

ΠΡΑΚΤΙΚΑ
6ου ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ
ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ
ΥΔΡΟΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΝΩΣΗΣ

22 - 26 Μαΐου 1995
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ & ΚΙΝΔΥΝΟΙ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

ΔΙΟΝΥΣΙΑ ΠΑΝΑΓΟΥΛΙΑ

Τομέας Υδατικών Πόρων-Υδραυλικών & Θαλάσσιων Έργων
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών - Ε.Μ. Πολυτεχνείο

ΓΙΩΡΓΟΣ ΔΗΜΟΥ

Πολιτικός μηχανικός, οδός Βουτυρά αρ. 7, Βούλα 16673

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αναλύονται οι κίνδυνοι πλημμύρας ορεινής λεκάνης κάτω από συνθήκες παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής. Δέσμη υποθετικών και μηνιαίων GISS σεναρίων αύξησης θερμοκρασίας και αλλαγής ατμοσφαιρικού κατακρημνίσματος προσομοιώνουν την αλλαγή του κλίματος. Η ημερήσια απορροή της λεκάνης αναπαράγεται από τη σύζευξη των US NWSRFS προσομοιωμάτων συσσώρευσης-τήξης χιονιού και εκτίμησης εδαφικής υγρασίας. Ημέρα επισύμβασης πλημμύρας ορίζεται εκείνη κατά την οποία η απορροή είναι μεγαλύτερη από τη διπλάσια ή τριπλάσια μέση ημερήσια τιμή της. Για την περίπτωση αυτή εκτιμώνται οι βασικές παράμετροι της πλημμύρας (αριθμός πλημμυρικών ημερών και επεισοδίων, διάρκεια, όγκος και αιχμή πλημμύρας). Και οι δύο προσομοιώσεις κλιματικής αλλαγής (υποθετικά και GISS σεσάρια) προβλέπουν πολυαριθμότερα και επιμηκύτερα πλημμυρικά επεισόδια για αύξηση του ατμοσφαιρικού κατακρημνίσματος καθώς και μεγαλύτερους όγκους και αιχμές πλημμύρας για αύξηση θερμοκρασίας και κατακρημνίσματος. Η συνδυασμένη δράση των αποτελεσμάτων αυτών είναι δυνατόν να καταστήσει ανεπαρκείς, ή και ενδεχομένως να καταστρέψει ολοσχερώς, τις υπάρχουσες κατασκευές διαχείρισης υδατικών πόρων.

CLIMATE CHANGE & FLOOD HAZARDS

DIONYSIA PANAGOULIA

Division of Water Resources, Hydraulic and Maritime Engineering
Department of Civil Engineering - National Technical University of Athens

GEORGE DIMOU

Civil engineer, 7 Voutyra, 16673 Voula, Athens, Greece

SUMMARY

The flood hazards of a mountainous catchment were investigated under climate change conditions. The climate change, was simulated through a set of hypothetical and monthly GISS scenarios of temperature increases, coupled with precipitation changes. The daily outflow of the catchment, was simulated by the coupling of the snowmelt and soil moisture accounting models of the US National Weather Service River Forecast System. A flood day was defined as a day during which the discharge was more than two or three times the long-term mean daily discharge. In this case the basic flood components were determined (number of flood days and episodes, flood duration, volume and peak). Both hypothetical and GISS climate scenarios predicted more numerous and longer flood episodes, as well as greater mean values of peak discharges. Also, all climate cases reflected larger flood volumes as the precipitation increased. The combination of higher and more frequent floods could lead to greater risk of inundation and possible damage of existing structures.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι κίνδυνοι που συνδέονται με το υπερβολικό πλεόνασμα νερού επιφανειακής απορροής, τις πλημμύρες, έχει αποδειχθεί ότι είναι περισσότερο απειλητικοί για την επιβίωση και ευημέρεια του κοινωνικού συνόλου από ότι είναι οι άλλοι φυσικοί κίνδυνοι (σεισμοί, εκρήξεις ηφαιστείων κ.α.). Οι πλημμύρες, πέραν από τα άμεσα καταστροφικά τους αποτελέσματα, συνήθως ακολουθούνται από δευτερογενούς μορφής δυστυχίες, όπως την πείνα και τις διάφορες επιδημίες. Παρά την προόδο που έχει συντελεστεί στην επιστήμη και την τεχνολογία, η ανθρωπότητα παραμένει ευάλωτη στα ακραία πλημμυρικά γεγονότα. Οι απώλειες σε χρήμα και ανθρώπινες ζωές αυξάνονται συνεχώς λόγω της συνεχιζόμενης ανάπτυξης δαπανηρών υπερκατασκευών, αύξησης του πληθυσμού και μείωσης των ανακουφιστικών μέτρων (καταστροφή δασών, αστικοποίηση, έλλειψη αποχετευτικών δικτύων). Παρά τα μεγάλα χρηματικά ποσά που έχουν διατεθεί διεθνώς για αντιπλημμυρικά έργα και τεχνογνωσία, οι πλημμύρες εξακολουθούν να απειλούν τις υπό ανάπτυξη αλλά και τις ήδη ανεπτυγμένες χώρες του κόσμου. Στις φτωχότερες χώρες, όπου το χρηματικό ισοζύγιο για αντιπλημμυρική προστασία είναι περιορισμένο, οι απώλειες σε ανθρώπινες ζωές είναι μεγαλύτερες και οι κοινωνικές επιπτώσεις σοβαρότερες.

Τα αντιπλημμυρικά έργα, στα οποία περιλαμβάνονται ταμειυτήρες αποθήκευσης, αναχώματα, διευθετήσεις υδατορευμάτων, αποχετευτικοί τάφροι και δίκτυα ομβρίων, είναι δαπανηρές κατασκευές χωρίς να είναι απηλλαγμένες από ανεπιθύμητα παράπλευρα αποτελέσματα. Για τους λόγους αυτούς αυξάνονται συνεχώς οι προσπάθειες αντιμετώπισης των πλημμυρικών επεισοδίων με άλλες μεθόδους που συνδέονται με τη πρόβλεψη και τη βέλτιστη πολιτική διαχείρισης και ελέγχου τους. Η χρήση της μεθοδολογίας των έμπειρων συστημάτων (expert system approach) [Simonovic 1991], η σύζευξη των πιλοτικών και ενδεικτικών προσομοιωμάτων (procedural and heuristic models) καθώς και τα συστήματα στήριξης αποφάσεων-DSS (decision support systems) [Sprague & Carlson 1982] αποτελούν τις πλέον σύγχρονες τάσεις στην επίλυση των προβλημάτων των υδατικών πόρων. Όσον αφορά τις πλημμύρες, το μεγαλύτερο βάρος στις προσπάθειες αντιμετώπισής τους επικεντρώνεται στην καλύτερη κατανόηση της φυσικής διαδικασίας αιτίου και αποτελέσματος.

Οι διάφορες αστοχίες (ανωμαλίες) στην κυκλοφορία των ρευστών της ατμόσφαιρας και των ωκεανών σε συνδυασμό με το φαινόμενο του θερμοκηπίου και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες της αποψίλωσης των δασών, της αστικοποίησης και της ευρείας χρήσης νιτρικών λιπασμάτων στη γεωργία είναι οι βασικότερες αιτίες επισύμβασης πλημμυρών [BAHC 1993, Dickinson & Henderson-Sellers 1988, Lean & Warrilow 1989, Nicholls 1989, Richey *et al.* 1989, Shuklaa *et al.* 1990, Siegenthaler 1990]. Άλλα γεωφυσικά φαινόμενα που συνδέονται με τα πλημμυρικά γεγονότα είναι οι θερινοί μουσώνες στην Ινδία, οι παγετώνες στην Ευρώπη-Ασία και το φαινόμενο El Nino στο Νότιο Ειρηνικό Ωκεανό [Kundzewicz 1993]. Κανένα όμως από τα προσομοιώματα γενικής κυκλοφορίας (General Circulation Models-GCMs), που αναπαριστούν το κλιματικό σύστημα και τις αλλαγές του, ή κάποιο επιμεριστικό σχήμα τους, ή και τα ακόμη περισσότερο υποσχόμενα για το σκοπό αυτό προσομοιώματα αλληλεπίδρασης ροών (θερμότητα, απορροή, κλπ) μεταξύ Επιφάνειας Εδάφους, Βλάστησης και Ατμόσφαιρας (Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer models) [BAHC 1993, Panagoulia 1994, Panagoulia & Dimou 1995a,b,c] δεν δύνανται ακόμη να προσομοιώσουν και προβλέψουν με ακρίβεια τις πλημμυρικές επισυμβάσεις οποιασδήποτε χωροχρονικής κλίμακας.

Για να καλύψουμε τις παραπάνω αδυναμίες, στην εργασία αυτή, καταφεύγουμε στον υδρολογικό σχεδιασμό πλημμυρικών επεισοδίων κάτω από συνθήκες κλιματικής αλλαγής. Σύμφωνα με το σκεπτικό αυτό, τα ιστορικά μετεωρολογικά δεδομένα εισόδου των υδρολογικών προ-

σομοιωμάτων ρυθμίζονται για σενάρια κλιματικής αλλαγής [Panagoulia 1993 1992b 1991a, Παναγούλια 1990a]. Οι πλημμυρικοί κίνδυνοι εκτιμώνται αναλύοντας την απόκριση των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τα πλημμυρικά γεγονότα (αριθμός επεισοδίων, διάρκεια, μέγεθος, κλπ) σε υποθετικά και GISS (Goddard Institute for Space Studies) σενάρια κλιματικής αλλαγής. Η πλήρης κατανόηση της συμπεριφοράς των πλημμυρικών επεισοδίων στις κλιματικές διαταράξεις είναι αναγκαία τόσο για την εμβάθυνση αυτού καθεαυτού του φαινομένου όσο και για την επινόηση έγκυρων μεθόδων που απαιτούνται στην ανάλυση συχνότητας πλημμύρας κάτω από διαφοροποιημένα κλιματικά καθεστώτα.

2. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Η λεκάνη της Μεσοχώρας που αποχετεύεται από το ορεινό τμήμα του Αχελώου ποταμού επελέγη για την ανάλυση πλημμύρας κάτω από συνθήκες παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής λόγω της μερικής εκτροπής του ποταμού για άρδευση του Θεσσαλικού κάμπου και αύξηση της ηλεκτρικής παραγωγής στη γύρω περιοχή. Το δίκτυο των εγκατεστημένων μετεωρολογικών σταθμών μέσα και γύρω από τη λεκάνη είναι σχετικά πυκνό, αλλά 3,5% των ημερήσιων υψών κατακρημνίσματος και 15,5% των ημερήσιων ελάχιστων και μέγιστων θερμοκρασιών λείπουν για τη δεκαπενταετή περίοδο (1972-86) μελέτης του φαινομένου. Το κλίμα της λεκάνης είναι συνάρτηση της μεταβολής του υψομέτρου της με μέση τιμή τα 1390m. Οι χιονοπτώσεις και η εαρινή τήξη του χιονιού χαρακτηρίζουν την υδρολογία της λεκάνης η οποία έχει έκταση 633km², μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων 1900mm, και ισοδύναμο ύψος απορροής 1170mm. Η λεκάνη έχει περιγραφεί περισσότερο διεξοδικά σε άλλες εργασίες [Panagoulia 1992a,b 1991a].

Η μεθοδολογία της εννοιολογικής υδρολογικής προσομοίωσης υιοθετήθηκε στη συγκεκριμένη μελέτη για την αναπαραγωγή της απορροής της λεκάνης. Για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκαν δύο υδρολογικά προσομοιώματα: το US NWSRFS (US National Weather Service River Forecast System) προσομοίωμα συσσώρευσης και τήξης χιονιού που αναπτύχθηκε από τον Anderson [1973] και το US NWSRFS προσομοίωμα εκτίμησης εδαφικής υγρασίας που αναπτύχθηκε από τους Burnash *et al.* [1973]. Το προσομοίωμα τήξης του χιονιού περιγράφει την αλλαγή στην αποθήκευση νερού και θερμότητας στη στοιβάδα του χιονιού χρησιμοποιώντας εξάωρα δεδομένα κατακρημνίσματος και θερμοκρασίας [Παναγούλια 1992]. Το προσομοίωμα της απορροής λειτουργεί με δεδομένα το ημερήσιο νερό βροχής και τήξης που προκύπτει από το προσομοίωμα του χιονιού καθώς και τη μηνιαία δυνητική εξατμισοδιαπνοή που στη συγκεκριμένη μελέτη εκτιμήθηκε με τη μέθοδο Penman και επιμερίστηκε από το προσομοίωμα σε ημερήσια διαστήματα.

Επειδή η κατακρήμνιση και η θερμοκρασία εξαρτώνται έντονα από τη μεταβολή του υψομέτρου, το προσομοίωμα του χιονιού εφαρμόστηκε ανά υψομετρική ζώνη λεκάνης. Έτσι η λεκάνη της Μεσοχώρας διαχωρίστηκε σε τρεις υψομετρικές ζώνες με εκτάσεις 30% της συνολικής έκτασης για την άνω και μεσαία ζώνη και 40% για την κάτω ζώνη. Χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις από έντεκα σταθμούς μέτρησης κατακρημνίσματος και τρεις σταθμούς μέτρησης θερμοκρασίας. Επειδή όμως οι ημερήσιες καταγραφές των κατακρημνισμάτων περιείχαν ελλιπή δεδομένα το ημερήσιο ύψος κατακρημνίσματος ζώνης υπολογίστηκε με τη συνδυαστική μέθοδο Thiessen και τη συνθήκη διαθεσιμότητας δεδομένων για τη συγκεκριμένη εκείνη ημέρα [Παναγούλια 1990b]. Στη συνέχεια το ύψος κατακρημνίσματος ζώνης διορθώθηκε για υψομετρική μεταβολή [Παναγούλια 1991]. Η ίδια συνδυαστική τεχνική εφαρμόστηκε και για την εκτίμηση της ημερήσιας ελάχιστης και μέγιστης θερμοκρασίας ζώνης [Panagoulia 1995 1993 1992a 1991b, Παναγούλια 1990a].

Τα προσομοιώματα ρυθμίστηκαν ταυτόχρονα για τη δεκαπενταετή περίοδο της μελέτης

ακολουθώντας τη διαδικασία δοκιμής-εκτίμησης σφάλματος (trial-and-error approach). Τα μηνιαία τυπικά σφάλματα προσομοίωσης, δηλαδή οι μηνιαίες διαφορές μεταξύ προσομοιωμένης και μετρημένης απορροής, ήταν της τάξης του 10-15% για όλους τους μήνες εκτός από τον Αύγουστο και Σεπτέμβριο που έφθασαν το 23%. Η ανάλυση σφάλματος της ημερήσιας απορροής καθώς και του όγκου απορροής τριών ημερών έδειξε καλή αναπαραγωγή της μετρημένης ημερήσιας απορροής [Panagoulia 1992a].

Τέλος τα ιστορικά δεδομένα εισόδου ρυθμίστηκαν για την παγκόσμια κλιματική αλλαγή η οποία προσομοιώθηκε για:

- (α) δεκαπέντε υποθετικά σενάρια κωδικοποιημένα ως HYPO($\Delta T, \Delta P$), όπου ΔT η αύξηση θερμοκρασίας κατά 1, 2, 4 °C και ΔP η αλλαγή στο ύψος κατακρημνίσματος κατά 0, ± 10 , $\pm 20\%$ [Panagoulia 1991a, Παναγούλια 1990a], και
- (β) δύο μηνιαία σενάρια που προέκυψαν από το GISS (Goddard Institute for Space Studies) προσομοίωμα γενικής κυκλοφορίας και περιλαμβάνουν αλλαγές ύψους κατακρημνίσματος και θερμοκρασίας κωδικοποιημένα ως GISS(t,p) καθώς και θερμοκρασιακές αλλαγές μόνο κωδικοποιημένα ως GISS (t,0) [Panagoulia 1992b, Παναγούλια 1990a].

3. ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΕΣ ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ

Η ημέρα εκείνη κατά την οποία η απορροή είναι μεγαλύτερη από τη διπλάσια ή τριπλάσια μέση ημερήσια τιμή της ορίζεται στη συγκεκριμένη μελέτη ως ημέρα επισύμβασης πλημμύρας. Στην περίπτωση αυτή και σύμφωνα με τη θεωρία των "θετικών δρόμων απόκλισης" (positive runs) [Dracup *et al.* 1980a,b, Gellens 1991, Yevjevich 1967] προσδιορίστηκαν οι ακόλουθοι παράμετροι πλημμυρικών γεγονότων [Panagoulia & Dimou 1995b,c, Παναγούλια & Δήμου 1995]:

- (i) μέσος αριθμός ημερών επισύμβασης πλημμύρας στο έτος
- (ii) αριθμός πλημμυρικών επεισοδίων κατά την περίοδο της μελέτης
- (iii) μέση διάρκεια πλημμύρας
- (iv) μέσος πλημμυρικός όγκος
- (v) μέση αιχμή πλημμύρας

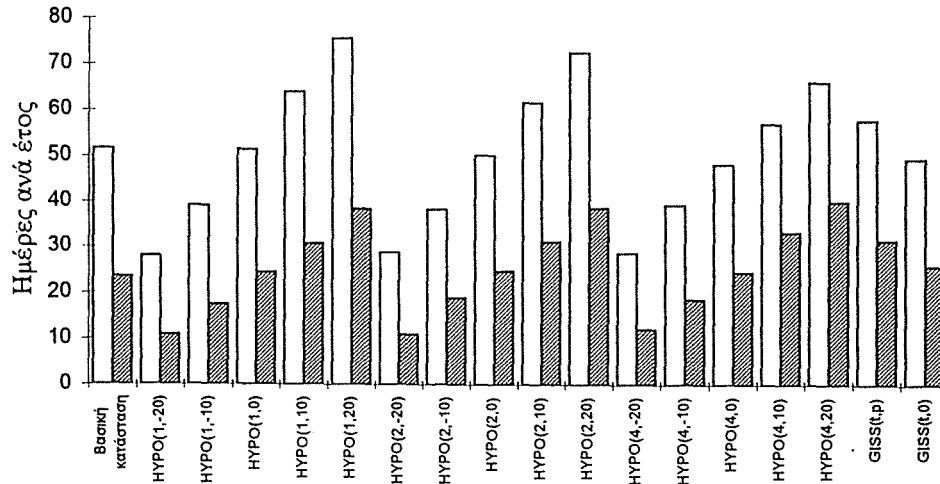
Οι παραπάνω πέντε παράμετροι προσομοιώθηκαν για 15 χρόνια σε 18 εναλλακτικά κλίματα, συμπεριλαμβανομένου και αυτού της βασικής κατάστασης. Οι αποκρίσεις των παραμέτρων αυτών για δύο οριακές τιμές επισύμβασης πλημμύρας (0,65cm και 0,98cm) απεικονίζονται στα Σχήματα 1-5 (όπου οι γραμμοσκιασμένες επιφάνειες αντιστοιχούν στη μεγαλύτερη οριακή τιμή) και αναλύονται με συντομία.

3.1. Αριθμός ημερών επισύμβασης πλημμύρας

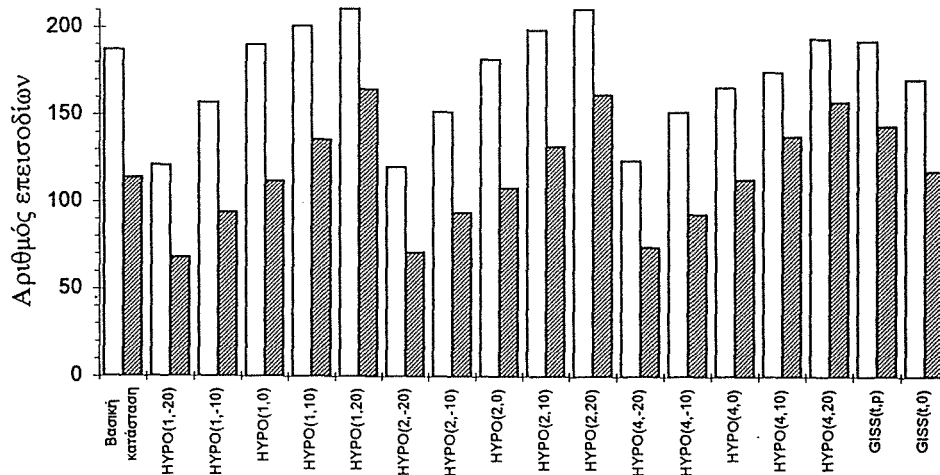
Ο μέσος αριθμός ημερών επισύμβασης πλημμύρας στο έτος (Σχ. 1) μειώνεται προοδευτικά με την ελάττωση του κατακρημνίσματος και αυξάνει επίσης προοδευτικά με την αύξηση του κατακρημνίσματος και για τις δύο κλιματικές περιπτώσεις, HYPO και GISS. Σχετικά με τη διαφοροποίηση των οριακών τιμών επισύμβασης πλημμύρας, η μικρότερη οριακή τιμή παράγει σημαντικά μεγαλύτερο αριθμό πλημμυρικών ημερών.

3.2. Αριθμός πλημμυρικών επεισοδίων

Τα πλημμυρικά επεισόδια (Σχ. 2) μεταβάλλονται ομόρροπα με τη μεταβολή του κατακρημνίσματος και γίνονται πολυαριθμότερα καθώς το κατακρήμνισμα αυξάνει και για τα δύο κλιματικά καθεστώτα, HYPO και GISS. Είναι προφανές ότι ο αριθμός των επεισοδίων είναι μικρότερος για τη μεγαλύτερη οριακή τιμή επισύμβασης πλημμύρας.



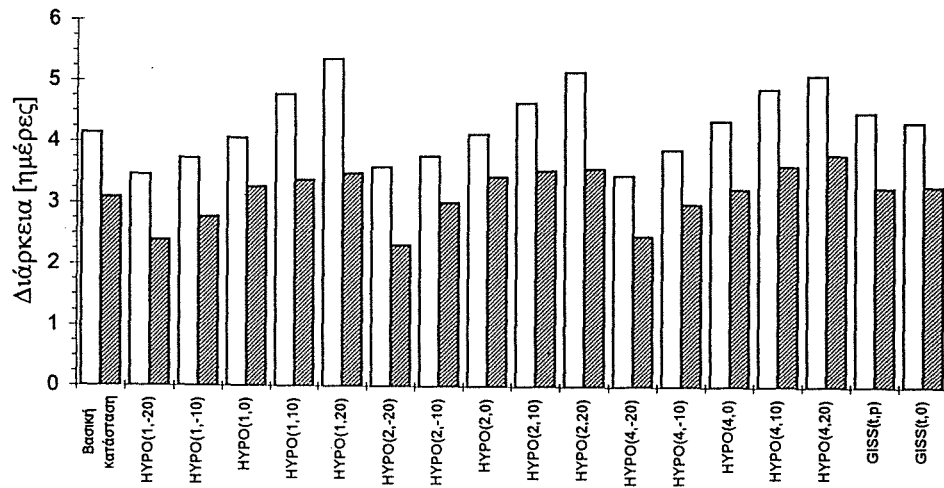
Σχήμα 1: Μέσος αριθμός ημερών επισύμβασης πλημμύρας στο έτος για τη λεκάνη της Μεσοχώρας και για κλιματικά σενάρια HYPO, GISS και τη βασική κατάσταση



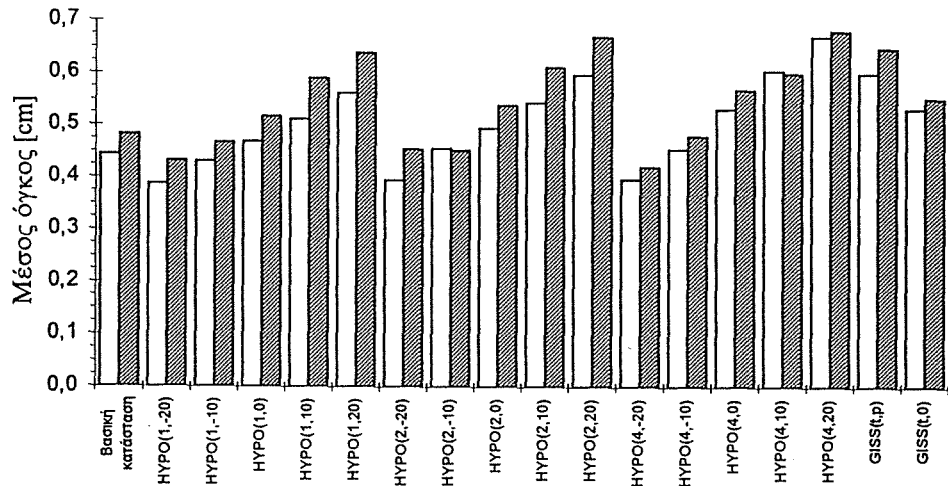
Σχήμα 2: Αριθμός πλημμυρικών επεισοδίων στην περίοδο μελέτης για τη λεκάνη της Μεσοχώρας και για κλιματικά σενάρια HYPO, GISS και τη βασική κατάσταση

3.3. Διάρκεια πλημμύρας

Η μέση διάρκεια των πλημμυρικών επεισοδίων (Σχ.3) μεταβάλλεται ομόσημα με τη μεταβολή του κατακρημνίσματος για όλες τις κλιματικές περιπτώσεις και είναι μεγαλύτερη για τη μικρότερη οριακή τιμή επισύμβασης πλημμύρας. Τη μέγιστη διάρκεια παρουσιάζουν τα σενάρια HYPO(1,20) και HYPO(4,20) για τις πλημμυρικές χρονοσειρές με τη μικρότερη οριακή τιμή αντίστοιχα. Η διαφορετική τιμή αύξησης θερμοκρασίας στα δύο αυτά σενάρια δείχνει ότι η θερμοκρασία επιδρά εντονότερα στη διάρκεια των υψηλότερων πλημμυρικών όγκων.



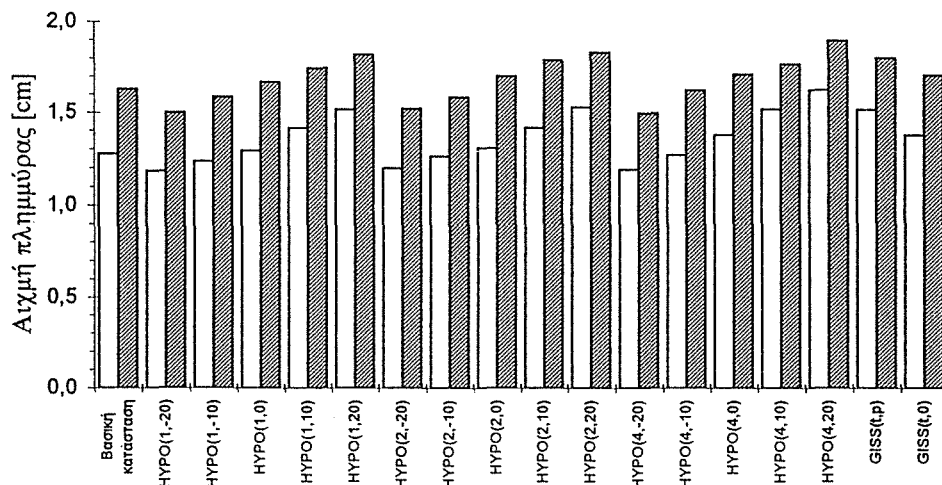
Σχήμα 3: Μέση διάρκεια πλημμύρας λεκάνης Μεσοχώρας για κλιματικά σενάρια HYPO, GISS και τη βασική κατάσταση



Σχήμα 4: Μέσος πλημμυρικός όγκος λεκάνης Μεσοχώρας για κλιματικά σενάρια HYPO, GISS και τη βασική κατάσταση

3.4. Πλημμυρικός όγκος

Ο μέσος πλημμυρικός όγκος (Σχ. 4) αυξάνει προοδευτικά καθώς θερμοκρασία και κατακρήμνισμα αυξάνουν για όλα τα κλιματικά καθεστώτα. Οι μεγαλύτεροι πλημμυρικοί όγκοι αντιστοιχούν στη μεγαλύτερη οριακή τιμή επισύμβασης πλημμύρας και μεταξύ αυτών το μεγαλύτερο όγκο παράγει το σενάριο HYPO(4,20).



Σχήμα 5: Μέση αιχμή πλημμύρας λεκάνης Μεσοχώρας για κλιματικά σενάρια HYPO, GISS και τη βασική κατάσταση.

3.5. Πλημμυρική αιχμή

Η μέση αιχμή πλημμύρας (Σχ. 5) είναι ομόσημη συνάρτηση θερμοκρασίας και κατακρημνίσματος για αμφότερες HYPO και GISS κλιματικές καταστάσεις. Οι μεγαλύτερες αιχμές αντιστοιχούν στη μεγαλύτερη οριακή τιμή επισύμβασης πλημμύρας και μεταξύ αυτών τη μεγαλύτερη αιχμή προκαλεί το σενάριο HYPO(4,20).

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μολονότι η παγκόσμια κλιματική αλλαγή προσομοιώθηκε με δύο τελείως διαφορετικές μεθόδους (HYPO και GISS σενάρια) από την ανάλυση του κινδύνου πλημμύρας στη λεκάνη της Μεσοχώρας προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

Αμφότερα HYPO και GISS κλιματικά καθεστώτα παρήγαγαν πλημμυρικά γεγονότα με την ίδια συμπεριφορά.

Όλα τα σενάρια έδωσαν πολυαριθμότερα και επιμηκέστερα πλημμυρικά επεισόδια για αύξηση του κατακρημνίσματος, καθώς και μεγαλύτερους όγκους και αιχμές πλημμύρας για αύξηση θερμοκρασίας και κατακρημνίσματος. Ο συνδυασμός των υψηλότεμων πλημμυρικών όγκων και της μεγαλύτερης συχνότητας εμφάνισής τους είναι δυνατόν να αυξήσει τους κινδύνους πλημμύρας και ενδεχομένως να καταστήσει ανεπαρκείς, ή και να καταστρέψει (μερικώς ή ολοσχερώς) τις υπάρχουσες κατασκευές ασφάλειας. Ακόμη οι υψηλές τιμές των πλημμυρικών αιχμών σε συνδυασμό με την αύξηση της χειμερινής απορροής [Panagoulia 1993] είναι δυνατόν να αυξήσουν τη διάβρωση της όχθης και κοίτης των ποταμών και κατά συνέπεια να μεταβάλλουν τη διαίτα ροής του ποταμού.

Τα αριθμητικά αποτελέσματα της μελέτης διαφοροποιήθηκαν έντονα λόγω του μεγάλου εύρους διακύμανσης των τιμών των κλιματικών σεναρίων.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anderson, E.A., 1973, US National Weather Service river forecast system. Snow accumulation and ablation model, *NOAA Technical Memorandum*, NWS HYDRO 17.
- BAHC, 1993, Core Project Office, Biospheric Aspects of the Hydrological Cycle, Report No 27, Institut fur Meteorologie, Freie Universitat, Berlin.
- Burnash R.J.C., Ferral R.L. & Macquire R.A., 1973, A generalized streamflow simulation system conceptual modelling for digital computers, *US National Weather Service*, Sacramento, California, USA.
- Dickinson, R.E. & Henderson-Sellers, A., 1988, Modelling tropical deforestation: A study of GCM land surface parameterizations, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, Vol. 114, pp. 439-462.
- Dracup, J.A., Lee, K.S. & Paulson, E.G., 1980a, On the definition of Droughts, *Water Resour. Res.*, 16(2), pp. 297-302.
- Dracup, J.A., Lee, K.S. & Paulson, E.G., 1980b, On the Statistical Characteristics of Drought Events, *Water Resour. Res.*, 16(2), pp. 289-296.
- Gellens, D., 1991, Impact of a CO₂-induced Climatic change on river flow variability in three rivers in Belgium, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 16, pp. 619-625.
- Kundzewicz, Z.W., 1993, Rosbjerg D., Simonovic S.P. & Takeuchi K., Extreme hydrological events in perspective, *Proc. of Extreme Hydrological Events: Precipitation, Floods and Droughts*, IAHS Publ. N° 213, pp. 1-7.
- Lean, J. & Warrilow, D. A., 1989, Simulation of the regional climatic impact of Amazon deforestation, *Nature*, 342, pp. 411-413.
- Nicholls, N., 1989, Sea surface temperature and Australian winter rainfall, *J. of Climate*, 2, pp. 965-973.
- Παναγούλια Δ., 1992, Προσομοίωση συσσώρευσης και τήξης χιονιού λεκάνης Μεσοχώρας, *Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Συνεδρίου της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης*, Λάρισα, 9-12 Νοεμβρίου 1992, σελ. 150-158.
- Παναγούλια, Δ., 1991, Υψομετρική διόρθωση της ημερήσιας βροχόπτωσης λεκάνης για συνολική προσομοίωση, *Τεχνικά Χρονικά*, Α11(1), σελ 35-53.
- Παναγούλια, Δ., 1990α, *Ανάλυση Ευαισθησίας Υδρολογικής Απόκρισης Λεκάνης σε Κλιματικές Αλλαγές*, Διδακτορική διατριβή, Ε.Μ. Πολυτεχνείο.
- Παναγούλια, Δ., 1990β, Εκτίμηση ημερήσιας βροχόπτωσης λεκάνης για συνολική προσομοίωση, *Τεχνικά Χρονικά*, Α10(2), σελ 47-64.
- Παναγούλια Δ. & Δήμου Γ., 1995, Πλημμυρικοί κίνδυνοι και κλιματική αλλαγή. Ολοκληρωμένες επεμβάσεις για τη μείωση του κινδύνου από τις πλημμύρες, 2^ο Εθνικό Συνέδριο της Ελληνικής Επιτροπής για τη Διαχείριση Υδατικών Πόρων, Αθήνα, 12-13 Ιανουαρίου 1995.
- Panagoulia, D., 1995, Assessment of daily catchment precipitation in mountainous regions for climate change interpretation, *Hydrol. Sci. J.*, June 1995 (in press).
- Panagoulia, D., 1994, Global climate change and water resources decision-making, *Proc. of the Second European Conference on Advances in Water Resources Technology and Management*, Lisbon, Portugal, 14-18 June, 1994, A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 163-166.
- Panagoulia, D., 1993, Catchment hydrological responses to climate changes calculated from incomplete climatological data, *Proc. of Exchange Processes at the Land Surface for a Range of Space and Time Scales*, Yokomama Japan, 13-16 July, 1993, IAHS Publications, N° 212, pp. 461-468.
- Panagoulia, D., 1992a, Hydrological modelling of a medium-sized mountainous catchment from incomplete meteorological data, *J. Hydrol.*, 137(1-4), pp. 279-310.
- Panagoulia D., 1992b, Impacts of GISS-modelled climate changes on catchment hydrology, *Hydrol. Sci. J.*, 37(2), pp. 141-163.
- Panagoulia, D., 1991a, Hydrological response of a medium-sized mountainous catchment to climate changes, *Hydrol.Sci. J.*, 36(6), pp. 525-547.
- Panagoulia, D., 1991b, A technique estimating daily catchment precipitation with elevation correction for conceptual simulation, *Proc. of Advances in Water Resources Technology*, Balkema, Athens, Greece, pp. 89-101.
- Panagoulia, D. & Dimou, G., 1995a, Climatic instability and low-flow regimes, *Proc. of the Symposium on: Water Resources Management under drought or water shortage conditions*, Nicosia, Cyprus, 14-18 March 1995, A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, pp. 29-34.

- Panagoulia D. & Dimou G., 1995b, Flood Risks Prediction Under Global Warming. Abstract in: *XX General Assembly, European Geophysical Society*, NH5 Heavy Storms and the Predictability of their Ground Effects, Hamburg, Germany, 3-7 April 1995.
- Panagoulia D. & Dimou G., 1995c, Climate Change and Flood Hazards. Abstract in: *XX General Assembly, European Geophysical Society*, NH4 Climate Change and Hydrological Hazards, Hamburg, Germany, 3-7 April 1995.
- Panagoulia, D. & Dimou, G., 1994, Catchment tension moisture responses to climate changes assessed from incomplete climatological data, in: Hydraulic engineering Software V: Water Resources and Distribution (ed. W.R. Blain & K.L. Katsifarakis), *Proceedings of 5th International Conference Hydraulic Engineering Software HYDROSOFT 94*, Porto Carras, Greece, 21-23 September 1994, Computational Mechanics Publications, Southampton Boston, Vol. 1, pp. 115-122.
- Richey, J.E., Nobre, C. & Decer, C., 1989, Amazon River discharge and climate variability:1903-85, *Science*, 246, pp. 101-103.
- Shuklaa J., Nobre C. & Sellers P., 1990, Amazon deforestation and climate change, *Science*, 247, pp. 1322-1325.
- Siegenthaler, U., 1990, El Nino and atmosperic CO₂, *Nature*, 345, 1990, pp. 295-296.
- Simonovic, S.P., 1991, Knowledge-based systems and operational hydrology, *Canadian J. Civil Engineering*, 18(1), pp. 1-11.
- Sprague, R.H. & Carlson, E.D., 1982, *Building Effective Decision Support Systems*, Prentice Hall, New Jersey.
- Yevjevich, V.M., 1967, An objective approach to definitions and investigations of continental hydrological droughts, *Hydrol. Pap. 23*, Colo. State Univ., Ft. Collins. USA.