

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ &
ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ**

ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
Δ/ΝΣΗ ΕΡΓΩΝ ΥΔΡΕΥΣΗΣ & ΑΠΟΧΕΤΕΥΣΗΣ

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ - ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ
& ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

**MINISTRY OF ENVIRONMENT, REGIONAL
PLANNING & PUBLIC WORKS**

GENERAL SECRETARIAT OF PUBLIC WORKS
SECRETARIAT OF WATER SUPPLY & SEWAGE

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
DIVISION OF WATER RESOURCES - HYDRAULIC
& MARITIME ENGINEERING

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΕΡΓΟ
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ ΤΗΣ ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΦΑΣΗ Β

ΤΕΥΧΟΣ 22

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ -
ΤΜΗΜΑ Α: ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ

RESEARCH PROJECT
EVALUATION AND MANAGEMENT OF THE
WATER RESOURCES OF STEREA HELLAS

PHASE B

VOLUME 22

DEVELOPMENT OF A
GEOGRAPHICAL INFORMATION
SYSTEM - SECTION A: SURFACE
HYDROLOGY INFORMATION

ΣΥΝΤΑΞΗ: Ι. ΣΤΑΜΑΤΑΚΗ, Α. ΚΟΥΚΟΥΒΙΝΟΣ,
Ν. ΜΑΜΑΣΗΣ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΣ ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ: Θ. ΞΑΝΘΟΠΟΥΛΟΣ
ΚΥΡΙΟΣ ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ: Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ

BY: I. STAMATAKI, A. KOUKOUVINOS, N. MAMASSIS

SCIENTIFIC DIRECTOR: TH. XANTHOPOULOS
PRINCIPAL INVESTIGATOR: D. KOUTSOYIANNIS

ΑΘΗΝΑ - ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 1995

ATHENS - SEPTEMBER 1995

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	
1.1. Ιστορικό-Αντικείμενο	3
1.2. Διάρθρωση του τεύχους	3
1.3. Συνοδευτικά στοιχεία	3
2. Παραγωγή Υδρολογικών και Μορφολογικών χαρτών	
2.1. Γενικά	5
2.2. Διορθώσεις - Συμπλήρωση δεδομένων - Ενωση ψηφιακών χαρτών	5
2.3. Παραγωγή Χαρτών	
2.3.1. Υδρολογικός χάρτης	7
2.3.2. Μορφολογικός χάρτης	8
2.3.3. Υδρολογικός χάρτης A3	8
2.3.4. Μορφολογικός χάρτης Ευήνου	9
2.3.5. Κλίσεις εδάφους Ευήνου	9
2.3.6. Χάρτης σκιών περιοχής λεκάνης Ευήνου	9
2.4. Εξαγωγή Γεωγραφικών χαρακτηριστικών	9
3. Γεωγραφική Κατανομή Κλιματικών Μεταβλητών	
3.1. Γενικά	12
3.2. Σύνδεση Βάσης Υδρολογικών Δεδομένων με Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας	
3.2.1. Διαθέσιμα δεδομένα	15
3.2.2. Βάση υδρολογικών δεδομένων	15
3.2.3. Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας	18
3.2.4. Σύνδεση των δύο Συστημάτων	18
3.3. Μέθοδοι παρεμβολής και παρουσίασης δεδομένων	
3.3.1. Γενικά	22
3.3.2. Μέθοδοι παρεμβολής επιφανειών	23

3.3.3. Παρουσίαση δεδομένων επιφανειών.	25
3.4. Γεωγραφική κατανομή της βροχής	
3.4.1. Ημερήσιες, μηνιαίες, ετήσιες βροχοπτώσεις	28
3.4.2. Μέσες μηνιαίες, ετήσιες βροχοπτώσεις	28
3.4.3. Μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις	29
3.4.4. Μέσες ετήσιες θερμοκρασίες	29
Αναφορές	37
Παράρτημα	38

1. Εισαγωγή

1.1. Ιστορικό - Αντικείμενο

Στο τεύχος αυτό περιγράφονται οι εργασίες, οι οποίες έγιναν κατά τη Β' φάση του ερευνητικού προγράμματος "Εκτίμηση και Διαχείριση των Υδατικών Πόρων της Στερεάς Ελλάδας", σε ό,τι αφορά τα Συστήματα Γεωγραφικής Πληροφορίας (G.I.S) για τα επιφανειακά νερά. Το ερευνητικό αυτό έργο ανατέθηκε και χρηματοδοτήθηκε από τη Διεύθυνση Ύδρευσης και Αποχέτευσης του ΥΠΕΧΩΔΕ (απόφαση Δ6/21512/8-9-1993) σε ερευνητική ομάδα του ΕΜΠ με επιστημονικό υπεύθυνο τον καθηγητή Θ. Ξανθόπουλο και συντονιστή τον επίκουρο καθηγητή Δ. Κουτσογιάννη. Η εργασία την οποία καλύπτει το τεύχος αυτό προδιαγράφεται στο Παράρτημα της απόφασης ανάθεσης (άρθρο 2.2.4 και 2.3.4 εδάφιο α: *"Ολοκλήρωση του συστήματος επιφανειακής υδρολογίας με πληροφορίες τοπογραφικού χαρακτήρα, λεκανών απορροής, υδρογραφικού δικτύου και σταθμών μέτρησης - Σχεδίαση χαρτών και διαγραμμάτων"* και εδάφιο γ: *"Ολοκλήρωση συστήματος με σύνδεση των υποσυστημάτων μεταξύ τους και με τις βάσεις δεδομένων"*). Η εκπόνηση της εργασίας αυτής κρίθηκε απαραίτητη κατά την Α' φάση του έργου, λόγω της μεγάλης έκτασης της περιοχής μελέτης άρα και του μεγάλου όγκου πληροφοριών ο οποίος συλλέχθηκε.

Η περιοχή μελέτης εκτείνεται από το Μέτσοβο (βόρεια) μέχρι το νοτιότερο άκρο της Αττικής και από τη Λευκάδα (δυτικά) μέχρι τη νήσο Σκύρο (ανατολικά) και περιέχει πολλές υδρολογικά ενδιαφέρουσες λεκάνες απορροής της ευρύτερης περιφέρειας της Στερεάς Ελλάδας, όπως αυτές του Αχελώου, Ευήνου-Μόρνου, Βοιωτικού Κηφισού και Σπερχειού.

1.2. Διάρθρωση του τεύχους

Το τεύχος αποτελείται από δύο κύρια μέρη και ένα παράρτημα. Στο πρώτο μέρος περιγράφεται η διαδικασία διόρθωσης των γεωγραφικών δεδομένων, και παραγωγής των υδρολογικών χαρτών. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται η σύνδεση του Σ.Γ.Π. με σχεσιακή βάση δεδομένων INGRES και η μελέτη της γεωγραφικής κατανομής των υδρολογικών μεταβλητών. Τέλος για την εύκολη πρόσβαση του αναγνώστη στους χάρτες που εκπονήθηκαν, το Παράρτημα περιέχει ολόκληρη τη σειρά των χαρτών σε μέγεθος Α4.

1.3. Συνοδευτικά Στοιχεία

Το παρόν τεύχος συνοδεύεται από τα ακόλουθα στοιχεία που παραδίδονται είτε σε μορφή χαρτών, είτε σε μορφή ψηφιακού υλικού:

1. Σειρά χαρτών που αποτελούν ιδιαίτερο τεύχος (τεύχος 23) και περιλαμβάνει τα ακόλουθα φύλλα:

Υδρολογικός χάρτης (6 φύλλα), Μορφολογικός χάρτης, Υδρολογικός χάρτης A3, Χάρτης σκιών, Μορφολογικός χάρτης Ευήνου, Κλίσεις εδάφους Ευήνου, Χάρτης σκιών Ευήνου.

2. Ψηφιακή ταινία (DAT) που περιέχει :

α. Επίπεδα γεωγραφικής πληροφορίας

Ισουψείς ανά 200 m (countours200)

Ισουψείς ανά 40 m (countours40)

Υψομετρικά σημεία (points)

Υδρογραφικό δίκτυο (rivers)

Λίμνες (lakes)

Λεκάνες απορροής (basins)

Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (stereagrid)

β. Αρχεία αναπαραγωγής χαρτών

Υδρολογικός χάρτης (ydrolog1-6.gra)

Μορφολογικός χάρτης (morfol.gra)

Υδρολογικός χάρτης A3 (stereaa3.gra)

Μορφολογικός χάρτης Ευήνου (morfole.gra)

Κλίσεις εδάφους Ευήνου (slopee.gra)

Χάρτης σκιών Ευήνου (shadowe.gra).

γ. Προγράμματα επεξεργασίας γεωγραφικών δεδομένων

Προγράμματα αναπαραγωγής υδρολογικών χαρτών (ydrol.aml, fyllo1-6.aml)

Πρόγραμμα σύνδεσης Σ.Γ.Π. με βάση δεδομένων (connect.aml)

Προγράμματα επιφανειακής ολοκλήρωσης σημειακών δεδομένων (kriging.aml, idw.aml)

2. Παραγωγή Υδρολογικών και Μορφολογικών χαρτών

2.1. Γενικά

Κατά την Α' φάση του έργου, πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή της αναλογικής πληροφορίας στον υπολογιστή με τη μέθοδο της ψηφιοποίησης, από τους χάρτες της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:100.000 με σύστημα αναφοράς το Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (Ε.Γ.Σ.Α. 87). Τα δεδομένα που ψηφιοποιήθηκαν ήταν τοπογραφικά - υψομετρικά (ακτογραμμές, περιγράμματα λιμνών, ισοϋψείς καμπύλες) και υδρολογικά (λεκάνες απορροής, υδρογραφικό δίκτυο, σταθμοί μετρήσεων).

Η περιοχή καλύπτεται από 29 φύλα χάρτη. Αντικείμενο της Β' φάσης ήταν ο έλεγχος, η διόρθωση, η συμπλήρωση και η ένωση τους ώστε να παραχθούν μορφολογικοί και υδρολογικοί χάρτες σε κλίμακες 1:250.000 ή μικρότερες. Ελέγχθηκαν και διορθώθηκαν (όπου ήταν απαραίτητο) οι ισοϋψείς (ανά 200 m) καμπύλες, το υδρογραφικό δίκτυο, οι υδρομετρικοί σταθμοί και γύρω στα 3.500 υψομετρικά σημεία. Ψηφιοποιήθηκαν επιπλέον ισοϋψείς με ισοδιάσταση 40 m στις παράλιες περιοχές, τις πεδιάδες και γενικότερα τα σημεία εδάφους όπου δεν υπήρχε αρκετή υψομετρική πληροφορία ώστε να βελτιωθεί το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους.

2.2. Διορθώσεις - Συμπλήρωση δεδομένων - Ένωση ψηφιακών χαρτών

Μετά την εισαγωγή των δεδομένων με τη μέθοδο της ψηφιοποίησης είναι απαραίτητος ο έλεγχος ιδιαίτερα όταν πρόκειται για ισοϋψείς καμπύλες αφού αποτελούν βασική υψομετρική πληροφορία και χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους. Ο έλεγχος των ισοϋψών με ισοδιάσταση 200 m, έγινε ανά χάρτη. Τοποθετήθηκε ο χάρτης στον ψηφιοποιητή και ελέγχθηκαν οι ισοϋψείς ανά γραμμή με το σταυρόνημα. Έγινε έλεγχος στον κωδικό (ID) της κάθε γραμμής, τον αριθμό που δίνει το υψόμετρο της. Επίσης διορθώθηκαν γραμμές που είχαν ψηφιοποιηθεί δύο φορές. Ελέγχθηκαν με τον ίδιο τρόπο τα υψομετρικά σημεία των χαρτών, διορθώθηκαν τα λάθη και προστέθηκαν σημεία που δεν είχαν εισαχθεί.

Οι ψηφιακοί χάρτες (coverages) μεταφέρθηκαν από το PC σε workstation όπου οι δυνατότητες ένωσης και επεξεργασίας τους είναι σαφώς μεγαλύτερες. Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ARC/INFO σε λειτουργικό περιβάλλον HP-UX.

Η ένωση των χαρτών έγινε με τις εντολές edgematch και append. Η εντολή edgematch, επιτρέπει την τοπολογική ένωση γειτονικών χαρτών. Ένας αλγόριθμος μετακινεί το ένα coverage σε σχέση με το γειτονικό του που παραμένει ακίνητο. Δίνεται μία περιοχή (limitadjust) και μέσα σ' αυτήν ταυτίζονται οι κόμβοι (nodes) των τόξων των δύο χαρτών. Έτσι τα τόξα είναι συνεχή ευθύγραμμα τμήματα όπως περνούν από τον ένα ψηφιακό χάρτη στον άλλο. Η εντολή append στη συνέχεια ενώνει τους χάρτες σε έναν. Δημιουργείται έτσι ένα coverage που απεικονίζει ολόκληρη την περιοχή μελέτης.

Στη συνέχεια διορθώθηκαν οι ψευδοκόμβοι (pseudo nodes) και οι αιωρούμενοι κόμβοι (dangle nodes). Οι πρώτοι είναι κόμβοι όπου συναντώνται λιγότερα από δύο τόξα και οι δεύτεροι είναι κόμβοι όπου καταλήγει ένα μόνο τόξο. Οι διορθώσεις αυτές γίνονται για να χτιστεί αργότερα η τοπολογία. Η εντολή που χρησιμοποιείται είναι η clean <in cover> <out cover > <dangle length> <fuzzy tolerance>. Η fuzzy tolerance είναι η παράμετρος εκείνη που ορίζει την ελάχιστη απόσταση που μπορούν να βρίσκονται δυο στοιχεία του χάρτη και η τιμή της εξαρτάται από την κλίμακα. Η dangle length είναι το ελάχιστο επιτρεπόμενο μήκος αιωρούμενο τόξου. Αιωρούμενο είναι το τόξο το οποίο δεξιά του και αριστερά του έχει το ίδιο πολύγωνο. Τέλος κτίστηκε η τοπολογία των γραμμών με την εντολή build. Ενημερώνεται έτσι το αρχείο .AAT (Arc Attribute Table) που περιέχει πληροφορίες για την κάθε γραμμή, όπως έχει ήδη αναφερθεί στο τεύχος 9 (Α' φάση).

Το υδρογραφικό δίκτυο διορθώθηκε από ψευδοκόμβους και αιωρούμενους κόμβους και ελέγχθηκε η φορά των τόξων. Ο έλεγχος έγινε ανά υδρολογική λεκάνη. Κτίστηκε και εδώ η τοπολογία του δικτύου.

Η βελτίωση της ακρίβειας του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (Ψ.Μ.Ε) επιτεύχθηκε συμπληρώνοντας την υψομετρική πληροφορία. Έγινε ψηφιοποίηση ισοϋψών καμπυλών με ισοδιάσταση 40 m στις παράλιες περιοχές και τις πεδιάδες. Στις περιοχές όπου οι ισοϋψείς των 200 m ήταν ήδη πυκνές, δεν προστέθηκαν νέες. Σε περιοχές όπου και αυτή η πληροφορία κρίθηκε λίγη ψηφιοποιήθηκαν ισοϋψείς καμπύλες των 10 και 20 m. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι ισοϋψείς ανά 40 m, επειδή χρησιμοποιήθηκαν μόνο στη βελτίωση του Ψ.Μ.Ε. σε ορισμένες περιοχές δεν είναι συνεχείς γραμμές.

Δημιουργήθηκε στη συνέχεια το TIN (triangular irregular network) χρησιμοποιώντας : α) τις ισοϋψείς καμπύλες ανά 200 m. β) τις ισοϋψείς καμπύλες ανά 40 m και γ) τα 3.500 υψομετρικά σημεία. Το TIN είναι ένα

δίκτυο τριγώνων με κορυφές σημεία γνωστών υψομέτρων. Έτσι δημιουργούνται τριγωνικές επιφάνειες που προσεγγίζουν το ανάγλυφο του εδάφους. Από το TIN δημιουργήθηκε κάρναβος (lattice) με διαστάσεις 100 m X 100 m στο έδαφος. Το κάθε τετραγωνίδιο (cell) έχει σαν τιμή το αντίστοιχο υψόμετρο του εδάφους. Έτσι παράγονται ο μορφολογικός χάρτης της περιοχής, ο χάρτης κλίσεων και ο χάρτης ορατοτήτων.

2.3. Παραγωγή χαρτών

2.3.1. Υδρολογικός χάρτης

Ο υδρολογικός χάρτης περιέχει την παρακάτω πληροφορία: α) υδρογραφικό δίκτυο β) ισοϋψείς καμπύλες (ανά 200 m) γ) λίμνες δ) λεκάνες απορροής (με τις ονομασίες τους) ε) βροχομετρικούς σταθμούς (με τις ονομασίες τους) ζ) υδρομετρικούς σταθμούς (με τις ονομασίες τους) η) κάρναβο (ανά 50 km). Η κλίμακα είχε οριστεί σε 1:250.000. Έτσι χρειάστηκαν 6 φύλλα για να αποτυπωθεί η περιοχή μελέτης σε χαρτί A1 (84.1 X 59.4 cm). Για το σχηματισμό τους συντάχθηκε πρόγραμμα γραμμένο στη γλώσσα aml (arc macro language) του ARC/INFO ώστε κάθε φύλλο να παράγεται δίνοντας ένα ζεύγος συντεταγμένων που αναφέρεται στο κάτω αριστερά σημείο του και τον αριθμό του. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι συντεταγμένες που πρέπει να δίνονται για το κάθε φύλλο:

Φύλλο	Περιγραφή περιοχής	Συντεταγμένες
1	μέρος Πατραϊκού κόλπου περιοχή Μεσολογγίου	X1 = 160.000 Y1 = 4.160.000
2	από Μέγαρο έως Θήβα, τμήμα Βόρειου Ευβοϊκού έως Ναύπακτο	X2 = 305.000 Y2 = 4.160.000
3	από Χαλκίδα, ακρωτήριο Καφηρέα και νήσο Κέα έως Αίγινα και Σαλαμίνα	X3 = 450.000 Y3 = 4.160.000
4	από Λευκάδα και Μέτσοβο έως Καρπενήσι και λίμνη Οζερός	X4 = 160.000 Y4 = 4.280.000
5	από Λαμία έως Ιστιαία	X5 = 305.000 Y5 = 4.280.000
6	νήσος Σκύρος και κομμάτι Εύβοιας	X6 = 450.000 Y6 = 4.280.000

Το υπόμνημα περιέχει τους συμβολισμούς που χρησιμοποιήθηκαν για τα δεδομένα που απεικονίζει ο χάρτης. Το υδρογραφικό δίκτυο απεικονίζεται με συνεχόμενη μπλε γραμμή και οι ισοϋψείς καμπύλες με συνεχόμενη καφέ. Η γραμμή που συμβολίζει τις λεκάνες απορροής είναι διακεκομμένη μαύρη. Οι ακτογραμμές συμβολίζονται με μπλε γραμμή. Οι βροχομετρικοί σταθμοί έχουν μαύρο σύμβολο και οι υδρομετρικοί σταθμοί κόκκινο.

2.3.2. Μορφολογικός χάρτης

Η μορφολογία του εδάφους, απεικονίζει την άποψη του πραγματικού εδάφους σε συνδυασμό με τα υψόμετρα. Στα tables του ARC/INFO, δημιουργήθηκε το αρχείο συσχέτισης των υψομέτρων ανά 200 μέτρα με συγκεκριμένα χρώματα αρχείου που υπάρχει στο ARC/INFO. Στα υψόμετρα από 0 έως 1 m, απεικονίζονται οι παραλιακές περιοχές, καθώς και οι λίμνες Διστός και Βουλκαριά. Από 2 έως 20 μέτρα απεικονίζονται περιοχές χαμηλών υψομέτρων με μπλε χρώμα. Σ' αυτά τα υψόμετρα βρίσκονται και ορισμένες λίμνες όπως η Τριχωνίδα, η Οζερός και η Λυσιμαχία. Στο υπόμνημα φαίνονται οι συσχετίσεις χρωμάτων με τα υψόμετρα. Τα υψόμετρα ξεκινούν από 0 μέτρα, μέχρι τα 2.600 μέτρα που απεικονίζονται με μαύρο χρώμα, στις ορεινές περιοχές. Τα pixels του μορφολογικού χάρτη έχουν διάσταση 100 m X 100 m. Στους μορφολογικούς χάρτες, φαίνονται τα λάθη που έχουν δημιουργηθεί από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Τα λάθη αυτά έχουν σχέση με την υψομετρία. Έτσι στην περίπτωση που δεν έχουν παρατηρηθεί λάθη από το DEM, ελέγχονται στο μορφολογικό χάρτη και διορθώνονται. Η κλίμακα του χάρτη είναι 1:650.000. Ο σχηματισμός του έγινε μέσα από το περιβάλλον arcplot του arc / info. Τα πλαίσια του χάρτη είναι σε διαστάσεις ίσα με τα πλαίσια των υδρολογικών χαρτών κλίμακας 1:250.000.

2.3.3. Υδρολογικός χάρτης A3

Ο χάρτης αυτός και είναι κλίμακας 1:1.200.000, σε σελίδα A3. Φαίνονται στο υπόμνημα τα στοιχεία που απεικονίζει και τα σύμβολα με τα οποία έχουν σχεδιαστεί: α) οι ισοϋψείς καμπύλες β) το υδρογραφικό δίκτυο γ) οι λεκάνες απορροής δ) οι βροχομετρικοί σταθμοί ε) οι λίμνες και ζ) ο κάναβος.

2.3.4. Μορφολογικός χάρτης Ευήνου

Ο χάρτης απεικονίζει το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της λεκάνης του Ευήνου. Πάνω από το TIN έχει τοποθετηθεί ένα grid coverage, με τη μορφολογία της περιοχής. Η συσχέτιση υψομέτρων και χρωμάτων είναι η ίδια με τη συσχέτιση που έγινε για τη μορφολογία ολόκληρης της Στερεάς Ελλάδας. Στο χάρτη αυτόν έχουν τοποθετηθεί και τα ποτάμια της λεκάνης απορροής της ευρύτερης περιοχής του Ευήνου με γαλάζιο χρώμα. Επίσης φαίνεται η λεκάνη απορροής του Ευήνου με πράσινο χρώμα. Η διάσταση του χάρτη είναι A3.

2.3.5. Κλίσεις εδάφους Ευήνου

Ο χάρτης κλίσεων του Ευήνου, απεικονίζει τις κλίσεις της λεκάνης απορροής του Ευήνου. Οι κλίσεις σχηματίστηκαν από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, μέσα στο περιβάλλον grid του ARC/INFO. Στο υπόμνημα του χάρτη φαίνονται οι αντιστοιχίες των επί τοις % κλίσεων του εδάφους με τα χρώματα. Οι κλίσεις είναι από 0% έως άνω του 100%. Αυτός ο συσχετισμός έγινε στο περιβάλλον tables όπου πραγματοποιήθηκε συσχέτιση (relate) μεταξύ κλίσεων και χρωμάτων. Ο χάρτης είναι διάστασης A3 με κλίμακα 1:250.000. Το υπόμνημα είναι το ίδιο με το υπόμνημα του μορφολογικού χάρτη της περιοχής του Ευήνου.

2.3.6. Χάρτης σκιών περιοχής λεκάνης Ευήνου

Ο χάρτης αυτός απεικονίζει την ευρύτερη λεκάνη του Ευήνου. Πάνω στο ψηφιακό μοντέλο της περιοχής σχεδιάζονται οι σκιές. Ξεκινώντας από τους ανοιχτούς τόνους του γκριζου για τις περιοχές που είναι ορατές, καταλήγουμε στους σκούρους τόνους που αναφέρονται σε λιγότερο έως καθόλου ορατές περιοχές. Η θέση του ήλιου είναι: αζιμούθιο 215 μοίρες και τιμή ανύψωσης 30 μοίρες.

2.4. Εξαγωγή γεωγραφικών χαρακτηριστικών

Η εξαγωγή των γεωγραφικών χαρακτηριστικών που είναι απαραίτητα στις υδρολογικές επεξεργασίες επιτυγχάνεται με την επεξεργασία στο Σ.Γ.Π. των γεωγραφικών επιπέδων πληροφορίας (ισοΐψεις, λεκάνες απορροής, σταθμοί μέτρησης). Η εξαγωγή των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών μιας λεκάνης απορροής (εμβαδόν, μέσο υψόμετρο, μέση κλίση, μήκος

μισγάγγειας) και η χάραξη των πολυγώνων Thiessen επιλεγμένων σταθμών, είναι δύο από τις εφαρμογές που αναπτύχθηκαν.

Μέσα από κατάλληλο πρόγραμμα που κατασκευάστηκε στη γλώσσα am1 του Arc/Info είναι δυνατή η γραφική επιλογή της λεκάνης που ενδιαφέρει, και το σύστημα υπολογίζει και παρουσιάζει το εμβαδόν, το μέσο υψόμετρο και τη μέση κλίση της επιλεγμένης περιοχής. Το πρόγραμμα μπορεί να χαράσσει και αυτόματα τη λεκάνη ανάντη κάποιου σημείου αν δοθούν οι συντεταγμένες του ή αν δειχτεί η θέση του στην οθόνη με το ποντίκι. Η επεξεργασία χρησιμοποιεί συγκεκριμένες συναρτήσεις του Arc/Info (flowdirection, flowaccumulation) παίρνοντας σαν όρισμα το grid του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους. Ακόμη είναι δυνατή η επιλογή σταθμών μέτρησης για τη χάραξη των πολυγώνων Thiessen στην επιλεγμένη περιοχή καθώς και τον υπολογισμό των συντελεστών βάρους με βάση τα εμβαδά επιρροής κάθε σταθμού.

Στο Σχήμα 1 δίνεται ένα παράδειγμα των δύο εφαρμογών στις λεκάνες του Αχελώου και του Β. Κηφισού. Στη λεκάνη του Αχελώου έχει υπολογιστεί και σχεδιαστεί το ψηφιακό μοντέλο εδάφους με βάση το οποίο υπολογίστηκε το μέσο υψόμετρο της λεκάνης, ενώ στη λεκάνη του Β. Κηφισού έχουν χαραχτεί τα πολύγωνα και έχουν υπολογιστεί οι συντελεστές Thiessen με βάση τις θέσεις 12 βροχομετρικών σταθμών.

3. Γεωγραφική κατανομή κλιματικών μεταβλητών.

3.1. Γενικά

Η μελέτη της γεωγραφικής κατανομής των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών είναι απαραίτητη στην διαχείριση των υδατικών πόρων ιδιαίτερα σε μεγάλες περιοχές που περιλαμβάνουν πολλούς μεγάλους ποταμούς, και ενώ διαχειριστικά αποτελούν ενιαίο σύστημα, εμφανίζουν σημαντικές κλιματικές διαφορές. Η εκτίμηση της γεωγραφικής κατανομής μιας υδρολογικής μεταβλητής όπως για παράδειγμα της βροχόπτωσης, σε μια συγκεκριμένη περιοχή, συμβάλλει σημαντικά στην αξιολόγηση των πρωτογενών δεδομένων, στην κατανόηση του μηχανισμού πραγματοποίησής της, στον εντοπισμό των κλιματικών ιδιοτεροτήτων κάθε περιοχής, στην εκτίμηση της κατανομής του υδατικού δυναμικού και στην μελέτη των ξηρασιών.

Η περιοχή της Στερεάς Ελλάδας που μελετήθηκε, έχει συνολική έκταση 25.292 km² και περιλαμβάνει τους ποταμούς Αχελώο, Εύηνο, Μόρνο, Βοιωτικό Κηφισό, Σπερχειό και πολλούς μικρότερους. Οι τρεις από αυτούς (Εύηνος, Μόρνος, Βοιωτικός Κηφισός) τροφοδοτούν το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας ενώ οι άλλοι δύο έχουν πολλές φορές εξεταστεί σαν λύση ενίσχυσης του συστήματος. Στην περιοχή υπάρχουν μεγάλες διαφορές στις κλιματικές μεταβλητές, μεταξύ των διαφόρων λεκανών απορροής, και ιδιαίτερα στη βροχόπτωση που ενδιαφέρει άμεσα. Έτσι ο προσανατολισμός και η γειτνίαση με τη θάλασσα της οροσειράς της Πίνδου προκαλεί σημαντικές ορογραφικές βροχοπτώσεις με αποτέλεσμα η μέση ετήσια βροχόπτωση στη λεκάνη του Άνω Αχελώου να είναι της τάξης των 2000 mm, ενώ στο λεκανοπέδιο της Αττικής η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι της τάξης των 400 mm.

Οι μεταβλητές που ενδιαφέρουν στις υδρολογικές εφαρμογές είναι κυρίως η βροχόπτωση, η απορροή και η εξάτμιση. Δευτερευόντως ενδιαφέρουν η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα ανέμου και η ηλιοφάνεια, επειδή με βάση αυτές υπολογίζεται η εξάτμιση π.χ. με τη μέθοδο Penman. Η γεωγραφική κατανομή και οι επιφανειακές τιμές κάθε μεταβλητής εκτιμώνται είτε με βάση τις σημειακές μετρήσεις που διατίθενται για ένα δεδομένο χρονικό βήμα, όπως για παράδειγμα οι βροχοπτώσεις μιας συγκεκριμένης ημέρας, είτε με βάση τις μέσες τιμές των σημειακών μετρήσεων για ένα διάστημα. Η όλη επεξεργασία γίνεται με τη χρήση Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας (Σ.Γ.Π.) το οποίο

έχει συνδεθεί με τη βάση δεδομένων στην οποία είναι αποθηκευμένα τα σημειακά υδρομετεωρολογικά δεδομένα. Η φύση της υδρολογικής μεταβλητής και η πυκνότητα των σταθμών που διαθέτουν σημειακές μετρήσεις είναι δύο σημαντικοί παράγοντες για την αξιοπιστία της εκτίμησης της γεωγραφικής κατανομής και την επιφανειακή ολοκλήρωση της μεταβλητής αυτής σε κάποια γεωγραφική περιοχή ή λεκάνη απορροής.

Εκτός από τις κλασικές μεθόδους επιφανειακής ολοκλήρωσης (Thiessen, ισοϋέτιες) εφαρμόστηκαν και άλλες πιο σύνθετες που η εφαρμογή τους γίνεται εύκολα με τη χρήση των λειτουργιών του Γεωγραφικού Συστήματος.

Σε αυτή τη φάση μελετήθηκε κυρίως η βροχόπτωση για την οποία η πυκνότητα των σταθμών μέτρησης είναι ικανοποιητική (71 σταθμοί), ενώ από τις άλλες μεταβλητές μελετήθηκε μόνο η θερμοκρασία η οποία είχε το πυκνότερο δίκτυο μέτρησης (18 σταθμοί).

Εκτός από τα δεδομένα των μετρητικών οργάνων είναι διαθέσιμες και οι διαχειριστικές πληροφορίες των μετρητικών σταθμών, δηλαδή δεδομένα που περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων το όνομα, τον κωδικό, το υψόμετρο, την υπηρεσία, την κατηγορία, την έναρξη και λήξη λειτουργίας και τα διατιθέμενα όργανα του σταθμού μέτρησης. Η γνώση της γεωγραφικής κατανομής των παραπάνω χαρακτηριστικών είναι σημαντική στη διαχείριση και επεξεργασία των υδρολογικών δεδομένων αλλά και την εποπτεία των μετρητικών σταθμών. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται οι βροχομετρικοί σταθμοί τα δεδομένα των οποίων χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση, με διαφορετικούς συμβολισμούς ανάλογα με την υπηρεσία στην οποία ανήκουν. Από το σχήμα είναι εμφανές το ενδιαφέρον της Δ.Ε.Η. για την πλούσια σε υδατικό δυναμικό λεκάνη του Αχελώου όπου και έχει κατασκευάσει φράγματα με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ οι σταθμοί της Ε.Μ.Υ. είναι εγκατεστημένοι σε μεγάλες πόλεις ή αεροδρόμια.

3.2. Σύνδεση βάσης υδρολογικών δεδομένων με Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας

3.2.1. Διαθέσιμα δεδομένα

Τα πρωτογενή υδρομετεωρολογικά δεδομένα και οι διαχειριστικές πληροφορίες των σταθμών, που είχαν συλλεγεί κατά την πρώτη φάση του προγράμματος, επικαιροποιήθηκαν στη φάση αυτή, ενώ έγιναν και οι απαραίτητες υδρολογικές επεξεργασίες (συνάθροιση, συμπλήρωση, ομογενοποίηση). Τα διαθέσιμα πρωτογενή και επεξεργασμένα υδρομετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής είναι τα ακόλουθα:

α. Πρωτογενή δεδομένα

- Ημερήσιες βροχοπτώσεις σε 71 σταθμούς
- Μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις σε 71 σταθμούς
- Ημερήσιες στάθμες και υδρομετρήσεις σε 10 υδρομετρικούς σταθμούς στα ποτάμια Αχελώος, Εύηνος, Σπερχειός
- Μηνιαίες θερμοκρασίες σε 18 σταθμούς
- Μηνιαίες σχετικές υγρασίες, ταχύτητες ανέμου και ηλιοφάνειες σε 10 σταθμούς
- Βασικά χαρακτηριστικά των σταθμών μέτρησης

β. Επεξεργασμένα δεδομένα

- Μηνιαίες και ετήσιες βροχοπτώσεις
- Μηνιαίες και ετήσιες παροχές
- Μηνιαίες και ετήσιες εξατμίσεις
- Ετήσιες θερμοκρασίες, σχετικές υγρασίες, ταχύτητες ανέμου και ηλιοφάνειες

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται η δομή της βάσης που έχουν αποθηκευτεί τα υδρολογικά δεδομένα, τα γεωγραφικά επίπεδα και οι πίνακες του Σ.Γ.Π., και τέλος η μορφή και τα χαρακτηριστικά της σύνδεσης των δύο συστημάτων.

3.2.2 Βάση υδρολογικών δεδομένων

Τα πρωτογενή υδρομετεωρολογικά δεδομένα και οι διαχειριστικές πληροφορίες των σταθμών, αποθηκεύτηκαν στη σχεσιακή βάση δεδομένων INGRES η οποία έχει δημιουργηθεί στα πλαίσια του προγράμματος ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟ - Δημιουργία Εθνικής Τράπεζας Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας (Τολίκας κ.ά., 1993, Parakostas et al., 1994). Η βάση είναι *κατανεμημένη*, δηλαδή αποτελεί τη

λογική ένωση τοπικών βάσεων δεδομένων σε 13 κόμβους (υπηρεσίες, υπουργεία, πανεπιστήμια), και *πολυεπίπεδη*, δηλαδή τα δεδομένα αποθηκεύονται σε πολλά επίπεδα τόσο ως προς το βαθμό επεξεργασίας τους όσο και ως προς τη χρονικό βήμα της παρατήρησης. Η βάση έχει δομηθεί έτσι ώστε να γίνεται η αποθήκευση και επεξεργασία δεδομένων του συνόλου των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών σε οποιοδήποτε χρονικό βήμα και επίπεδο επεξεργασίας. Ακόμη είναι δυνατή η αποθήκευση των λειτουργικών δεδομένων των σταθμών μέτρησης, καθώς και των δεδομένων που έχουν σχέση με τη λειτουργία της βάσης και τη διακίνηση των υδρομετεωρολογικών δεδομένων μεταξύ των κόμβων (Παπακώστας, 1993)

Τα πρωτογενή δεδομένα αποθηκεύτηκαν σε πίνακες της βάσης και έγιναν επεξεργασίες με σκοπό την παραγωγή συμπληρωμένων και διορθωμένων από διάφορα σφάλματα δευτερογενών χρονοσειρών και τη δημιουργία χρονοσειρών σε μεγαλύτερο χρονικό βήμα. Οι μέθοδοι και οι επεξεργασίες που έγιναν αναπτύσσονται σε άλλα τεύχη του ερευνητικού έργου. Τα δευτερογενή δεδομένα όπως και τα πρωτογενή αποθηκεύτηκαν στους κατάλληλους πίνακες της βάσης. Στο Πίνακα 1 παρουσιάζεται η αντιστοιχία μεταξύ της κατηγορίας των δεδομένων και του πίνακα της βάσης δεδομένων στον οποίο αποθηκεύτηκαν.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 Πίνακες βάσης δεδομένων INGRES

ΔΕΔΟΜΕΝΑ	ΟΝΟΜΑ ΠΙΝΑΚΑ
Διαχειριστικές πληροφορίες σταθμών μέτρησης	stations
Ημερήσιες βροχές	raw_std2
Μηνιαίες βροχές	aggr_std2
Ετήσιες βροχές	aggr_std2
Ημερήσιες στάθμες	raw_std4
Ημερήσιες παροχές	aggr_std4
Μηνιαίες παροχές	aggr_std4
Ετήσιες παροχές	aggr_std4
Μηνιαίες θερμοκρασίες, ηλιοφάνειες, εξατμίσεις	aggr_std2
Ετήσιες θερμοκρασίες, ηλιοφάνειες, εξατμίσεις	agrr_std2
Μηνιαίες σχετικές υγρασίες	raw_std1
Ετήσιες σχετικές υγρασίες	aggr_std1
Μηνιαίες ταχύτητες ανέμου	raw_std11
Ετήσιες ταχύτητες ανέμου,	aggr_std11

Ο πίνακας *stations* που περιέχει τις διαχειριστικές πληροφορίες των σταθμών έχει συνολικά 29 πεδία. Το πεδίο *station* περιέχει ένα μοναδικό κωδικό που αντιστοιχεί στο σταθμό ενώ οι κωδικοί των μετρητικών οργάνων (*instrument*) που ανήκουν στο σταθμό προκύπτουν με τη πρόσθεση στον κωδικό σταθμού του αύξοντος αριθμού του οργάνου. Τα πεδία *name*, *service*, *altitude*, *category*, *basin* περιέχουν το όνομα, την υπηρεσία, το υψόμετρο, την κατηγορία και τη λεκάνη απορροής του σταθμού μέτρησης. Τα υπόλοιπα πεδία περιέχουν πληροφορίες σχετικές με τη γεωγραφική θέση του σταθμού (νομός, επαρχία, υδατικό διαμέρισμα κ.λ.π.), την αρχή και λήξη λειτουργίας του καθώς και γενικές παρατηρήσεις για το σταθμό ή τον παρατηρητή.

Οι πίνακες που περιέχουν τις χρονοσειρές έχουν κοινά τα πεδία *instrument*, *date* και *status* που περιέχουν το κωδικό του οργάνου την ημερομηνία και τη κατάσταση της εγγραφής. Επίσης όλοι έχουν και το πεδίο *value0* στο οποίο αποθηκεύεται η τιμή της μέτρησης ενώ ο πίνακας *raw_std11* που αποθηκεύεται ο άνεμος περιέχει ακόμη ένα πεδίο το *value1* στο οποίο αποθηκεύεται μαζί με τη ταχύτητα και η διεύθυνση ανέμου. Τέλος οι πίνακες που περιέχουν συναθροισμένα δεδομένα έχουν ακόμη ένα πεδίο που περιέχει το χρονικό βήμα που αναφέρεται η τιμή.

3.2.3. Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας

Όπως έχει παρουσιαστεί στο πρώτο μέρος, έχουν εισαχθεί στο Σ.Γ.Π. μία σειρά από επίπεδα γεωγραφικής πληροφορίας (coverages) όπως οι ισοϋψείς καμπύλες, οι σταθμοί μέτρησης και οι λεκάνες απορροής. Τα επίπεδα αυτά αποτελούνται από ένα ψηφιακό χάρτη γεωγραφικών χαρακτηριστικών που μπορεί να είναι σημεία, γραμμές ή πολύγωνα και έναν ή περισσότερους πίνακες δεδομένων στους οποίους αποθηκεύονται οι ιδιότητες κάθε χαρακτηριστικού (Managing Tabular Data, ARC-INFO, 1992). Έτσι για παράδειγμα το επίπεδο των σταθμών μέτρησης αποτελείται από ένα ψηφιακό χάρτη με σημεία που αντιστοιχούν στη γεωγραφική θέση των σταθμών και από ένα πίνακα που συνδέει κάθε σημείο με μια σειρά άλλες πληροφορίες όπως το υψόμετρο ή την υπηρεσία. Τα επίπεδα που χρειάζονται στην μελέτη της γεωγραφικής κατανομής των κλιματικών χαρακτηριστικών είναι οι σταθμοί μέτρησης κάθε μεταβλητής (*rainstat*, *tempstat*) και δευτερευόντως οι λεκάνες απορροής (*basins*). Ο πίνακας που αντιστοιχεί στους σταθμούς μέτρησης (*rainstat.pat*, *tempstat.pat*) αποτελείται από τα πεδία *rainstat#* και *rainstat-id*. Το πρώτο είναι η αντιστοιχία μεταξύ του πίνακα και του σταθμού μέτρησης στον ψηφιακό χάρτη, και το δεύτερο μία οποιαδήποτε ιδιότητα που εισάγεται κατά την ψηφιοποίηση όπως για παράδειγμα ο μοναδικός κωδικός του σταθμού. Ο πίνακας που αντιστοιχεί στις λεκάνες απορροής (*basins.pat*) εκτός από τα πεδία *basins#*, *basins-id*, περιέχει και τα πεδία *area*, *perimeter* και *basinname*, που είναι το εμβαδόν, η περιφέρεια και το όνομα κάθε λεκάνης απορροής.

3.2.4. Σύνδεση των δύο συστημάτων.

Η σύνδεση του Σ.Γ.Π. με τη βάση υδρολογικών δεδομένων πραγματοποιείται είτε με την (προσωρινή ή μόνιμη) εισαγωγή των υδρολογικών δεδομένων των πινάκων της βάσης στους πίνακες του γεωγραφικού συστήματος είτε με την απευθείας επικοινωνία των πινάκων των δύο συστημάτων. Η σύνδεση γίνεται σε δύο φάσεις, εκ των οποίων η πρώτη αφορά στην εισαγωγή στο Σ.Γ.Π. των διαχειριστικών πληροφοριών των σταθμών μέτρησης, και η δεύτερη τη συνεργασία με τους πίνακες υδρολογικών δεδομένων.

Στην πρώτη φάση γίνεται η προσθήκη στους πίνακες *allstat.pat* του πεδίου *station* που είναι ο κωδικός σταθμού. Η ένωση του πίνακα *allstat.pat* με το *stations* γίνεται με βάση το κοινό πεδίο *station* (Σχήμα 3) και έχει αποτέλεσμα τη προσθήκη στον *allstat.pat* όλων των πεδίων του *stations*.

Τα δεδομένα των πεδίων αυτών μπορούν να αναπαρασταθούν και να μελετηθούν στο γεωγραφικό χώρο, όπως για παράδειγμα η μελέτη της γεωγραφικής κατανομής των σταθμών μέτρησης ανά υπηρεσία και ημερομηνία εγκατάστασης του σταθμού.

Στη δεύτερη φάση γίνεται η προσθήκη στο πίνακα *allstat.pat* του πεδίου *instrument* που είναι ο κωδικός βροχομέτρου του σταθμού. Η ένωση του πίνακα *allstat.pat* με τους πίνακες *raw_std** και *aggr_std** με βάση το κοινό πεδίο *instrument* (Σχήμα 4). Η σύνδεση αυτή είναι πολυεπίπεδη διότι τα υδρολογικά δεδομένα είναι σε διάφορα επίπεδα επεξεργασίας και χρονικής διακριτότητας, όπως φαίνεται και στον πίνακα 1. Η συνεργασία μεταξύ του πίνακα *allstat.pat* από τη μία και του *raw_std** ή *aggr_std** από τη άλλη μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, ανάλογα από το βαθμό επεξεργασίας που απαιτείται από τα υδρολογικά δεδομένα όταν είναι διαθέσιμα από το Σ.Γ.Π. Έτσι στην περίπτωση που απαιτείται μια απλή γεωγραφική απεικόνιση των υδρολογικών δεδομένων, όπως για παράδειγμα η παρουσίαση των σταθμών στους οποίους η βροχή κάποιου έτους ή μήνα ξεπέρασε ένα κατώφλι, η συνεργασία των δύο πινάκων γίνεται χωρίς ένωση με τη χρήση εντολών (Managing Tabular Data, ARC-INFO, 1992) και του κοινού πεδίου *instrument*. Όταν τα δεδομένα θα χρησιμοποιηθούν για περισσότερο σύνθετες επεξεργασίες, όπως η κατασκευή της επιφάνειας βροχής μιας συγκεκριμένης ημέρας, η σύνδεση γίνεται σύμφωνα με το Σχήμα 4. Έτσι δημιουργείται ένας προσωρινός πίνακας που περιέχει τα δεδομένα των σταθμών για μία συγκεκριμένη χρονική διάρκεια (ημέρα, μήνας, έτος), ο οποίος συνδέεται με βάση το κοινό πεδίο *instrument* με τον πίνακα *allstat.pat*. Η δεύτερη λύση παρόλο που απαιτεί περιστασιακά κάποιο χώρο στο σκληρό δίσκο είναι πληρέστερη, όσον αφορά τη δυνατότητα εφαρμογής επεξεργασιών στο τελικό επίπεδο των σταθμών.

Η διαχείριση και γεωγραφική παρουσίαση των στατιστικών χαρακτηριστικών των δεδομένων, όπως είναι για παράδειγμα οι σημειακές μέσες θερμοκρασίες Μαρτίου για μια χρονική περίοδο, γίνεται εφόσον έχουν υπολογιστεί και αποθηκευτεί τα χαρακτηριστικά αυτά με τη χρήση ορισμένων διαδικασιών σε οποιοδήποτε από τα δύο συστήματα.

3.3. Μέθοδοι παρεμβολής και παρουσίασης δεδομένων

3.3.1. Γενικά

Μετά τη σύνδεση των δύο συστημάτων είναι δυνατή η γεωγραφική παρουσίαση των σημειακών μετρήσεων ή στατιστικών παραμέτρων μιας υδρολογικής μεταβλητής για οποιοδήποτε χρονικό βήμα. Ακόμη με βάση τις σημειακές τιμές είναι δυνατή η εκτίμηση μεταβλητών όπως η μέση βροχή σε μία συγκεκριμένη επιφάνεια (λεκάνη απορροής). Δύο είναι οι συνήθεις υπολογιστικές διαδικασίες που μέχρι τώρα χρησιμοποιούνταν για το σκοπό αυτό (Ξανθόπουλος, 1994):

α. Ο υπολογισμός της σταθμισμένης μέσης τιμής των σημειακών μετρήσεων, με τη χρήση συντελεστών βάρους. Η εφαρμογή αυτής της διαδικασίας δίνει τη γνωστή μέθοδο Thiessen.

β. Η χάραξη καμπυλών ίσων τιμών της μεταβλητής (ισοϋέτιες, ισόθερμες) και ο υπολογισμός της μέσης τιμής με βάση το εμβαδόν των ζωνών που έχουν δημιουργηθεί. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται και για την παρουσίαση της κατανομής των μεταβλητών στο χώρο.

Η χρήση και η ανάπτυξη εφαρμογών με το Σ.Γ.Π., διευκολύνει την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων, αλλά και την ανάπτυξη νέων πιο πολύπλοκων που να αξιοποιούν την υπολογιστική δυνατότητα του συστήματος.

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε εδώ αφορά στην κατασκευή επιφάνειας της μεταβλητής για συγκεκριμένη περιοχή και χρονικό βήμα. Οι επιφάνειες αυτές κατασκευάζονται στο Σ.Γ.Π. και αποτελούνται από τετραγωνιδια συγκεκριμένης διάστασης (Surface Modeling with Grid, ARC-INFO, 1992). Σε κάθε τετραγωνίδιο εκτιμάται μία τιμή της μεταβλητής με βάση τις διατιθέμενες σημειακές μετρήσεις. Η εκτίμηση της τιμής αυτής μπορεί να γίνει με τη χρήση ποικίλων μεθόδων, συμπεριλαμβανομένων και των μεθόδων Thiessen και ισοϋετίων που αναφέρθηκαν. Στην εργασία αυτή εξετάστηκαν τρεις μέθοδοι παρεμβολής (M.S.A.A., kriging, co-kriging) οι οποίες παρουσιάζονται συνοπτικά στην επόμενη παράγραφο. Αναλυτικότερη παρουσίαση και εφαρμογή των μεθόδων αυτών έχει γίνει από τον Τζούλη, [1995]. Περισσότερες μέθοδοι όπως ελαχίστων τετραγώνων, πολυωνυμική, spline παρουσιάζονται από τον Dingman, [1994, σελ. 115-120].

Η παρουσίαση της επιφάνειας γίνεται με την αντιστοίχιση μιας κατάλληλης χρωματοκλίμακας, με τις κατηγορίες του πεδίου τιμών της μεταβλητής, και την παραγωγή ενός χάρτη γεωγραφικής κατανομής της

μεταβλητής, όπου το κάθε τετραγωνίδιο έχει το χρώμα που αντιστοιχεί στη τιμή του. Οι επεξεργασίες στην επιφάνεια όπως ο υπολογισμός της μέσης τιμής της μεταβλητής σε οποιαδήποτε περιοχή, γίνεται εύκολα, με βάση τις τιμές των τετραγωνιδίων που ανήκουν στην περιοχή που ενδιαφέρει. Στη συγκεκριμένη περιοχή της Στερεάς Ελλάδας και δεδομένης της πυκνότητας των μετρητικών σταθμών, κατασκευάστηκαν επιφάνειες των οποίων τα τετραγωνίδια έχουν διάσταση 2 km X 2km.

Τα πλεονεκτήματα της προσέγγισης της μελέτης της γεωγραφικής κατανομής των υδρολογικών μεταβλητών με τη δημιουργία τέτοιων επιφανειών, είναι πολλά και τα κυριότερα περιγράφονται παρακάτω:

- Εύκολη δημιουργία μιας επιφάνειας της μεταβλητής για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, ανεξάρτητα από την έλλειψη ορισμένων σημειακών μετρήσεων. Έτσι για παράδειγμα είναι δυνατή η σύγκριση του όγκου βροχής σε δύο διαφορετικές ημέρες χωρίς απαραίτητα να λειτουργούν οι ίδιοι σταθμοί και τις δύο ημέρες. Είναι βέβαια εύλογο ότι οι ελλείψεις σημειακών μετρήσεων προκαλούν μείωση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.
- Καλύτερη αντίληψη της γεωγραφικής κατανομής της μεταβλητής, με τη βοήθεια της χρωματικής απεικόνισης. Δυνατότητα εντοπισμού περιοχών με ιδιαίτερο κλιματικό καθεστώς (υγρό, θερμό, κ.λ.π.).
- Δυνατότητα στατιστικής επεξεργασία πολλών τέτοιων καννάβων που αφορούν την ίδια μεταβλητή και χρονικό βήμα. Έτσι για παράδειγμα με βάση τις επιφάνειες ετησίων βροχοπτώσεων ορισμένων υδρολογικών ετών, υπολογίζεται η μέση επιφάνεια της οποίας κάθε τετραγωνίδιο έχει το μέσο όρο των τιμών των αντίστοιχων τετραγωνιδίων των ετησίων επιφανειών. Προφανώς η μέση επιφάνεια που προκύπτει είναι σωστότερη από αυτήν που προκύπτει από την παρεμβολή στις σημειακές μέσες ετήσιες τιμές.
- Δυνατότητα χειρισμού τέτοιων επιφανειών σε συνδυασμό με άλλες επιφάνειες της ίδιας διακριτότητας που αφορούν μορφολογικά, εδαφολογικά ή γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής με σκοπό τη δημιουργία μοναδιαίων υδρογραφημάτων ή μοντέλων βροχής απορροής σε υδρολογικές λεκάνες.

3.3.2. Μέθοδοι παρεμβολής επιφανειών

A. Μέθοδος σταθμισμένων αντίστροφων αποστάσεων (Μ.Σ.Α.Α.)

Στη μέθοδο αυτή η τιμή ενός τετραγωνιδίου της επιφάνειας υπολογίζεται από τις σημειακές μετρήσεις με βάση τη σχέση:

$$h = \frac{d_1^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} * h_1 + \frac{d_2^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} * h_2 \dots + \frac{d_N^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} * h_N$$

όπου :

h	η τιμή της μεταβλητής στη ζητούμενη θέση
$h_1, h_2, h_3, \dots, h_N$	οι σημειακές μετρήσεις στα σημεία 1, 2, 3, ..., N
$d_1, d_2, d_3, \dots, d_N$	οι αποστάσεις του τετραγωνιδίου από τα σημεία 1, 2, 3, ..., N
k	εκθέτης

Η τιμή του k ρυθμίζει την επιρροή της απόστασης κάθε σημειακής μέτρησης από τη ζητούμενη θέση, στην τελική τιμή. Η τιμή που λαμβάνεται συνήθως είναι 1 ή 2. Στις εφαρμογές της εργασίας αυτής λήφθηκε η τιμή $k = 2$.

B. Μέθοδος Kriging.

Η μέθοδος αυτή υποθέτει ότι η χωρική μεταβολή της μεταβλητής, όπως προκύπτει από τις παρατηρήσεις στα σημεία μέτρησης, είναι στατιστικά ομογενοποιημένη σε ολόκληρη την επιφάνεια. Στη παρατηρημένη χωρική μεταβολή της μεταβλητής προσαρμόζεται μαθηματική σχέση που περιγράφει την εξέλιξη της μεταβολής συναρτήσει της απόστασης. Πιο συγκεκριμένα ορίζεται η $\gamma(h)$ ως συνάρτηση ημιδιασποράς (semi-variance) και εκφράζει τη χωρική διασπορά της μεταβλητής συναρτήσει της απόστασης h . Οι εμπειρικές τιμές της $\gamma(h)$ υπολογίζονται με βάση τις σημειακές παρατηρημένες τιμές για κάθε απόσταση h από τη σχέση

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} * \sum_{i=1}^n (Z(x_i) - Z(x_i + h))^2$$

όπου :

$Z(x)$ η παρατηρημένη τιμή της μεταβλητής στη θέση x

n ο αριθμός των ζευγών των σημείων που απέχουν απόσταση h

Ακόμη οι εμπειρικές τιμές της $\gamma(h)$ σχεδιάζονται συναρτήσει της απόστασης h , στο διάγραμμα ημιδιασποράς (semi-variogram).

Στις εμπειρικές τιμές της $\gamma(h)$ προσαρμόζεται μαθηματική συνάρτηση η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό κάθε σημείου της επιφάνειας, έτσι ώστε να διατηρείται η δομή της χωρικής διασποράς.

Γ. Μέθοδος Co - Kriging.

Η μέθοδος αυτή βελτιώνει την προηγούμενη συσχετίζοντας την υπολογισμένη με τη μέθοδο Kriging επιφάνεια της μεταβλητής με κάποια άλλη μεταβλητή. Η τελική επιφάνεια που υπολογίζεται διατηρεί τη συσχέτιση αυτή. Οι υδρολογικές μεταβλητές που εξετάστηκαν εδώ δηλαδή η βροχόπτωση και η θερμοκρασία έχουν ισχυρή συσχέτιση με το υψόμετρο. Έτσι αφού υπολογίστηκε η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων μεταξύ των σημειακών μετρήσεων και υψομέτρων χρησιμοποιήθηκε για την αναγωγή των επιφανειών που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο Kriging.

3.3.3. Παρουσίαση δεδομένων επιφανειών

Η επιλογή της χρωματοκλίμακας που αντιστοιχίζεται με τις κατηγορίες του πεδίου τιμών της μεταβλητής του καννάβου είναι σημαντική στην αντίληψη της κατανομής μιας υδρολογικής μεταβλητής. Οι χρωματοκλίμακες που έχουν μέχρι τώρα χρησιμοποιηθεί στην απεικόνιση των υδρομετεωρολογικών αλλά και των γεωγραφικών χαρακτηριστικών (υψομετρικοί χάρτες, χάρτες κλίσεων) χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες.

Στη πρώτη οι κατηγορίες του πεδίου τιμών της μεταβλητής απεικονίζονται με τις διαφορετικές αποχρώσεις του ίδιου χρώματος ενώ συνήθως η απόχρωση σκουραίνει όσο η τιμές της μεταβλητής μεγαλώνουν. Έτσι σε γεωγραφικούς ή υδρογραφικούς χάρτες το υψόμετρο κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας συμβολίζεται με αποχρώσεις του μπλε, ενώ στις σκούρες αποχρώσεις αντιστοιχούν τα μεγάλα βάθη. Στη περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται η κλίμακα του γκρίζου συνήθως υπάρχει φυσική αντιστοιχία μεταξύ μεταβλητής και χρώματος. Έτσι η βροχή και η απορροή συμβολίζονται με μπλε, το υψόμετρο με καφέ, η θερμοκρασία με κόκκινο κ.λ.π. Στα σχήμα 5α χρησιμοποιείται μία χρωματοκλίμακα με αποχρώσεις του μπλε για την παρουσίαση της κατανομής της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης ενώ στο σχήμα 11, μία χρωματοκλίμακα με αποχρώσεις του κόκκινου για την παρουσίαση της κατανομής της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας.

Στη δεύτερη κατηγορία χρωματοκλιμάκων η κάθε κατηγορία του πεδίου τιμών απεικονίζεται με διαφορετικό χρώμα ενώ σε περιπτώσεις που θα χρειαζόταν μεγάλη ποικιλία χρωμάτων η οποία θα έκανε συγκεχυμένη την εικόνα, απεικονίζονται συνεχόμενες κατηγορίες (2-6) με αποχρώσεις του ίδιου χρώματος. Η διαδοχή των χρωμάτων που χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει την αύξηση των τιμών της μεταβλητής

δεν έχει μέχρι τώρα τυποποιηθεί, ιδιαίτερα στην παρουσίαση των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών. Ακόμη και στους γεωγραφικούς χάρτες που υπάρχει μία σχετική τυποποίηση, υπάρχουν σημαντικές διαφορές όπως για παράδειγμα η απεικόνιση των σημείων με μεγάλο υψόμετρο όπου χρησιμοποιούνται σκούρο καφέ, κόκκινο αλλά και άσπρο. Ορισμένες χρωματοκλίμακες που συναντώνται στη βιβλιογραφία για την παρουσίαση της βροχής αλλά και άλλων μεταβλητών ξεκινάνε από το μπλε και φτάνουν σταδιακά στο κόκκινο συνδέοντας την αύξηση της τιμής με την αύξηση του μήκους κύματος του χρώματος. Άλλες χρωματοκλίμακες που χρησιμοποιούνται στην απεικόνιση της βροχής δεν έχουν καμιά λογική αλλά μάλλον προέρχονται από τυχαίες αντιστοιχίσεις μεταξύ εντάσεων βροχής και συχνοτήτων μετεωρολογικών radar. Τέλος υπάρχουν χρωματοκλίμακες που προσπαθούν να παρουσιάσουν την αύξηση της μεταβλητής με τη χρήση κατάλληλων χρωμάτων που καταφέρνουν να μεταδώσουν στον αναγνώστη του χάρτη τη διακύμανση της μεταβλητής. Η χρήση χρωματοκλιμάκων της πρώτης κατηγορίας έχει το πλεονέκτημα της άμεσης αντίληψης της έντασης της μεταβλητής ανάλογα με την απόχρωση του ίδιου χρώματος αλλά με τις χρωματοκλίμακες της δεύτερης κατηγορίας υπάρχει το πλεονέκτημα της ακριβέστερης αντίληψης και εντοπισμού ορισμένων κατηγοριών της μεταβλητής. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε για την παρουσίαση των βροχοπτώσεων, μία κλίμακα που περιλαμβάνει εκτός του άσπρου και του μαύρου, τρία χρώματα (κίτρινο, πράσινο, κόκκινο) με τέσσερις αποχρώσεις από το κάθε ένα. Το κίτρινο συμβολίζει τις χαμηλές βροχοπτώσεις (συνδέεται με την ξηρασία), το πράσινο τις μέσες (συνδέεται με την ευφορία) και το κόκκινο με τις υψηλές (συνδέεται με τον κίνδυνο). Ακόμη το άσπρο υποδηλώνει τη μηδενική ενώ οι δύο αποχρώσεις του γκριζου τις ασυνήθιστα υψηλές βροχοπτώσεις. Η χρωματοκλίμακα αυτή είναι συμβατή με το συμβολισμό των ξηρών και κανονικών ετών στη έκδοση των κλιματικών χαρτών της Ευρώπης (WMO/UNEP, 1995). Στο σχήμα 5β παρουσιάζεται η κατανομή της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης με τη χρήση αυτής τη χρωματοκλίμακα.

3.4. Γεωγραφική κατανομή της βροχής

Η βροχόπτωση στη περιοχή της Στερεάς Ελλάδας μελετήθηκε με βάση τα ημερήσια δεδομένα 71 βροχομετρικών σταθμών, σε ημερήσια μηνιαία και ετήσια βάση. Ακόμη έγινε η ανάλυση των μέγιστων ημερήσιων βροχοπτώσεων με τα δεδομένα 66 βροχομετρικών σταθμών. Για την παρουσίαση της γεωγραφικής κατανομής της βροχής έγινε χρήση των μεθόδων παρεμβολής και παρουσίασης που παρουσιάστηκαν προηγούμενα. Η χρωματική κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε περιλαμβάνει τέσσερα χρώματα, ενώ οι κατηγορίες του πεδίου τιμών τροποποιούνται ανάλογα με τη χρονική βάση που εξετάζεται η βροχόπτωση. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται αναλυτικά τα οι μέθοδοι και τα αποτελέσματα που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε χρονικό βήμα.

3.4.1. Ημερήσιες, μηνιαίες, ετήσιες βροχοπτώσεις

Με τη σύνδεση της βάσης δεδομένων με το Σ.Γ.Π. γίνεται άμεσα η ανάκτηση των σημειακών μετρήσεων των 71 σταθμών για την επιθυμητή ημέρα, μήνα ή έτος, καθώς και η κατασκευή των επιφανειών με τη χρήση κάποιας από τις μεθόδους παρεμβολής.

Στα σχήματα 6α, 6β παρουσιάζεται η κατανομή της βροχής στις 23-24 Αυγούστου 1990, καθώς και η μέση επιφανειακή βροχόπτωση κάθε ημέρας. Η μέθοδος παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Μ.Σ.Α.Α. Η βροχόπτωση ήταν αποτέλεσμα της διόδου μιας ύφεσης με βορειοδυτική προέλευση και όπως φαίνεται από το σχήμα εκδηλώθηκε σχεδόν στο σύνολο της περιοχής μας εκτός από τη λεκάνη του Αχελώου και το λεκανοπέδιο της Αττικής

3.4.2. Μέσες μηνιαίες, ετήσιες

Η ανάκτηση των μέσων μηνιαίων ή ετήσιων σημειακών τιμών για ορισμένο χρονικό διάστημα γίνεται από τη βάση δεδομένων. Στα Σχήματα 7α και 7β παρουσιάζεται η κατανομή και η μέση τιμή της μέσης μηνιαίας για όλους τους μήνες. Η μέθοδος παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Μ.Σ.Α.Α. Από τα σχήματα φαίνεται ότι οι ορογραφικές βροχοπτώσεις στο δυτικό μέρος της περιοχής μας, καθορίζουν την κατανομή της βροχής ανεξάρτητα από το μήνα. Ακόμη τους χειμερινούς μήνες έχουμε υψηλές βροχοπτώσεις και στην Εύβοια, γεγονός που οφείλεται στην ορογραφία της περιοχής.

Η υπολογισμός της επιφάνειας της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης έγινε με όλες τις μεθόδους παρεμβολής που εξετάστηκαν. Έτσι στα σχήματα 5β, 8α, 8β παρουσιάζεται η επιφάνεια υπολογισμένη με τις μεθόδους M.S.A.A., Kriging και Co-Kriging αντίστοιχα. Η επιφάνεια που έχει προκύψει με την πρώτη μέθοδο έχει πολλές σημειακές εξάρσεις που οφείλονται στη τιμή κάποιων σημειακών μετρήσεων οι οποίες έχουν διατηρηθεί. Αντίθετα η επιφάνεια που έχει υπολογιστεί με τη μέθοδο Kriging είναι αρκετά ομοιογενής και οι τοπικές εξάρσεις έχουν απαλειφεί. Τέλος η τελευταία μέθοδος αξιοποιεί τη συσχέτιση βροχόπτωσης και υψόμετρου και δίνει μεγαλύτερη επιφανειακή βροχόπτωση από τις άλλες δύο μεθόδους.

3.4.3 Μέγιστες ημερήσιες

Στη περιοχή της Στερεάς Ελλάδας έχει αναπτυχθεί μεθοδολογία κατάρτισης ομβρίων καμπυλών που να αξιοποιεί στον υπολογισμό και το πυκνό δίκτυο των βροχομέτρων (Κοζώνης, 1995). Στη εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα της βάσης του ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟΥ και χαράχθηκαν ισοϋέτιες καμπύλες για τα μέγιστα 24ωριαία ύψη και για διάφορες περιόδους επαναφοράς. Στα σχήματα 9 και 10 παρουσιάζονται οι ισοϋέτιες καμπύλες για περιόδους επαναφοράς 5 και 10 ετών. Και πάλι οι περιοχές με μεγάλο υψόμετρο (οροσειρά της Πίνδου, όρος Δίρφος) εμφανίζουν τα μεγαλύτερα ύψη βροχής για τις δεδομένες πιθανότητες.

3.4.4. Μέσες ετήσιες θερμοκρασίες

Η θερμοκρασία στη περιοχή της Στερεάς Ελλάδας μελετήθηκε σε ετήσια βάση, ενώ για τον υπολογισμό της επιφάνειας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Co-Kriging. Στο σχήμα 11 παρουσιάζεται η επιφάνεια της θερμοκρασίας της Στερεάς Ελλάδας με τη χρήση μιας χρωματοκλίμακας του κόκκινου. Όπως είναι αναμενόμενο η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι μεγάλη στις πεδιάδες όπου ξεπερνάει τους 18 βαθμούς ενώ στα μεγάλα υψόμετρα πέφτει και κάτω από 12 βαθμούς.