

Σημασιολογικά υποστηριζόμενη ανάλυση χωρο-χρονικών μεταβολών σε πλημμυρικά φαινόμενα

Βούτος Γεώργιος^{*}, Χάρου Ελένη^{**}, Μυλωνάς Φοίβος^{*},
Στεφούλη Μάρθα^{***}

^{*} Τμήμα Πληροφορικής, Ιόνιο Πανεπιστήμιο, Πλατεία Τσιριγώτη 7, 49100 Κέρκυρα

^{**} Ινστιτούτο Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, ΕΚΕΦΕ Δημόκριτος, Πατρ. Γρηγορίου Ε΄
Νεαπόλεως 27, 15341 Αγία Παρασκευή

^{***} Ινστιτούτο Γεωλογικών Μελετών - ΙΓΜΕ, Σπ. Λούη 1, Γ' Είσοδος -Ολυμπιακό Χωριό -
Αχαρνάι 13677 Αθήνα

*c16vout@ionio.gr

Περίληψη

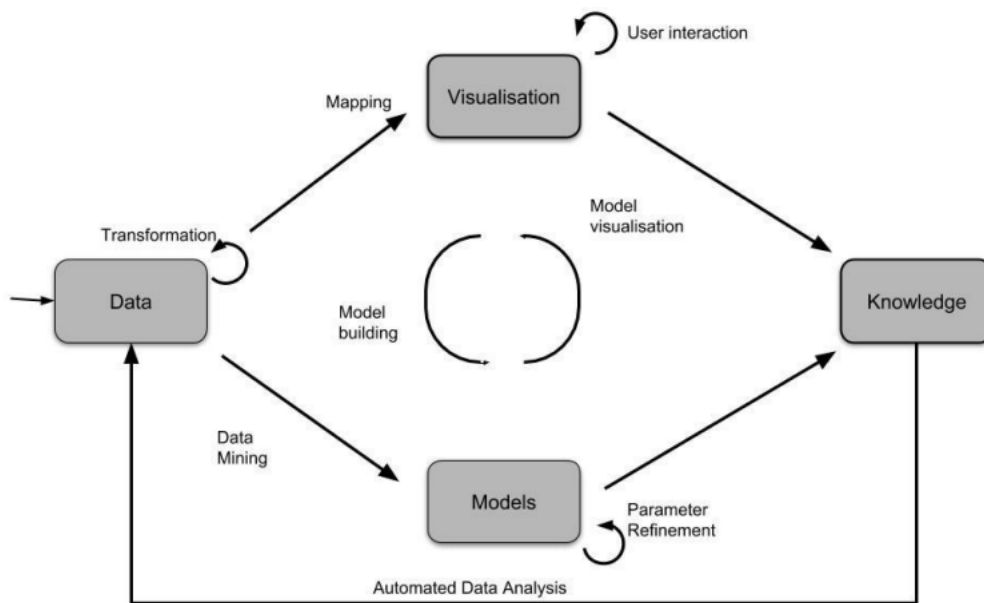
Η αύξηση της συχνότητας εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων χαρακτηρίζει τις κλιματικές μεταβολές που προέρχονται από τις ανθρωπογενείς επιδράσεις στο περιβάλλον. Οι τελευταίες δεκαετίες παρουσιάζουν πληθώρα φυσικών γεγονότων άμεσα ή έμμεσα καταστροφικών για την ανθρώπινη ευημερία. Ειδικότερα, στην Ελλάδα παρουσιάζονται συχνά καταστροφές στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον έπειτα από μεγάλης έκτασης πλημμυρικά φαινόμενα. Πιο πρόσφατο παράδειγμα αποτελεί η επίδραση των έντονων βροχοπτώσεων που πρόσφατα έχουν πλήξει την ευρύτερη περιοχή της Μάνδρας Αττικής. Τα γεγονότα οδήγησαν σε πλημμυρικά φαινόμενα στο οικιστικό, αγροκτηνοτροφικό και βιομηχανικό τοπίο της περιοχής με μακροχρόνιες επιπτώσεις στην καθημερινότητα των κατοίκων και ευρύτερη υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Η παρατήρησή φαινομένων με επιδράσεις στο τοπίο και τις χρήσεις γης υλοποιείται συνήθως με την ανάπτυξη μεθοδολογιών τηλεπισκόπησης και ειδικότερα μέσω του Change Detection. Παράλληλα με την τηλεπισκόπηση, οι μεθοδολογίες περιβαλλοντικής παρακολούθησης παράγουν πληθώρα δεδομένων που απαιτούν ιδιαίτερα απαιτητικές και χρονοβόρες αναλυτικές διεργασίες. Οι καταγραφές αναπαριστώνται ως μία σειρά τιμών η οποία φέρει το χώρο ως έννοια εξέλιξης και επιρροής των φαινομένων.

Ακολούθως, η μοντελοποίηση, ανάλυση και αναπαράσταση δυναμικών γεωχωρικών φαινομένων αποτελούν καταλύτη της εξέλιξης στη γεωπληροφορική επιστήμη, καθώς έτσι περιγράφεται η χώρο-χρονική τους μεταβλητότητα. Η Σημασιολογία (Semantics) επέρχεται ως ένα μέσο αυτόματου συμπερασμού μεταδεδομένων, παρέχοντας ταυτόχρονα τη δυνατότητα ανάλυσης σύνθετων φαινομένων και τάσεων. Κατά συνέπεια, ο συγκερασμός των δύο φαινομενικά ανεξάρτητων θεματικών περιοχών δύναται να δώσει σημαντικά οφέλη και να οδηγήσει σε σημαντικά ερευνητικά αποτελέσματα. Η προκείμενη μελέτη αφορά συγκεκριμένα στην ανάλυση των μεταβολών χρήσεων γης την περίοδο πριν και μετά την εκδήλωση των πλημμυρικών φαινομένων στη Μάνδρα, μέσω της κατασκευής ενός οντολογικού μοντέλου συσχετίσεων μεταξύ των μεταβαλλόμενων στοιχείων σε ταξινομημένες δορυφορικές εικόνες

Λέξεις κλειδιά: χωρική ανάλυση, τηλεπισκόπηση, πλημμυρικά φαινόμενα, περιβαλλοντική παρακολούθηση, σημασιολογία, οντολογικά μοντέλα

1 Εισαγωγή

Οι κλασσικές μέθοδοι παρακολούθησης του περιβάλλοντος (Environmental Monitoring) βασίζονται σε εργασίες με τυπικές ακολουθίες αποσκοπώντας κατά κύριο λόγο στη διατήρηση της πιστότητας των εκάστοτε μετρήσεων [1]. Συνακόλουθα, απαιτούν χρόνο, είναι χειρωνακτικές και εξαρτώνται αρκετά από τον ανθρώπινο παράγοντα. Ακολουθώς, η σύγχρονη εποχή της πληροφορίας χαρακτηρίζεται από παραγωγή μεγάλου όγκου δεδομένων που διαμοιράζονται καθημερινά μέσω δικτυακών δομών. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους τα Big Data εναρμονίζουν το μεγάλο όγκο και την πολυπλοκότητα που τα διακρίνει στη διαχείρισή τους [2]. Στις περισσότερες των περιπτώσεων τα δεδομένα αποθηκεύονται χωρίς φιλτραρισμό και τελειοποίηση για μεταγενέστερη χρήση. Λαμβάνοντας υπόψη πως κάθε βιομηχανικός ή επιχειρηματικός κλάδος και δημόσιος φορέας σήμερα παράγει τεράστιο όγκο δεδομένων, προκύπτει η ανάγκη περαιτέρω ανάπτυξης μεθόδων λήψης αποφάσεων από μεγάλο όγκο ακατέργαστων δεδομένων με σκοπό την εξαγωγή της γνώσης που περιέχουν. Πέραν των ακατέργαστων δεδομένων η υπερφόρτωση των πληροφοριών αφορά και σε αναπαραστάσεις δεδομένων με τη μορφή εικόνων. Σε αυτή την κατεύθυνση εξελίσσεται ο κλάδος της 'Οπτικής Αναλυτικής' (Visual Analytics) που αποσκοπεί στην επεξεργασία δεδομένων και πληροφοριών για την οπτικοποίηση αυτών των διαδικασιών που θα παράσχει την επικοινωνιακή αξιολόγηση, τη διόρθωση και την ταχεία βελτίωση των διαδικασιών και των μοντέλων και - τελικά - τη βελτίωση των γνώσεων και των αποφάσεων που προκύπτουν από αυτά [Σχήμα 1]. Σε ευρύτερη κλίμακα, οι λύσεις οπτικής αναλυτικής παρέχουν τεχνολογία που συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της ανθρώπινης και ηλεκτρονικής επεξεργασίας δεδομένων. Η απεικόνιση γίνεται το μέσο μιας ημιαυτόματης αναλυτικής διαδικασίας, όπου οι άνθρωποι και τα μηχανήματα συνεργάζονται χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες διαφορετικές δυνατότητές τους για τα πιο αποτελεσματικά αποτελέσματα [3].



Σχήμα 1: Λογική οπτικής αναλυτικής

Η επιστήμη της πληροφορικής έχει εισάγει την έννοια της Σημασιολογίας (Semantics) με την οποία περιγράφεται το εννοιολογικό πεδίο της πληροφορίας που περιέχουν τα δεδομένα. Η σημασιολογία διευκολύνει την αυτοματοποιημένη επικοινωνία μεταξύ υπολογιστών και ακολούθως την περαιτέρω κατανόηση του περιεχομένου της πληροφορίας από τους χρήστες και τα συστήματα. Η εν γένει συσχέτιση των αντικειμένων που διαχειρίζεται ένα υπολογιστικό σύστημα δεν υποστηρίζεται επαρκώς από τις παραδοσιακές μεθόδους. Επομένως, η εννοιολόγηση των ψηφιακών αντικειμένων επιτρέπει την εύρεση συσχετίσεων επιτρέποντας ταυτόχρονα τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των εμπλεκόμενων συστημάτων [2].

Παράλληλα, η Γεωπληροφορική (Geoinformatics) επιτρέπει την ανάλυση και παρουσίαση των συστατικών στοιχείων του περιβάλλοντος μέσα από καθορισμένες μεθοδολογικές προσεγγίσεις προερχόμενες από τις φυσικές επιστήμες και η εφαρμογή της έχει παρουσιάσει μεγάλη ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες [4]. Ειδικότερα, η διάδοση χωρικών πληροφοριών και υπηρεσιών στο διαδίκτυο έχει επεκταθεί σε διαφορετικούς τομείς εφαρμογής. Ταυτόχρονα, έχει αυξηθεί η ανάγκη αιτιολόγησης της συσσωρευμένης πληροφορίας με σκοπό την ταχεία εξαγωγή συμπερασμάτων σε κρίσιμες εφαρμογές. Ως αποτέλεσμα της ανάγκης για ανάπτυξη προωθημένων δυνατοτήτων επεξεργασίας πληροφοριών, έχει ανέλθει στην επιφάνεια το πεδίο της Γεω-χωρικής Σημασιολογίας [5].

Ευρύτερα οι πλημμύρες ορίζονται ως γεγονότα στα οποία το νερό καλύπτει εκτάσεις που υπό κανονικές συνθήκες δεν καλύπτονται από αυτό [6], γεγονός που καθορίζει το μέγεθος, τη διάρκεια και την αιτία των υπό μελέτη συμβάντων. Οι

διεργασίες μελέτης των πλημμυρικών φαινομένων διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες παρακολούθησης βάσει τη συχνότητα εμφάνισής τους [7]: 1) Πρόγνωση/ Πρόβλεψη, 2) Παρακολούθηση έκτακτης ανάγκης και 3) Αξιολόγηση ζημιών.

Η συνεχής μεταβολή των κλιματικών μοτίβων και η συνεχής επιβάρυνση στο περιβάλλον από ανθρωπογενή αίτια επηρεάζουν εμφανώς τη συχνότητα και εντατικότητα των πλημμυρικών φαινομένων με ανεξέλεγκτες επιπτώσεις στην καθημερινότητα και τη φυσική και πολιτιστική κληρονομιά [8]. Ως αποτέλεσμα της αναγνώρισης του πλημμυρικού κινδύνου η επιστημονική κοινότητα παράλληλα με την πολιτεία σε διεθνές επίπεδο στοχέυει στην ανάπτυξη μεθόδων αναγνώρισης του φαινομένου με σκοπό την παραγωγή οδηγιών ετοιμότητας και αντιμέτρων [9]. Η χαρτογραφία υποβοηθά την αναγνώριση της εξάπλωσης των φαινομένων μέσω της υποστήριξης τηλεσκοπικών εφαρμογών. Κατ' ουσίαν εξειδικευμένοι θεματικοί χάρτες μοντελοποιούν τις υδραυλικές και τοπογραφικές παραμέτρους του εδάφους σε μία συγκεκριμένη κλίμακα ενδιαφέροντος με απότερο στόχο την εξομάλωση και οπτικοποίηση εύρυτατων πλημμυρικών σεναρίων [10]. Παρόλη τη λεπτομερειακή τους εφαρμογή, τα μοντέλα παρουσιάζουν ανακρίβειες λόγω των αβεβαιοτήτων στα τοπογραφικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά του εδάφους, καθώς και στατιστικών σφαλμάτων [11]. Επιπροσθέτως, για την προβολή των μελλοντικών πλημμυρικών κινδύνων και το σχεδιασμό μέτρων πρόληψης και αποκατάστασης, δεδομένης της μεταβλητότητας των παραμέτρων πλημμυρικής εξάπλωσης βάσει χωρικών και χρονικών παραμέτρων. Συνεπώς, η τηλεπισκόπηση, ως εργαλείο προβολής, ανάλυσης και ανάδειξης της πλημμυρικής εξέλιξης, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο για τη διαχείριση και ελάττωση κινδύνου στα στάδια της ετοιμότητας, αντιμετώπισης, προστασίας από κρίσιμες καταστάσεις που προκαλούνται από τα πλημμυρικά φαινόμενα.

Βάσει των προαναφερθέντων και δεδομένης της ανοδικής τάσης αφομοίωσης της χωρικής αναλυτικής σε πληθώρα τομέων [12], η περαιτέρω ανάπτυξη 'έξυπνης' ανάλυσης χωρικών δεδομένων παρουσιάζει ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον. Η παρούσα μελέτη στοχεύει στην ανάπτυξη ενός συστήματος Παρατήρησης της Γης που στηρίζεται στην ανάλυση χωρικών συσχετίσεων στο πλαίσιο των δορυφορικών εικόνων¹. Ακολούθως, οι αυτοματοποιημένες χωρικές συσχετίσεις απαιτούν δομές αναζήτησης και ευρετηρίασης (indexing) με σκοπό τη βέλτιστη αναγνώριση των μεταβολών που χαρακτηρίζουν την εξέλιξη των πλημμυρικών φαινομένων. Για το σκοπό αυτό προτείνεται ένα μοντέλο αναπαράστασης γνώσης που εξυπηρετεί λειτουργίες ανάλυσης των υπό μελέτη εικόνων μέσα από ένα πλαίσιο σημασιολογικής αποθήκης γνώσης.

¹Εξόρυξη Πληροφοριών Εικόνας - ΕΠΕ

2 Μελέτη Περίπτωσης

Οι θανατηφόρες πλημμύρες στην περιοχή της Μάνδρας έλαβαν χώρα την Τετάρτη 15 Νοεμβρίου 2017 [13], μετά από έντονες καταιγίδες που ξεκίνησαν τις πρώτες πρωινές ώρες της ίδιας ημέρας. Ο κύριος όγκος βροχής που έπεσε στους ορεινούς όγκους βόρεια της περιοχής που επλήγη, σε συνδυασμό με το μεγάλο όγκο βροχής που είχε παρουσιάσει η γύρω περιοχή τις προηγούμενες ημέρες², οδηγούν στο συμπέρασμα του κορεσμού του εδάφους από ύδατα [14] που εν συνεχεία κατέληξαν στα κατάντη της λεκάνης απορροής. Η περαιτέρω κατανόηση του φαινομένου προϋποθέτει τη γνώση των υδρολογικών συνθηκών που χαρακτηρίζουν τη πληγείσα περιοχή. Η προκείμενη μελέτη για τα πλημμυρικά φαινόμενα που σημειώθηκαν το Νοέμβριο του 2017 σχετίζονται με την ανάλυση χωρικών δεδομένων σχετικά με την έκταση 42.483 χλμ² που αφορά στο όριο των Λεκανών Απορροής της Μάνδρας, [Σχήμα 2].



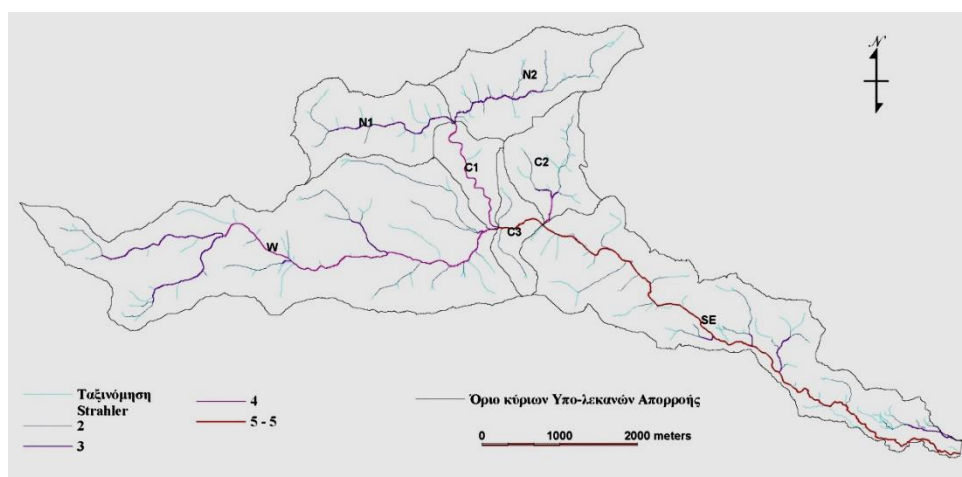
Σχήμα 2: Όριο περιοχής μελέτης – μπλε γραμμή.

Οι λεκάνες απορροής αποτελούν βασικές μονάδες του τοπίου της περιοχής, τα χαρακτηριστικά των οποίων διακρίνονται σε κύρια και δευτερεύοντα ρέματα. Ακο-

² Δευτέρα 13/11 και Τρίτη 14/11, 35μμ στην Ελευσίνα, 35μμ στα Βίλια, 22μμ στους Αγ. Θεόδωρους

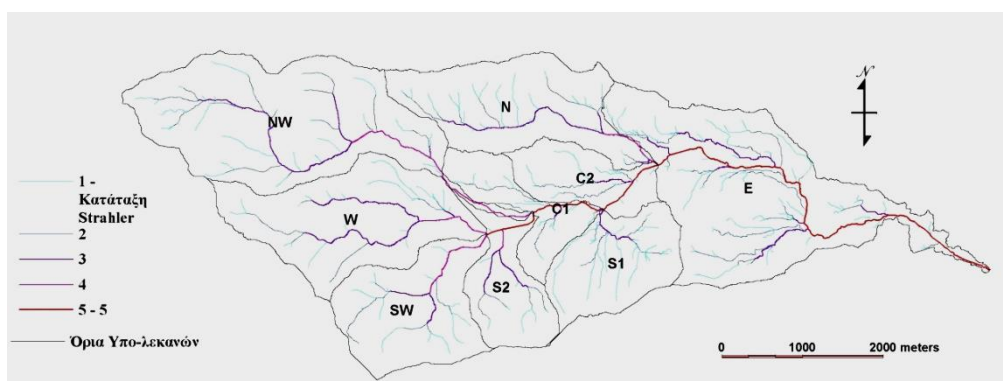
λούθως οι σχέσεις τους με τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής δύναται να χρησιμοποιηθούν στη περιγραφή των γεωμορφολογικών διεργασιών όπως είναι οι πλημμύρες με δυνητικές επιπτώσεις στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι παράμετροι αυτές έχουν υπολογιστεί σε δύο διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης που διακρίνονται σε α) Δύο κύριες λεκάνες απορροής – Κατσιμήδι – Σκυλόρεμα [Σχήμα 2] και β) Κύριες υπό-λεκάνες των λεκανών Κατσιμήδι – Σκυλόρεμα [Σχήματα 3 και 4].

Ακολουθώντας, οι δύο λεκάνες απορροής διακρίνονται στις αντίστοιχες υπό-λεκάνες με αντίστοιχη ταξινόμηση των επιφανειακών απορροών κατά Strahler [15] [Σχήματα 3 και 4]. Ειδικότερα η λεκάνη Κατσιμήδι [Σχήμα 3] κατηγοριοποιείται σε πέντε κατηγορίες υπο-λεκανών με συνολική έκταση 23.011km² χαρακτηρίζεται από 1874 ρέματα που έχουν μήκος 360149.82 μέτρα και το μέσο μήκος τους κυμαίνεται στα 192.18 μέτρα.



Σχήμα 3: Κατσιμήδι - Απορροές κατά Strahler

Ομοίως, η λεκάνη Σκυλόρεμα [Σχήμα 4] ταξινομείται σε έξι κατηγορίες υπο-λεκανών με συνολική έκταση 19.322 km² χαρακτηρίζεται από 1588 επιφανειακές απορροές που έχουν μήκος 294317.76m, ενώ το μέσο μήκος τους κυμαίνεται στα 185.34m.



Σχήμα 4: Σκυλόρεμα - Απορροές κατά Strahler

Από την ανάλυση των χαρακτηριστικών που διακρίνουν το υδρογραφικό δίκτυο εγκύτερα της περιοχής της Μάνδρας, συμπεραίνουμε πως η λεκάνη απορροής Κατσιμήδι είναι μεγαλύτερης έκτασης, με μεγαλύτερο αριθμό ρεμάτων, πιο επιμήκες σε σχέση με αυτή του Σκυλορέματος. Ακολούθως, οι συνθήκες επιτρέπουν την εμφάνιση επιφανειακής απορροής με βαθμό 5 κατά τη βαθμονόμηση Strahler, η οποία διέρχεται από τον οικιστικό ιστό της πόλης της Μάνδρας. Επιπροσθέτως, Η λεκάνη Σκυλορέματος έχει μεγαλύτερο μήκος απορροής, μήκος λεκάνης και ανάγλυφο και οι επιφανειακές απορροές ακολουθούν τα χαρτογραφημένα ρέματα της συγκεκριμένης λεκάνης. Τα χαρακτηριστικά αυτά σε συνδυασμό με το υψηλό ποσοστό βροχόπτωσης τεκμηριώνουν τη διαφορετική συμπεριφορά των δύο λεκανών κατά τη πλημμύρα του Νοεμβρίου και δύναται να οδήγησαν στη μετακίνηση μεγάλου όγκου φερτών υλικών προς τα κατάντη της λεκάνης. Τα δεδομένα της γεωμορφολογικής ανάλυσης έχουν χρησιμοποιηθεί συνδυαστικά με τις δορυφορικές εικόνες Sentinel 2 για την βελτίωση της ερμηνείας τους και την επίτευξη βέλτιστων αποτελεσμάτων.

3 Μεθοδολογία

Η διαχρονική εξέλιξη των πλημμυρικών φαινομένων προσφέρεται για την ανάλυση δορυφορικών εικόνων μέσω της μελέτης των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της προκείμενης περιοχής και την επισήμανση των μεταβολών στις καλύψεις γης που σχετίζονται με το φαινόμενο αυτό. Η συγκεκριμένη εργασία επικεντρώνεται σε εφαρμογές Παρατήρησης Γης³ που αξιοποιούν γνώση που προέρχεται από δορυφορικές εικόνες. Ειδικότερα, μέσα από κλασσικές μεθόδους επεξεργασίας εικόνων αναλύεται η γεωμορφολογία και τα ευρύτερα χαρακτηριστικά των επιφανειακών

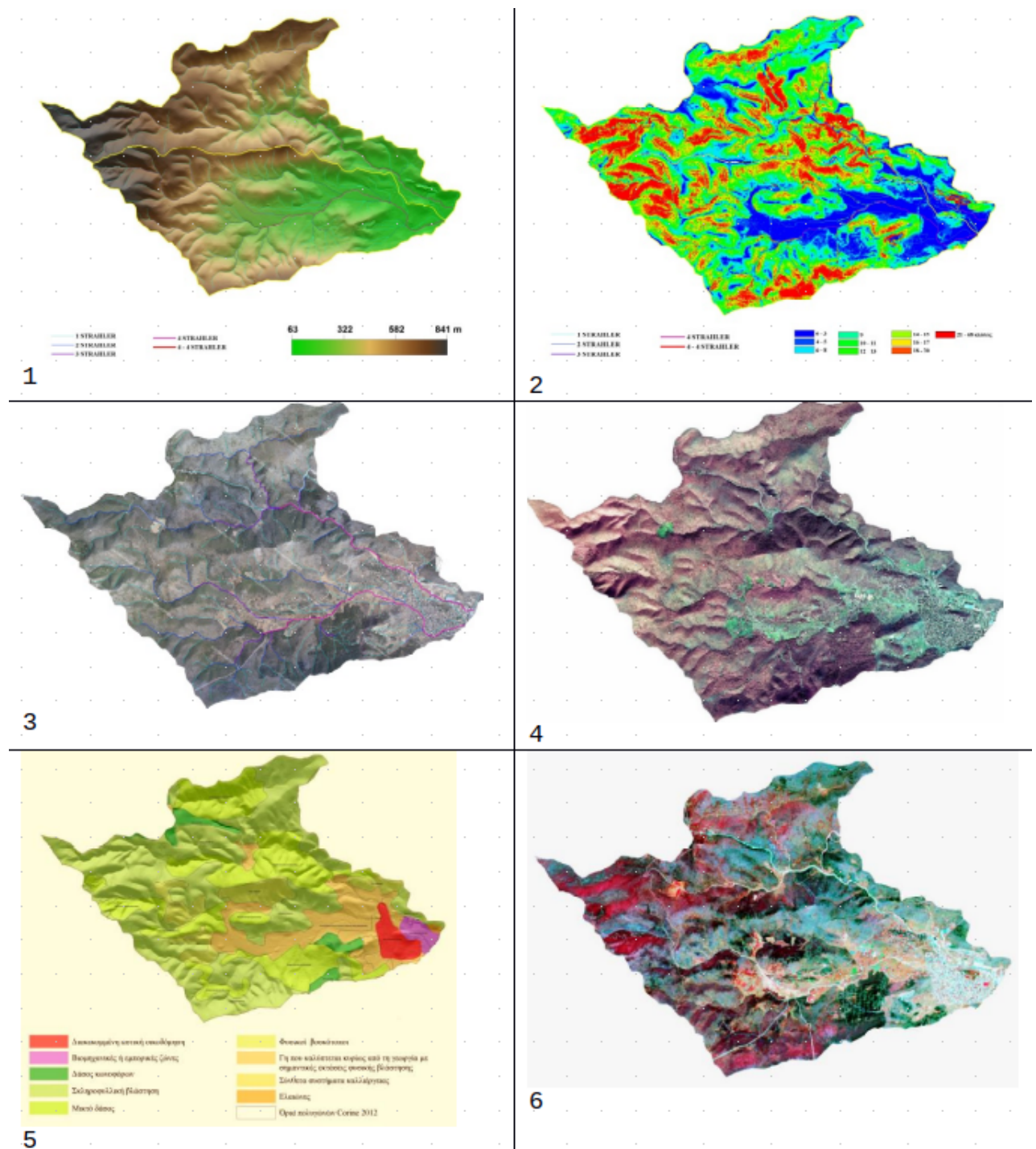
³Earth Observation - EO

απορροών της περιοχής της Μάνδρας, ενώ προτείνεται η εξόρυξη πληροφορίας από δορυφορικές εικόνες και τη μοντελοποίηση χωρικών συσχετίσεων. Ακολούθως, τα ανωτέρω θα λειτουργήσουν επικουρικά στην ανάπτυξη ενός συστήματος αυτόματου συμπερασμού για τον εντοπισμό των μεταβολών μέσα από μεγάλο όγκο δορυφορικών δεδομένων, το οποίο δύναται να εφαρμοστεί στο πλαίσιο που παρέχουν τα Big Data σήμερα.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η ερμηνεία δεδομένων παρατήρησης γης βασίζεται σε εργασίες που περιλαμβάνουν 1) τη χρήση δορυφορικών εικόνων τύπου Sentinel 2, 2) την ερμηνεία των επιφανειακών απορροών με βάση το ψηφιακό ανάγλυφο και 3) τη χρήση δεδομένων WORLDVIEW2 και WORLDVIEW4 για την ερμηνεία θεμάτων που σχετίζονται με τη «κάλυψη Γης» σε σχέση με τις επιφανειακές απορροές, όπως αυτά είναι δυνατόν να αποτυπωθούν πριν και μετά τη πλημμύρα του Νοεμβρίου 2017. Αξίζει να σημειωθεί πως για τις εργασίες σύνθεσης πληροφορίας που σχετίζονται με το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους έχουν αξιοποιηθεί δεδομένα υψηλής ευκρίνειας προερχόμενα από την Κτηματολόγιο Α.Ε.. Στα πλαίσια της εργασίας έχουν χρησιμοποιηθεί:

1. τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (DEM) με διακριτική ευκρίνεια 5μ και 2μ, [Σχήμα 5.1] από το οποίο έχουν δημιουργηθεί και ο χάρτης κλίσεων [Σχήμα 5.2],
2. Ορθοφωτογραφίες (Ελληνικό Κτηματολόγιο) με διακριτική ευκρίνεια του 1 μέτρου και των 0.25 εκατοστών [Σχήμα 5.3],
3. Χάρτες Κάλυψης Γης του CORINE (CORINE - Coordination of Information on the Environment). Διαθέσιμη είναι η Πολυγωνική — γραμμική βάση δεδομένων βιοφυσικής κάλυψης γης (Πρόγραμμα CORINE LAND COVER GREECE) σε κλίμακα 1:100.000 από επεξεργασία δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών σε δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους 2000 και 2012. Η ακρίβεια προσδιορισμού των άκρων είναι περίπου 20 μέτρα. Η κάλυψη του CORINE δίδεται στην [Σχήμα 5.5] και
4. Διαχρονικές δορυφορικές εικόνες τύπου Sentinel 2, [Σχήμα 5.6] για την μελέτη των μεταβολών της κάλυψης γης πριν και μετά τη πλημμύρα του Νοεμβρίου 2017 με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων για την μεταφορά φερτών υλικών. Επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί δορυφορικές εικόνες WorldView 2 [Σχήμα 5.4] για επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων της ερμηνείας των εικόνων Sentinel 2.



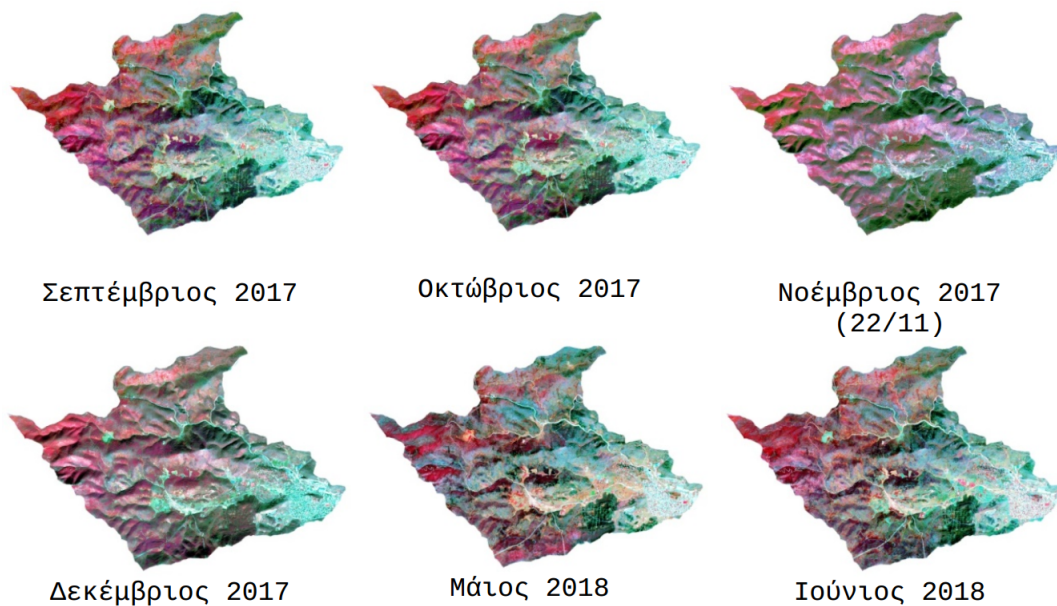
Σχήμα 5: Τα δεδομένα της μελέτης: 1. Ψηφιακό ανάγλυφο εδάφους (Διάθεση Ελληνικό Κτηματολόγιο), 2. Χάρτης κλίσεων όπως αυτά έχουν υπολογιστεί από το Ψηφιακό ανάγλυφο εδάφους. 3. Ορθο-φωτο-χάρτης με διακριτική ικανότητα 1 μέτρου 4. Δορυφορική εικόνα WorldView2 5. Χάρτης Corine Land Cover 6. Δορυφορική εικόνα Sentinel 2.

Στο πλαίσιο της ανάλυσης των παραπάνω δεδομένων πραγματοποιήθηκε η σύνθεσή τους και η δημιουργία διαφόρων μεμονωμένων ή/και σύνθετων αναλογικών και ψηφιακών θεματικών χαρτών σε κλίμακα 1:10.000. Για την επίτευξη της κλίμακας αυτής πραγματοποιήθηκαν παράλληλες επεξεργασίες με λεπτομερή στοιχεία όπως είναι τα στοιχεία των ορθοφωτογραφιών και του Ψηφιακού αναγλύφου Εδάφους από το Ελληνικό Κτηματολόγιο. Τα αποτελέσματα της παραπάνω εργασίας παρέχουν πληροφορίες για τη διαχρονική ανάλυση πριν και μετά τη πλημμύρα.

ΑΝΑΛΥΣΗ-ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ SENTINEL-2

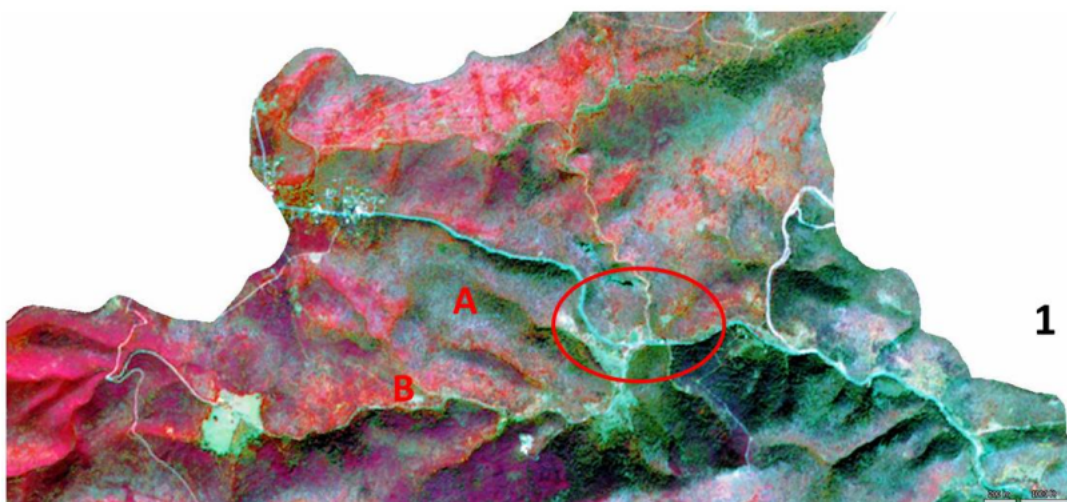
Οι δορυφορικές εικόνες τύπου Sentinel - 2 είναι ελεύθερα διαθέσιμες από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος⁴. Οι εικόνες του Sentinel - 2 συστήματος είναι πολυφασματικές και καλύπτουν πολλαπλές εφαρμογές. Οι διαφορετικές περιοχές φάσματος αναδεικνύουν διαφορετικές πληροφορίες των γεωγραφικών χαρακτηριστικών. Προκειμένου να εξαχθούν τα απαραίτητα στοιχεία, οι εικόνες υπέστησαν κατάλληλη επεξεργασία σε περιβάλλον GIS η οποία πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό TNTmips (ελληνική έκδοση). Δεδομένου ότι η επεξεργασία μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο από εικόνες που διαθέτουν καλά χαρακτηριστικά (π.χ. έλλειψη νεφοκάλυψης), κρίθηκε απαραίτητη η λήψη και επισκόπηση μεγάλου πλήθους εικόνων. Συγκεκριμένα, ελήφθησαν 10 εικόνες Sentinel - 2 των περιοχών μελέτης που καλύπτουν την χρονική περίοδο 2017 έως 2018. Οι ημερομηνίες που έχουν επιλεγεί για την επεξεργασία αφορούν εικόνες πριν τη πλημμύρα στις 13/9/2017 και 13/10/2017 και μετά την πλημμύρα στις 22/11/2017, 12/12/2017, 1/5/2018, 22/6/2018 και 13/9/2018 [Σχήμα 6].

⁴<https://scihub.copernicus.eu/>

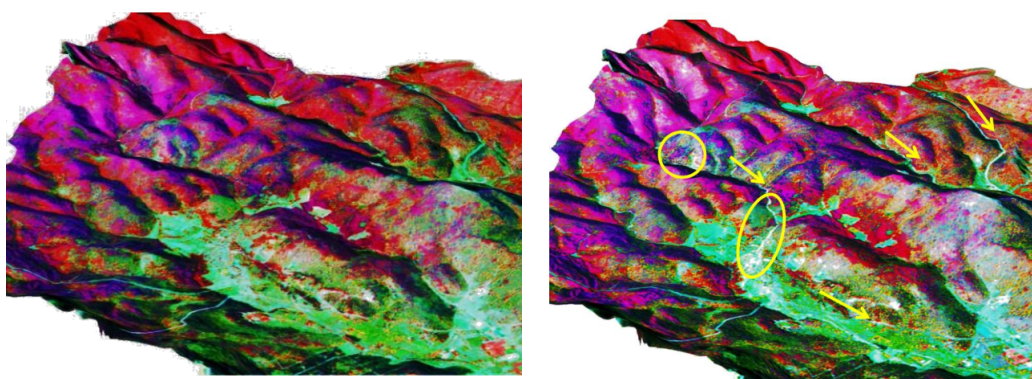


Σχήμα 6: Διαχρονικές Δορυφορικές εικόνες του Sentinel 2. Η αλλαγή των χρωματικών τόνων καταγράφουν την αλλαγή επιλεγμένων παραμέτρων κάλυψης γης όπως οι αλλαγές της βλάστησης, της απόθεσης φερτών υλικών ή των ανθρωπογενών παρεμβάσεων στη περιοχή των λεκανών της Μάνδρας Αττικής, πριν και μετά τη πλημμύρα.

Οι δορυφορικές εικόνες με κατάλληλο τονισμό αποδίδουν την χωρική μεταβολή της κάλυψης γης πριν και μετά τη πλημμύρα. Είναι εμφανής η μεταφορά φερτών από τα ανάντη στα κατάντη [Σχήματα 7 και 8]. Είναι ενδεικτικό ότι η παραποτάμια βλάστηση που υπήρχε πριν τη πλημμύρα έχει επιδράσει ανασταλτικά στην ομαλή ροή των υδάτων κατά μήκος των ρεμάτων.

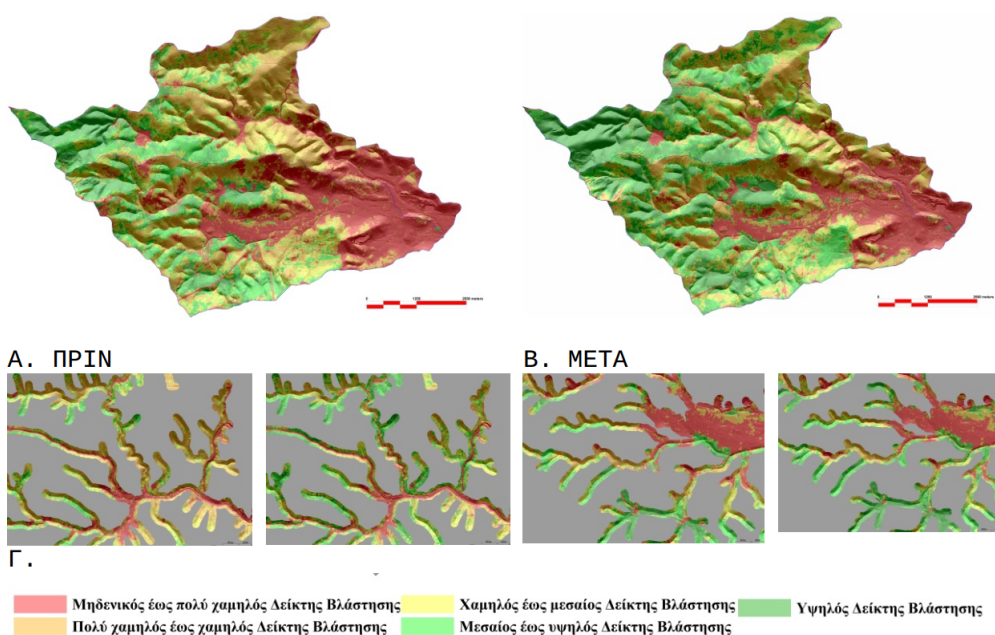


Σχήμα 7: Εικόνες: 1. της 13/10/2017 και 2. της 22/11/2017 - Βόρεια πλευρά της λεκάνης του Σκυλορέματος. Μεταφορά φερτών υλικών στα κατόντη και υποβάθμιση της βλάστησης στα πρηνή / ρέματα.



Σχήμα 8: Χαρτογράφηση της μεταφοράς και διασποράς των φερτών υλικών από τα ανάντη στα κατόντη. Είναι ενδεικτικό ότι η παραποτάμια βλάστηση που υπήρχε πριν τη πλημμύρα έχει επιδράσει ανασταλτικά στην ομαλή ροή των υδάτων κατά μήκος των ρεμάτων.

Οι διαθέσιμες εικόνες παρέχουν τη δυνατότητα υπολογισμού Δεικτών, όπως ο Δείκτης βλάστησης, με τη βοήθεια του οποίου απεικονίζονται οι αλλαγές που έχει υποστεί η περιοχή. Ειδικότερα, για τις εικόνες Οκτωβρίου [Σχήμα 9] και Νοεμβρίου 2017 [Σχήματα 7 και 8], εντοπίζονται αλλαγές λόγω του πλημμυρικού φαινομένου.



Σχήμα 9: Χάρτες του Δείκτη βλάστησης Α. Πριν και Β. Μετά τη πλημμύρα. Γ. Μεταβολές του Δείκτη βλάστησης κατά μήκος των επιφανειακών απορροών και με ζώνωση προσδιορισμένης απόστασης 50 μέτρων.

Από την ανάλυση των εικόνων Sentinel 2 προκύπτει η δυνατότητα παρακολο-

ύθησης αλλαγών στο έδαφος που αφορούν:

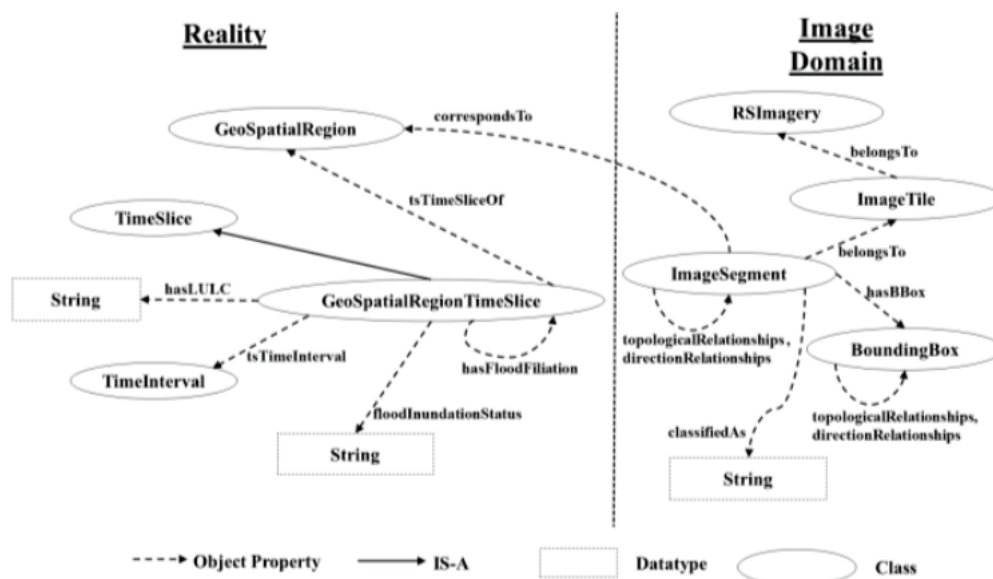
- Συστηματική παρακολούθηση περιοχών από και προς τις οποίες έχουν μεταφερθεί φερτά υλικά ως αποτέλεσμα της πλημμύρας [Σχήματα 7, 8 και 9],
- Εντοπισμό θέσεων διάβρωσης / απόθεσης / αλλαγών της βλάστησης με τον υπολογισμό δεικτών βλάστησης [Σχήματα 7 και 8] και
- Παρατηρήσεις κατακερματισμού της βλάστησης στα πρανή μετά την πλημμύρα [Σχήμα 9](αλλαγές είναι δυνατόν να εντοπιστούν σε επίπεδο εικονοστοιχείου).

Η παρακολούθηση των παραπάνω αλλαγών με ανάλυση εικόνων Sentinel 2 είναι δυνατό να πραγματοποιείται διαχρονικά δεδομένου ότι τα εν λόγω δεδομένα διατίθενται δωρεάν ανά 10 ημέρες ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στη περιοχή, καθώς και τη νεφοκάλυψη. Δεδομένης της περιορισμένης χωρικής διακριτικότητας των 10m τίθενται περιορισμοί στη λεπτομερή χαρτογράφηση της περιοχής μελέτης. Οι περιοχές που επηρεάζονται από πλημμυρικά γεγονότα απαιτούν συνοπτική κάλυψη η οποία παρέχεται μέσω δεδομένων τηλεπισκόπησης που ανακτώνται από δορυφορικά και άλλα εναέρια όργανα. Μια σειρά διαχρονικών εικόνων τηλεπισκόπησης που λαμβάνονται από ποικιλία πλατφορμών δύναται να επεξεργαστούν για το προσδιορισμό των πληγείσων περιοχών και την αναγνώριση της χρονικής τους εξέλιξης. Οι μεταβολές εξετάζονται με την ανίχνευση αλλαγών (Change detection)[16] και παρέχουν την εξαγωγή σημαντικών πληροφοριών όπως η επέκταση της πλημμύρας και το μοτίβο υποχώρησής της. Ωστόσο, τα εξαγόμενα χαρακτηριστικά (αριθμητικές τιμές) των εικόνων θεωρούνται ακατάλληλα [11] για τη συγκρότηση σημασιολογικών εννοιών υψηλού επιπέδου που σχετίζονται με τη χωρο-χρονική εξέλιξη των κατηγοριών κάλυψης και χρήσης γης. Συνεπώς, η απαραίτητη οντολογική σύλληψη ενός ειδικού εννοιολογικού τομέα δύναται να μειώσει το σημασιολογικό κενό μεταξύ των χαρακτηριστικών από τις δορυφορικές εικόνες και τη χωροχρονική σημασιολογία υψηλού επιπέδου.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΛΟΓΙΚΗΣ ΣΕ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΟ

Οι συνέπειες από μία πλημμύρα στο τοπίο διακρίνονται κυρίως στην κατάβυθιση χωρικών οντοτήτων από το νερό, με τη μορφή των χρήσεων / καλύψεων γης, που εν συνεχεία μεταβάλλονται με την υποχώρησή του φαινομένου. Ωστόσο, οι κλασσικές μέθοδοι τηλεπισκόπησης παρέχουν στιγμιότυπα ενός γεγονότος και δεν δύναται να παρουσιάσουν τις καταβυθισμένες οντότητες με ακρίβεια. Συνεπώς, δημιουργείται το ερώτημα για το εάν διαχωρίζονται οι υφιστάμενες χρήσεις από το νερό ή τα φερτά υλικά που έχει επιφέρει η πλημμύρα. Ακολουθώς, οι επικρατούσες χωρικές συσχετίσεις δηλώνονται μέσω κανόνων και συσχετίσεων που στηρίζονται

στην Δυναμική Οντολογία Πλημμύρας (DFO)[Σχήμα 10] [17].

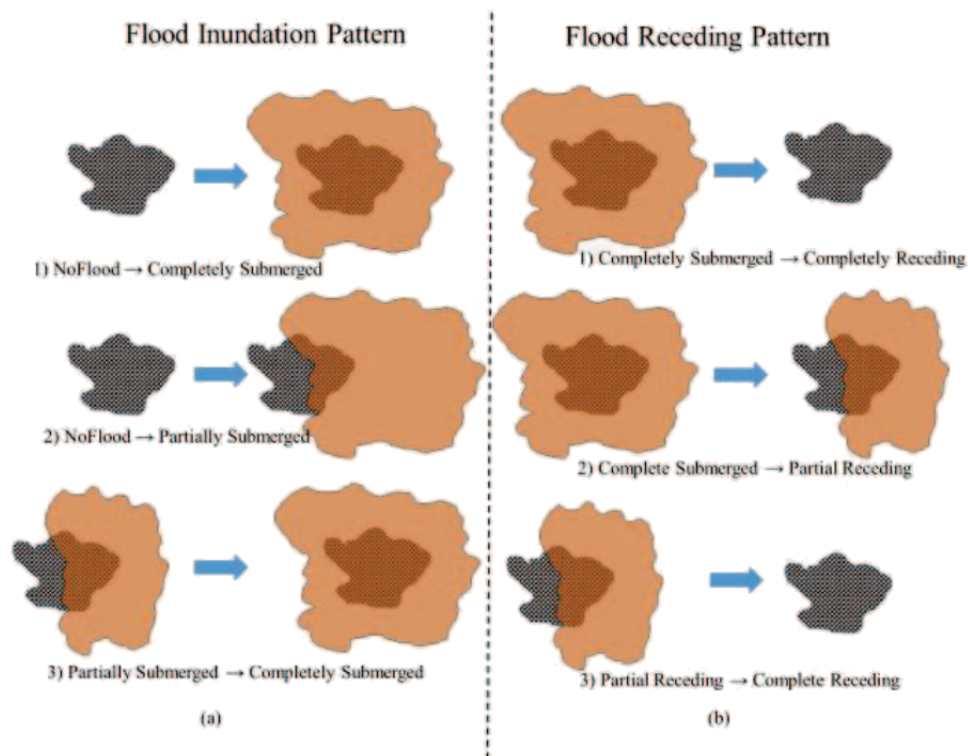


Σχήμα 10: Δυναμική Οντολογία Πλημμύρας - Πηγή Kurte et al, 2017

Η οντολογία στοχεύει στη μοντελοποίηση των χώρο-χρονικών αλλαγών που λαμβάνουν χώρα σε πλημμυρικά φαινόμενα που εν γένει σημειώνουν χαμηλό βαθμό καταβυθίσεων των χρήσεων γης από νερό. Οι δυναμικές ιδιότητες των μεταβολών παρουσιάζονται σε μία απεικόνιση η οποία επεκτείνεται στο χώρο και το χρόνο, καθώς διαθέτει χρονικά μέρη (στιγμές) που αντικατοπτρίζουν τις διαφορετικές τιμές που διαθέτει η κείμενη οντότητα. Συνεπώς, η επέκταση της πλημμύρας διαφορφώνει ένα ενιαίο δυναμικό επίπεδο για κάθε ιδιότητα που αντικατοπτρίζει την υπό μελέτη μεταβολή [17]. Ακολούθως, ο χρόνος αποτελεί ειδοποιός παράμετρος στην παραγόμενη απεικόνιση και δύναται να οδηγήσει στην αναγνώριση του μοτίβου επέκτασης και υποχώρησης της πλημμύρας.

Η μελέτη μέσω μεθόδων τηλεπισκόπησης του φαινομένου που έλαβε χώρα στην Μάνδρα το Νοέμβριο του 2017, υπέδειξε την ανάγκη ανάπτυξης μοντέλων καθορισμού των διαφορετικών αντικειμένων που υποδεικνύουν τις καταστροφικές επιπτώσεις των πλημμυρικών φαινομένων. Ειδικότερα, το ιδιαίτερο ανάγλυφο της περιοχής ανάγκασε τη ροή μεγάλου όγκου φερτών υλικών προς τα κατάντη, γεγονός που δυσχεραίνει τη μελέτη μεταβολής των χρήσεων γης καθώς η ίλυς 'αναμειγνύεται' με τις υφιστάμενες χωρικές οντότητες. Δεδομένου ότι, η επιτυχής αναπαράσταση δύο ή περαιτέρω καταστάσεων μίας οντότητας επιτυγχάνεται μέσω ενός χωρο-χρονικού μοντέλου δεδομένων βασιζόμενο σε οντολογία, η προκείμενη οντολογική απεικόνιση διαχειρίζεται τη 'δυναμικότητά' της παράγοντας ένα σύνθετο

δίκτυο σχέσεων μεταξύ των χωρικών οντοτήτων. Πιο συγκεκριμένα, οι συσχετίσεις λειτουργούν ως τοπολογικοί ταξινομητές των οντοτήτων που μεταβάλλονται στο χρόνο [18]. Οι ταξινομικές συσχετίσεις παρέχουν περαιτέρω δυνατότητες εννοιολόγησης και δημιουργίας κανόνων για το αυτόματο συμπερασμό των φαινομένων. Στην παρούσα εργασία λαμβάνονται υπόψη οι μεταβάσεις σε χρήσεις και καλύψεις γής για τη μοντελοποίηση της εξέλιξης της υπό μελέτη περιοχής με ειδική μνεία να δίνεται στην ταξινόμηση μοτίβων επέκτασης και υποχώρησης της πλημμύρας [Σχήμα 11].



Σχήμα 11: Σχεσιακό μοτίβο μεταβολών εξάπλωσης και υποχώρησης της πλημμύρας - Πηγή Kurte et al, 2017

Κατά την ανάπτυξη προβληματικής σχετικά με δυναμικά φαινόμενα απαιτείται ο προσδιορισμός των χωροχρονικών παραμέτρων με σκοπό την περαιτέρω αυτοματοποίηση ενός συστήματος παρατήρησης στης γης. Το σύστημα επιτρέπει την εισαγωγή νέων εικόνων που περιγράφουν μία κείμενη κατάσταση μίας γεωχωρικής περιοχής (πλημμύρα) και εν συνεχεία παράγει ένα επίπεδο που καταγράφει τα στοιχεία των μεταβολών στις χρήσεις γης. Η συγκεκριμένη διαδικασία περιγράφει τα στοιχεία και παραμέτρους της δορυφορικής εικόνας που αναφέρονται στο Πίνακα 1.

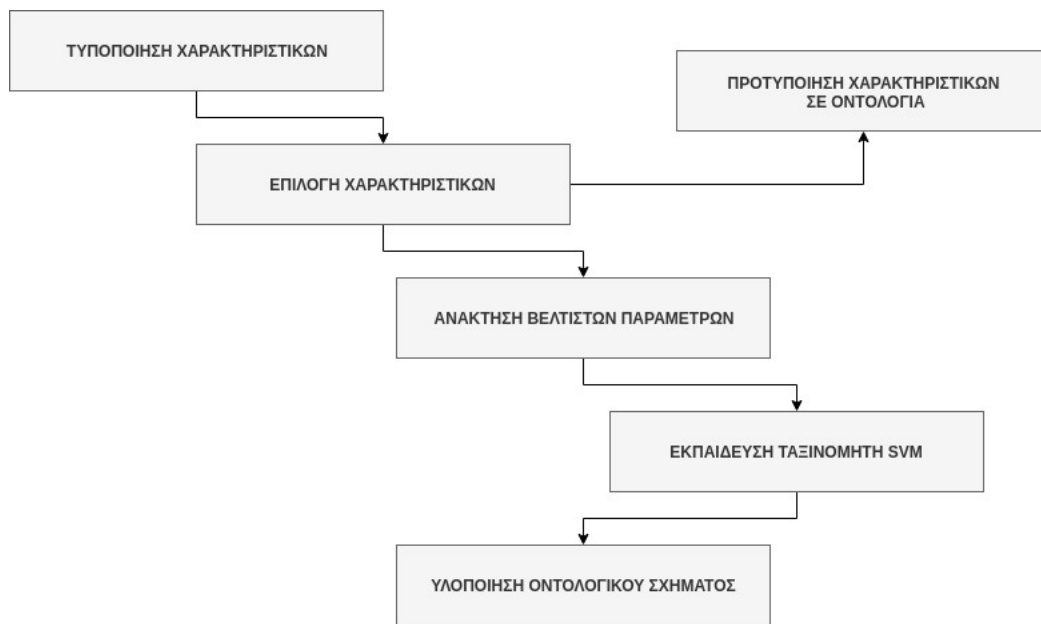
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ			
ΧΡΩΜΑ	ΥΦΗ	ΣΧΗΜΑ	ΔΕΙΚΤΕΣ
NR	Αντίθεση	Έκταση	NDVI
Red	Συσχέτιση	Προσανατολισμός	MNDWI
Green	Διαφορά	Κυρτότητα Επιμύκηση	

Πίνακας 1: Αναλυτικές παράμετροι για την αποτίμηση μεταβολών χρήσεων γης από τις δορυφορικές εικόνες

4 Αποτελέσματα

Η ταξινόμηση και η ανάλυση των δορυφορικών εικόνων που σχετίζονται με τα πλημμυρικά φαινόμενα της Μάνδρας το 2017 [Σχήμα 8] υποδεικνύουν τα φερτά υλικά ως το βασικό καταστροφικό μέσο που έπληξε την περιοχή. Επιπροσθέτως, η αναγνώριση και κατά συνέπεια η κατηγοριοποίηση των μεταβαλλόμενων χωρικών οντοτήτων στις πληγείσες περιοχές δυσχεραίνεται με την ύπαρξη στερεών υλικών και ιλύος μετά το πέρας του φαινομένου. Δεδομένης της πολυπλοκότητας της προτεινόμενης εφαρμογής, η προκείμενη μελέτη αφορά σε αρχικό στάδιο τον καθορισμό του πλαισίου για την κατασκευή σημασιολογικά-υποστηριζόμενη καταγραφή των πλημμυρικών επιπτώσεων.

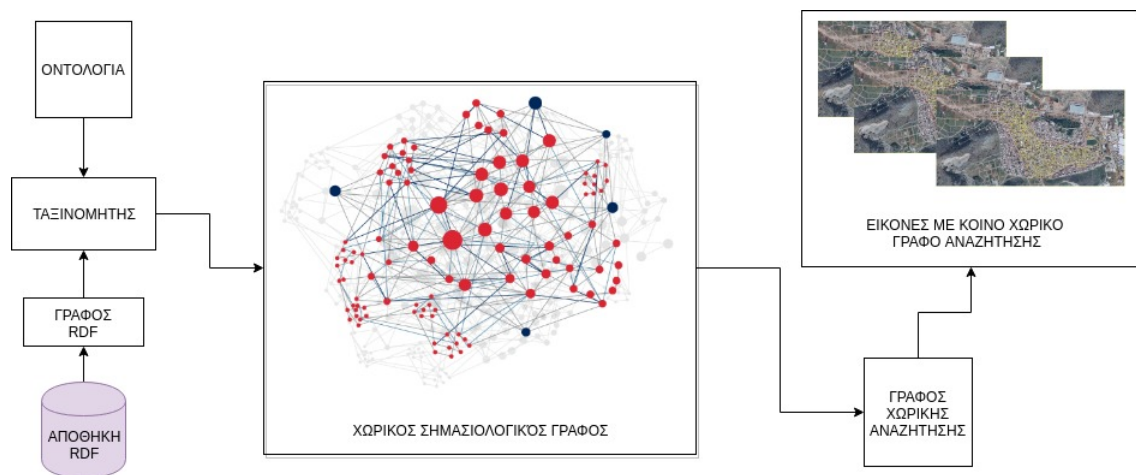
Ειδικότερα, η κατασκευή ενός μοντέλου ταξινόμησης χρήσεων/ καλύψεων γης στο πλαίσιο της Εξόρυξης Πληροφοριών Εικόνας (ΕΠΕ) απαιτείται η υλοποίηση διεργασιών προεπεξεργασίας που στοχεύουν στην ανάλυση της εκάστοτε δορυφορικής εικόνας σε ομογενείς περιοχές. Οι παραγόμενες περιοχές αποτελούν στέλεχος της αυτοματοποιημένης μεθοδολογίας με επίκεντρο την εξαγωγή χαρακτηριστικών στις κατατμημένες περιοχές ενδιαφέροντος. Σημειώνεται πως ο Πίνακας 1 περιγράφει τις παραμέτρους που θα οδηγήσουν στην σύνθεση μίας ψεδόχρωμης εικόνας. Η υψηλού επιπέδου σημασιολογική απεικόνιση των χωρικών οντοτήτων βασίζεται στα χαρακτηριστικά (Texture features), καθότι παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες σε κλίμακα περιοχής σε αντίθεση με τα pixel που προσδιορίζονται από τις κλασσικές ΠΓ. Συνεπώς, αξιοποιήθηκαν α) στατιστικά, β) μορφοτυπικά και γ) γειτνιάζοντα χαρακτηριστικά στην κατασκευή ενός βέλτιστου υπερεπιπέδου (Support Vector Machine - SVM για την προτυποποίηση της ταξινόμησης. Ακολούθως, η αυτόματη εξόρυξη γνώσης προκύπτει από μια πρότυπη ακολουθία διεργασιών [Σχήμα 12] για τον ορισμό της προτεινόμενης οντολογίας.



Σχήμα 12: Ακολουθία βημάτων για την παραγωγή ταξινομητή SVM

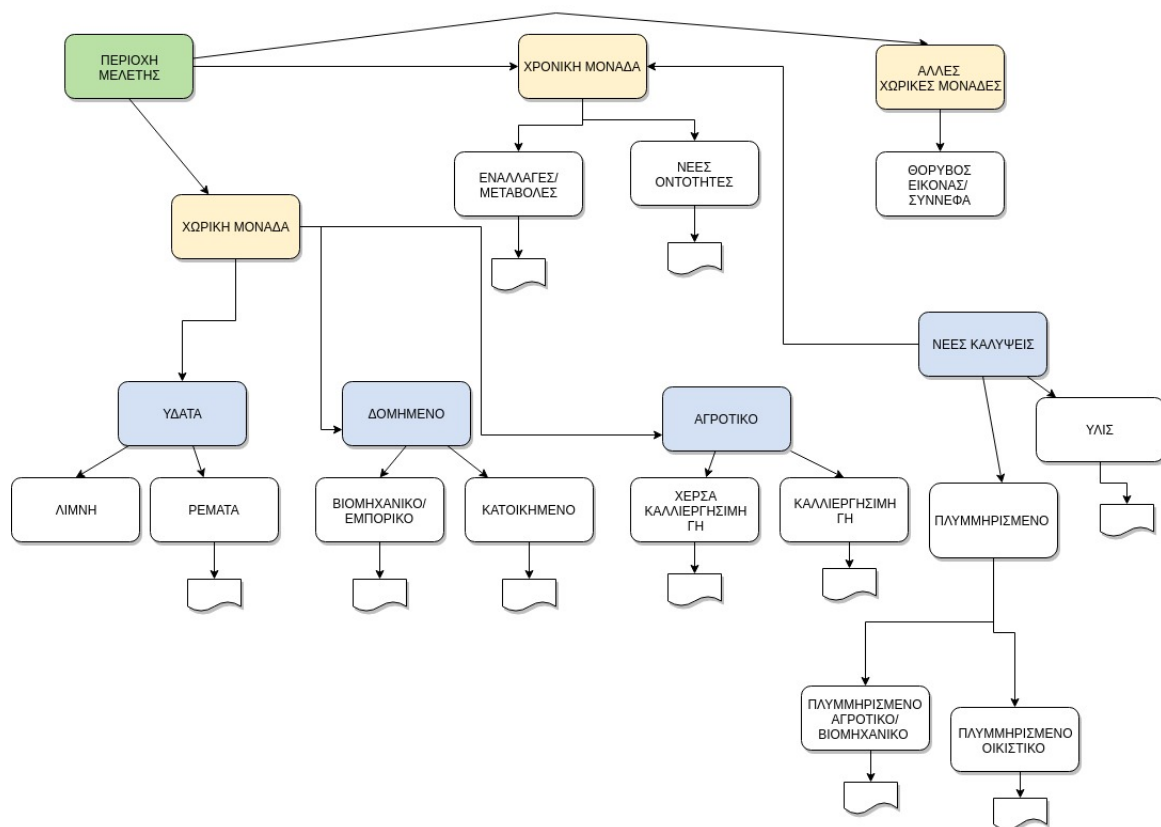
Η προετοιμασία και ολοκλήρωση αυτοματοποιημένης μεθοδολογίας ΠΓ στηρίζεται στην υλοποίηση μοντέλων που βασίζονται σε συνδεδεμένα δεδομένα. Τα Linked Data διακρίνουν το αναδυόμενο πρότυπο του Διαδίκτυου των Δεδομένων (Web of Data) με σκοπό την πρόσβαση σε δεδομένα ΠΓ προερχόμενα από την εξόρυξη δορυφορικών εικόνων. Εν συνεχεία, η ενοποίηση των εν λόγω δεδομένων με το (Web of Data) υλοποιείται με την απρόσκοπτη ενσωμάτωση του προτεινόμενου μοντέλου με εξειδικευμένη αποθήκη στα πρότυπα του RDF⁵. Η υλοποίηση του προαναφερθέντος σχήματος προϋποθέτει την συλλογή πλήθους όμοιων δεδομένων και την κατασκευή διαδικτυακής πλατφόρμας για την εξυπηρέτηση του ανωτέρω σκοπού. Εν προκειμένω παρατίθεται η προτεινόμενη αρχιτεκτονική για τη μελλοντική υλοποίησή της [Σχήμα 13].

⁵<https://www.w3.org/2001/sw/wiki/RDF>



Σχήμα 13: Αρχιτεκτονική εξόρυξη γνώσης από δεδομένα παρατήρησης της Γης

Το οντολογικό σχήμα ταξινόμησης οντοτήτων σε δεδομένα (εικόνες και χαρακτηριστικά) ΠΓ αποτελεί το βασικό παράγοντα της συγκεκριμένης μελέτης, καθώς προσδίδει τα χωρικά συστατικά που προσδιορίζουν το πλημμυρικό φαινόμενο. Το σχήμα διακρίνεται από κλάσεις χρήσεων/ καλύψεων γης οι οποίες καθορίζονται από κανόνες περιγραφικής λογικής (Description Logic - DL) και εν συνεχεία διαμορφώνουν τις χωρικές συσχετίσεις στην περιοχή μελέτης. Η συσσώρευση φερτών υλικών στα κατάντη, έναντι της συγκέντρωσης στάσιμου ύδατος δυσχεραίνουν την παραγωγή κανόνων συμπερασμού σε σχέση με τη μεταβολή των χωρικών οντοτήτων. Συνεπώς, προτείνεται η παραγωγή ενός οντολογικού σχήματος βάσει των πλημμυρικών συνθηκών και τις ιδιομορφίες των ρεμάτων της ευρύτερης περιοχής της Μάνδρας [Σχήμα 14].



Σχήμα 14: Οντολογικό σχήμα ταξινόμησης χαρακτηριστικών εικόνων μετά το πλημμυρικό γεγονός

Η χρονική ακολουθία που περιγράφει την πλημμύρα (ΠΡΙΝ, ΚΑΤΑ, ΜΕΤΑ) αποτελεί ένα οντολογικό σχήμα, το οποίο διακρίνει τα χαρακτηριστικά των εικόνων ως χωρικές και χρονικές μονάδες. Εκείνες με τη σειρά τους διακρίνονται από χωρικές οντότητες που αντιπροσωπεύουν χέρσαιες εκτάσεις και την πιθανή μεταβολή τους από την πλημμυρική εξάπλωση. Επιπροσθέτως, η κάθε κατηγορία παράγει ένα επίπεδο που ανταποκρίνεται στην αντίστοιχη έκτασή της με σκοπό την αυτόματη αναγνώριση των μεταβολών σε επόμενη στάδιο της μελέτης. Το αποτέλεσμα των ανωτέρω παραγει ένα σύνολο εκτάσεων, αντίστοιχο για το κάθε χαρακτηριστικό, που σε επόμενη φάση θα εισαχθεί σε ένα ευρετηριακό πλαίσιο (Γράφος Ερωτημάτων) με σκοπό τη συγκρότηση κανόνων και συσχετίσεων.

5 Σύνοψη

Η γνώση και τα δεδομένα που σχετίζονται με το περιβάλλον παραμένουν ακόμη κλειστά, κατακερματισμένα και ανοργάνωτα, με αποτελέσματα τον περιορισμό των δυνατοτήτων ης'επανάχρησ κ'αι έξυπνης αξιοποίησής τους στη λήψη αποφάσεων.

Η απόκτηση γνώσης για τα φυσικά φαινόμενα απαιτεί το συνδυασμό διαφορετικών ερευνητικών μεθοδολογιών, επομένως προτείνεται ο συμπερασμός διεργασιών περιβαλλοντικής παρακολούθησης με γνώμονα τη χώρο-χρονική συσχέτιση μεταξύ των υπό μελέτη φαινομένων. Η μοντελοποίηση εφαρμογών ΠΓ καθοδηγούμενη από τη σημασιολογική γνώση αποτελείται από την ανάπτυξη οντολογικού σχήματος τομέα και χωρικών συσχετίσεων, και την αναπαράσταση συνδεδεμένων δεδομένων. Η προκείμενη εφαρμογή βασίζεται σε δομές λογισμικού και υλικού που θα υποστηρίξουν διεργασίες ανάκτησης, διαχείρισης και ανάλυσης σημασιολογικών δεδομένων ΠΓ. Πέραν των ερευνητικών προοπτικών που προκύπτουν, κρατικοί και περιφερειακοί φορείς, ερευνητικά κέντρα και υπηρεσίες πολιτικής προστασίας δύναται να ωφεληθούν άμεσα από την αυτοματοποιημένη αναγνώριση των μεταβολών μετά από καταστροφικές πλημμύρες.

Οι αδυναμίες που προέκυψαν από τις ιδιαιτερότητες της περιοχής μελέτης απαιτούν την περαιτέρω ανάπτυξη του πλαισίου εφαρμογής μελέτης σε μεγαλύτερη κλίμακα. Επιπροσθέτως, η εισαγωγή της περιγραφικής λογικής σε ένα σύστημα αναγνώρισης και ανάλυσης πλημμυρικών φαινομένων προϋποθέτει την κατάρτιση βάσης γνώσης (Knowledge Base) βάσει των ιδιαιτεροτήτων που παρουσιάζονται στην ελληνική επικράτεια. Τέλος, η σημασιολογικά υποστηριζόμενη ΠΓ θα ενισχυθεί από εξειδικευμένες διεργασίες οπτικοποίησης δεδομένων για την βέλτιστη απεικόνιση και παρουσίαση των ευρημάτων.

6 Βιβλιογραφία

- [1] J.K. Lein. Environmental sensing. In *Environmental Sensing: Analytical Techniques for Earth Observation*, chapter 2, pages 23–50. Springer, New York Dordrecht Heidelberg London, 2012.
- [2] Ian H. Witten, Frank Eibe, and Mark A. Hall. *Data Mining Practical: Machine Learning Tools and Techniques*. Morgan Kaufmann, Reading, Massachusetts, 3rd edition, 2011.
- [3] D. Keim, G. Andrienko, J.-D. Fekete, C. Görg, J. Kohlhammer, and G. Melançon. *Visual Analytics: Definition, Process, and Challenges*, pages 154–175. Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [4] M. A. Gomarasca. *Basics Of Geomatics*. Springer, New York, USA, 2009.

- [5] N. Ashish and A. Sheth. *Geospatial Semantics and the Semantic Web*. Springer, New York, USA, 2011.
- [6] European Council. Eu directive of the european parliament and of the european council on the estimation and management of flood risks (2007/60/eu), 2007.
- [7] Zeman E. Marsalek J. (eds.) Schanze, J. *Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures*, volume 67. Springer, Dordrecht, 2006.
- [8] D. Degiorgis, G. Gnecco, S. Gorni, G. Roth, M. Sanguineti, and A. C. Taramasso. Classifiers for the detection of flood-prone areas using remote sensed elevation data. *Journal of Hydrology*, 470-471:302 – 315, 2012.
- [9] N. Kazakis, I. Kougias, and T. Patsialis. Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and analytical hierarchy process: Application in rhodope–evros region, greece. *Science of The Total Environment*, 538:555 – 563, 2015.
- [10] Al. Refice, A. D’Addabbo, and D. Capolongo. *Methods, Techniques and Sensors for Precision Flood Monitoring Through Remote Sensing*, pages 1–25. Springer International Publishing, 2018.
- [11] W. Huang, B. DeVries, Ch. Huang, M. W. Lang, J. W. Jones, I. F. Creed, and M. L. Carroll. Automated extraction of surface water extent from sentinel-1 data. *Remote Sensing*, 10(5), 2018.
- [12] Geospatial Media and Communication. *Geospatial Industry Outlook and Readiness Index - 2018 edition*.
- [13] CNN Greece. Τι αποκαλύπτουν οι δορυφόροι για την καταστροφή στη Δυτική Αττική.
- [14] Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών - Πλημμύρες στη Μάνδρα.
- [15] A. N. Strahler. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11):1117–1142, 1952.
- [16] Zhihua Zhang and John C. Moore. Chapter 4 - remote sensing. In Zhihua Zhang and John C. Moore, editors, *Mathematical and Physical Fundamentals of Climate Change*, pages 111 – 124. Elsevier, Boston, 2015.
- [17] K. R. Kurte, S. S. Durbha, R. L. King, N. H. Younan, and A. V. Potnis. A spatio-temporal ontological model for flood disaster monitoring. In *2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, pages 5213–5216, July 2017.

- [18] B. Harbelot, H. Arenas, and Chr. Cruz. Lc3: A spatio-temporal and semantic model for knowledge discovery from geospatial datasets. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 35(1):3–24, 2015.