1.0.(9) (περίμετρος/εμβαδόν)/10 ανά σετ παραμέτρων

Εξετάζοντας ανά «πακέτο» την πολυωνμική γραμμή τάσης εξάγουμε τα παραγόμενα R^2 και τα συγκρίνουμε μεταξύ τους.



Διάγραμμα 8.1.0.(10) (περίμετρος/εμβαδόν)/10 των σετ παραμέτρων με συνολικό κέρδος > 0.800)



Διάγραμμα 8.1.0.(11) (περίμετρος/εμβαδόν)/10 των σετ παραμέτρων με συνολικό κέρδος < 0.700)

8.2 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, μέσα από την πορεία της εργασίας φάνηκε πως οι αβεβαιότητες που επηρεάζουν την εξαγωγή των υδρολογικών παραμέτρων κατά την διάρκεια της βέλτιστης προσομοίωσης της λεκάνης απορροής ενδιαφέροντος, μεταφέρονται μεν στην επιλογή των διαχειριστικών και σχεδιαστικών παραμέτρων του υδροηλεκτρικού φράγματος-ταμιευτήρα που προκύπτουν μετά την βελτιστοποίηση του μοντέλου διαχείρισης αυτού, αλλά όχι με άμεσο τρόπο.

Καταφέραμε όμως να ορίσουμε ένα σχετικό δείκτη (R^2) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη του κέρδους για ένα πακέτο σετ παραμέτρων, πριν την χρήση τους στο διαχειριστικό μοντέλο, κάτι το οποίο αποτελεί ενδιαφέρον πεδίο έρευνας σχετικά με την επαλήθευση του και σε διαφορετικά διαχειριστικά μοντέλα ταμιευτήρων.

Τα παραγόμενα R^2 των δεικτών [περίμετρος/εμβαδόν] ανά μέγεθος παραθύρου.

	Συν. κέρδος € (/10) >0,800	Συν. κέρδος € (/10) <0,700
R^2 Για $v = 3$ έτη	0,1005	0,4957
R^2 Για $v = 5$ έτη	0,2513	0,3859
R^2 Για $v = 10$ έτη	0,3388	0,4678

Πίνακας 8.2.0. R^2 / v

8.3 Πρωτότυπα σημεία.

Αξίζει να σημειωθεί πως σημαντικό μέρος της εργασίας αφορά πρωτότυπες ιδέες και μεθόδους που αναπτύχθηκαν πρώτη φορά στην ανάγκη επίτευξης ενός ούτως ή άλλως πρωτότυπου σκοπού. Οι σημαντικότερες παρατίθενται παρακάτω.

- Ο στόχος της εργασίας, δηλαδή η έμμεση μεταφορά των υδρολογικών αβεβαιοτήτων του μοντέλου απορροής στο διαχειριστικό μοντέλο του Υ/Η έργου.
- Η ανάπτυξη της μεθόδου των κινούμενων χρονικών παραθύρων που χρησιμοποιήθηκε στην διαδικασία της βελτιστοποίησης των παραμέτρων του υδρολογικού μοντέλου και της εκτίμησης της αβεβαιότητάς τους, που οφείλεται στο δείγμα των δεδομένων εισόδου.
- Η ανάπτυξη της γραφικής μεθόδου συγκεντρωτικής απεικόνισης και σύγκρισης των βελτιστοποιημένων «σετ» παραμέτρων.

8.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Η έρευνα που έγινε δίνει το έναυσμα για περαιτέρω διερεύνηση της επίδρασης των υδρολογικών αβεβαιοτήτων των μοντέλων προσομοίωσης της απορροής μιας υδρολογικής λεκάνης, στα μεγέθη σχεδιασμού και διαχείρισης υδροηλεκτρικών ταμιευτήρων και την βελτιστοποίηση αυτών.

Γενικά, τα συμπεράσματα των αναλύσεων βασίζονται στα αποτελέσματα ενός γεωγραφικού χώρου για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο μέσα από μια μόνο μέθοδο προσομοίωσης της απορροής λεκάνης και διαχείρισης του ταμιευτήρα, που αν και αποδίδουν το επιθυμητό αποτέλεσμα, δεν είναι επαρκή για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, και πολύ περισσότερο την κατάρτιση τελικών αναλυτικών σχέσεων για την παραμετροποίηση της επίδρασης των αβεβαιοτήτων μέσω των μοντέλων στην διαχειριστική προσέγγιση του προβλήματος.

Προς την κατεύθυνση αυτή, είναι αναγκαία η εφαρμογή της μεθοδολογίας σε ένα μεγάλο δείγμα λεκανών απορροής και αντίστοιχων ταμιευτήρων σε πολυπλοκότερα συστήματα διαχείρισης υδατικών πόρων.

Σημαντικό σημείο περαιτέρω διερεύνησης συνιστά η συσχέτιση των παραμέτρων των υδρολογικών μοντέλων της λεκάνης με την επίτευξη του βέλτιστου μοντέλου διαχείρισης με το μέγιστο δυνατό όφελος.

Με τον τρόπο αυτό, θα είναι εφικτή η, κατά μία έννοια, διαλογή των παραμέτρων αυτών που ενώ θα παρέχουν την ίδια αξιοπιστία σε επίπεδο υδρολογικής προσομοίωσης με τα υπόλοιπα «σετ» βελτιστοποιημένων παραμέτρων θα «κατευθύνουν» την μελέτη κατασκευής του εκάστοτε έργου στην μέγιστη απόδοση, μέθοδος, που σε αντίθεση με τις κλασικές εμπειρικές προσεγγίσεις της βιβλιογραφίας θα ενσωματώνουν την επίδραση των υδρολογικών αβεβαιοτήτων έμμεσα αλλά με σαφή αντίκτυπο στις παραμέτρους του διαχειριστικού έργου.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Α. Ελληνική

A. Ευστρατιάδης, *Μη γραμμικές μέθοδοι σε πολυκριτηριακά προβλήματα βελτιστοποίησης υδατικών πόρων, με έμφαση στη βαθμονόμηση υδρολογικών μοντέλων*, Διδακτορική διατριβή, 391 pages, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Φεβρουάριος 2008.

D. Koutsoyiannis, Reconciling hydrology with engineering, *Hydrology Research*, 45 (1), 2–22, 2014.

A. Efstratiadis, A. Tegos, A. Varveris, and D. Koutsoyiannis, Assessment of environmental flows under limited data availability – Case study of Acheloos River, Greece, *Hydrological Sciences Journal*, 59 (3-4), 731–750, 2014.

Χ. Μακρόπουλος, και Α. Ευστρατιάδης, *Σημειώσεις μαθήματος «Βελτιστοποίηση Συστημάτων Υδατικών Πόρων – Υδροπληροφορική»*, 151 pages, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2018.

A. Ευστρατιάδης, και Π. Παπανικολάου, *Σημειώσεις μαθήματος «Υδραυλικές Κατασκευές-Φράγματα»*, 93 pages, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2018.

Δ. Κουτσογιάννης, *Σημειώσεις Στοχαστικών Μεθόδων*, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2017.

A. Ευστρατιάδης, και Δ. Κουτσογιάννης, *Σημειώσεις μαθήματος "Διαχείριση Υδατικών Πόρων"*, 97 pages, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2015.

Σ. Μίχας, Α. Ευστρατιάδης, και Δ. Δερματάς, *Σημειώσεις μαθήματος "Υδραυλικές Κατασκευές - Φράγματα"*, 460 pages, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Δεκέμβριος 2015.

Χ. Μακρόπουλος, και Α. Ευστρατιάδης, *Σημειώσεις Βελτιστοποίησης Συστημάτων Υδατικών Πόρων και Υδροπληροφορικής*, 307 pages, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Απρίλιος 2011.

A. Ευστρατιάδης, Ν. Μαμάσης, και Δ. Κουτσογιάννης, *Σημειώσεις Διαχείρισης Υδατικών Πόρων - Μέρος 2*, 97 pages, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2011.

A. Κατσίρη, και Δ. Κουτσογιάννης, *Ταμειυτήρες: αναγκαιότητα, επιπτώσεις και διαχείρισή τους - Το παράδειγμα του ταμειυτήρα Ταυρωπού*, 67 pages,, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2005.

M. A. Μιμίκου *Τεχνολογία Υδατικών Πόρων-Αθήνα*, 590 pages, 2006

B. Ξενόγλωση

Daniel P. Loucks, Jery R. Stedinger, Douglas A. Haith, "*Water Resources Systems Planning and Analysis*", 559 pages, 1981

David R. Maidment, McGraw-Hill, *Handbook of hydrology*, 1424 pages, 1993

Ralph A. Wurbs , *Water Management Models* , 239 pages, 1995

Larry W. Mays, *Water Resources Handbook*, 1568 pages, 1996

Larry W. Mays, Yeou-Koung Tung, *Hydrosystems Engineering and Management*, 550 pages, 2002