

~~Σεπτέμβριος 1991~~

**ΠΡΑΚΤΙΚΑ II ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**PROCEEDINGS OF THE II CONFERENCE
ON ENVIRONMENTAL SCIENCE AND
TECHNOLOGY**

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: Θ. ΛΕΚΚΑΣ

**ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ENVIRONMENTAL STUDIES DEPT.
UNIVERSITY OF THE AEGEAN**

**ΜΟΛΥΒΟΣ - ΜΥΤΙΛΗΝΗ 1991
2 - 5 ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΥ**

ΠΟΛΙΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

ΠΑΝΑΓΟΥΛΙΑ ΔΙΟΝΥΣΙΑ Τομέας Υδατικών Πόρων-Υδραυλικών & Θαλάσσιων Έργων
Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Πολυτεχνείου
Ηρώων Πολυτεχνείου 5, Ζωγράφου 15773

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο πολλαπλός σχεδιασμός συστημάτων υδατικών πόρων και η πολιτική διαχείρισής τους, κάτω από τις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής, μελετάται σε ένα ευρύτερο πλαίσιο: την αλυσιδωτή αντίδραση που διασταυρώνει τις διεπιφάνειες μεταξύ κλίματος, υδρολογίας, συστημάτων υδατικών πόρων και κοινωνίας. Κάθε διεπιφάνεια απαιτεί τη συνεργασία και ανταλλαγή πληροφορίας μεταξύ ειδικών καθώς και τη διαβεβαίωση ότι η υπάρχουσα μεθοδολογία είναι κατάλληλη για το καινούργιο περιβάλλον που διαμορφώνει η αναπτυσσόμενη κλιματική αλλαγή. Παρουσιάζονται διάφορες απόψεις για κάθε μια διεπιφάνεια της αλυσιδωτής αντίδρασης έτσι ώστε η λήψη των αποφάσεών μας για τη διαχείριση των υδατικών πόρων να αποκριθεί στις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής.

POLICY OF WATER RESOURCES MANAGEMENT AND CLIMATE CHANGE

PANAGOULIA DIONYSIA

ABSTRACT

The multiple design of water resource systems and their management policy, under the influence of climate change, is studied on a wider context: the chain reaction that crosses the interfaces among climate, hydrology, water resource systems and society. Each interface demands collaboration and exchange of information among specialists and assurance that current methodology is appropriate for the new environment that forms the developing climate change. Various aspects are presented for each interface so that our decisions making for water resources management to be responded to climate change influence.

Εισαγωγή

Τα τελευταία είκοσι χρόνια έχει συντελεστεί μεγάλη πρόοδος στη γενική αποδεκτή θεωρία κλίματος και κλιματολογίας. Παλαιότερα, οι διάφορες θεωρήσεις κλίματος επικεντρώνοντο σε μακροπρόθεσμες συνθήκες σταθερής κατάστασης. Ενώ οι μεταβολές στο χώρο εμελετώντο και ερμηνεύοντο, οι αντίστοιχες στο χρόνο εθεωρούντο μάλλον ως ενδιαφέροντα ιστορικά φαινόμενα, παρά ως γεγονότα με ιδιαίτερη σημασία για την ανθρωπότητα.

Κατά τη δεκαετία του '70 η άποψη αυτή άλλαξε, όταν αναπτύχθηκε η προσομοίωση της ατμόσφαιρας, και αυξήθηκε η μαρτυρία και το ενδιαφέρον για τις επιπτώσεις των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον.

Στις μέρες μας το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής πήρε μεγάλη δημοσιότητα. Η επιστημονική κοινότητα αναγνώρισε την ανάγκη για ερευνητικά προγράμματα ευρείας βάσης σχετικά με την εκτίμηση ολόκληρου του κλιματικού συστήματος και των δυναμικών επιπτώσεων της μεταβλητότητας και αλλαγής του στο περιβάλλον και την κοινωνία (Παναγούλια 1986).

Για το σκοπό αυτό, πολλά κράτη έχουν αναπτύξει εθνικά προγράμματα κλίματος. Σε διεθνές επίπεδο, ο Διεθνής Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO) συγκάλεσε το Φεβρουάριο του 1979 το Παγκόσμιο Συνέδριο Κλίματος (WMO 1979) σε συνεργασία με τα Ηνωμένα Έθνη (UNEP, FAO, UNESCO, WHO). Κατάληξη της συνεργασίας αυτής ήταν η ίδρυση του Παγκόσμιου Προγράμματος Κλίματος με στόχους:

- εφαρμογή της κλιματικής πληροφορίας για την ευημερία της ανθρωπότητας,
- μελέτη (έρευνα) των κλιματικών διαδικασιών, και
- παρακολούθηση των σημαντικών μεταβολών και αλλαγών κλίματος.

Από καιρό έχει αναγνωριστεί η ύπαρξη της κλιματικής μεταβλητότητας. Σε αυτή περιλαμβάνεται και η πιθανότητα σημαντικών μεταβολών μέσα σε μικρό χρονικό διάστημα. Ωστόσο, χωρίς οποιοδήποτε πραγματικό μέσο πρόβλεψης τέτοιων μεταβολών, αυτές δεν φαίνεται να έχουν μεγάλη σημασία για τον υδρολογικό σχεδιασμό σε εθνικό ή μεγαλύτερο επίπεδο.

Η ικανότητά μας στην πρόβλεψη των μεταβολών είναι πολύ περιορισμένη και οι οποιεσδήποτε προβλέψεις είναι συζητήσιμες (Παναγούλια 1986). Είναι ενδιαφέρον να κάνουμε υποθέσεις για τις αιτίες της κλιματικής αλλαγής και μεταβλητότητας. Το ότι ο άνθρωπος μπορεί να είναι η αιτία τέτοιων μεταβολών, ακόμη και αλλαγών, κάνει επιτακτική ανάγκη την επίλυση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής.

Αν οι γνώσεις και η προβλεπτική μας ικανότητα για κάθε κλιματική κατάσταση ήταν τέλει, ίσως μπορούσαμε να προβλέψουμε ότι οι μεταβολές και αλλαγές στο κλίμα μέσα στα επόμενα 200 χρόνια δεν θα ήταν ούτε μεγαλύτερες ούτε μικρότερες από αυτές των τελευταίων ετών. Κάτω από αυτό το συλλογισμό είναι πιθανόν οι τρέχουσες τεχνικές ανάλυσης και σχεδιασμού να είναι κατάλληλες για τις μελλοντικές μας έρευνες, και όντως, να μη υπάρχει πραγματική ανάγκη για mégιστες αλλαγές στον τρόπο που διαχειριζόμαστε τα θέματά μας.

Δυστυχώς, είμαστε πλέον βέβαιοι, ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες ασκούν αρνητικές επιπτώσεις στο κλίμα. Αυτές πρέπει να προσπαθήσουμε να προγνώσουμε, να μελετήσουμε και κυρίως να εμποδίσουμε. Οι αιτίες που προκαλούν τη κλιματική αλλαγή και μεταβλητότητα είναι αντικείμενο μελέτης όσων ενδιαφέρονται για την ιστορία και τη φιλοσοφία της επιστήμης. Η κοινωνία αναμένει ότι οι μελετητές (μηχανικοί και λοιποί επιστήμονες) θα αντιμετωπίσουν το θέμα με τη σοβαρότητα που του αρμόζει.

Ο καιρός και το κλίμα μιας περιοχής προσδιορίζουν την υγεία μας, την ενδυμασία μας, το ρυθμό και τη μορφή της ενέργειας που χρησιμοποιούμε, το ρυθμό ανάπτυξης των φυτών και το αίσθημα ασφάλειάς μας έναντι κάθε φυσικού κινδύνου.

Η ικανοποίηση των καθοριστικών αυτών παραγόντων επιβίωσης του ανθρώπου απαιτεί αφενός επαρκή ποσότητα νερού και αφετέρου προστασία από πλημμύρες, ξηρασίες και άλλες απειλές ασφάλειας. Συνεπώς, οι σημαντικότερες επιπτώσεις της αλλαγής και μεταβλητότητας του κλίματος στο περιβάλλον και την κοινωνία εισάγονται μέσω του υδρολογικού κύκλου. Γιαυτό, ο μηχανικός των συστημάτων υδατικών πόρων παίζει καθοριστικό ρόλο στη μελέτη αυτών των επιπτώσεων, και είναι βασικό μια τέτοια εργασία να αναλαμβάνεται με συντονισμένο ρυθμό σε εθνικό και διεθνές επίπεδο.

Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον

Σχετικά με τους όρους περιγραφής του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος έχουν δοθεί πολλοί. Οι συνηθέστεροι και χρησιμότεροι από αυτούς, όσον αφορά το σχεδιασμό των υδατικών έργων (WMO 1985α, Παναγούλια 1991), είναι:

Καιρός. Περιγράφει την πλήρη κατάσταση της ατμόσφαιρας οποιαδήποτε χρονική στιγμή και την εξέλιξη της κατάστασης αυτής μέσω της γέννησης, της ανάπτυξης και της εξασθένησης των μεμονωμένων ατμοσφαιρικών διαταραχών.

Κλίμα. Είναι η ολοκλήρωση των καιρικών φαινομένων πάνω σε αρκετά επιμήκη χρονική περίοδο έτσι ώστε να μπορέσουν να προσδιοριστούν οι στατιστικές παράμετροι του κλίματος (μέσοι όροι, σκέδαση, πιθανότητες ακραίων γεγονότων, κλπ). Το κλίμα είναι ανεξάρτητο από κάθε στιγμιαία ατμοσφαιρική κατάσταση.

Κλιματική αλλαγή. Αποτελεί τη διαφορά μεταξύ μέσων μακροπρόθεσμων τιμών μιας κλιματικής μεταβλητής (ή των στατιστικών της παραμέτρων). Η μέση τιμή αναφέρεται σε κάποιο εξειδικευμένο χρονικό διάστημα που συνήθως είναι μερικές δεκαετίες.

Κλιματική μεταβλητότητα. Περιλαμβάνει τα ακραία γεγονότα και τις μηνιαίες, εποχιακές και ετήσιες διαφορές από την κλιματικά αναμενόμενη τιμή (χρονικός μέσος). Οι διαφορές αυτές συνήθως ορίζονται ως ανωμαλίες.

Όσον αφορά την κλιματική ανωμαλία ... κλπ (Παναγούλια 1990) νομίζω ότι ξεπερνούν τα όρια ενδιαφέροντος του παρόντος άρθρου.

Συστήματα Υδατικών Πόρων

Απλώς η ύπαρξη κάποιου υδάτινου όγκου δεν προσδιορίζει τον "υδατικό πόρο". Για να είναι "πόρος" πρέπει ο υδάτινος όγκος να είναι διαθέσιμος (ή να μπορεί να διατεθεί) για χρήση σε επαρκή ποσότητα, κατάλληλη ποιότητα, και για χρονική περίοδο που να μπορεί να ικανοποιήσει την ενδεχόμενη ζήτηση. Επομένως υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ υδρολογίας (που ασχολείται με κάθε υδάτινο όγκο) και μελέτης υδατικών πόρων (Askew 1987).

Ένας υδατικός πόρος μπορεί ήδη να χρησιμοποιείται ή να αντιπροσωπεύει μόνο δυναμικό για το μέλλον. Και στις δύο περιπτώσεις αυτό που τον καθορίζει είναι η τρέχουσα και μελλοντική αξιοπιστία του, ενώ η βέβαιη πρόγνωση μελλοντικής μείωσης του σε ποσότητα ή αξιοπιστία μπορεί να ακυρώσει τη χρήση του όρου "υδατικός πόρος". Δηλαδή, η αλλαγή του κλίματος στο μέλλον μπορεί να επηρεάσει όχι μόνο το μέγεθος ή την αξιοπιστία των υδατικών πόρων, αλλά να κάνει διαθέσιμους πόρους υδάτινους όγκους που δεν ήταν πόροι ή να εξαφανίσει αυτούς που ήδη υπάρχουν.

Ο υδρολογικός κύκλος είναι ένα ολοκληρωμένο τμήμα του κλιματικού συστήματος. Εμπλέκεται σε πολλές αλληλεπιδράσεις και βρόγχους ανάδρασης που αυξάνουν την περιπλοκότητα του συστήματος.

Τα συστήματα υδατικών πόρων (ταμειυτήρες, φράγματα, διώρυγες μεταφοράς κλπ) αποτελούν την παρέμβαση του ανθρώπου στον υδρολογικό κύκλο, έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί προς όφελός του.

Ακόμη και τα απλούστερα συστήματα υπόκεινται σε πολλές εξωτερικές επιδράσεις, γεγονός που αφήνει ελεύθερο το πεδίο για επιδράσεις κλιματικών αλλαγών. Αλληλεπιδρούν μεταξύ τους πολλαπλώς, έτσι που σε τοπική κλίμακα είναι δυνατόν να τροποποιήσουν τον υδρολογικό κύκλο. Γιαυτό, ενώ τα συστήματα υδατικών πόρων είναι δυνατόν καταρχήν να δεχθούν τις κλιματικές επιδράσεις μέσω του υδρολογικού κύκλου, αυτά μπορούν από μόνα τους να επιδράσουν στο κλίμα, ιδιαίτερα, όταν είναι μεγάλα σε κλίμακα και αριθμό ή ο υδρολογικός κύκλος βρίσκεται σε αδιάφορη κατάσταση ισορροπίας (Παναγούλια 1990).

Κάθε έρευνα πάνω στην αλληλεπίδραση κλιματικού συστήματος (ατμόσφαιρας, ωκεανών, ξηράς, πάγων και βιόσφαιρας), υδρολογικού κύκλου και συστημάτων υδατικών πόρων οφείλει να αναγνωρίζει την περιπλοκότητα των σχέσεων που αναμειγνύονται.

Όσον αφορά τα συστήματα υδατικών πόρων, μπορούμε (με κάποια τεχνική) να αναγνωρίσουμε τις διάφορες μεταβλητές που αναμειγνύονται σε κάθε σύστημα και τότε να μελετήσουμε τις κλιματικές και υδρολογικές παραμέτρους που επηρεάζουν το σχεδιασμό και την απόδοση κάθε μιας μεταβλητής. Μια συστηματική παρουσίαση των διάφορων μορφών συστημάτων υδατικών πόρων και υδρολογικών παραμέτρων, καθώς και των μεθόδων που αναμειγνύονται στο σχεδιασμό και τη λειτουργία κάθε μορφής συστήματος έχει γίνει από το Διεθνές Υδρολογικό Πρόγραμμα της UNESCO (1982).

Ανάγκες για Πληροφορία στην Κλιματική Αλλαγή

Ο διαχωρισμός της κλιματικής αλλαγής από τη μεταβλητότητα μπορεί καταρχήν να είναι σαφής, όμως με κανένα τρόπο δεν εφαρμόζεται εύκολα. Η μεταβλητότητα, από μόνη της, δεν είναι τόσο δύσκολο να αναγνωριστεί και εκτιμηθεί, αλλά για να μελετήσουμε τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής πρέπει πρώτα να είμαστε σε θέση να τη διαχωρίσουμε από τη μεταβλητότητα. Οι κλιματολόγοι και οι υδρολόγοι πρέπει αφενός να επαινεθούν για την πρόοδο που έχουν επιφέρει πάνω στο θέμα, αφετέρου να ενθαρρυνθούν για να συνεχίσουν το ερευνητικό τους έργο.

Επίσης πρέπει να ενθαρρυνθούν οι κλιματολόγοι και οι φυσικοί της ατμόσφαιρας που ερευνούν το κλιματικό σύστημα και ερμηνεύουν τη μεταβλητότητά του και τις αλλαγές του στο παρελθόν έτσι ώστε να προγνώσουν τη μελλοντική του συμπεριφορά. Αλλά οι μηχανικοί πρέπει να προσδιορίσουν τα αναγκαία στοιχεία όσον αφορά το αντικείμενο τους, σύμφωνα με τα οποία οι κλιματολόγοι και οι φυσικοί της ατμόσφαιρας θα ανταποκριθούν στην ζητούμενη πληροφορία. Δεν αρκεί να εκφράζουμε την απογοήτευσή μας για το είδος ή το περιεχόμενο της κλιματικής πρόγνωσης. Οφείλουμε με κατάλληλο τρόπο να πιστοποιούμε τις απαιτήσεις μας στους κλιματολόγους.

Ένας τέτοιος κατάλογος στοιχείων περιλαμβάνει (Παναγούλια 1991):

- Κλίμακα χώρου: παγκόσμια, ηπειρωτική, τοπική (εθνική) και λεκάνη απορροής.
- Κλίμακα χρόνου: εκατονταετία, δεκαετία, έτος, εποχή, μήνας και ημέρα.
- Μετεωρολογικές μεταβλητές: ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης, θερμοκρασία, κατακρήμνιση, ταχύτητα ανέμου, υγρασία.
- Στατιστικές παράμετροι: μέσος όρος, σκέδαση, πιθανότητες ακραίων τιμών, χωρο-χρονικές συσχετίσεις, κύκλοι, τάσεις, απότομες ασυνέχειες.

Σήμερα οι κλιματικές προβλέψεις επικεντρώνονται σε αλλαγές των μέσων τιμών ολίγων επιλεγμένων μετεωρολογικών μεταβλητών, για περιόδους από δέκα έως είκοσι χρόνια και σε παγκόσμια, ή συνήθως ημισφαιρική, κλίμακα. Όμως δεν έχουν προσδιοριστεί εκείνες οι μετεωρολογικές μεταβλητές που κυρίως επιδρούν στους υδατικούς πόρους. Η κατακρήμνιση και η θερμοκρασία αποτελούν τις πρώτες υποψηφίες, αλλά για την κατακρήμνιση οι κλιματικές προβλέψεις είναι ελάχιστες και μειωμένης αξιοπιστίας. Επίσης, ενώ οι απότομες αλλαγές, ή τάσεις, στις μέσες τιμές των μετεωρολογικών μεταβλητών είναι σημαντικές, η αυξανόμενη ή μειούμενη διασπορά και πιθανότητα ακραίων τιμών ενδεχομένως να είναι περισσότερο κρίσιμες.

Αν μπορούσαν να αναγνωριστούν οι κλιματικές παράμετροι που έχουν ιδιαίτερη σημασία για κάθε μορφή του συστήματος υδατικών πόρων, τότε θα μπορούσε να συνταχθεί ένας κατάλογος από απαιτήσεις για κλιματική πρόβλεψη. Είναι σημαντικό ο κατάλογος των αναγκών να είναι, όσο γίνεται, μικρός.

Εξίσου σημαντικό είναι να κατανοήσουν εκείνοι που ερευνούν το πρόβλημα ότι θα περάσουν πολλά χρόνια για να έχουμε τις πρώτες αποκρίσεις σε ορισμένα επιμέρους θέματα του γενικότερου προβλήματος. Παρά τις δυσκολίες αυτές, η αντιμετώπιση του προβλήματος πρέπει να στηριχτεί σε κατάλληλο πλαίσιο αναγκών. Αν όχι, τότε οι κλιματολόγοι και οι φυσικοί της ατμόσφαιρας δεν θα μπορέσουν να συμπεριλάβουν την υδρολογία και τους υδατικούς πόρους στις ερευνές τους.

Τέλος πρέπει να τονιστεί το πρόβλημα της σταδιακής αναγνώρισης των αναγκών που αποτελεί δυναμική και επαναλαμβανόμενη διαδικασία. Καθώς μελετάται η κλιματική πρόβλεψη (και υπολογίζονται οι πιθανές επιπτώσεις για κάθε μορφή συστήματος υδατικών πόρων) προκύπτει η απαίτηση να γίνει γνωστή μια καινούργια πληροφορία (σχετικά με την ευαισθησία του συστήματος σε αλλαγές). Αυτή, κατά κανόνα, απαιτεί λεπτομερέστερες προβλέψεις, ή προβλέψεις με επιπρόσθετες παραμέτρους. Δηλαδή, ο κατάλογος των αναγκών εξελίσσεται, και πρέπει να ενημερώνεται συνεχώς.

Κλιματική Αλλαγή και Υδρολογία

Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής πάνω στην υδρολογία προκαλεί αλυσιδωτή αντίδραση. Ήδη αναφέρθηκε ότι ο υδρολογικός κύκλος είναι μέρος του κλιματικού συστήματος, επομένως ο πρώτος κρίκος στην αλυσίδα είναι η επίδραση στις υδρολογικές διαδικασίες.

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι το υδρολογικό ομοίωμα (Παναγούλια 1986). Η κλιματική αλλαγή, στην κοινή πρακτική, εισάγεται στο υδρολογικό ομοίωμα μέσω των παραμέτρων και δεδομένων εισόδου του, προκειμένου να μελετηθεί η απόκριση του ο-

μοιώματος στο καινούργιο κλιματικό καθεστώς. Τις περισσότερες όμως φορές, ακόμη και όταν υπάρχει ένα εξειδικευμένο σενάριο κλιματικής πρόβλεψης, είναι δύσκολο να αποφασίσουμε ποιές παραμέτρους ή δεδομένα πρέπει όντως να προσομοιώσουμε για κλιματική αλλαγή. Δυσκολότερο βέβαια είναι να ερμηνεύσουμε τα αποτελέσματα του ομοιώματος όταν τα χρησιμοποιούμενα σενάρια είναι υποθετικά.

Παρόλα αυτά έχει γίνει σοβαρή δουλειά πάνω στο θέμα, η οποία έχει προκαλέσει ενδιαφέρον στην υδρολογική κοινότητα, και έχει θέσει την υποδομή για παραπέρα έρευνα (Παναγούλια 1990).

Όσο περισσότερα ακριβής επιθυμεί κανείς να είναι, τόσο μεγαλύτερο πρόβλημα αντιμετωπίζει σχετικά με την ποιότητα και καταλληλότητα των μεθόδων που επιλέγει. Ο Klemes (1985) προσδιόρισε ουσιαστικούς ελέγχους για τα υδρολογικά ομοιώματα που πρόκειται να εφαρμοστούν για την προσομοίωση της υδρολογικής επίδρασης της κλιματικής αλλαγής. Ελπίζουμε ότι οι ερευνητές που πιθανόν αναπτύξουν νέα ομοιώματα θα εφαρμόσουν αντίστοιχους ελέγχους.

Στο σύνδεσμο αυτό συμπεριλαμβάνεται η διεπιφάνεια ατμόσφαιρας και εδάφους. Πρόκειται για ενδιάμεση κατάσταση όπου η ανεπαρκής προσομοίωση ενεργειακών και υδατικών ισοζυγίων περιορίζει τη λειτουργικότητα και απόδοση των ομοιωμάτων γενικής κυκλοφορίας (στα οποία στηρίζεται η βελτίωση της κλιματικής πρόγνωσης). Οι υδρολόγοι που αναζητούν καλύτερες προβλέψεις κλιματικής αλλαγής και μεταβλητότητας, πρέπει να ενταφύσουν στα ζητήματα των φυσικών της ατμόσφαιρας. Η βάση μιας τέτοιας συνεργασίας έχει ήδη τοποθετηθεί (Eagleson 1982, WMO 1985β).

Υδρολογικές Διαδικασίες και Συστήματα Υδατικών Πόρων

Ο δεύτερος κρίκος στην αλυσίδα συνδέει τις υδρολογικές διαδικασίες με τα συστήματα υδατικών πόρων.

Σε ότι αφορά το σύνδεσμο αυτό, οι αναμενόμενες μεταβολές και αλλαγές στις κλιματολογικές και υδρολογικές διαδικασίες μπορούν να εισέρχονται στις σχετικές παραμέτρους και τα δεδομένα των χρονοσειρών των μαθηματικών ομοιωμάτων του συστήματος υδατικών πόρων (π.χ. ομοίωμα απορροής, διήθησης κλπ). Οπότε η επίδραση στη λειτουργικότητά τους μπορεί να εξετάζεται με βάση τις εξόδους (γενική απόκριση) του συστήματος. Ωστόσο, η αλληλεπίδραση μεταξύ συστημάτων υδατικών πόρων, κλίματος και υδρολογίας είναι περισσότερο περίπλοκη από ότι αρχικά φαίνεται (μπορεί να αναμιγνύει μηχανισμούς ανάδρασης).

Σημαντικές αλλαγές σε γνωστές διαδικασίες μπορεί να προκαλέσουν εντελώς διαφορετική λειτουργία του συστήματος από τη δοκιμασμένη μέχρι σήμερα, ενώ το υπάρχον (χωρίς τις αλλαγές) μπορεί να αποδειχθεί ανίκανο για κάθε χρήσιμο σκοπό.

Για παράδειγμα, μία μέτρια αλλαγή στην πιθανότητα των θερμοκρασιών κάτω από το σημείο ψύξης, που ενώ η επίδρασή της στο υδρολογικό καθεστώς είναι αμελητέα, για την παραγωγή εσπεριδοειδών είναι καταστρεπτική.

Τα πιο εμφανή παραδείγματα είναι οι μακροπρόθεσμες τάσεις στους μέσους όρους και οι αλλαγές στις πιθανότητες ακραίων γεγονότων που μπορεί να προκαλέσουν άδειους ταμιευτήρες ή μεγάλες αυξήσεις κατακρημνίσεων και απειλές πλημμυρών.

Η διεπιφάνεια συστημάτων υδατικών πόρων και φυσικών διαδικασιών μέσα στην οποία αυτά αναμιγνύονται είναι επίσης περίπλοκη. Παρόλο που τα συστήματα υδατικών πόρων είναι έργα ανθρώπινα, ο τρόπος με τον οποίο λειτουργούν δεν είναι απόλυτα κατανοητός, και μπορεί να μεταβάλλεται με μεγάλη ευκολία.

Η πολιτική λειτουργίας των συστημάτων υδατικών πόρων είναι ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά του συστήματος.

Σε μερικά είδη συστημάτων είμαστε σε θέση να τροποποιήσουμε τις πολιτικές διαχείρισής τους έτσι που να κατευθύνονται στο μετριασμό, ή την εξουδετέρωση, των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής που θεωρούμε αρνητικές, ή επιβλαβείς. Να απαλλαγούμε όμως από την πολιτική διαχείρισής τους είναι αδύνατο.

Ο πραγματικός τρόπος με τον οποίο λειτουργούν σήμερα τα συστήματα υδατικών πόρων είναι το αποτέλεσμα ενός περίπλοκου (ακόμη και στοχαστικού) ισοζυγίου από παράγοντες φυσικούς, κοινωνικούς, οικονομικούς, πολιτικούς και ανθρωπιστικούς. Συνεπώς είναι στοιχειώδες να περιλαμβάνεται και η πολιτική στη λειτουργία των συστημάτων υδατικών πόρων (Παναγούλια 1990).

Συστήματα Υδατικών Πόρων και Κοινωνία

Ο τρίτος κρίκος στην αλυσίδα, αυτός μεταξύ των συστημάτων υδατικών πόρων και κοινωνίας, έχει ιδιαίτερη σημασία γιατί δημιουργεί μηχανισμούς ανάδρασης.

Αμφότερα, φυσικά χαρακτηριστικά και πολιτική λειτουργίας των συστημάτων, έχουν χρησιμοποιηθεί για να αντιμετωπίσουν τις ανάγκες της κοινωνίας. Η οικιστική και γεωργική ζήτηση για νερό θα αναμενόταν να αυξηθεί με την αύξηση της θερμοκρασίας, αλλά αν αυτή συνοδεύεται από αύξηση σε κατακρήμνιση, τότε η γεωργική ζήτηση θα μπορούσε να μειωθεί εξαρτώμενη από εποχιακούς παράγοντες.

Η τρίτη αυτή αλληλεπίδραση είναι περίπλοκη, δυναμική, πολύπλευρη και προπαντός δύσκολη (αν όχι αδύνατη) να προγνώσει σχετικά με τα μελλοντικά χαρακτηριστικά και τη λειτουργικότητά της.

Έχει γίνει αξιολογή δουλειά στον πολλαπλό σχεδιασμό συστημάτων υδατικών πόρων και έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές για να εκτιμήσουν ορθολογικά τη ζήτηση, που συνήθως εκφράζεται με οικονομικούς όρους και μέτρα δημόσιας ασφάλειας και ευημερίας. Στη θεωρία, οι τεχνικές αυτές αναπτύσσονται εύκολα, στην πράξη όμως είναι δύσκολο να περιγράψουμε με απόλυτους όρους επιθυμιών και περιορισμών τη ζήτηση κάτω από τις προβλεπόμενες μελλοντικές συνθήκες. Γιαυτό καταφεύγουμε στη χρησιμοποίηση σεναρίων μελλοντικής ζήτησης νερού που ανταποκρίνονται σε κατώτερα, μέσα και ανώτερα επίπεδα. Μια τέτοια αντιμετώπιση μελλοντικής υδατικής κατανάλωσης περιλαμβάνεται στη μελέτη των Δυνατοτήτων του Υδροδοτικού Συστήματος Μόρνου-Ευήνου, για την ύδρευση της πόλης της Αθήνας (Ενημερωτικό Δελτίο ΤΕΕ 1646, σελ. 17-48).

Δεν είναι μόνο τα υδρολογικά ομοιώματα που πρέπει να ελεγχθούν για την προσομοίωση διαφορετικών συνθηκών από εκείνες που ρυθμίστηκαν. Είναι ακόμη και τα κοινωνικο-οικονομικά ομοιώματα που πρέπει να ελεγχθούν για τον ίδιο σκοπό.

Ποιές είναι οι προτεραιότητες της κοινωνίας που αντιμετωπίζει κλιματική αλλαγή, η οποία είναι δυνατόν να προκαλέσει αξιοσημείωτες αλλαγές σε θερμοκρασία και κατακρήμνιση, τροφή και υδατική παροχή, διακινδύνευση υγείας και ασφάλειας και γενικά να μεταβάλλει την ποιότητα ζωής;

Οι υδρολόγοι, από καιρό, έχουν καταλήξει ότι οι υδρολογικές προβλέψεις είναι ευρέως διαδεδομένες και ορθά ερμηνευμένες, γεγονός που διαβεβαιώνει τη μεγάλη αξία τους.

Αυτοί που προβλέπουν την απόκριση των συστημάτων υδατικών πόρων στην κλιματική αλλαγή πρέπει να αναφέρουν ότι οι προβλέψεις τους μπορεί να χαρακτηριστούν αξιόπιστες. Επομένως είναι βασικό ότι οι τρέχουσες προσπάθειες πρέπει να αναμειγνύουν τους κατάλληλους διαχειριστές νερού και λήπτες αποφάσεων στο σχεδιασμό των υδατικών πόρων έτσι ώστε η περαιτέρω έρευνα των συστημάτων αυτών να αποκριθεί στις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής.

Συμπεράσματα

Στο άρθρο αυτό δεν προσπαθώ να κάνω ανασκόπηση της μελέτης που έχει γίνει (μέχρι σήμερα) πάνω στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στους υδατικούς πόρους. Απλώς σκοπεύω αφενός να τονίσω τα ερωτήματα που πρέπει να απαντηθούν, αφετέρου να προσδιορίσω τις διάφορες μεθόδους που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν.

Το ενδιαφέρον των κλιματολόγων έχει επικεντρωθεί πάνω στην κλιματική αλλαγή και μεταβλητότητα, και ιδιαίτερα στην πρώτη είτε είναι ανθρωπογενής είτε προέρχεται από άλλες φυσικές αιτίες. Οι σοβαρότερες αναλύσεις και η κοινή γνώμη (π.χ. WMO 1985γ) καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι το κλίμα μπορεί να αλλάξει σε τέτοιο βαθμό και ρυθμό που θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας την αλλαγή αυτή στο σχεδιασμό των υδατικών (υδραυλικών-εγγειοβελτιωτικών) έργων. Από όλες τις πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής οι σημαντικότερες αφορούν τους υδατικούς πόρους.

Το ανανεωμένο ενδιαφέρον για το κλιματικό σύστημα και την αλληλεπίδρασή του με τα άλλα φυσικά συστήματα δεν σχετίζεται μόνο με την κλιματική αλλαγή. Παραδείγματα αναφέρονται στην παλινδρόμηση του El Niño και τα σχετιζόμενα φαινόμενα που αποτελούν μέρος του Προγράμματος του Τροπικού Ωκεανού και της Παγκόσμιας Ατμόσφαιρας (WMO 1985δ). Τα φαινόμενα αυτά υπόσχονται ότι θα συμπληρώσουν την αντίληψή μας για το κλιματικό σύστημα με αποτέλεσμα να βελτιωθεί η ικανότητά μας για πρόβλεψη της κλιματικής μεταβλητότητας ξεχωριστά από την κλιματική αλλαγή.

Τέτοιες προβλέψεις είναι καθοριστικές για την καλύτερη διαχείριση των υφιστάμενων υδατικών πόρων καθώς προοιωνίζουν τη δυνατότητα να προγνώσουμε τις μελλοντι-

κές υδατικές παροχές για επιμήκεις περιόδους. Γιαυτό, φαίνεται λογικότερο το να σκεπτόμαστε με όρους που αναφέρονται σε πρόβλεψη κλιματικής μεταβλητότητας και όχι αλλαγής.

Παρόλα αυτά αντικείμενο ενδιαφέροντος αποτελεί η κλιματική αλλαγή, και για να συνοψίσω όσα ανέπτυξα παραπάνω, αναφέρω τις παρακάτω εργασίες (Παναγούλια 1991).

- * Ταξινόμηση των σημαντικότερων μορφών συστημάτων υδατικών πόρων,
- * Αναγνώριση των κλιματολογικών και υδρολογικών παραγόντων που επηρεάζουν το σχεδιασμό και τη λειτουργία συστημάτων υδατικών πόρων,
- * Προσδιορισμός των κλιματολογικών χαρακτηριστικών που κρίνονται σημαντικά όσον αφορά τη μελέτη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής,
- * Ενθάρρυνση όσων μελετούν το κλιματικό σύστημα με αντικείμενο την πρόβλεψη της μελλοντικής συμπεριφοράς του,
- * Καθορισμός των αναγκών των μηχανικών για κλιματική πληροφορία σχετική με την πιθανολογούμενη κλιματική αλλαγή,
- * Έλεγχος (από πλευράς αξιοπιστίας αποτελεσμάτων) των υδρολογικών ομοιωμάτων και λοιπών εργαλείων που χρησιμοποιούνται στη μελέτη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής
- * Συμμετοχή στο ερευνητικό των φυσικών της ατμόσφαιρας με σκοπό να βελτιστοποιηθεί η προσομοίωση της διεπιφάνειας ατμόσφαιρα-έδαφος,
- * Να λάβουμε υπόψη την πραγματική δομή των μελετώμενων συστημάτων υδατικών πόρων και ιδιαίτερα τις πολιτικές λειτουργίας τους, και
- * Μελέτη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην κοινωνία, έτσι ώστε να προσδιοριστεί η περίπλοκη και δυναμική δομή των μηχανισμών ανάδρασης που συνδέει τα συστήματα υδατικών πόρων με το κοινωνικό και οικονομικό περιβάλλον.

Η πραγματοποίηση των παραπάνω εργασιών ενδεχομένως να έχει μέγιστη σημασία για τη μελλοντική ευημερία της ανθρωπότητας. Αποτελεί όμως ένα δύσκολο και μακροχρόνιο έργο για την ευδωχή του οποίου απαιτείται υπευθυνότητα και συνεργασία εξειδικευμένων επιστημόνων και μηχανικών.

Αναφορές

Askew, A.J., 1987, "Climate Change and Water Resources", In: *Proceedings of the International Symposium on the Influence of the Climate Change and Climate Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources*, University of Vancouver, Vancouver, Canada.

Klemes, V., 1985, "Sensitivity of Water Resource Systems to Climate Variation", *Hydrological Sciences Journal*, vol.27, pp. 327-343.

Παναγούλια, Δ., 1986, "Επίδραση Κλιματικών Αλλαγών σε Υδατικούς Πόρους και Έργα Αξιοποίησης τους", Σεμινάριο Έργων Εγγείων Βελτιώσεων, ΠΣΔΑΤΜ.

Παναγούλια, Δ., 1990, "Ανάλυση Ευαισθησίας Υδρολογικής Απόκρισης Λεκάνης σε Κλιματικές Αλλαγές", Διδακτορική Διατριβή.

Παναγούλια, Δ., 1991, "Κλιματική Αλλαγή : Ρυθμιστής της Διατήρησης και Ανάπτυξης των Υδατικών Πόρων", Ημερίδα Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων σε Ελλειμματικές Περιοχές. Ευρωπαϊκή Επιτροπή για τη Διαχείριση Υδατικών Πόρων-Ελληνικό Τμήμα, Αθήνα 21 Φεβρουαρίου.

UNESCO, 1982, "Methods of Hydrological Computations for Water Projects", Eichert, B.S., Kindler, J., Schultz.G.A. and Sokolov, A.A, eds., Studies and Reports in Hydrology No. 38, Unesco, Paris.

WMO, 1979, *Proceedings of the World Climate Conference*, WMO Publ. No. 537, WMO, Geneva.

WMO, 1985α, WCP-Water Project A.2 "Analyzing Long Time Series of Hydrological Data with Respect to Climate Variability", Draft Project Description, WMO, Geneva.

WMO, 1985β, "Report of the First Session of the JSC Scientific Steering Group on Land Surface Processes and Climate", WCP, Report No.96, WMO, Geneva.

WMO, 1985γ, "Report of the International Conference on the Assessment of the Role of Carbon Dioxide and Other Greenhouse Gases" in *Climate Variations and Associated Impacts*, WMO/UNEP/ICSU, WMO Publ. No. 661, WMO, Geneva.

WMO, 1985δ, "Scientific Plan for the Tropical Ocean and Global Atmosphere Program", WCRP Publ. Series No. 3, WMO/ICSU, Geneva.