

Εισαγωγή

Την τελευταία εικοσαετία έχουν συμβεί σημαντικές αλλαγές στη γενικώς αποδεκτή θεωρία κλίματος και κλιματολογίας. Στο παρελθόν, οι διάφορες θεωρήσεις κλίματος επικεντρώνοντο σε μακροπρόθεσμες συνθήκες σταθερής κατάστασης. Οι μεταβολές στο χώρο εμελετώντο και ερμηνεύοντο, αλλά οι αντίστοιχες στο χρόνο εθεωρούντο μάλλον ως ενδιαφέροντα ιστορικά φαινόμενα, παρά ως γεγονότα με ιδιαίτερη σημασία για την ανθρωπότητα.

Η άποψη όμως αυτή άλλαξε σύντομα όταν, τη δεκαετία του '70, αναπτύχθηκε η προσομοίωση της ατμόσφαιρας, και από την άλλη μεριά αυξήθηκε η μαρτυρία και το ενδιαφέρον για τις επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην ατμόσφαιρα. Μερικά αρχικά ευρήματα έδειξαν μέγιστες αλλαγές στο κλίμα, ενώ άλλα οδήγησαν σε αρκετά διαφορετικά συμπεράσματα.

Στις μέρες μας, η άποψη της κλιματικής αλλαγής έλαβε μεγάλη δημοσιότητα και η επιστημονική κοινότητα αναγνώρισε την ανάγκη για ευρείας βάσης προγράμματα έρευνας, σχετικά με την εκτίμηση ολόκληρου του κλιματικού συστήματος και των δυναμικών επιπτώσεων της μεταβλητότητας και αλλαγής του στην κοινωνία (Παναγούλια 1986).

Πολλές χώρες έχουν αναλάβει εθνικά προγράμματα κλίματος για το σκοπό αυτό. Σε διεθνές επίπεδο, ο WMO συγκάλεσε το Φεβρουάριο του 1979 το Παγκόσμιο Συνέδριο Κλίματος (WMO 1979) σε συνεργασία με τη UNEP, FAO, UNESCO και WHO. Αυτό οδήγησε αργότερα, μέσα στο ίδιο έτος, στην ίδρυση του Παγκόσμιου Προγράμματος Κλίματος με θέματα:

- την εφαρμογή της υπάρχουσας κλιματικής πληροφορίας για την ευημέρια της ανθρωπότητας,
- να βελτιώσουν την αντίληψη των κλιματικών διαδικασιών, και
- την παρακολούθηση των σημαντικών μεταβολών και αλλαγών κλίματος.

Η ύπαρξη της κλιματικής μεταβλητότητας έχει αναγνωριστεί από καιρό. Περιλαμβάνει ακόμη και την πιθανότητα σημαντικών μεταβολών μέσα σε μικρό χρονικό διαστήμα. 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, έχει δημιουργήσει την ανάγκη για 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. Γιαυτό, θεωρητικά ενδέχεται οι τρέχουσες τεχνικές ανάλυσης και σχεδιασμού να είναι κατάλληλες για τις μελλοντικές μας έρευνες, και όντως, να μη υπάρχει πραγματική ανάγκη για μέγιστες αλλαγές στον τρόπο που διαχειριζόμαστε τα θέματά μας.

Όμως είναι βέβαιο ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες θα εξασκήσουν αρνητικές επιπτώσεις στο κλίμα. Αυτές είναι που πρέπει να προσπαθήσουμε να προγνώσουμε, να μελετήσουμε και κυρίως να εμποδίσουμε. Οι αιτίες της κλιματικής αλλαγής και μεταβλητότητας μπορούν να μελετηθούν από αυτούς που ενδιαφέρονται για την ιστορία και τη φιλοσοφία της επιστήμης. Η κοινωνία έχει κάθε δικαίωμα να αναμένει ότι οι επιστήμονες-μελετητές (μηχανικοί) θα αντιμετωπίσουν το θέμα με τη μεγαλύτερη σοβαρότητα.

Στις βασικές ανάγκες επιβίωσης της ανθρωπότητας περιλαμβάνονται η τροφή, το πόσιμο νερό, η ενδυμασία, η κατοικία και η ασφάλεια έναντι κάθε φυσικού κινδύνου. Η ικανοποίηση των δύο πρώτων αναγκών απαιτεί επαρκή ποσότητα νερού και προστασία από πλημμύρες και άλλες απειλές ασφάλειας. Μερικές από τις σημαντικότερες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και μεταβλητότητας στην κοινωνία εισάγονται μέσω του υδρολογικού κύκλου. Γιαυτό, ο υδρολόγος και ο μηχανικός των συστημάτων υδατικών πόρων παίζει σπουδαίο ρόλο στη μελέτη αυτών των επιπτώσεων και είναι βασικό μια τέτοια εργασία να αναλαμβάνεται με συντονισμένο ρυθμό σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο.

Κλιματική Αλλαγή και Μεταβλητότητα

Σχετικά με την κλιματική αλλαγή και μεταβλητότητα έχουν δοθεί πολλοί ορισμοί. Οι

χρησιμότεροι από αυτούς, όσον αφορά το σχεδιασμό των υδατικών έργων (WMO 1985α, Παναγούλια 1990), 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. Ορίζεται η διαφορά μεταξύ μέσων μακροπρόθεσμων τιμών μιας κλιματικής παραμέτρου (ή των στατιστικών της χαρακτηριστικών). 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.

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 και μελέτης υδατικών πόρων (Askew 1987).

Ένας υδατικός πόρος μπορεί ήδη να χρησιμοποιείται ή να αντιπροσωπεύει μόνο δυναμικό για το μέλλον. Όποια και αν είναι η περίπτωση, η τρέχουσα και μελλοντική αξιοπιστία του τον καθορίζουν, ενώ η βέβαιη πρόγνωση μελλοντικής μείωσής του σε ποσότητα ή αξιοπιστία μπορεί να ακυρώσει τη χρήση του όρου "υδατικός πόρος". Δηλαδή, η αλλαγή του κλίματος στο μέλλον θα μπορούσε να μην επηρεάσει μόνο το μέγεθος ή την αξιοπιστία των υδατικών πόρων, αλλά να κάνει διαθέσιμους πόρους υδάτινους όγκους που δεν ήταν πόροι ή να εξαφανίσει εντελώς 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 αντιπροσωπεύουν 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. Ασκούν πολλαπλές αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους, που σε τοπική κλίμακα μπορούν 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, υδρολογικού κύκλου και συστημάτων υδατικών πόρων οφείλει να αναγνωρίζει την περιπλοκότητα των σχέσεων που αναμειγνύονται.

Σχετικά με τα συστήματα υδατικών πόρων, θα μπορούσαμε με κάποια τεχνική να αναγνωρίσουμε τα διάφορα στοιχεία που αναμειγνύονται σε κάθε σύστημα και τότε να μελετήσουμε τους κλιματικούς και υδρολογικούς παράγοντες που επηρεάζουν το σχεδιασμό και την απόδοση κάθε τέτοιου στοιχείου. Μια συστηματική παρουσίαση των διάφορων μορφών συστημάτων υδατικών πόρων και υδρολογικών παραγόντων, καθώς και των τεχνικών 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 σε πρώτη όψη να είναι σαφής, με κανένα όμως τρόπο δεν εφαρμόζεται εύκολα. Η μεταβλητότητα από μόνη της, δεν είναι τόσο δύσκολη να αναγνωριστεί και εκτιμηθεί, αλλά για να μελετήσουμε τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής πρέπει πρώτα να είμαστε ικανοί να τη διαχωρίσουμε από τη μεταβλητότητα. Οι κλιματολόγοι και οι υδρολόγοι πρέπει να επαινέθούν για την προόδο που έχουν επιφέρει πάνω στο θέμα αυτό, και πρέπει να ενθαρρυνθούν ακόμη

περισσότερο για να συνεχίσουν το σπουδαίο έργο τους.

Επίσης θα πρέπει να ενθαρρυνθούν οι κλιματολόγοι και οι φυσικοί της ατμόσφαιρας που ερευνούν το κλιματικό σύστημα και προσπαθούν να εξηγήσουν τη μεταβλητότητά του και τις αλλαγές του στο περελθόν έτσι ώστε να προγνώσουν τη μελλοντική του συμπεριφορά. Αλλά και οι υδρολόγοι και οι μηχανικοί υδατικών πόρων θα πρέπει να καθορίσουν τις ανάγκες τους σχετικά με το θέμα, έτσι ώστε οι κλιματολόγοι και οι φυσικοί της ατμόσφαιρας να μπορέσουν να μελετήσουν και να δώσουν την εξειδικευμένη πληροφορία που ζητούν οι πρώτοι. Δεν αρκεί να εκφράζουμε την απογοήτευσή μας για το είδος ή το περιεχόμενο της τρέχουσας κλιματικής πρόγνωσης, πρέπει με κατάλληλο τρόπο να γνωστοποιήσουμε τις ανάγκες μας στους κλιματολόγους.

Στον κατάλογο των αναγκών μπορούν να συμπεριληφθούν (Παναγούλια 1990):

- 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.
- Στατιστικά χαρακτηριστικά: μέσος όρος, σκέδαση, πιθανότητες ακραίων τιμών, χωροχρονικές 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 για παγκόσμια ή ημισφαιρική συνήθως κλίμακα. Δεν είναι καθορισμένο πλήρως ποιές μετεωρολογικές μεταβλητές εξασκούν μέγιστες επιδράσεις στους υδατικούς πόρους. Η κατακρήμνιση και η θερμοκρασία είναι οι πρώτες υποψήφιες, αλλά για την κατακρήμνιση οι κλιματικές προβλέψεις πληροφορούν ελάχιστα και με μειωμένη αξιοπιστία. 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 οι διάφορες μορφές των συστημάτων υδατικών πόρων αναγνωρίζονται παράλληλα με τις κλιματικές παραμέτρους που έχουν ιδιαίτερη σημασία για τη μορφή του συστήματος, τότε μπορεί να συνταχθεί ένας κατάλογος από απαιτήσεις για κλιματική πρόβλεψη. Είναι σημαντικό ο κατάλογος των αναγκών να είναι, όσο γίνεται, μικρότερος.

Εξίσου σημαντικό είναι να καταλάβουν εκείνοι που ασχολούνται με το πρόβλημα ότι θα περάσουν πολλά χρόνια για να πάρουμε τις πρώτες αποκρίσεις σε μερικά 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 λάβουν υπόψη τους την υδρολογία και τους υδατικούς πόρους στις ερευνές τους.

Τέλος θίγεται 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. Γιαυτό, ο κατάλογος των αναγκών χρονικά αλλάζει, και πρέπει να ενημερώνεται συνεχώς.

Η Επίδραση της Κλιματικής Αλλαγής στην Υδρολογία

Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής πάνω στην υδρολογία ακολουθεί αλυσιδωτή αντίδραση. Έδη 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 ρύθμιση των παραμέτρων και εισόδων του, προκειμένου να προσομοιώσουμε την κλιματική αλλαγή και να μελετήσουμε την απόκριση του, είναι το πρόβλημα. Ακόμη και στην περίπτωση που υπάρχει ένα εξειδικευμένο σενάριο κλιματικής πρόβλεψης, δεν είναι εύκολο να αποφασίσουμε τί ρυθμίσεις πρέπει να κάνουμε και πού.

Πολύ δυσκολότερο 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.

Όσο περισσότερο ακριβής επιθυμεί κανείς να είναι, τόσο μεγαλύτερο πρόβλημα αντιμετωπίζει σχετικά με την ποιότητα και καταλληλότητα των μεθόδων που χρησιμοποιεί. Ο Klemes (1985) τοποθέτησε ακριβείς ελέγχους για τα υδρολογικά ομοιώματα που πρόκειται

να χρησιμοποιηθούν για την προσομοίωση της υδρολογικής επίδρασης της κλιματικής αλλαγής. Ελπίζουμε ότι οι ερευνητές που πιθανόν αναπτύξουν καινούργια ομοιώματα θα εφαρμόσουν αντίστοιχους ελέγχους.

Ο πρώτος κρίκος της αλυσίδας αναμειγνύει επίσης τη διεπιφάνεια ατμόσφαιρας και εδάφους. Η ανεπαρκής προσομοίωση ενεργειακών και υδατικών ισοζυγίων, στην ενδιάμεση αυτή κατάσταση, περιορίζει τη λειτουργικότητα και απόδοση των ομοιωμάτων γενικής κυκλοφορίας (στα οποία στηρίζεται η βελτίωση της κλιματικής πρόγνωσης). Αφού οι υδρολόγοι αναζητούν καλύτερες προβλέψεις κλιματικής αλλαγής και μεταβλητότητας, πρέπει να είναι έτοιμοι να εισέλθουν στην εργασία 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, αναφέρθηκε παραπάνω, ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ συστημάτων υδατικών πόρων, κλίματος και υδρολογίας μπορεί να είναι πιο περίπλοκη από ότι αρχικά φαίνεται (μπορεί να αναμειγνύει μηχανισμούς ανάδρασης).

Σημαντικές αλλαγές σε γνωστές διαδικασίες μπορεί να προκαλέσουν το σύστημα να λειτουργήσει με εντελώς διαφορετικό τρόπο, από το δοκιμασμένο μέχρι σήμερα. Ενώ το υπάρχον (χωρίς τις αλλαγές) να αποδειχθεί ανίκανο για κάθε χρήσιμο σκοπό.

Για παράδειγμα, μια μέτρια αλλαγή στην πιθανότητα των θερμοκρασιών κάτω από το σημείο ψύξης μπορεί να έχει αμελητέα επίδραση στο υδρολογικό καθεστώς, είναι όμως δυνατόν να καταστρέψει την παραγωγή εσπεριδοειδών.

Ένα άλλο παράδειγμα σχετίζεται με τη μετατόπιση στο χρονισμό της υγρής εποχής που μπορεί να τροφοδοτήσει με βρόχινο νερό τη γεωργία εκεί όπου προηγουμένως ήταν απαραίτητη η άρδευση.

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

Η διεπιφάνεια συστημάτων υδατικών πόρων και φυσικών διαδικασιών μέσα στην οποία αυτά αναμειγνύονται είναι επίσης περίπλοκη γιατί, ενώ τα συστήματα υδατικών πόρων έχουν σχεδιαστεί από τον άνθρωπο, ο τρόπος με τον οποίο αυτά λειτουργούν δεν είναι πάντοτε κατανοητός, και μπορεί να αλλάζει με μεγάλη ευκολία.

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

Σε μερικά είδη συστημάτων μπορούμε να τροποποιήσουμε την πολιτική διαχείρισής τους έτσι ώστε να εξουδετερώσουμε (ή να ευνοηθούμε από) την κλιματική αλλαγή. Να απαλλαγούμε όμως από την πολιτική διαχείρισής τους είναι κάπως δύσκολο, αν όχι 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.

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 συνοδευόταν 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 αξιόλογη 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 εφαρμόζονται εύκολα, στην πράξη όμως είναι δύσκολο να περιγράψουμε με απόλυτους όρους επιθυμιών και περιορισμών τη ζήτηση κάτω από τις προβλεπόμενες μελλοντικές συνθήκες.

Ποιές θα είναι οι προτεραιότητες της κοινωνίας που αντιμετωπίζει κλιματική αλλαγή, η οποία θα μπορούσε 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 και μελέτη 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 να τονίσω τα ερωτήματα που πρέπει να απαντηθούν και να δώσω 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 φυσικές αιτίες. Οι σοβαρότερες αναλύσεις και η κοινή γνώμη (π.χ. WMO 1985γ) καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι το κλίμα μπορεί να αλλάζει σε τέτοιο βαθμό και ρυθμό που θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας την αλλαγή αυτή στο σχεδιασμό των υδατικών 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 Nino και τα σχετιζόμενα φαινόμενα που αποτελούν μέρος του Προγράμματος του Τροπικού Ωκεανού και της Παγκόσμιας Ατμόσφαιρας (WMO 1985δ). Τα φαινόμενα αυτά υπόσχονται να μας δώσουν πληρέστερη αντίληψη του κλιματικού συστήματος που ενδεχομένως βελτιώσει την ικανότητά μας να προβλέψουμε την κλιματική μεταβλητότητα ξεχωριστά από την κλιματική αλλαγή.

Τέτοιες προβλέψεις έχουν μεγάλη αξία για την καλύτερη διαχείριση των υφιστάμενων υδατικών πόρων καθώς αυτές προσφέρουν την ελπίδα ότι θα μπορέσουμε να προγνώσουμε τις μελλοντικές υδατικές παροχές για επιμήκεις περιόδους. Γιαυτό, θα ήταν σοφότερο να σκεπτόμαστε με όρους πρόβλεψης κλιματικής μεταβλητότητας και όχι ακριβώς αλλαγής.

Παρόλα αυτά το θέμα ενδιαφέροντος είναι η κλιματική αλλαγή, και για να συνοψίσω όσα αναπτύχθηκαν προηγουμένως, αναφέρω τις παρακάτω εργασίες:

- * Ταξινόμηση των σημαντικότερων μορφών συστημάτων υδατικών πόρων,
- * Αναγνώριση των κλιματολογικών και υδρολογικών παραγόντων που επηρεάζουν το σχεδιασμό και τη λειτουργία τέτοιων συστημάτων,
- * Αναγνώριση των κλιματολογικών χαρακτηριστικών που πιθανόν να είναι σημαντικά στη μελέτη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής,
- * Ενθάρρυνση σε όσους μελετούν το κλιματικό σύστημα από την άποψη της προβλεπόμενης μελλοντικής συμπεριφοράς του,
- * Σαφής ορισμός των αναγκών των μηχανικών υδατικών πόρων και των υδρολόγων για κλιματική πληροφορία σχετική με την πιθανολογούμενη κλιματική αλλαγή,
- * Έλεγχος των υδρολογικών ομοιωμάτων και άλλων εργαλείων που χρησιμοποιούνται στη μελέτη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σχετικά με την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων τους,
- * Συνεισφορά στην έρευνα των φυσικών της ατμόσφαιρας για να αποκτήσουμε τη βέλτιστη δυνατή αντιπροσώπευση 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 υπολογίσουμε την περίπλοκη και δυναμική δομή των μηχανισμών ανάδρασης που συνδέει τα συ-

στήματα υδατικών πόρων με το κοινωνικό και οικονομικό περιβάλλον.

Ο παραπάνω εργασίες δεν θα πραγματοποιηθούν εύκολα, αλλά η πραγματοποίησή τους πιθανόν να έχει μέγιστη σημασία για τη μελλοντική ευημερία της ανθρωπότητας. Εκείνοι που θα ασχοληθούν με τις εργασίες αυτές θα πρέπει να δείξουν μεγάλη υπευθυνότητα αποφεύγοντας κάθε αρρωστημένο εντυπωσιασμό, αλλά και ευθέως θα πρέπει να ανακοινώσουν τα ευρήματα και τις προβλέψεις τους σχετικά με το μελλοντικό σχεδιασμό και τη λειτουργία των συστημάτων υδατικών πόρων.

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.

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.