

Σχετικά με την επιλογή μεθόδου επιφανειακής ολοκλήρωσης της σημειακής βροχόπτωσης στα νησιά του Αιγαίου

Τεχνικό Υπόμνημα

Εισαγωγή

Από την Κοινοπραξία «Υδατοσυστημάτων Αιγαίου» τέθηκε το ερώτημα, ποιά είναι η πιο δόκιμη μέθοδος για την επιφανειακή ολοκλήρωση της σημειακής βροχόπτωσης στα νησιά του Αιγαίου, προκειμένου τα αποτελέσματά της να χρησιμοποιηθούν στη μελέτη «Ανάπτυξη συστημάτων και εργαλείων διαχείρισης υδατικών πόρων υδατικού διαμερίσματος Αιγαίου». Στις επόμενες παραγράφους αναλύονται οι πτυχές αυτού του ερωτήματος και επιχειρείται η απάντησή του. Η ύπαρξη πολλών νησιών, η πυκνότητα του βροχομετρικού δικτύου και η γεωγραφική μεταβλητότητα της βροχόπτωσης στη περιοχή του Υδατικού Διαμερίσματος του Αιγαίου, καθώς και ο ειδικός στόχος της μελέτης (μελέτη διαχείρισης γενικού χαρακτήρα) είναι οι κυριότεροι παράγοντες που λήφθηκαν υπόψη για την επιστημονική προσέγγιση αυτού του ζητήματος.

Γενικές θεωρήσεις

Σήμερα διατίθεται ένα μεγάλο ρεπερτόριο από μεθοδολογίες για την επιφανειακή ολοκλήρωση της σημειακής βροχόπτωσης, οι οποίες επισκοπούνται στο βιβλίο των Κουτσογιάννη και Ξανθόπουλου (1999). Οι νεότερες μεθοδολογίες, όπως είναι αυτές της βέλτιστης γραμμικής αμερόληπτης εκτίμησης (kriging, co-kriging), χάρη στην εξέλιξη των υπολογιστικών μέσων (και ιδιαίτερα των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών), απέκτησαν πλέον μεγάλη διάδοση, και θεωρούνται σήμερα οι πλέον δόκιμες και ακριβείς (Creutin and Obléd, 1982). Ωστόσο, οι παραδοσιακές μεθοδολογίες, όπως αυτές των πολυγώνων Thiessen και η υψομετρική δεν έχουν εγκαταλειφθεί. Η βιβλιογραφία περιλαμβάνει αρκετές προσπάθειες σύγκρισης της συμπεριφοράς και της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων των διάφορων μεθόδων (π.χ. Dingman, 1994, σ. 120). Η συνήθης πρακτική σήμερα, σε κάθε πραγματικό πρόβλημα της πράξης, είναι να δοκιμάζονται περισσότερες από μία μεθοδολογίες και να επιλέγεται με κριτήρια μηχανικού η προσφορότερη κατά περίπτωση.

Στην επιφανειακή ολοκλήρωση της βροχόπτωσης, εκτός της γεωγραφικής μεταβλητότητας της βροχόπτωσης, σημαντικός είναι και ο ρόλος των ορογραφικών επιδράσεων, ο οποίος θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Αν και συχνά θεωρείται ότι η υψομετρία της περιοχής είναι ο μοναδικός καθοριστικός παράγοντας των ορογραφικών επιδράσεων, αυτό δεν είναι ορθό. Είναι γνωστό (π.χ. National Engineering Handbook, 1985, σ. 4.9) ότι οι ορογραφικοί παράγοντες περιλαμβάνουν:

1. υψόμετρο,
2. τοπική κλίση,
3. προσανατολισμό,
4. απόσταση από την πηγή της ατμοσφαιρικής υγρασίας,
5. τοπογραφικά εμπόδια στην εισερχόμενη ατμοσφαιρική υγρασία και
6. βαθμό έκθεσης.

Με αυτή την έννοια, η απλή υψομετρική μέθοδος ολοκλήρωσης, η οποία στηρίζεται αποκλειστικά στη σχέση υψομέτρου-ύψους βροχής (βλ. Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999, σ. 143) πρέπει να θεωρηθεί μόνο ως προσεγγιστική μέθοδος κατάλληλη για προκαταρκτικές εκτιμήσεις (μάλιστα, η βιβλιογραφία σημειώνει μια τάση υπερεκτίμησης του επιφανειακού ύψους βροχής από την υψομετρική μέθοδο, βλ. Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999, σ. 143· Court and Bare, 1984). Όλες οι άλλες μέθοδοι, λαμβάνουν εμμέσως υπόψη τους λοιπούς παράγοντες, στο βαθμό βεβαίως ανάλογο της πυκνότητας του βροχομετρικού δικτύου.

Στην αυθεντική της μορφή, η μέθοδος των πολυγώνων Thiessen (ειδική περίπτωση της γενικότερης μαθηματικής μεθόδου των “κυττάρων Voronoi”) μπορεί να μην περιγράφει με επάρκεια την επίδραση της υψομετρίας. Αυτό συμβαίνει όταν η σχέση υψομέτρου-ύψους βροχής είναι σαφής και στατιστικά σημαντική, και ταυτόχρονα το μέσο υψόμετρο των σταθμών είναι αρκετά διαφορετικό από το μέσο υψόμετρο της λεκάνης. Ωστόσο, αν η μέθοδος συνδυαστεί με μια διαδικασία υψομετρικής αναγωγής (βλ. Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999, σ. 142) τότε το πρόβλημα αυτό αίρεται. Παρόμοια είναι και η συμπεριφορά της μεθόδου της βέλτιστης γραμμικής αμερόληπτης εκτίμησης υπό τη μορφή kriging. Και πάλι είναι δυνατή η χρήση της ίδιας μεθόδου υψομετρικής αναγωγής, αλλά στην περίπτωση αυτή μπορεί η επίδραση του υψομέτρου να ληφθεί υπόψη αμεσότερα, μέσω της τεχνικής co-kriging.

Βροχομετρικές συνθήκες στην περιοχή του Αιγαίου

Τα βασικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν τη γεωγραφία, το καθεστώς των βροχοπτώσεων και τη μέτρησή τους στην περιοχή του Αιγαίου, μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα:

1. Ύπαρξη πολλών νησιών, με διαφορετικά μεγέθη και τοπογραφικά χαρακτηριστικά.
2. Αραιότητα του βροχομετρικού δικτύου με αποτέλεσμα σχεδόν όλα τα μικρά νησιά και τα περισσότερα από τα νησιά μεσαίου μεγέθους να μη διαθέτουν ούτε ένα βροχομετρικό σταθμό.
3. Μεγάλη γεωγραφική μεταβλητότητα της βροχόπτωσης, με λόγο μέγιστης προς ελάχιστη ετήσια βροχόπτωση της τάξης του 4.
4. Ύπαρξη στατιστικά σημαντικής θετικής συσχέτισης υψομέτρου και ύψους βροχής.

Σχετικά με την τελευταία συσχέτιση, η οποία μπορεί να αποδοθεί ως γραμμική συνάρτηση του ύψους βροχής σε σχέση με το υψόμετρο, θα πρέπει να παρατηρηθεί ότι η όλη τοποθέτηση σε ένα γράφημα των σημείων που αντιστοιχούν στους επιμέρους σταθμούς εμφανίζει μεγάλη διασπορά, η οποία αντικατοπτρίζει τη μεγάλη γεωγραφική μεταβλητότητα της βροχής. Αν ληφθεί υπόψη και η μικρή πυκνότητα του βροχομετρικού δικτύου, γίνεται φανερό ότι μόνο η κλίση (η βροχοβαθμίδα) μπορεί να προσδιοριστεί με σχετική αξιοπιστία. Αυτό δημιουργεί δυσκολίες στην εφαρμογή της απλής υψομετρικής μεθόδου, αλλά δεν επηρεάζει τη χρήση άλλων μεθόδων που αξιοποιούν μόνο τη βροχοβαθμίδα.

Εναλλακτικές μεθοδολογίες

Παίρνοντας υπόψη και τις ιδιαιτερότητες της περιοχής, επιλέχτηκε, στα πλαίσια της παραπάνω μελέτης, να δοκιμαστούν και να συγκριθούν τρεις διαφορετικές μέθοδοι και συγκεκριμένα:

1. η υψομετρική μέθοδος,
2. η μέθοδος των πολυγώνων Thiessen με υψομετρική αναγωγή (καθώς και με ορισμένες απλές τροποποιήσεις κατά κρίση μηχανικού που αφορούν νησιά χωρίς δικό τους βροχομετρικό σταθμό) και
3. η μέθοδος co-kriging με άμεση αξιοποίηση της υψομετρικής πληροφορίας.

Επισημαίνεται ότι για την εφαρμογή της υψομετρικής μεθόδου οι μελετητές, προκειμένου να λάβουν εμμέσως υπόψη τη γεωγραφική μεταβλητότητα της βροχής, αναγκάστηκαν να χωρίσουν το σύνολο των σταθμών σε μικρές ενότητες και να προσδιορίσουν ξεχωριστές σχέσεις υψομέτρου-ύψους βροχής για κάθε ενότητα. Αυτή η πρακτική θεωρείται μεν ενδεδειγμένη για την αποφυγή μεγάλων αποκλίσεων από την πραγματικότητα, επισημαίνεται όμως ότι η ακρίβεια (αλλά και η αντικειμενικότητα) των εκτιμήσεων των παραμέτρων των επί μέρους συσχετίσεων είναι μικρή εφόσον αυτές προσδιορίστηκαν από πολύ μικρό αριθμό σημείων (π.χ. 2-5).

Τα αποτελέσματα των τριών μεθόδων, όπως έχουν αποτυπωθεί σε βροχομετρικούς χάρτες ανά λεκάνη απορροής είναι γενικώς συγκρίσιμα και εμφανίζουν αναμενόμενες ομοιότητες και διαφορές. Η πιο χαρακτηριστική από τις διαφορές είναι η σχετικά μεγαλύτερη χωρική διακύμανση των αποτελεσμάτων της μεθόδου co-kriging με εμφάνιση των πιο ακραίων τιμών στην περίμετρο της υπό μελέτη περιοχής (βλ. για παράδειγμα τη ν. Κάρπαθο).

Σε αρκετά σημεία οι εκτιμήσεις τόσο της μεθόδου co-kriging, όσο και της υψομετρικής, μπορούν να θεωρηθούν όχι εύλογες και δημιουργούν την υποψία μεγάλων σφαλμάτων. Σε αντίθεση, η μέθοδος Thiessen με υψομετρική αναγωγή βασισμένη σε ενιαία βροχοβαθμίδα, έδωσε πιο «κεντρικές» και «εύρωστες» εκτιμήσεις και μπορεί να θεωρηθεί ως η πιο δόκιμη για την εκτίμηση επιφανειακών μέσων βροχοπτώσεων. Η μέθοδος co-kriging πάντως, δεδομένης της βέλτιστης παρεμβολής στο χώρο που επιτυγχάνει, μπορεί να θεωρηθεί ως η καταλληλότερη για τη δημιουργία χαρτών ισοϋετίων καμπυλών.

Συμπεράσματα

Παίρνοντας υπόψη τη γενική βιβλιογραφία γύρω από τις διάφορες μεθόδους επιφανειακής ολοκλήρωσης της βροχής, τα θεωρητικά χαρακτηριστικά των μεθόδων, τους στόχους της συγκεκριμένης μελέτης, της ιδιαιτερότητας της περιοχής και τέλος τις συγκρίσεις που έγιναν στα πλαίσια της μελέτης, μπορεί να διατυπωθεί το συμπέρασμα ότι η πλέον δόκιμη μέθοδος για την υπόψη περίπτωση είναι αυτή των πολυγώνων Thiessen με υψομετρική αναγωγή. Σε αντίθεση, η υψομετρική μέθοδος και η μέθοδος co-kriging ενέχουν τον κίνδυνο μεγαλύτερων σφαλμάτων για ορισμένες περιοχές, η πρώτη λόγω της μεγάλης γεωγραφικής μεταβλητότητας της βροχής στην περιοχή και της υποκειμενικότητας των εκτιμήσεων, και η δεύτερη λόγω των μεγάλων αποστάσεων των σταθμών.

Πάντως, σε κάθε περίπτωση, οι ανακρίβειες είναι αναπόφευκτες και μπορούν να θεραπευτούν μελλοντικά μόνο με την πύκνωση του βροχογραφικού δικτύου ή τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών μέτρησης των κατακρημνισμάτων με μετεωρολογικά ραντάρ.

Αναφορές

Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.

Court, A., and M. T. Bare, Basin precipitation estimates by Bethlahmy's two-axis method, *J. of Hydrol.*, 68, 149-158, 1984.

Creutin, J. D., and C. Obled, Objective analysis and mapping techniques for rainfall fields: An objective comparison, *Water Resources Research*, 18, 413-431, 1982.

Dingman, S. L., *Physical Hydrology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1994.

National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, National Engineering Publications,
United States Soil Conservation Service 1985.

Αθήνα 28.2.2005

Δημήτρης Κουτσογιάννης