

# Εκτίμηση πλημμυρικού Κινδύνου στην πόλη των Σερρών με την χρήση μορφομετρικών και υδραυλικών μοντέλων

Χ. Παππας\*

Μηχανικός Γεωπληροφορικής και τοπογραφίας  
Λεωνίδου 23, 166 73, Βούλα Αττικής

Κ. Παπαθεοδώρου

Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Γεωπληροφορικής & Τοπογραφίας, ΤΕΙ Σερρών  
Τέρμα Μαγνησίας, 62 124, Σέρρες

Ι. Φουντούλης

Αναπληρωτής Καθηγητής Τεκτονικής και Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος,  
Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου, 157 84, Αθήνα

\*Τηλ:2108950605/6979337209, E-mail: harpap83@gmail.com

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Στην παρούσα έρευνα παρουσιάζεται η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου για την πόλη των Σερρών, με την χρήση των Γ.Σ.Π και των GPS για τον υπολογισμό μορφομετρικών και υδραυλικών μοντέλων. Η εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου έγινε αρχικά με την οριοθέτηση περιοχών υψηλής πιθανότητας εμφάνισης πλημμύρας εντός των λεκανών των Αγ.Αναργύρων και ανάντη της πόλης των Σερρών και στην συνέχεια με την δημιουργία πλημμυρικών σεναρίων σε τοπική κλίμακα (Πόλη των Σερρών). Για την ανάπτυξη του μορφομετρικού μοντέλου προσδιορίστηκαν σε κλίμακα (1:50.000), η ενέργεια λεκανών απορροής, η ενεργός κλίση, οι πλημμυρικές παροχές, ο δείκτης εδαφικής απώλειας και η στερεοπαροχή. Για την ανάπτυξη του υδραυλικού μοντέλου έγινε η χρήση της μεθοδολογίας του Hec-Ras σε κλίμακα 1:2.500 καθώς και μετρήσεις DGPS (διαφορικού GPS) για την αποτύπωση της γεωμετρίας του υδατορέματος των Αγ.Αναργύρων που βρίσκεται περιφερειακά της πόλης των Σερρών και την διασφάλιση της υψηλής ακρίβειας του μοντέλου. Τέλος από την έρευνα προέκυψαν σενάρια πλημμυρικής επικινδυνότητας βασισμένα σε παροχές βροχοπτώσης με περιόδους επανάληψης 10-ετη, 50-έτη, 100-έτη των οποίων τα αποτελέσματα συμφωνούν με τα στοιχεία της πλημμύρας στις 18-6-2004. Επίσης έγινε δυνατός ο προσδιορισμός σημείων της κοίτης του υδατορέματος των Αγ.Αναργύρων που εισέρχεται στην πόλη των Σερρών, στα οποία θα μπορούσαν να γίνουν παρεμβάσεις σε επίπεδο πρόληψης αλλά και διαχείρισης ενός πλημμυρικού γεγονότος

**Λέξεις Κλειδιά:** πλημμυρικός κίνδυνος, υδραυλικό μοντέλο, ενέργεια λεκανών, επιμήκεις τοπογραφικές τομές, Σέρρες

**ABSTRACT:** The present research aims to the evaluation of flood hazard in the city of Serres. For many years, floods occurred in this area caused serious consequences in infrastructures and civic structures. The need for a strategic prevention plan against natural hazards, led to the integration of new technologies (such as GIS and GPS) and morphometric and hydraulic models. The flood hazard assessment was initially achieved by identifying the areas, within the basins of Ag. Anargyroi and Ag. Varvara, that showed high probability of flood occurrence, and secondly, by creating flood scenarios-models on a local scale. Various methodologies including the construction of longitudinal profiles of watercourses and hydrological simulation in the selected drainage basins were applied at a regional scale (1:50.000) in order to estimate morphometric model parameters. The Hydraulic model was used in Ag. Anargyroi river using Hec-Ras in GIS environment at local scale (1:2.500). Differential GPS surveying in the area, provided high accuracy elevation data increasing the overall credibility and accuracy of the hydraulic model used. The

methodologies used, helped investigate 3 different flood scenarios based on different discharge predictions (10-year, 50-years, 100-years). Flood Hazard assessment results in this case, were validated using data recorded during the 18-6-2004 flood event that occurred in the city of Serres. Validation lead to the conclusion that the methodologies used lead to credible and accurate results and can be used to evaluate flood hazard in other places.

**Keywords:** flood hazard, hec-ras, hec-georas, longitudinal profiles, serres, energy basin

## Ι. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο κύριος στόχος της εργασίας είναι η εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου τόσο σε περιφερειακή ("1:50.000") όσο και σε τοπική κλίμακα ("1:5.000"). Στη συγκεκριμένη έρευνα, με την χρήση μεθοδολογιών που εφαρμόζονται σε περιφερειακή κλίμακα, έγινε μια πρώτη οριοθέτηση και ιεράρχηση των περιοχών υψηλής επικινδυνότητας (στα όρια μίας λεκάνης απορροής) και έπειτα, με την χρήση μεθοδολογιών τοπικής κλίμακας, έγινε η διερεύνηση και εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου σε μια συγκεκριμένη περιοχή μεγάλης πλημμυρικής επικινδυνότητας, εντός της πόλης των Σερρών.

Η επιλογή των μεθοδολογικών εφαρμογών υδρογεωλογική προσέγγιση, υδραυλική προσομοίωση-ανάλυση-Hec-Ras [1], βασίστηκε στη δυνατότητά τους να παρέχουν με, χαμηλό κόστος, αξιόπιστη και ακριβή εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου. Σε συνδυασμό με την έρευνα στο πεδίο, τέτοιες μεθοδολογικές προσεγγίσεις μπορούν να αποτελέσουν μία ολοκληρωμένη πρόταση στα πλαίσια της πρόληψης του πλημμυρικού κινδύνου, με ικανοποιητικά αποτελέσματα που ωστόσο, εξαρτώνται από την κλίμακα της επιτόπου έρευνας και την ποιότητα των δεδομένων που συλλέγονται ή δημιουργούνται.

Αναλυτικότερα, η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε σε περιφερειακή κλίμακα (1:50.000), βασίστηκε στην ανάπτυξη μορφομετρικών μοντέλων και στην παραγωγή σύνθετων ψηφιακών δεδομένων. Οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν περιέλαβαν:

- την παραγωγή ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων εδάφους (κλίμακας 1:50.000),
- την στατιστική επεξεργασία ημερήσιων βροχομετρικών στοιχείων,

- την κατασκευή και ανάλυση επιμήκων τοπογραφικών προφίλ σε κύριο και δευτερεύοντες κλάδους του υδρογραφικού δικτύου των λεκανών,
- την παραγωγή χαρτών ενέργειας λεκανών
- την υδρολογική προσομοίωση των λεκανών απορροής,
- τον υπολογισμό της μεταβολής της ενεργούς κλίσης (μετά από στατιστική ανάλυση των ιστογραμμάτων των εικόνων).

Η ανάγκη λεπτομερέστερης διερεύνησης των πλημμυρικών προβλημάτων στην πόλη των Σερρών και η ανάπτυξη μίας μεθοδολογικής εφαρμογής στην οποία συνυπολογίζονται: α) η υδραυλική ανάλυση των περιφερειακών υδατορεμάτων, β) οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στους κλάδους του υδρογραφικού δικτύου, οδήγησε στην επιλογή του λογισμικού Hec-Ras, Hec-GeoRas (*Hydrologic Engineering Center – River Analysis System*).

Η υδραυλική ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε κλίμακα ανάλυσης (1:2.500) και σημαντικό τμήμα της εφαρμογής ήταν η παραγωγή ενός ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου εδάφους ανάλυσης υψηλότερης από 2,5m. Το συγκεκριμένο ΨΥΜΕ κατασκευάστηκε βάσει:

- της λήψης επίγειων τοπογραφικών μετρήσεων με την χρήση DGPS και ψηφιοποίησης τους μέσω των Γ.Σ.Π
- των ισοϋψών υψομετρικών καμπυλών ισοδιάστασης 2m, που ψηφιοποιήθηκαν από χάρτες της Γ.Υ.Σ.

Ο συνδυασμός αυτός καλύπτει τις ελλείψεις που παρουσιάζονται στους τοπογραφικούς χάρτες 1:5.000, όσον αφορά την γεωμετρία του υδατορέματος των Αγ. Αναργύρων.

Από την χρήση του υδραυλικού μοντέλου Hec-Ras δημιουργήθηκαν 3 σενάρια πλημμυρικής επικινδυνότητας για την πόλη των Σερρών.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε επιτόπου έρευνα στις λεκάνες απορροής των υδατορεμάτων που περιβάλλουν την πόλη των Σερρών. Τα χαρακτηριστικά που ερευνήθηκαν ήταν: α) τα μορφολογικά στοιχεία των λεκανών, β) η εξάπλωση των γεωλογικών σχηματισμών, γ) η ύπαρξη φαινομένων έντονης διάβρωσης, δ) η ύπαρξη κατολισθήσεων στα πρηνή των υδατορευμάτων της περιοχής και ε) οι παράγοντες που ευνοούν την στερεοπαροχή και τη μεταφορά φερτών υλικών μετά από ραγδαίες βροχοπτώσεις.

## II. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η πόλη των Σερρών είναι η πρωτεύουσα του Νομού Σερρών και βρίσκεται χτισμένη στους πρόποδες του όρους Μενοικίου σε υψόμετρο 50m από την επιφάνεια της θάλασσας, στην κοιλάδα του ποταμού Στρυμόνα, με έκταση 100 Km<sup>2</sup>. Έχει πληθυσμό 54.266 κατοίκους (ΕΣΥΕ, 2001).

Οι μεθοδολογίες που επιλέχθηκαν, εφαρμόστηκαν στα ρέματα που βρίσκονται περιφερειακά της πόλης

των Σερρών και τα οποία στο παρελθόν είχαν προκαλέσει πλημμυρικά φαινόμενα με σοβαρές συνέπειες για την πόλη. Συγκεκριμένα η έρευνα πραγματοποιήθηκε στην λεκάνη απορροής του υδατορέματος των Αγ.Αναργύρων. Επίσης, μέρος της έρευνας επεκτάθηκε και στο υδατόρεμα της Αγίας Βαρθάρας στα δυτικά της πόλης των Σερρών αλλά και στο υδατόρεμα του Αγίου Γεωργίου, ανατολικά της πόλης. Η λεκάνη απορροής του ρέματος των Αγίων Αναργύρων βρίσκεται ΒΑ της πόλης των Σερρών. Η έκταση της λεκάνης απορροής υπολογίζεται γύρω στα 78 Km<sup>2</sup> και έχει μήκος κύριας μισογάγγειας περίπου 26 Km. Το υδατόρεμα διασχίζει την πόλη των Σερρών, Β,ΒΑ στην λεγόμενη κοιλάδα των Αγίων Αναργύρων. Στην “κοιλάδα” έχουν πραγματοποιηθεί παρεμβάσεις με στόχο την οικονομική ανάπτυξη της περιοχής και αποτέλεσμα την διευθέτηση της κοίτης του υδατορέματος. Το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης απορροής αποτελείται από μικτούς γεωλογικούς σχηματισμούς. Στα νότια τμήματα της λεκάνης υπάρχουν εδαφικοί – ποταμοχειμάριοι σχηματισμοί που αποτελούνται κυρίως από άμμους και καστανοκόκκινους πηλούς. Σε μερικά σημεία επίσης συναντώνται ερυθρογή με κροκάλες, χαλίκια μαρμάρων και διάφορα κρυσταλοσχιστώδη πετρώματα [2].

Στα ανάντη τμήματα της λεκάνης απαντώνται ημιεδαφικοί σχηματισμοί λιμναίας φάσης. Οι σχηματισμοί αυτοί αποτελούνται από εδάφη αργιλικά και αμμώδη. Σε μερικές θέσεις παρατηρούνται στρώσεις λιγνίτη και ορίζοντες από σκουροκόκκινους πηλούς καθώς και παρεμβολές μικρού μεγέθους από μάργες. Ανατολικά της λεκάνης εμφανίζονται λιμνοθαλάσσιοι σχηματισμοί μαργαϊκών και τραβερτινοειδών ασβεστόλιθων. Συνεχίζοντας, στο δυτικό τμήμα της λεκάνης συναντώνται εδαφικοί – ημιεδαφικοί σχηματισμοί θαλάσσιας φάσης. Στο κέντρο της λεκάνης απορροής παρατηρούνται ολισθολίθοι με μεικτό κροκαλοπαγές ή και σε άλλες περιπτώσεις γρανιτογενευσιακού υλικού [2]. Το βορειότερο τμήμα της λεκάνης απορροής χαρακτηρίζεται καθαρά βραχώδες. Οι κλιματικές συνθήκες στην περιοχή μελέτης χαρακτηρίζονται από αυξημένα ύψη βροχής και μέση μηνιαία θερμοκρασία 15 βαθμούς κελσίου.

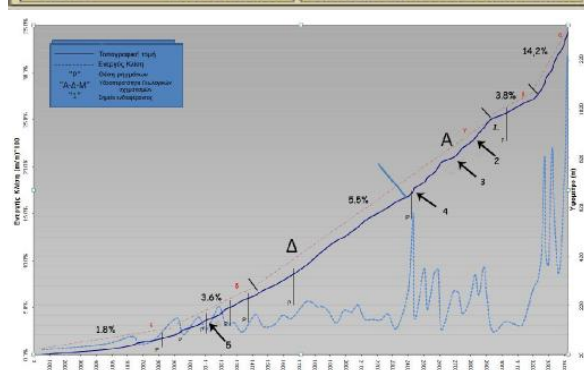
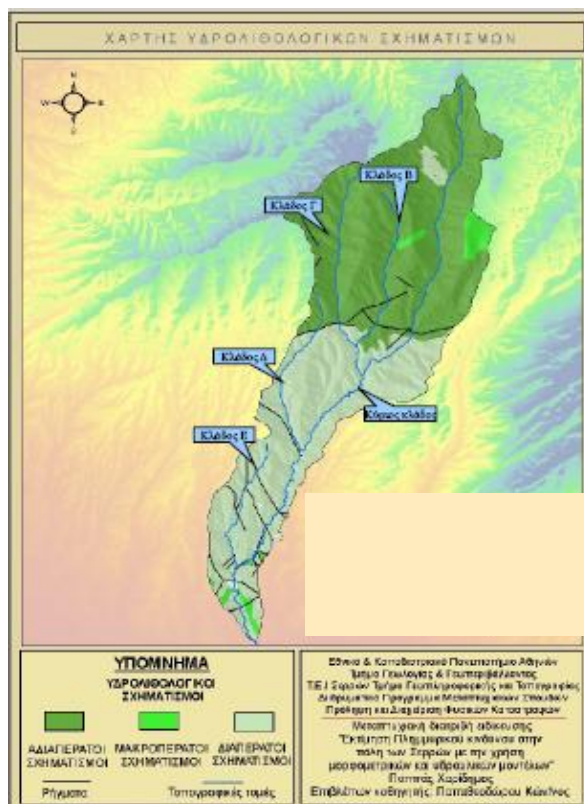
## III. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ

Το μορφομετρικό μοντέλο που εφαρμόστηκε, αφορά την ανάπτυξη της μεθοδολογίας σε περιφερειακή κλίμακα 1:50.000, [3],[4],[5],[13] με παραμέτρους όπως: κατασκευή επιμήκων τοπογραφικών τομών, στατιστική επεξεργασία και ανάλυση βροχομετρικών δεδομένων, ενέργεια λεκανών απορροής, υπολογισμός της μεταβολής της ενεργούς κλίσης, παραγωγή ψηφιακού υδρογραφικού δικτύου, παραγωγή χαρτών ολικού αναγλύφου και μέσης κλίσης λεκανών, λήψη φωτογραφιών και καταγραφή σημείων ενδιαφέροντος με GPS. Βασικός στόχος της

μεθοδολογικής προσέγγισης ήταν καταρχήν η δημιουργία ενός χάρτη Ενέργειας Λεκανών, έτσι ώστε να οριοθετηθούν οι περιοχές στις οποίες είναι πιθανόν να εκδηλωθεί πλημμύρα καθώς και στην συνέχεια να προσδιοριστεί ο βαθμός επικινδυνότητας των πλημμυρικών φαινομένων. Τα δεδομένα που ψηφιοποιήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν ήταν:

- Δορυφορικές εικόνες του Landsat 7 ETM+, φασματικοί δίαυλοι 1-7 (path/row 183/031),
- Ισοψείς καμπύλες, υψομετρικά σημεία, Υ/Δ από τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ κλίμακας 1:50.000,
- Γεωλογικοί σχηματισμοί και ρήγματα από γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε, κλίμακας 1:50.000,
- Δεδομένα Χρήσεων γης από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα Corine 2000,
- Βροχομετρικά στοιχεία και ημερήσιο ύψος βροχής για διάστημα περίπου 27 ετών (ΕΜΥ) από βροχομετρικούς σταθμούς Σερρών και Κάτω Ορεινής.

#### Α) Επιμήκειες τοπογραφικές τομές

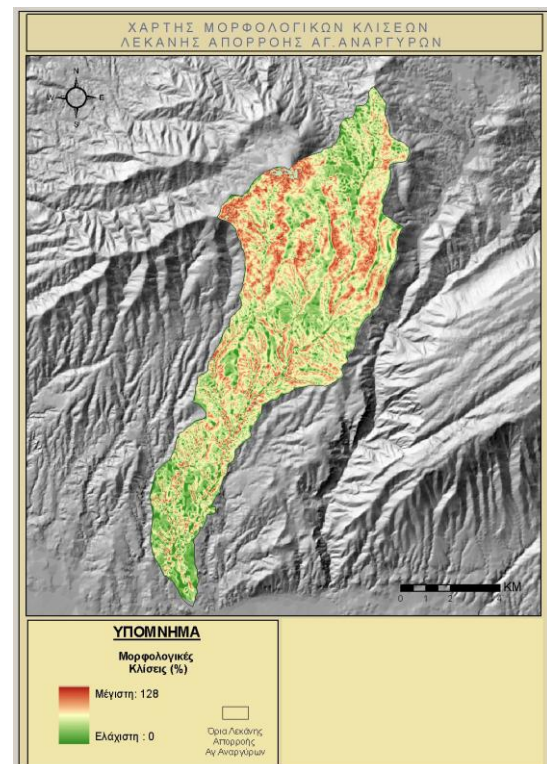


Εικόνα 1 – Υδρολιθολογικός Χάρτης γεωλογικών σχηματισμών  
Σχήμα 1α– Τομή κύριου κλάδου υδατορέματος Αγ. Αναργύρων

Με σκοπό να αναλυθούν τα σημεία απότομης αλλαγής της ενεργούς κλίσης στην κοίτη των υδατορεμάτων δημιουργήθηκαν πέντε επιμήκειες τοπογραφικές τομές. Για κάθε τοπογραφική τομή έγινε ο διαχωρισμός τμημάτων με κριτήριο τη μέση κλίση έτσι ώστε να εντοπιστούν τα σημεία της απότομης αλλαγής της ενεργούς κλίσης. Επίσης, σημειώθηκαν οι θέσεις των ρηγμάτων που απαντώνται κατά μήκος των τόμων, αλλά και οι θέσεις αλλαγής των υδρολιθολογικών στοιχείων. Από τις επιμήκειες τοπογραφικές τομές εντοπίστηκε ότι στην ευρύτερη περιοχή της Άνω Ορεινής Σερρών αλλά και ανάντη της περιοχής μελέτης, παρατηρούνται απότομες αλλαγές στην κλίση με συνέπεια την αύξηση της ενέργειας των ρεμάτων και με πιθανό αποτέλεσμα την εκδήλωση πλημμυρικών φαινομένων στις κατάντη περιοχές, μετά από ακραία καιρικά φαινόμενα και υψηλές πλημμυρικές παροχές.

#### Β) Ενέργεια Λεκανών απορροής

Η παράμετρος της ενέργειας Λεκανών υπολογίζεται για το σύνολο της επιφάνειας μίας λεκάνης απορροής και αποδίδεται ως ένα σημειακό επίπεδο πληροφορίας το οποίο αφορά τα στόμια κάθε λεκάνης απορροής, δηλαδή τα σημεία εξόδου της υδάτινης μάζας. Κάθε λεκάνη απορροής, έχει το δικό της στόμιο το οποίο έχει και μία συγκεκριμένη τιμή



Εικόνα 2 – Χάρτης μορφομετρικών κλίσεων

που μεταφράζεται ως η τιμή στην οποία η συνολική δυναμική ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε κινητική. Οι παράμετροι που επηρεάζουν το μέτρο εκτόνωσης της ενέργειας στα στόμια των λεκανών, αφορούν τα εξής γεωμετρικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής:

- Έκταση λεκάνης
- Μέσο υψόμετρο λεκάνης

$H_m = \Sigma (\alpha * \epsilon) / E$ , όπου,  $H_m$  = μέσο υψόμετρο,  $\alpha$  = εμβαδόν επιφάνειας μεταξύ δύο διαδοχικών ισοϋψών,  $\epsilon$  = ημιάθροισμα των τιμών δύο διαδοχικών ισοϋψών,  $E$  = συνολικό εμβαδό λεκάνης

- Μέση κλίση λεκάνης

$P = (D * L) / E$ , όπου,  $P$  = μέση κλίση,  $D$  = Ισοδιάσταση,  $L$  = συνολικό μήκος ισοϋψών,  $E$  = επιφάνεια

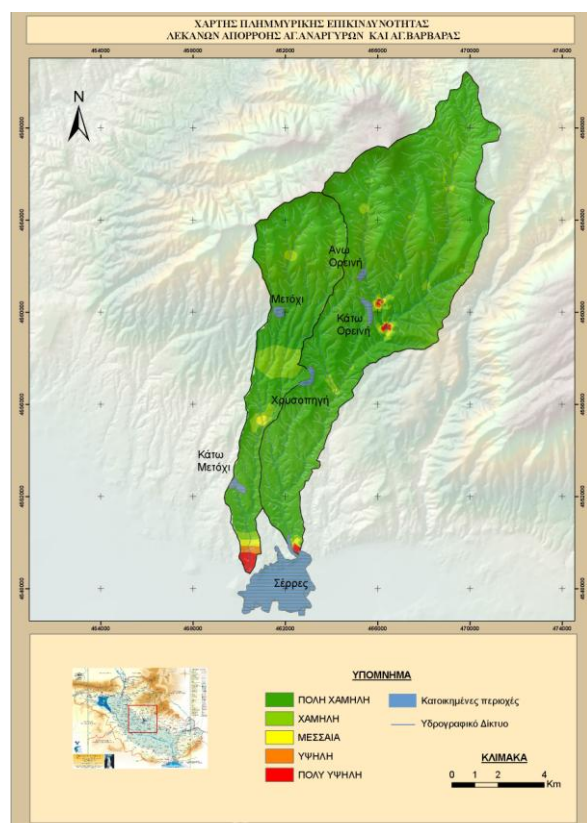
- Ολικό ανάγλυφο

$H = Z_{max} - Z_{min}$  όπου,  $H$  = ολικό ανάγλυφο,  $Z_{max}$  = μέγιστο υψόμετρο λεκάνης,  $Z_{min}$  = ελάχιστο υψόμετρο λεκάνης

Οι παραπάνω γεωμετρικοί παράγοντες συμπεριλήφθηκαν σε ένα γινόμενο που αφορούσε ξέχωρα κάθε λεκάνη απορροής με απώτερο σκοπό την ποσοτική περιγραφή του μέτρου του ρυθμού εκτόνωσης της ενέργειας αυτών. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο υπολογισμός του γινομένου της ενέργειας λεκάνης έγινε για τα στόμια όλων των λεκανών απορροής, ανεξαρτήτως τάξης και ασχέτως αν περιέχονται λεκάνες μικρότερης τάξης ή περιέχονται σε λεκάνες μεγαλύτερης τάξης. Με αυτόν το τρόπο μπορούν να απεικονιστούν όλες οι μεταβολές μεταξύ των περιοχών που βρίσκονται σε μία μεγαλύτερης τάξης λεκάνη.

Γ) Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου λεκάνης απορροής Αγ. Αναργύρων

Για την παραγωγή του χάρτη πλημμυρικού κινδύνου, προσδιορίστηκε η κατανομή των τιμών της ενέργειας λεκανών χρησιμοποιώντας την μέθοδο της χωρικής παρεμβολής IDW (Inverse Distance Weighted).



Οι τιμές που ελήφθησαν υπόψη στην παρεμβολή ήταν οι τιμές της ενέργειας λεκάνης και τα μηδενικά σημεία ως σημεία που ορίζουν τους επιμέρους υδροκρίτες των υπολεκανών. Τα τελικά αποτελέσματα του χάρτη πλημμυρικού κινδύνου για την λεκάνη των Αγ. Αναργύρων και Αγ. Βαρβάρας αναλύθηκαν ποιοτικά αλλά και ποσοτικά. Όπως βρέθηκε, σε περιοχές όπου η μορφολογική κλίση μειώνεται απότομα, προκύπτουν τιμές υψηλής επικινδυνότητας κάτι απόλυτα φυσιολογικό, δεδομένου ότι στις θέσεις αυτές μειώνεται η μεταφορική ικανότητα του νερού των χειμάρρων με αποτέλεσμα την απόθεση πλεοναζόντων υλικών στην κοίτη και την επακόλουθη μείωση της διατομής της. Συγκεκριμένα, αυτές οι περιοχές εμφανίζονται Βόρεια στην λεκάνη απορροής Αγ. Αναργύρων και στην ευρύτερη περιοχή της κάτω Ορεινής. Στα συγκεκριμένα σημεία φαίνεται ότι οι περιοχές υψηλής επικινδυνότητας παρουσιάζονται στα σημεία όπου αλλάζει η υδρολιθολογία και επιδρούν τα τεκτονικά φαινόμενα. Επίσης στις περιοχές αυτές παρουσιάζεται υψηλή διάβρωση που συμβάλλει στην αυξημένη παραγωγή στερεών υλικών [6] και μεταφορά του μέσω του ποτάμιου συστήματος. Πολύ υψηλή επικινδυνότητα παρουσιάζεται επίσης στη ρεματιά που βρίσκεται ανάντη του οικισμού της Χρυσοπηγής και συγκεκριμένα στην θέση (23° 35' 52,364" E, 41° 11' 8,17" N) αλλά και στις παρυφές της πόλης των Σερρών. Η τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων συνδυάστηκε και με τις παρατηρήσεις υπαίθρου στις λεκάνες απορροής Αγ. Αναργύρων, Αγ. Βαρβάρας και Αγ. Γεωργίου. Η γενική εικόνα από αυτές τις λεκάνες απορροής είναι οι διαβρωμένες πλαγιές τους. Η κατάσταση του εδαφικού ορίζοντα σε συνδυασμό με τις ισχυρές βροχοπτώσεις που εκδηλώνονται στα ορεινά κομμάτια των λεκανών, συμβάλλουν στην υψηλή απόθεση στερεού υλικού στην κοίτη των υδατορεμάτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η πλημμύρα του 2004 και η μεταφορά του στερεού υλικού στους δρόμους της πόλης των Σερρών.

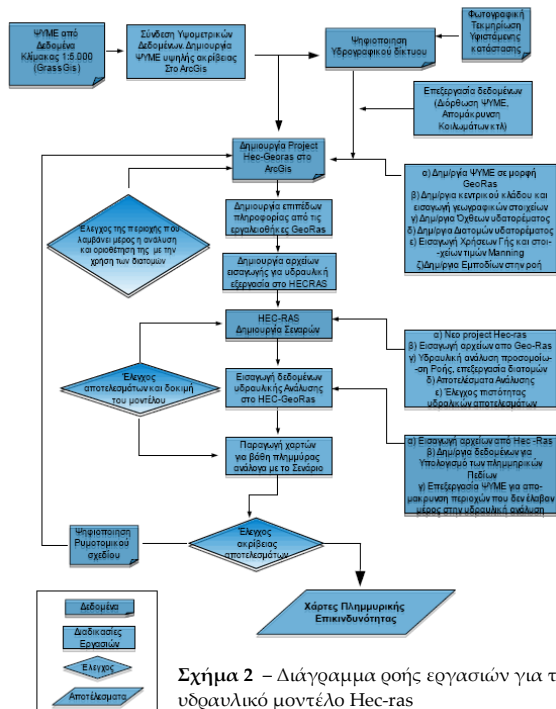
#### IV. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΩΝ ΣΕΡΡΩΝ

Για την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου στην πόλη των Σερρών χρησιμοποιήθηκε το υδραυλικό μοντέλο Hec-Ras. Το υπολογιστικό υδραυλικό μοντέλο HEC-RAS (River Analysis System, US Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center (HEC) [1] είναι ένα λογισμικό σύστημα που επιτυγχάνει την υδραυλική προσομοίωση ενός υδατορέματος. Το συγκεκριμένο λογισμικό υπολογίζει:

- τη βαθμιαία μεταβαλλόμενη ροή για τα υδατορέματα,
- το προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας του νερού ανάλογα με το είδος ροής ενός υδατορέματος (μόνιμη ή μη μόνιμη βαθμιαία μεταβαλλόμενη ροή σε περιπτώσεις υποκρίσιμης, υπερκρίσιμης ή μεικτής ροής).

Εικόνα 3 – Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου λεκάνης απορροής Αγ. Αναργύρων και Αγ. Βαρβάρας

Επίσης στους υπολογισμούς περιλαμβάνονται και διάφορα στοιχεία, όπως κατασκευές, εμπόδια κατά μήκος της ροής, γέφυρες, φράγματα, αναβαθμοί, οχετοί, χρήσεις γης κτλ. Βασικός στόχος της συγκεκριμένης μεθοδολογικής προσέγγισης ήταν η δημιουργία πλημμυρικών σεναρίων, έτσι ώστε να προσδιοριστούν τα ακριβή χαρακτηριστικά ενός πιθανού πλημμυρικού γεγονότος. Η εφαρμογή περιελάμβανε πέντε στάδια α) Προετοιμασία, αξιολόγηση, σύνθεση ψηφιακών δεδομένων, β) εργασία στο πεδίο, λήψη επίγειων τοπογραφικών μετρήσεων με την χρήση διαφορικού DGPS, γ)



Σχήμα 2 – Διάγραμμα ροής εργασιών για το υδραυλικό μοντέλο Hec-ras

υδραυλική ανάλυση μέσω Hec-Ras/GeoRas, δ) ανάλυση-έλεγχος αποτελεσμάτων, ε) δημιουργία χάρτη πλημμυρικού κινδύνου/πλημμυρικών σεναρίων. Τα δεδομένα που ψηφιοποιήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν για την περιοχή μελέτης ήταν:

- ισούψειες καμπύλες και υδρογραφικό δίκτυο από τοπογραφικούς χάρτες της Γ.Υ.Σ με κλίμακα 1:5.000
- δεδομένα χρήσεων γης από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα Corine 2000,
- βροχομετρικά στοιχεία και ημερήσιο ύψος βροχής για διάστημα περίπου 27 ετών (ΕΜΥ) από τους βροχομετρικούς σταθμούς Σεργών και Κάτω Ορεινής,
- τοπογραφική αποτύπωση της κοίτης του ρέματος (οριζοντιογραφία, μηκοτομή ρέματος) Μελέτη γεφυρών κοιλάδας Αγ.Αναργύρων Δ.Σεργών (Τσέλιου, Νικομήδειας) Δ.Τ.Υ.Ν. Σεργών,
- ρυμοτομικό σχέδιο Δ. Σεργών,

Η λήψη τοπογραφικών μετρήσεων έγινε με την χρήση του διαφορικού δέκτη της Magellan, Promark 3. Ο δέκτης Gps Promark 3 είναι δέκτης μονής συχνότητας (L1 C / A) λήψης σημάτων EGNOS/WAAS.

Ως περιοχή μελέτης ορίστηκε η “κοιλάδα” αναψυχής των Αγ. Αναργύρων. Στην περιοχή αυτή παρουσιάζονται οι κυριότερες διευθετήσεις στην κοίτη του υδατορέματος που στο παρελθόν έχουν δημιουργήσει αρκετά προβλήματα (πλημμύρα 18-6-2004).

Α) Περιγραφή της μοντελοποίησης στο HEC-RAS  
Τα βασικά δεδομένα της μοντελοποίησης που έγινε σε αυτήν την μεθοδολογική προσέγγιση, είναι το ΨΥΜΕ, η παροχή  $Q$  ( $m^3/sec$ ), οι χρήσεις γης, οι τιμές Manning και τα γεωμετρικά στοιχεία του υδατορέματος. Στην περίπτωση του υδατορέματος της περιοχής μελέτης, η ροή θεωρείται μόνιμη, επομένως γίνεται η παραδοχή ότι το βάθος, η παροχή  $Q$  ( $m^3/sec$ ) και η μέση ταχύτητα ροής δεν μεταβάλλονται με το χρόνο, γεγονός όμως που δεν συμβαίνει στην πραγματικότητα [7]. Στην συγκεκριμένη περίπτωση

Πίνακας 1 - Παραδοχή Τιμών Manning

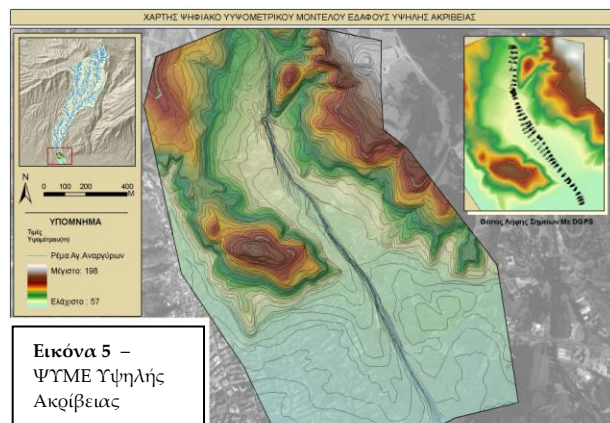
| Θέσεις                                                         | Συντ. Manning (n) |
|----------------------------------------------------------------|-------------------|
| Αστική Περιοχή                                                 | 0,05              |
| Υδατόρεμα Αγ.Αναργύρων (Υδατόρεμα με βλάστηση στα πρανή)       | 0,040             |
| Περιοχές εκατέρωθεν του Υδατορέματος (Καλλιεργήσιμες εκτάσεις) | 0,06              |

στόχος είναι να μελετηθεί η λειτουργία του υδατορέματος και οι περιπτώσεις που θα πλημμυρίσει. Μετά από την δημιουργία των γεωμετρικών στοιχείων μέσω του Hec-GeoRas, έγινε η επεξεργασία και ανάλυση των τιμών Manning [8].

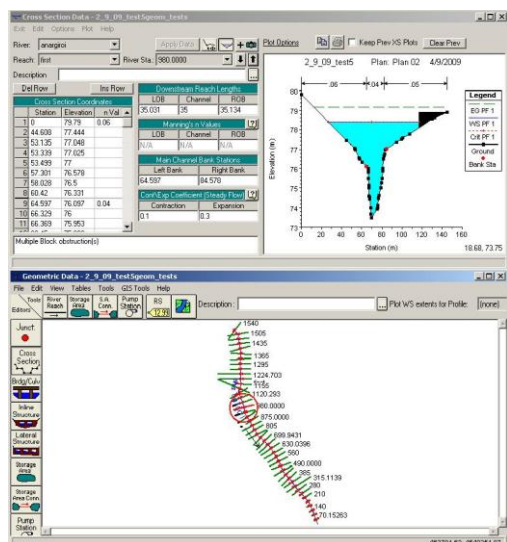


Εικόνα 4 – Επίπεδα πληροφορίας Hec-GeoRas

Οι τιμές Manning αφορούν τη μεταβολή του συντελεστή τριβής Manning και καθορίζουν τις ζώνες πλημμύρας των τμημάτων του υδατορέματος. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται και ο προσδιορισμός της παροχευτικότητας και των απωλειών ενέργειας του ύδατος. Ανάλογα με τις χρήσεις γης η τιμή Manning, εισάγει στους



υπολογισμούς, την επίδραση της βλάστησης και της κατάστασης της κοίτης του υδατορέματος στο πλημμυρικό πρόβλημα. Τα γεωμετρικά δεδομένα του υδατορέματος, εισάγονται στους υπολογισμούς με την χρήση των κάθετων τοπογραφικών διατομών (XsCutLines). Με αυτόν το τρόπο γίνεται η



**Σχήμα 3 – Επεξεργασία διατομών υδατορέματος στο HEC-RAS**

διαδιάστατη απεικόνιση της κοίτης του ρέματος και υπολογίζεται στα σημεία κάθε διατομής η παροχτευτική ικανότητα καθώς και οι ζώνες πλημμύρας. Οι διατομές απαιτούνται σε χαρακτηριστικές θέσεις του ρέματος και σε θέσεις που συμβαίνουν αλλαγές στην παροχή, την κλίση, την μορφολογία, την τραχύτητα καθώς και εκεί όπου υπάρχουν σημαντικές υδραυλικές κατασκευές (γέφυρες, αναβαθμοί) ή εμπόδια. Ωστόσο η ανάλυση των αποτελεσμάτων έδειξε κάποια σφάλματα σχετικά με την αποτύπωση της γεωμετρίας του υδατορέματος. Έτσι χειροκίνητα έπρεπε να πραγματοποιηθούν διορθώσεις στις διατομές (στο περιβάλλον του Hec-ras), έτσι ώστε να γίνει σωστά ο

προσδιορισμός των πλημμυρικών απορροών από τον αλγόριθμο. Για κάθε σενάριο εξετάστηκαν οι ταχύτητες του νερού, η κλίση του πυθμένα, η στάθμη του νερού, έτσι ώστε να ελέγχεται η πιστότητα των αποτελεσμάτων και το πόσο ταυτίζονται με την πραγματικότητα. Σε κάποιες περιπτώσεις εξαιτίας των ανθρωπογενών παρεμβάσεων στην κοίτη του υδατορέματος – κάτι που αποτυπώνεται στην γεωμετρία του - ο αλγόριθμος είχε αστοχίες, αφού παρουσίαζε στους υπολογισμούς ακραίες τιμές ταχύτητας του νερού, κάτι που δεν συνδεόταν με την παροχή η οποία είχε εισαχθεί ως αρχικός παράγοντας καθορισμού της ροής.

Β) Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου για την πόλη των Τα βασικά στοιχεία για την εκτέλεση των πλημμυρικών σεναρίων είναι: α) τα απαραίτητα στοιχεία πλημμυρικής παροχής (για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους και β) τα στοιχεία οριακών συνθηκών της μόνιμης ροής. Σε αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι δημιουργήθηκαν τρία σενάρια, βάσει της διαφορετικής πλημμυρικής παροχής αιχμής. Επιλέχθηκαν οι 3 παροχές ( $Q=64,05\text{m}^3/\text{s}$  ,  $Q=117,46\text{m}^3/\text{s}$  ,  $Q=240,85\text{m}^3/\text{s}$ ) σύμφωνα με τις βιβλιογραφικές αναφορές [10] και την επεξεργασία των ημερησίων βροχομετρικών στοιχείων (περίοδοι επανάληψης 10 έτη, 50 έτη, 100 έτη αντίστοιχα).



**Εικόνα 6 – Χάσσης πλημμυρικού κινδύνου – Σενάριο 1-B**

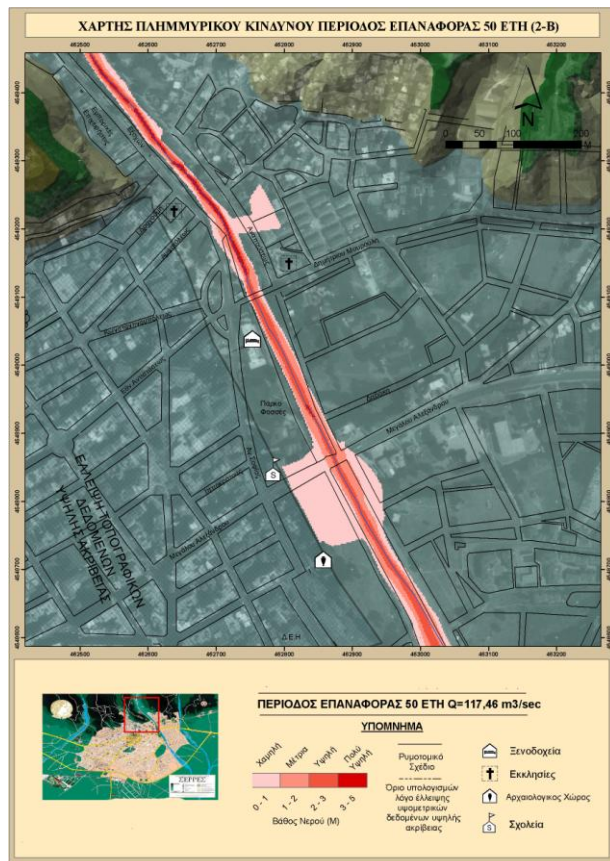
H δημιουργία του Χάρτη πλημμυρικού κινδύνου πραγματοποιήθηκε με την εισαγωγή επιπέδων πληροφορίας που αφορούσαν την μορφολογία της περιοχής (ΨΥΜΕ), την προσομοίωση της ροής του υδατορέματος (Hec-Ras) και των θυμωτικών

σχεδίων της πόλης των Σερρών. Να σημειωθεί ότι λόγω της έλλειψης μελετών ή καταγραφών πλημμυρικών πεδίων παλαιότερων πλημμυρών, η εκτίμηση, αξιολόγηση και έλεγχος των αποτελεσμάτων του τελικού χάρτη, έγινε βάσει της εξέλιξης του γεγονότος της πλημμύρας του 2004 και των καταστροφών που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή της πόλης των Σερρών.

Στο σενάριο 2 βλέπουμε ότι σε περίοδο επανάλιψης 50 ετών με πλημμυρική παροχή  $117,4 \text{ m}^3/\text{s}$ , αρχίζουν και παρατηρούνται αρκετά σημεία στα οποία το νερό

ως περιοχές υψηλής επικινδυνότητας, οι περιοχές κατάντη της Ορεινής Σερρών και η ευρύτερη περιοχή στις παρυφές της πόλης των Σερρών (ΝΑ της λεκάνης απορροής των Αγ. Αναργύρων). Συγκεκριμένα η περιοχή που χρήζει ιδιαίτερης ανάλυσης σε τοπική κλίμακα, οριοθετήθηκε ως η ευρύτερη περιοχή της κοιλάδας αναψυχής της πόλης των Σερρών, όπου και εντοπίζεται το υδατόρεμα των Αγ. Αναργύρων. Επιπλέον, η ανάλυση δεδομένων του αναγλύφου, ο υπολογισμός των στερεοπαροχών και η αρκετά καλή συσχέτιση τους με τις παρατηρήσεις υπαίθρου, έδειξε ότι οι περιοχές όπου απαντώνται γεωλογικοί σχηματισμοί με αργιλικό συνθετικό υλικό (όπως π.χ οι μάργες, που απαντώνται στην περιοχή της Ορεινής Σερρών), συμβάλουν στα κατολισθητικά φαινόμενα που παρατηρούνται κατά μήκος της κοίτης του υδατορέματος των Αγ. Αναργύρων.

Όπως προέκυψε από την εφαρμογή του υδραυλικού μοντέλου Hec-Ras, στην περιοχή της κοιλάδας αναψυχής των Αγ. Αναργύρων, παρουσιάζονται αρκετά σημεία υψηλής επικινδυνότητας. Η δημιουργία σεναρίων επικινδυνότητας μέσω του HEC-RAS, Hec-Georas και των Γ.Σ.Π, κατέστησε δυνατό τον προσδιορισμό των σημείων στα οποία παρατηρούνται υπερχειλίσεις στο υδατόρεμα. Γενικότερα σε μία επικείμενη ραγδαία βροχόπτωση (Σενάριο 2, Περίοδος επαναφοράς 50 ετη.  $Q=117,46 \text{ m}^3/\text{s}$ , Σενάριο 3, Περίοδος επαναφοράς 100 ετη.  $Q=240,85 \text{ m}^3/\text{sec}$ ) φαίνεται ότι το υδατόρεμα δεν είναι ικανό να συγκρατήσει υψηλές ποσότητες ύδατος, με αποτέλεσμα την πιθανή εκδήλωση πλημμύρας.

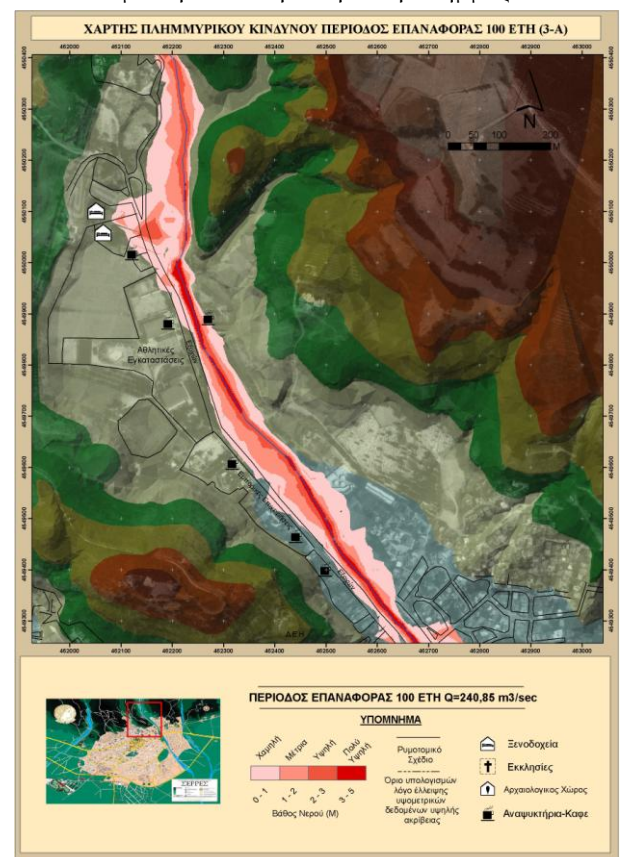


Εικόνα 7 – Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου – Σενάριο 2-B

υπερβαίνει τα πρανή των υφιστάμενων διατομών κατά μήκος του υδατορέματος. Στο σενάριο 3 βλέπουμε ότι σε περίοδο επανάλιψης 100 ετών με πλημμυρική παροχή  $240,85 \text{ m}^3/\text{s}$ , το νερό υπερβαίνει τα πρανή των υφιστάμενων διατομών σχεδόν σε όλο το μήκος του υδατορέματος. Το σενάριο 3 μπορεί να συνδεθεί με τα γεγονότα της πλημμύρας του 2004 αφού έχουν οριοθετηθεί με μεγάλη ακρίβεια τα σημεία υπερχειλίσας του υδατορέματος. Βάση των μαρτυριών και των καταγραφών από τις αρμόδιες υπηρεσίες (Δήμος- Νομαρχία) η υπερχειλίση έγινε σε αρκετά σημεία του υδατορέματος στην κοιλάδα των Αγ. Αναργύρων.

## V. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

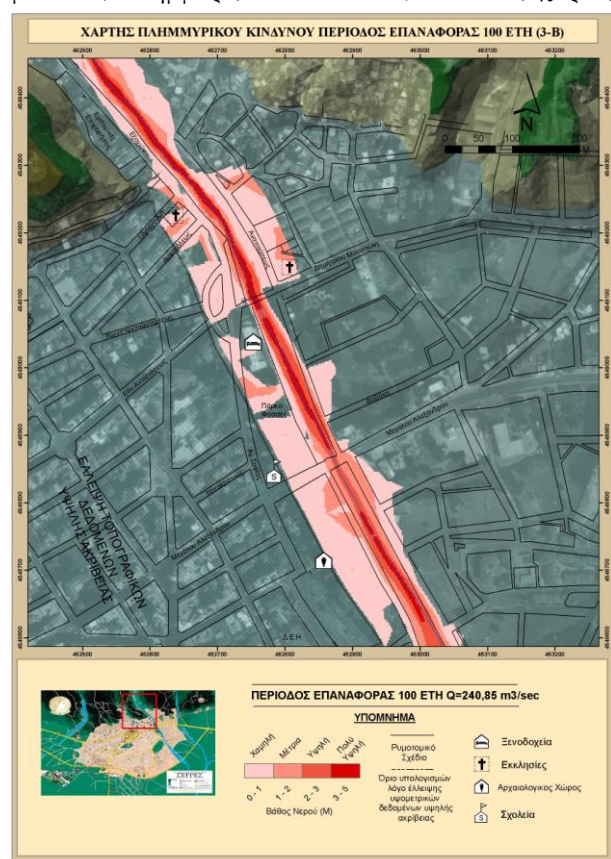
Τα αποτελέσματα της ανάλυσης του μορφομετρικού μοντέλου, έδωσε την δυνατότητα να προσδιοριστούν



Εικόνα 8 – Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου – Σενάριο 3-A

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν έδειξε ότι οι τελικοί χάρτες επικινδυνότητας παρουσίασαν αρκετά καλή συσχέτιση σε σχέση με το γεγονός της πλημμύρας του 2004, αλλά και με τις παρατηρήσεις υπαίθρου (εντοπισμός της μεγάλης διαβρωσιμότητας ανάντη των λεκανών απορροής, ανεπάρκεια αντιπλημμυρικών έργων στην κοίτη). Βάση του σεναρίου 3, μία παροχετευτικότητα της τάξεως των 240 m<sup>3</sup>/sec μπορεί να επιφέρει σημαντικές συνέπειες στην πόλη. Παρατηρείται ότι οι οδοί Εξοχών και Αγ. Σοφίας, που οδηγούν προς την Ορεινή Σερρών και το χιονοδρομικό κέντρο Λαϊλιά, οι οδοί Παπάζογλου, Ι. Δραγούμη, Μεγάλου Αλεξάνδρου, Εθνικής αντιστάσεως, Δημ.

Μαυρούλη, που οδηγούν στο κέντρο της πόλης και οι παρακείμενοι δρόμοι που έχουν οριοθετηθεί από το μοντέλο, πλημμυρίζουν. Επιπλέον, από τους χάρτες



**Εικόνα 9** – Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου – Σενάριο 3-Β  
πλημμυρικού κινδύνου, εντοπίστηκε το γεγονός ότι από μία επικείμενη πλημμύρα (βλέπε σενάριο 3), θα πληγούν χώροι αυξημένης σημαντικότητας όπως ένας παιδικός σταθμός (συμβολή οδών Μεγ. Αλεξάνδρου και Αγ. Σοφίας), ξενοδοχειακές μονάδες (συμβολή οδών Δ. Μαυρούλη - Αγ. Σοφίας), αθλητικές εγκαταστάσεις (στην ευρύτερη περιοχή της κοιλάδας αναψυχής) και χώροι συνεστίασης.

## VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη συσχέτιση των θέσεων πλημμύρας, των υψηλών τιμών στερεοπαροχής, την ανεπάρκεια συντήρησης στους αποθηκευτικούς χώρους νερού

ανάντη της πόλης, την αστοχία των μέχρι τώρα πλημμυρικών έργων, με την πλημμύρα του 2004 και τους χάρτες πλημμυρικού κινδύνου που προέκυψαν από το υδραυλικό μοντέλο, φαίνεται ότι είναι πολύ σημαντικό να αντιμετωπισθεί το πρόβλημα της μεταφοράς των φερτών υλικών σε μια πιθανή εκδήλωση ενός πλημμυρικού γεγονότος στην πόλη των Σερρών. Ιδιαίτερα ενδιαφέροντα είναι η προσπάθεια δημιουργίας πρωτογενών δεδομένων αναγλύφου με DGPS έτσι ώστε να επεκταθούν τα όρια λειτουργίας του υδραυλικού μοντέλου για όλη την πόλη των Σερρών. Επιπλέον, με τη χρήση του υδραυλικού μοντέλου, μπορούν να προσδιοριστούν όχι μόνο οι θέσεις των αντιπλημμυρικών έργων, αλλά και ποιά θα είναι τα χαρακτηριστικά τους (τεχνικά θα μπορούσε να προσδιοριστεί το ύψος αναχωμάτων για να αποφευχθεί η υπερχείλιση σε μία πιθανή πλημμύρα). Η περαιτέρω βελτίωση και εξέλιξη των μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν πρέπει να έχει στόχο την δημιουργία μιας ολοκληρωμένης στρατηγικής για την αντιμετώπιση και την διαχείριση ενός πλημμυρικού γεγονότος. Έτσι είναι ιδιαίτερα σημαντική η δημιουργία ζωνών επικινδυνότητας λαμβάνοντας υπόψη όλες τις δραστηριότητες στην πόλη των Σερρών και η δημιουργία ενός διαχειριστικού πλαισίου αντιμετώπισης πλημμυρικών φαινομένων.

## VII. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Us Army Corps of Engineering Hydrologic Engineering Center, River Analysis System (HEC- RAS), (2008)
- [2] Θωμάϊδης Ζ., (2006). «Ο χείμαρρος, η κοιλάδα των Αγίων Αναργύρων», Έκδοση ΣΥ.Π.Ε.Κ.Α.Α.
- [3] Ανδρεαδάκης Εμ., (2007). Διαχείριση υδατικών πόρων σε επίπεδο Καποδιστριακού Δήμου – Η περίπτωση του Δήμου Θεραπεών Λακωνίας. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος.
- [4] Καραγκιοζή Ε. (2008). Ανάλυση Και Εκτίμηση Φυσικών Κινδύνων στο Ν. Λακωνίας Με Την Χρήση Γ.Σ.Π Μέσω Διαδικτύου. Μεταπτυχιακή διατριβή Π.Μ.Σ Πρόληψης και διαχείρισης φυσικών καταστροφών
- [5] Sambaziotis, E. & Fountoulis, I., (2007), Estimation of flash flood hazards in the Pidima-Arfara area (messinia, Greece), Based of the study of instantaneous unitary Hydrographs, Longitudinal Profiles and stream power. Proc. 11th International conference of Geological Society of Greece, Athens, 24-26 May 2007, Bull. Geol. Soc. Greece, XXXX/4, p. 1621-1633
- [6] Βιλάνου Χ, Ορδουλίδου Δ, Τσιμπή Π, (2007). Μελέτη υδρολογικών παραμέτρων, επιφανειακών ροών και πλημμυρικών φαινομένων στο υδάτινο σύστημα του ρέματος Αγίων Αναργύρων στην περιοχή των Σερρών.
- [7] Πρίνος Π, (2009). Υδραυλική Ανοικτών Αγωγών. Εκδόσεις ΖΗΤΗ
- [8] Marfai M.U., (2003), GIS modelling of river and tidal flodd hazards in a Waterfront City, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation.
- [9] Chow, V. T. 1959. Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill, Inc. (the classic text)
- [10] Καλιβάτσος Σ., (2005). «Υδραυλική Μελέτη οριοθέτησης τριών ρεμάτων οικισμού Αγ. Ιωάννη Δήμου Σερρών».
- [11] Knebl, M.R., Z.L. Yang, K. Hutchison and D.R. Maidment, (2005). Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS and HEC-HMS/RAS: A case study for the San Antonio RiverBasin summer 2002 storm event. J. Environ.Manage., 75: 325-336.
- [12] "CORINE Land Cover-Data for year 2000", European Environmental AgencyPublication, 2000.  
<http://www.eea.europa.eu/themes/landuse/clc-download>

- [13] Karagiozi, E., Fountoulis, I., Konstantinidis, A., Andreadakis, Emm., Ntoulos, K., (2011). - Flood Hazard Assessment based on Geomorphological Analysis with GIS tools - The case of Laconia (Peloponnesus, Greece). Proceedings, Symposium GIS Ostrava 2011, 24-26 January 2011, 11p.  
<http://labtect.geol.uoa.gr/pages/fountoulis/PDF%20Files/143-2011-Flood%20Hazard%20Assessment%20GIS%20Evrotas%20-%20GIS%20Ostrava%202011%20Symposium.pdf>
- [14] David, V., Evelpidou, N., Vassilopoulos, A., Boglis, A., Fountoulis, I., (2009). Flood modeling in Karlovassi Basin Area – Samos Island (Greece). Proc. Final conference COST action C22 Urban Flood Management in cooperation with UNESCO – IHP / Paris 26/27.11.2009.E-10p.1-9.  
[http://labtect.geol.uoa.gr/pages/fountoulis/PDF%20Files/130-2009%20Paper\\_Paris\\_Conference\\_20090829.pdf](http://labtect.geol.uoa.gr/pages/fountoulis/PDF%20Files/130-2009%20Paper_Paris_Conference_20090829.pdf)
- [15] Ανδρεαδάκης, Εμμ., Φουντούλης, Ι., (2007). Εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας σε τεκτονικά ενεργές περιοχές. Συμπόσιο Τεκτονικής Γεωλογίας προς τιμή του Ομότιμου Καθηγητή Ηλία Μαριολάκου της Επιτροπής Τεκτονικής της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, 7 Δεκεμβρίου 2007, Τεύχος περιλήψεων σ. 25-26.  
<http://labtect.geol.uoa.gr/pages/fountoulis/PDF%20Files/121-2007-Flood%20Hazard%20methodology%20abs.pdf>
- [16] Fountoulis I., Mariolakis I., Andreadakis Emm., Karagiozi E., Sambaziotis E., & Kapourani E. (2008). Flood Hazard And Risk In Laconia (Peloponnesus, Greece). Poster presented in the 3rd International Conference “AQUA 2008” on Water Science and Technology, 16-19 October 2008, Athens.  
<http://www.evrotas.gr/publications/17.pdf>.

---

## ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

**Χαρίδημος Σ. Παππάς**

Μηχανικός Γεωπληροφορικής και τοπογραφίας

Λεωνίδου 23

16673, Βούλα Αττικής

**Τηλ/ Fax: 2108950605/6979337209**

**e-mail: harpap83@gmail.com**

**Χωρογραφίες/ Τόμος 2/ Αρ2/ 2011 – σελ 89-97**

