



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM  
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

## Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Master Thesis

# Η χρήση ενός CPS (Cyber-Physical System) με σκοπό την παρακολούθηση και άμεση ενημέρωση για την διαχείριση κρίσεων -Περιοχή Μελέτης : Μάνδρα Αττικής

The Use of a CPS (Cyber-Physical System) to Monitor and Alert in Disasters Management- Case Study: Mandra, Attica

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΑΡΗΓΙΑΝΝΗΣ / GEORGIOS SARIGIANNIS

A.M. / R.N. : 16206

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:

**No. 2018151**

**Αθήνα, Ιούνιος 2018**

Athens, June 2018



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ & ΚΡΙΣΕΩΝ

POST GRADUATE PROGRAM  
ENVIRONMENTAL, DISASTER & CRISES MANAGEMENT STRATEGIES

## Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Master Thesis

# Η χρήση ενός CPS (Cyber-Physical System) με σκοπό την παρακολούθηση και άμεση ενημέρωση για την διαχείριση κρίσεων -Περιοχή Μελέτης : Μάνδρα Αττικής

The Use of a CPS (Cyber-Physical System) to Monitor and Alert in Disasters Management- Case Study: Mandra Attica

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΑΡΗΓΙΑΝΝΗΣ / GEORGIOS SARIGIANNIS

A.M. / R.N. : 16206

### Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

**Δρ. Αντωνίου Β.,**  
Δρ. Γεωλόγος, Ε.Δ.Ι.Π. ΕΚΠΑ

**Αντωνίου Β.**

**Δρ. Λέκκας Ε.,**  
Καθηγ. ΕΚΠΑ

**Δρ. Βούλγαρης Ν.,**  
Καθηγ. ΕΚΠΑ

Ειδικές Εκδόσεις / Special Publications:

**No. 2018151**

**Αθήνα, Ιούνιος 2018**

Athens, June 2018

Ευχαριστίες.....	4
Συνομογραφίες: .....	5
Περίληψη: .....	6
Εισαγωγή:.....	8
Κεφάλαιο 1:.....	9
<b>1.1. Πλημμύρες:</b> .....	9
1.1.1 Φαινόμενα στιγμιαίων πλημμυρών στην Ελλάδα και το Εξωτερικό: .....	11
Κεφάλαιο 2:.....	12
<b>2.1 Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης:</b> .....	12
<b>2.2 Τα Cyber Physical Systems(CPS) και οι εφαρμογές τους:</b> .....	15
0.0.1. Χρήση του CPS ως Σύστημα Έγκαιρης Παρακολούθησης .....	18
<b>B. ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ</b> .....	19
Κεφάλαιο 3: .....	19
<b>3.1. Μελέτη και Ανάλυση περίπτωσης: Πλημμύρα Μάνδρας 11/2017:</b> .....	19
<b>3.2 Μελέτη χωροθέτησης ενός CPS στην πλημμύρα της Μάνδρας:</b> .....	23
3.2.1. Μεθοδολογία – Δημιουργία Χαρτών .....	24
3.2.2. Χωροθέτηση του CPS στην περιοχή μελέτης: .....	40
Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα:.....	47
Συζήτηση – Συμπεράσματα: .....	48
Βιβλιογραφία.....	50

## Ευχαριστίες

Πριν από 1,5 χρόνο ξεκίνησα τις σπουδές μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα «Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Καταστροφών και Κρίσεων». Στο πρόγραμμα αυτό μου δόθηκε η μοναδική δυνατότητα να γνωρίσω, να παρακολουθήσω και να εμπνευστώ από πολλούς ανθρώπους. Μέσα σε αυτό το διάστημα είχα την ευκαιρία να γνωρίσω μια πληθώρα γνωστικών αντικειμένων όσον αφορά τον τομέα που ονομάζεται «Διαχείριση καταστροφών και κρίσεων» και φτάνοντας στο τέλος του προγράμματος επέλεξα να ασχοληθώ με ένα αντικείμενο που θέλω να πιστεύω ότι μέσα από εκτενή έρευνα και μελέτες έχει τη δυνατότητα να οδηγήσει τον τομέα της διαχείρισης καταστροφών και κρίσεων σε μία νέα εποχή.

Ξεκινώντας λοιπόν το πρώτο και μεγαλύτερο ευχαριστώ ανήκει στους γονείς μου Θανάση και Γιάννα που με τη δική τους βοήθεια και στήριξη όλα αυτά τα χρόνια έφτασα στο σημείο που βρίσκομαι στη ζωή μου και μορφωτικά αλλά και σαν άνθρωπος. Χωρίς τις δικές τους θυσίες δεν θα είχα κάνει τα όνειρά μου πραγματικότητα και γι' αυτό τους ευχαριστώ. Στην συνέχεια ένα εξίσου μεγάλο ευχαριστώ ανήκει στην καθηγήτρια μου Κυρία Αντωνίου Βαρβάρα η οποία με καθοδήγησε στην ολοκλήρωση της διατριβής μου και όχι μόνο πίστεψε σε εμένα και στις ιδέες μου αλλά με ώθησε να γίνω ακόμα καλύτερος και να αγαπήσω μέσω εκείνης και των γνώσεών της ακόμα περισσότερο το γνωστικό μου αντικείμενο. Επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ είναι προς τον καθηγητή μου Κύριο Ανδρεαδάκη Μανώλη ο οποίος στάθηκε δίπλα μου καθ' όλη τη διάρκεια, δίνοντας μου κίνητρο να συνεχίσω, με έκανε να αγαπήσω την έρευνα και δω πως μέσα από την επιμονή μπορώ να επιτύχω τους στόχους μου. Εν συνεχεία θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Κίμωνα Βαλαβάνη ο οποίος αν και από απόσταση στάθηκε δίπλα μου σε ότι χρειάστηκα, οι ιδέες του υπήρξαν πηγή έμπνευσης για την παραπάνω διατριβή η οποία δεν θα μπορούσε να γίνει πραγματικότητα χωρίς την συνεργασία του.

Τελειώνοντας ένα τελευταίο και τεράστιο ευχαριστώ ανήκει στην Δρ. Σπέη Φοίβη της οποίας η παρουσία με ώθησε να πιστέψω στον εαυτό μου και να ακολουθήσω το όνειρο μου όσο ακατόρθωτο και αν ακούγεται. Μου έδειξε μια άλλη όψη του τι σημαίνει να είσαι επιστήμονας και να αγαπάς πραγματικά αυτό που κάνεις χωρίς όμως να ξεχνάς ότι παραμένεις άνθρωπος. Αν μπορούσα να συνοψίσω το ταξίδι μου κατά την διάρκεια του προγράμματος θα ήταν με τις εξής λέξεις: *«Η επιστήμη είναι πολύ περισσότερο τρόπος σκέψης παρά πεδίο γνώσης. –Καρλ Σαγκαν»*

Για όσα μου μάθατε και για ότι ακολουθήσει σας ευχαριστώ

### **Συντομογραφίες:**

**GIS: Geographic Information System**

**CPS: Cyber Physical System**

**EWS: Early Warning System**

**DEM: Digital Elevation Model**

**DSM: Digital Surface Model**

**NSSL: National Severe Storms Laboratory**

**USGS: United States Geological Survey**

**IDW: Inverse distance weighting**

**WSN: Wireless Sensor Network**

**SHP: Shape File**

**GPS: Global Positioning System**

**MAC: Medium Access Protocol**

### Περίληψη:

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η μελέτη του φαινομένου των στιγμιαίων πλημμυρών και συγκεκριμένα έχοντας για πεδίο μελέτης την περιοχή της Μάνδρας στην δυτική Αττική η οποία πλήχθηκε ακόμα μία φορά από μία στιγμιαία πλημμύρα που κόστισε την ζωή 23 ανθρώπων καθώς και η μελέτη χωροθέτησης ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης με δυνατότητες και καινοτομίες που μέχρι τώρα είχαν περιορισμένη εφαρμογή στον τομέα της διαχείρισης καταστροφών. Το ιστορικό της συγκεκριμένης περιοχής και η συχνότητα εμφάνισης τέτοιου είδους καιρικών φαινομένων στην ευρύτερη περιοχή καθιστά την μελέτη απαραίτητη για την αποφυγή παρομοίων γεγονότων οποιασδήποτε κλίμακας. Για την υλοποίηση την εργασίας χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις(ύψος στάθμης νερού) οι οποίες πραγματοποιήθηκαν από την ερευνητική ομάδα του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών στην περιοχή της καταστροφής καθώς και ψηφιακά μοντέλα εδάφους και επιφάνειας(DEM,DSM) τα οποία μου παρέιχε η ερευνητική ομάδα. Η ανάλυση, επεξεργασία και εξαγωγή αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με την χρήση Συστήματος Γεωργαφικών Πληροφοριών(GIS) και συγκεκριμένα με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS Desktop – Arc Map (ESRI) και του εργαλείου(SANET) που δημιουργήθηκε από τον Καθηγητή Atsu Okabe και την ομάδα του από το πανεπιστήμιο Aoyama Gakuin στο Τόκιο της Ιαπωνίας, μέσω του οποίου είχα την δυνατότητα να εξάγω σε μορφή χαρτών τον πλημμυρικό κίνδυνο της περιοχής. Εν συνεχεία συσχετίζοντας τα δεδομένα πεδίου, τους χάρτες και το θεωρητικό υπόβαθρο από τη βιβλιογραφία, δημιουργήθηκε ο τελικός χάρτης, όπου απεικονίζεται η χωροθέτηση ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης και παρακολούθησης(CPS) το οποίο αλληλοεπιδρά μεταξύ του φυσικού και του ψηφιακού κόσμου.

### **Abstract:**

The purpose of the present thesis is to study the phenomenon of flash floods and specifically to study the area of Mandra in western Attica, which was once more affected by an instantaneous flood that cost the lives of 23 people, as well as the study of the location of an early warning system with capabilities and innovations that until now have been limited in the field of disaster management. The history of this area and the frequency of such weather events in the wider area make the study necessary to avoid similar events of any scale. For the realization of the work measurements (height of water level) were carried out by the research team of the postgraduate program in the area where the destruction occurred as well as digital ground and surface models (DEM, DSM) provided by the research team. The analysis, processing and extraction of results was carried out using the GIS and in particular the ArcGIS Desktop - Arc Map (ESRI) and the SANET tool created by Professor Atsu Okabe and his team from the Aoyama Gakuin University in Tokyo, Japan, through which I was able to map out the flood risk of the area. Then, taking into account the field data, maps and theoretical background from the bibliography, the final map was created, depicting the scheduling of an early warning and tracking system (CPS) that interacts between the physical and the digital world.

**Λέξεις κλειδιά:** Δυτική Αττική, Μάνδρα, στιγμιαίες πλημμύρες, Πλημμυρικός κίνδυνος, γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, ψηφιακό μοντέλο εδάφους, σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης, διαχείριση καταστροφών

## Εισαγωγή:

Πλημμύρα ονομάζεται η υπερχειλίση νερού στη γη που υπό κανονικές συνθήκες είναι ξηρό. Οι πλημμύρες μπορούν να συμβούν κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων, όταν τα κύματα των ωκεανών έρχονται στην ακτή, όταν το χιόνι λιώνει πάρα πολύ γρήγορα ή όταν φράσσονται φράγματα. Η πλημμύρα μπορεί να κάνει την εμφάνιση της ακόμη και με λίγα εκατοστά νερού ή και να καλύψει ένα ολόκληρο σπίτι. Μπορεί να εκδηλωθεί γρήγορα ή να διαρκέσει ημέρες, εβδομάδες ή και περισσότερο.

Οι στιγμιαίες πλημμύρες είναι οι πιο συνηθισμένες και εκτεταμένες από όλες τις φυσικές καταστροφές που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες και είναι ίσως το πιο επικίνδυνο είδος πλημμυρών, επειδή συνδυάζουν την καταστροφική δύναμη μιας πλημμύρας με απίστευτη ταχύτητα και την έλλειψη πρόβλεψης, με αποτέλεσμα η θνησιμότητα από ένα τέτοιο γεγονός να είναι μεγάλη καθώς και οι ζημιές στις ανθρώπινες περιουσίες να είναι πολλές φορές ανεπανόρθωτες. Κατά κύριο λόγο κάνουν την εμφάνισή τους όταν μεγάλη ποσότητα νερού υπερχειλίζει παραλιακούς κολπίσκους ή τις κοίτες ποταμών μαζί με τα τρέχοντα ρυάκια και τα ποτάμια τα όποια κάτω από κανονικές συνθήκες είναι ξηρά, προκαλώντας ραγδαία αύξηση της στάθμης του νερού σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Οι στιγμιαίες πλημμύρες μπορούν να συμβούν με ελάχιστη ή καμία προειδοποίηση και τείνουν να συνδέονται με πολλούς τύπους καταιγίδων, που μπορούν να παράγουν υπερβολικές ποσότητες βροχοπτώσεων σε μια συγκεκριμένη περιοχή, οπότε η ανίχνευση παραμένει μια πρόκληση. Μερικές φορές η απειλή από μία στιγμιαία πλημμύρα επισκιάζεται από άλλα σοβαρά καιρικά φαινόμενα που συμβαίνουν την ίδια στιγμή.

Τα κύρια εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση ισχυρών βροχοπτώσεων που συνδέονται με τις πλημμύρες είναι οι δορυφόροι, τα συστήματα παρακολούθησης κεραυνού, τα ραντάρ, οι βροχομετρητές αλλά και οι αισθητήρες οι οποίοι πραγματοποιούν μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο και ενημερώνουν διάφορα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης. Στην παρούσα διατριβή μελετήθηκε η περιοχή της Μάνδρας στην Δυτική Αττική η οποία πρόσφατα πλήχθηκε από μία στιγμιαία πλημμύρα και η χρήση ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης και παρακολούθησης για καιρικά φαινόμενα τέτοιου τύπου. Το συγκεκριμένο σύστημα αποτελεί την εξέλιξη στα συστήματα προειδοποίησης και παρακολούθησης καθώς έχει δυνατότητες οι οποίες δεν απαιτούν την ανθρώπινη παρέμβαση για να λειτουργήσουν και μέσω ενός δικτύου αισθητήρων μπορεί να επεξεργαστεί την πληροφορία σε πραγματικό χρόνο έτσι ώστε να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα και να γίνουν οι απαραίτητες ενέργειες ώστε να αποφευχθούν απώλειες ζωών.



## Κεφάλαιο 1:

### 1.1. Πλημμύρες:

Η πλημμύρα είναι μία από τις πιο συχνές φυσικές καταστροφές. Ορίζεται ως η υπερχειλίση των υδάτων σε περιοχές που συνήθως δεν καλύπτονται από νερό. Αν και είναι φυσική διεργασία, η δράση του ανθρώπου επηρεάζει σε αρκετές περιπτώσεις την ένταση και την συχνότητα εμφάνισης των πλημμυρών, αυξάνοντας τον κίνδυνο που διατρέχουν οι περιοχές. Η διαμόρφωση του τοπίου, ώστε να εξυπηρετεί τις ανθρώπινες ανάγκες, με την αποψίλωση των δασών, τη δημιουργία φραγμάτων, τη δόμηση σε ρέματα και λοιπές επεμβάσεις, ενδέχεται να συμβάλει στη διατάραξη των υδρολογικών λεκανών και κατ' επέκταση στα χαρακτηριστικά των πλημμυρικών επεισοδίων. Παράλληλα με τις αλλαγές στο χώρο, τις τελευταίες δεκαετίες η χρήση ορυκτών καυσίμων, είναι πλέον κοινά αποδεκτό ότι οδηγεί σε διατάραξη των μετεωρολογικών παραμέτρων, όπως ανακατανομή της βροχόπτωσης και άνοδο των θερμοκρασιών, καθιστώντας απαραίτητη τη μελέτη της επίδρασή τους στη χωρο-χρονική κατανομή του φαινομένου. Υπάρχουν πολλές κατηγοριοποιήσεις πλημμυρών ανάλογα με το είδος και την γενεσιουργό αιτία, συνήθως προέρχονται από μετεωρολογικές καταστάσεις, όμως συμβαίνουν όταν η χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης δεν μπορεί να διοχετεύσει τον όγκο νερού που παράγεται από τη βροχόπτωση. Τα φυσικά φαινόμενα που προκαλούν πλημμύρες δεν μπορούν να ελεγχθούν, αλλά οι γεωλογικές, γεωμορφολογικές και εδαφολογικές συνθήκες της λεκάνης απορροής είναι δυνατόν να τροποποιηθούν, με ανθρώπινη παρέμβαση. Σύμφωνα με την οδηγία 2007/60/ΕΚ (Η διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας στην ΕΕ, 2007) για τις πλημμύρες από την Ευρωπαϊκή Ένωση ως πλημμύρα ορίζεται η προσωρινή κατάκλυση του εδάφους από νερό το οποίο, υπό κανονικές συνθήκες, δεν είναι καλυμμένο από νερό. Αυτή περιλαμβάνει πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χείμαρρους και υδατορεύματα εφήμερης ροής, υπερχειλίσεις λιμνών, και πλημμύρες από υπόγεια ύδατα και τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές. Ακόμη, περιλαμβάνει πλημμύρες από καταστροφές μεγάλων υδραυλικών έργων, όπως θραύσεις αναχωμάτων και φραγμάτων. Η ίδια οδηγία ορίζει ως κίνδυνο πλημμύρας τον συνδυασμό της πιθανότητας να λάβει χώρα πλημμύρα και των δυνητικών αρνητικών συνεπειών για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες, που συνδέονται με αυτή την πλημμύρα

Μια πλημμύρα μπορεί να συμβεί με πολλούς τρόπους. Ο πιο συνηθισμένος είναι όταν τα ποτάμια ή τα ρέματα υπερχειλίζουν. Η υπερβολική βροχή, ένα ραγισμένο φράγμα ή

λίμνη, ο πάγος που λιώνει με γρήγορο ρυθμό στα βουνά ή ακόμα και ένα λανθασμένα τοποθετημένο φράγμα μπορεί να κατακλύσει ένα ποτάμι και να το οδηγήσει σε κατοικημένες περιοχές, ένα φαινόμενο που ονομάζεται πλημμυρίδα. Οι παράκτιες πλημμύρες συμβαίνουν όταν μια μεγάλη καταιγίδα ή ένα τσουνάμι προκαλεί τη εισροή της θάλασσας στην ενδοχώρα. Ενώ οι καταστροφικές πλημμύρες μπορούν να μειωθούν ή να εξαλειφθούν με τις ανάλογες τεχνικές παρεμβάσεις. Οι άνθρωποι παραδοσιακά ζούσαν και δούλευαν στις παραποτάμιες περιοχές επειδή σε αυτές αφενός η γη είναι συνήθως επίπεδη και εύφορη και αφετέρου τα ποτάμια παρέχουν εύκολη πρόσβαση και μετακίνηση των προϊόντων του εμπορίου και της βιομηχανίας.

Ορισμένες πλημμύρες αναπτύσσονται αργά, ενώ υπάρχει και ένα είδος πλημμύρας οι οποίες μπορούν να αναπτυχθούν μέσα σε λίγα λεπτά, και χωρίς αρχικά να υπάρχουν ορατά σημεία έντονης βροχόπτωσης. Αυτές οι πλημμύρες μπορεί να είναι εξαιρετικά επικίνδυνες, μετατρέποντας άμεσα ένα ρεύμα σε ένα τείχος νερού και καταστρέφοντας τα πάντα στην πορεία του προς τα κάτω. Οι παραπάνω πλημμύρες ονομάζονται στιγμιαίες πλημμύρες. Επιπλέον, οι πλημμύρες μπορεί να είναι τοπικές, επηρεάζοντας μια γειτονιά ή μια κοινότητα, ή πολύ μεγάλες, που επηρεάζουν ολόκληρες λεκάνες απορροής ποταμών.

Οι ειδικοί στις καταστροφές κατατάσσουν τις πλημμύρες ανάλογα με την πιθανότητα εμφάνισής τους σε δεδομένη χρονική περίοδο. Μια εκατονταετής πλημμύρα, για παράδειγμα, είναι ένα εξαιρετικά μεγάλο και καταστρεπτικό γεγονός το οποίο θεωρητικά αναμένεται να συμβεί μόνο μία φορά κάθε αιώνα. Αλλά αυτό είναι μία θεωρητική προσέγγιση. Στην πραγματικότητα, αυτή η ταξινόμηση σημαίνει ότι υπάρχει μια πιθανότητα ενός τοις εκατό ότι μια τέτοια πλημμύρα θα μπορούσε να συμβεί σε κάθε δεδομένο έτος. Τις τελευταίες δεκαετίες, πιθανώς λόγω της παγκόσμιας αλλαγής του κλίματος, εκατοντάδες πλημμύρες συμβαίνουν παγκοσμίως με όλο και μεγαλύτερο ρυθμό εμφάνισης.

Όταν τα ύδατα της πλημμύρας υποχωρούν, οι πληγείσες περιοχές συχνά καλύπτονται με λάσπη. Το νερό και το τοπίο μπορούν να μολυνθούν από επικίνδυνα υλικά, όπως αιχμηρά υπολείμματα, φυτοφάρμακα, καύσιμα και ανεπεξέργαστα λύματα. Οι δυνητικά επικίνδυνες μάζες της μούχλας μπορούν να συντρίψουν γρήγορα τις δομές που έχουν εμποτιστεί με νερό. Οι κάτοικοι πλημμυρισμένων περιοχών ενδέχεται να παραμείνουν χωρίς ηλεκτρική ενέργεια και καθαρό πόσιμο νερό για μεγάλο χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα να εκδηλώνονται θανατηφόρες ασθένειες που οφείλονται στο μολυσμένο νερό όπως ο τυφοειδής πυρετός, η ηπατίτιδα Α και η χολέρα.

### 1.1.1 Φαινόμενα στιγμιαίων πλημμυρών στην Ελλάδα και το Εξωτερικό:

Οι στιγμιαίες πλημμύρες εκδηλώνονται κυρίως σε τοπικό επίπεδο και μπορούν να είναι διάσπαρτες στο χρόνο και το χώρο. Αποτελούν αποτέλεσμα έντονης βροχόπτωσης ή ενός τυφώνα, η μιας τροπικής καταιγίδας ή νερού που έχει λιώσει από πάγο ή χιόνι, σε μια μικρή περιοχή σε σύντομο χρονικό διάστημα, συνήθως λιγότερο από 6 ώρες, προκαλώντας αύξηση και πτώση της στάθμης του νερού αρκετά γρήγορα. Οι στιγμιαίες πλημμύρες μπορεί να συμβούν μετά την κατάρρευση ενός φράγματος. Το κύριο χαρακτηριστικό μιας στιγμιαίας πλημμύρας είναι η εξαιρετικά αιφνιδιαστική εκδήλωσή της. Μεταξύ των παραγόντων που συμβάλλουν σε αυτό το είδος πλημμυρών είναι η ένταση της βροχόπτωσης, οι συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια του εδάφους, η τοπογραφία και η κλίση της. Οι στιγμιαίες πλημμύρες εμφανίζονται συνήθως σε πολύ επίπεδες περιοχές, στην περίπτωση αυτή η κλίση του εδάφους είναι πολύ μικρή για να επιτρέψει την άμεση απορροή του νερού, αντ' αυτού το νερό μπορεί να συσσωρευτεί χαμηλότερα όπως είναι οι υπόγειες διαβάσεις των οδών ή τα υπόγεια.

Οι πλημμύρες είναι ένας από τους σημαντικότερους τύπους καταστροφών στη νότια Ευρώπη με καταγραφές μεγάλου αριθμού θυμάτων και εκτεταμένες ζημιές τον περασμένο αιώνα. Η αυξανόμενη πίεση για αστική επέκταση μαζί με την υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα αύξησαν σημαντικά τον κίνδυνο πλημμυρών στην περιοχή. Σύμφωνα με μελέτες των τελευταίων 30 ετών (Llasat, 2010), καμία άλλη φυσική καταστροφή δεν έχει αφαιρέσει περισσότερες ζωές κάθε χρόνο από ό, τι οι πλημμύρες. Στην Ιταλία, περισσότερα από 40 πλημμυρικά γεγονότα συνέβησαν κατά τη διάρκεια της περιόδου 1990-2006, όπου οι περιοχές που πληγήκαν περισσότερο ήταν το Piemonte, η Liguria, η Λομβαρδία και η Καλαβρία. Αντίστοιχα στη Νότια Γαλλία, τον Σεπτέμβριο του 1992 είχαμε 4 νεκρούς και έναν αγνοούμενο με τις υλικές ζημιές να φτάνουν στα 12 εκατομμύρια δολάρια.

Η Ελλάδα δεν αποτελεί εξαίρεση σε αυτό το καθεστώς, έχοντας ένα πολύ πλούσιο ρεκόρ πλημμυρών από την αρχαιότητα.

Οι πλημμύρες στην Ελλάδα προέρχονται συνήθως από έντονα αλλά σύντομα φαινόμενα βροχοπτώσεων, και βασικό ρόλο στην γέννηση τους παίζουν η αποψίλωση και η αστικοποίηση. Τείνουν να είναι πιο καταστροφικές στο δυτικό τμήμα της Ελλάδας λόγω κλιματικών συνθηκών, γεωμορφολογίας, βλάστησης και λόγω ανθρώπινων συνθηκών. Αυτό δεν ισχύει μόνο σε εθνικό επίπεδο αλλά και σε όλο τον κόσμο. Η περιοχή της Αθήνας είναι η πιο πληγείσα περιοχή στην Ελλάδα, μια χώρα που έχει βιώσει 12 πλημμύρες (1990-2006) (Llasat, 2010). Η πιο σοβαρή πλημμύρα που συνέβη τα τελευταία 15 χρόνια ήταν τον Οκτώβριο του 1994, όταν μια καταιγίδα παρήγε 68 χιλιοστά νερού σε μια ώρα στην Αθήνα (Llasat, 2010) οδηγώντας σε υλικές ζημιές

εκτιμώμενες στα 13 εκατομμύρια. Μια βαθύτερη ανάλυση όλων των γεγονότων που καταγράφηκαν σε αυτή την περίοδο δείχνει ότι οι πλημμύρες στις χώρες της Ευρώπης και την Ελλάδα επηρεάζουν κυρίως τις αστικές περιοχές, λόγω της μετατροπής των ποταμών σε δρόμους έχοντας ως αποτέλεσμα την δημιουργία στιγμιαίων πλημμυρών. Σύμφωνα με μελέτες (Diakakis, 2012) τα αστικά περιβάλλοντα τείνουν να παρουσιάζουν υψηλότερα ποσοστά επανεμφάνισης των πλημμυρών από ό, τι οι ορεινές και οι αγροτικές περιοχές.

## Κεφάλαιο 2:

### 2.1 Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης:

Ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης ορίζεται ως μια συστηματική διαδικασία για την έγκαιρη αξιολόγηση και μέτρηση των κινδύνων προκειμένου να ληφθούν προληπτικά μέτρα για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων ενός φαινομένου. Μπορεί να εφαρμοστεί επίσης ως μία αλυσίδα συστημάτων επικοινωνίας και μετάδοσης πληροφοριών και περιλαμβάνει αισθητήρες για την ανίχνευση συμβάντων καθώς και υποσυστήματα υπεύθυνα για τη λήψη αποφάσεων. Τα παραπάνω συστήματα συνεργάζονται για την πρόβλεψη και τις διαταραχές σημάτων που επηρεάζουν δυσμενώς τη σταθερότητα του φυσικού κόσμου, παρέχοντας χρόνο στο σύστημα αντίδρασης να προετοιμαστεί για το ανεπιθύμητο συμβάν και να ελαχιστοποιήσει τον αντίκτυπό του. Σκοπός του είναι να προλαμβάνει την απώλεια ζωών και να μειώσει την οικονομική και υλική επίδραση των καταστροφών. Για να είναι αποτελεσματικά τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης πρέπει να εμπλακούν ενεργά στις κοινότητες που βρίσκονται σε κίνδυνο, να διευκολύνουν τη δημόσια εκπαίδευση και την ευαισθητοποίηση σχετικά με τους κινδύνους, να έχουν τη δυνατότητα να διαδίδουν αποτελεσματικά τις προειδοποιήσεις και να εξασφαλίζουν μία κατάσταση ετοιμότητας στους κατοίκους της εκάστοτε περιοχής. Ένα ολοκληρωμένο και αποτελεσματικό σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης βασίζεται σε τέσσερις λειτουργίες (Εικόνα 1): ανάλυση κινδύνου, παρακολούθηση και προειδοποίηση κινδύνου, διάδοση και επικοινωνία, και ικανότητα απόκρισης. Η ανάλυση κινδύνου περιλαμβάνει τη συστηματική συλλογή δεδομένων και τη διεξαγωγή εκτιμήσεων κινδύνου για προκαθορισμένους κινδύνους και τρωτά σημεία. Η παρακολούθηση και η προειδοποίηση συνεπάγεται τη μελέτη των παραγόντων που υποδεικνύουν μια καταστροφή, καθώς και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση αυτών των παραγόντων. Η διάδοση και η επικοινωνία αφορούν την κοινοποίηση των πληροφοριών σχετικά με τον κίνδυνο των προειδοποιήσεων για την προσέγγιση των ατόμων που απειλούνται με τρόπο σαφή και κατανοητό. Τέλος, η ικανότητα απόκρισης

απαιτεί τη δημιουργία εθνικού και κοινοτικού σχεδίου αντιμετώπισης, τον έλεγχο του σχεδίου και την προαγωγή της ετοιμότητας για να εξασφαλιστεί ότι οι άνθρωποι θα γνωρίζουν πώς να ανταποκρίνονται στις προειδοποιήσεις.

Η έκφραση «έγκαιρη προειδοποίηση» χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς για την παροχή πληροφοριών σχετικά με μια αναδυόμενη επικίνδυνη κατάσταση, ειδικά όταν αυτές οι πληροφορίες μπορούν να επιτρέψουν την εκ των προτέρων τη λήψη μέτρων για τη μείωση των σχετικών κινδύνων. Υπάρχουν συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης για φυσικούς, γεωφυσικούς και βιολογικούς κινδύνους, σύνθετες κοινωνικοπολιτικές καταστάσεις έκτακτης ανάγκης, βιομηχανικούς κινδύνους, προσωπικούς κινδύνους για την υγεία και πολλούς άλλους σχετικούς κινδύνους. Στον παρόντα χώρο συμπεριλαμβάνονται γεωφυσικοί κίνδυνοι, καταιγίδες, πλημμύρες, ξηρασίες, κατολισθήσεις, ηφαιστειακές εκρήξεις, τσουνάμι κλπ. και κινδύνους που έχουν γεωφυσική συνιστώσα, όπως, λιμούς και επιδημίες. Σύμφωνα με την τρέχουσα ορολογία ως έγκαιρη προειδοποίηση ορίζεται «η παροχή έγκαιρης και αποτελεσματικής πληροφόρησης, μέσω αναγνωρισμένων οργανισμών, που επιτρέπει σε άτομα που εκτίθενται σε κίνδυνο να αναλάβουν δράση για να αποφύγουν ή να μειώσουν τον κίνδυνο τους και να προετοιμαστούν για αποτελεσματική απάντηση (Basher, 2006). Λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω κινδύνους αλλά και περιπτώσεις στις οποίες ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης μπορεί να συμβάλει, πρέπει να τονιστεί ότι ο ανθρώπινος παράγοντας στα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης είναι πολύ σημαντικός (Hoff, 2003).

<p style="text-align: center;"><b>risk knowledge</b> knowledge of the relevant hazards, and of the vulnerabilities of people and society to these hazards</p>	<p style="text-align: center;"><b>monitoring and warning service</b> a technical capacity to monitor hazard precursors, to forecast the hazard evolution, and to issue warnings</p>
X	
<p style="text-align: center;"><b>dissemination and communication</b> the dissemination of understandable warnings, and prior preparedness information, to those at risk</p>	<p style="text-align: center;"><b>response capability</b> knowledge, plans and capacities for timely and appropriate action by authorities and those at risk</p>

Εικόνα 1: Τα τέσσερα στοιχεία των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης επικεντρωμένων στον Άνθρωπο (Πηγή: (Basher, 2006)

Η συνηθέστερη μορφή ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης περιλαμβάνει μια «αλυσίδα προειδοποιήσεων», ένα γραμμικό στην ουσία σύνολο συνδέσεων ξεκινώντας από τις παρατηρήσεις έως και την προειδοποίηση και μετάδοση στους χρήστες. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να τονιστεί η ανάγκη να υπάρχουν όλες οι ενδιάμεσες συνδέσεις στην αλυσίδα έγκαιρης προειδοποίησης οι οποίες θα αλληλοεπιδρούν συστηματικά έτσι ώστε το σύστημα να μπορεί να λειτουργήσει. Στο επίκεντρο όλων των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης υπάρχει ένα μοντέλο που περιγράφει τα σχετικά χαρακτηριστικά του κινδύνου και τις επιπτώσεις του, ιδιαίτερα το πώς εξελίσσονται στο χρόνο. Το μοντέλο παρέχει τα μέσα για την προβολή του τι θα μπορούσε να συμβεί στο μέλλον και συνεπώς ποιες ενέργειες θα ήταν επιθυμητές ως αποτέλεσμα. Τα μοντέλα μπορεί να είναι εξίσου περίπλοκα με τα μοντέλα πρόγνωσης του καιρού σε παγκόσμια κλίμακα, ή τόσο απλά όσο μία πληροφορία που μεταφέρεται λεκτικά. Μπορεί να εξελίσσονται αργά, όπως για παράδειγμα ένα μοντέλο ξηρασίας όπου η απώλεια της υγρασίας του εδάφους μπορεί να συμβεί σε διάρκεια μηνών ή πολύ γρήγορα όπως σε έναν σεισμό όπου η διαφορεική ταχύτητα ηλεκτρομαγνητικών σημάτων σε σχέση με τα σεισμικά κύματα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αυτόματη απενεργοποίηση ενός απομακρυσμένου και ευαίσθητου συστήματος λίγα δευτερόλεπτα πριν ακολουθήσει η καταστροφή.

Όλα τα μοντέλα βασίζονται στην περιγραφή μιας αρχικής κατάστασης, η οποία πρέπει να λαμβάνεται με παρατηρήσεις από το πεδίο. Τα συστήματα παρατήρησης μπορεί να είναι δαπανηρά, όσον αφορά στην εγκατάσταση και λειτουργία τους και είναι συχνά ανεπαρκή, ιδίως στις φτωχότερες χώρες. Οι προειδοποιήσεις είναι εγγενώς πιθανολογικές, ακόμα και αν βασίζονται στην φυσική και παρουσιάζονται σε κατηγοριοποιημένη μορφή. Αξιοσημείωτες είναι οι προβλέψεις των εποχικών ανωμαλιών του κλίματος, οι οποίες επηρεάζονται έντονα την αβεβαιότητα του συστήματος και πρέπει να αφηθεί στον τελικό χρήστη να κρίνει τις πιθανές επιπτώσεις των προβλεπόμενων πιθανών κλιματικών αποτελεσμάτων.

## 2.2 Τα Cyber Physical Systems(CPS) και οι εφαρμογές τους:

Τα τελευταία χρόνια στον τομέα της μηχανικής και των υπολογιστών η εμφάνιση και λειτουργία των (CPS) έχει προσελκύσει την προσοχή του ακαδημαϊκού κόσμου, της βιομηχανίας και των εθνικών κυβερνήσεων λόγω του δυνητικού οφέλους τους για την κοινωνία, την οικονομία και το περιβάλλον. Σε γενικές γραμμές, τα CPS θεωρούνται η επόμενη γενιά μηχανικών συστημάτων που απαιτούν ενσωμάτωση τεχνολογιών πληροφορικής, επικοινωνίας και ελέγχου για την επίτευξη σταθερότητας, απόδοσης, αξιοπιστίας, ευρωστίας και αποτελεσματικότητας στην αντιμετώπιση φυσικών συστημάτων σε διάφορους τομείς εφαρμογής.

Ειδικότερα στις μέρες μας το Διαδίκτυο έχει αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο αλληλεπιδράμε και επικοινωνούμε μεταξύ μας, αλλά και τον τρόπο με τον οποίο δημιουργούμε, διανέμουμε και καταναλώνουμε πληροφορίες. Η τάση αυτή παρουσιάζεται ενεργά, και στην νέα γενιά τεχνολογιών, ενσωματωμένων υπολογιστών, αισθητήρων και ασύρματων δικτύων τα οποία καθίστανται ως το βασικό στοιχείο που μας επιτρέπει την αλληλεπίδραση, τον έλεγχο και την κατασκευή φυσικών μηχανικών συστημάτων όπως τα αυτοκίνητα, τα αεροσκάφη, τα ηλεκτρικά δίκτυα, τα εργοστάσια παραγωγής, τα ιατρικά συστήματα και τα συστήματα κατασκευής, στα οποία η σύγχρονη κοινωνία και η οικονομία μας εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό. Οι πρόσφατες εξελίξεις στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών, της δικτύωσης και των τεχνολογιών ενσωματωμένων συστημάτων έχουν οδηγήσει στην αύξηση του ενδιαφέροντος για την ανάπτυξη συστημάτων Cyber Physical Systems (CPS) για διάφορους σκοπούς. Τα τελευταία χρόνια, το CPS έχει αναδειχθεί ως μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία που μπορεί να υποστηρίξει τις αλληλεπιδράσεις ανθρώπου-ανθρώπου, ανθρώπου-αντικειμένου και αντικειμένου-αντικειμένου στον φυσικό και τον εικονικό κόσμο.

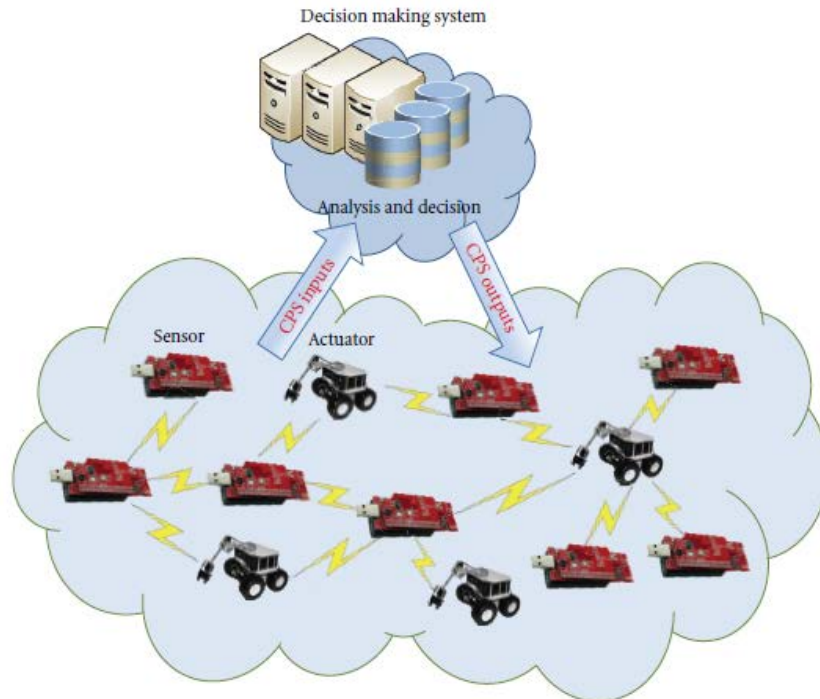
Ένα CPS(Cyber Physical System) είναι πρακτικά η ενσωμάτωση αφηρημένων υπολογισμών και φυσικών διεργασιών, όπου με την χρήση αισθητήρων, ενεργοποιητών και ενσωματωμένων συσκευών που συνδέονται σε δίκτυο, έχουν ως στόχο την ανίχνευση, παρακολούθηση και τον έλεγχο του φυσικού κόσμου. Λειτουργώντας σε πραγματικό χρόνο παρέχουν κατανεμημένη ανίχνευση, υπολογισμό και έλεγχο πάνω σε ενσύρματα ή ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας, ενώ κάνουν χρήση αλγορίθμων λήψης αποφάσεων υψηλού επιπέδου. Τέτοιου είδους συστήματα έχουν εφαρμογή σε πολλούς τομείς της κοινωνίας όπως στην ενέργεια, και στην ιατρική αλλά και σε πολλούς άλλους τομείς καθώς έχουν τη δυνατότητα να σχεδιαστούν και να αναπτυχθούν έτσι ώστε να είναι πολύ πιο έξυπνα, αξιόπιστα, ασφαλή, αποτελεσματικά και ανθεκτικά. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά ενσωματωμένα συστήματα, το CPS είναι ένα δίκτυο αλληλεπιδρώντων συσκευών με φυσικές εισόδους και εξόδους αντί για αυτόνομες συσκευές. Μια τυπική

εφαρμογή CPS είναι η σύνδεση ενσωματωμένων συσκευών με τους κόμβους αισθητήρων (οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή πληροφοριών από τον φυσικό κόσμο ως πηγή εισόδου στο CPS) σε κάποιο σύστημα λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο (το οποίο αντιπροσωπεύει τον εικονικό κόσμο). Κατά τη λήψη των δεδομένων εισόδου από τους κόμβους των αισθητήρων, το CPS θα λάβει μια αντίστοιχη απόφαση με βάση αυτά και την υπολογιστική επεξεργασία που πραγματοποιείται στους ενεργοποιητές μεταφέροντας τα στον φυσικό κόσμο μέσω μιας σειράς διαδικασιών ελέγχου. Τα χαρακτηριστικά των CPS μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Η ενσωμάτωση συσκευών σε ένα κοινό δίκτυο και η επικοινωνία μεταξύ τους.
- Η ενσωμάτωση συσκευών με διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας. Οι συσκευές στον φυσικό κόσμο ενδέχεται να υιοθετούν διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως WiFi, Bluetooth, Zigbee, RF, υπέρυθρες και ούτω καθεξής.
- Η ταχεία αλλαγή της τοπολογίας του δικτύου. Κάποιοι φορητοί αισθητήρες μπορεί να φορεθούν και από τους ανθρώπους. Ως αποτέλεσμα, η τοπολογία του δικτύου αλλάζει δυναμικά με τις κινήσεις των ανθρώπων.
- Η απομακρυσμένη πρόσβαση στο Internet. Κάθε συσκευή που βασίζεται σε ένα CPS πρέπει να έχει τη δυνατότητα πρόσβασης στο Internet. Βάση αυτής της δυνατότητας, το σύστημα λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, το οποίο είναι μέρος του CPS, θα μπορούσε να λάβει με επιτυχία τις διαθέσιμες εισροές δεδομένων από τις συσκευές και στη συνέχεια να λάβει αποφάσεις για τον έλεγχο του φυσικού κόσμου.
- Ο περιορισμός σε πραγματικό χρόνο για ορισμένες εφαρμογές ευαίσθητες σε καθυστέρηση, όπως εφαρμογές συστημάτων υγειονομικής περίθαλψης και έκτακτης ανάγκης σε πραγματικό χρόνο. Εάν δεν επιτευχθεί αυτός ο περιορισμός, τέτοιες εφαρμογές που είναι ευαίσθητες σε καθυστέρηση ενδέχεται να καταστούν αναξιόπιστες και μη χρηστικές.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί το CPS είναι παρόμοιο με το παραδοσιακό ενσωματωμένο σύστημα, το οποίο στοχεύει να συνδυάσει τις φυσικές διεργασίες με τους αφηρημένους υπολογισμούς. Ωστόσο, σε αντίθεση με τα παραδοσιακά ενσωματωμένα συστήματα, το CPS είναι ένα δίκτυο αλληλοεπιδρώντων συσκευών με φυσικές εισόδους και εξόδους αντί για αυτόνομες συσκευές. (Εικόνα 2)





Εικόνα 2: Η αρχιτεκτονική δομή ενός CPS (Πηγή (Lin, 2012))

Στην εικόνα 2 απεικονίζεται η βασική αρχιτεκτονική δομή ενός CPS το οποίο αποτελείται κυρίως από ένα φυσικό επίπεδο και ένα εικονικό επίπεδο. Στο φυσικό επίπεδο, οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή πληροφοριών και τον έλεγχο του φυσικού κόσμου, αντίστοιχα. Επιπλέον, οι διάφοροι τύποι συλλεγόμενων πληροφοριών από τους αισθητήρες μετατρέπονται επίσης από αναλογική μορφή σε ψηφιακή μορφή σε αυτό το επίπεδο και στη συνέχεια αποστέλλονται στο εικονικό επίπεδο ως εισροές δεδομένων του συστήματος λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο. Στην εικονικό επίπεδο, κατά την παραλαβή των δεδομένων εισόδου, το σύστημα λήψης αποφάσεων εκτελεί τους αφηρημένους υπολογισμούς για να αναλύσει τα συλλεχθέντα δεδομένα και στη συνέχεια μεταδίδει την απόφασή του στους ενεργοποιητές στον φυσικό κόσμο μέσω μίας ακολουθίας διαδικασιών ελέγχου.

Τέλος οι κόμβοι αισθητήρων τοποθετούνται πάνω στην δεδομένη περιοχή παρακολούθησης με αποτελεσματικό τρόπο, ώστε να μπορούν να λάβουν το μέγιστο της πληροφορίας. Ένα σύστημα συλλογής δεδομένων διασφαλίζει ότι οι συγκεντρωμένες πληροφορίες μπορούν να παραδοθούν με επιτυχία από τους αισθητήρες σε έναν κόμβο ο οποίος μπορεί να θεωρηθεί ως το σύστημα λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο.

Στη συνέχεια λαμβάνοντας υπόψη όσα ήδη αναφέρθηκαν παρουσιάζονται οι δυνατότητες χρήσης ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης για φυσικές καταστροφές.

### 2.2.1. Χρήση του CPS ως Σύστημα Έγκαιρης Παρακολούθησης

Το CPS χρησιμοποιεί ασύρματες τεχνολογίες, ανιχνεύοντας και κατανέμοντας αποφάσεις που βασίζονται σε αμέτρητους υπολογισμούς και δίκτυα με πιθανά οφέλη σε πολύ διαφορετικούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, όπως το περιβάλλον, στην ασφάλεια, τα συστήματα μεταφορών, στη διαχείριση έκτακτων περιστατικών, στην ανακάλυψη βόμβων, ορυχείων αλλά και τον τουρισμό. Με βάση λοιπόν τους παραπάνω τομείς ένα CPS μπορεί προσφέρει σε μεγάλο βαθμό απέναντι σε πληθώρα φυσικών καταστροφών δρώντας όχι μόνο ως ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης αλλά παράλληλα και διαχείρισης μιας κρίσης που ακολουθεί μετά από μια καταστροφή.

Η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και η γρήγορη απόκριση είναι εγγενείς απαιτήσεις για την αντιμετώπιση έκτακτης ανάγκης. Κατά τη διάρκεια μίας πυρκαγιάς για παράδειγμα, η χρήση ενός CPS μπορεί να είναι καθοριστική στην έγκαιρη προειδοποίηση αλλά και αποφυγή μιας κρίσης. Πιο συγκεκριμένα, διάφοροι τύποι αισθητήρων μπορούν να συνεργάζονται και να αλληλοεπιδρούν με τους εκκενωθέντες και το περιβάλλον. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας και αερίου για παράδειγμα μπορούν να βοηθήσουν στην παρακολούθηση της εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς. Οι περιστρεφόμενες κάμερες παρακολουθούν την εξάπλωση της πυρκαγιάς και την κίνηση των πολιτών. Τα έξυπνα συστήματα εκκένωσης μπορούν να βοηθήσουν τους εκκενωθέντες, λαμβάνοντας υπόψη τους κόμβους που είναι υπεύθυνοι για της πρώτες βοήθειες, τους διάφορους αισθητήρες αλλά και τις φορητές συσκευές που μπορεί να έχουν οι πολίτες. Επιπροσθέτως πολίτες με φορητές συσκευές μπορούν να ακολουθήσουν εξατομικευμένες διαδρομές πλοήγησης με κατανεμημένες αποφάσεις που μετριάζουν τη συμφόρηση κατά την διάρκεια μιας κρίσης. Εκείνοι που δεν διαθέτουν φορητές συσκευές έχουν τη δυνατότητα να ακολουθήσουν φωτεινές σημάσεις αλλά και ηχητικές οδηγίες για να οδηγηθούν σε ασφαλές μέρος. Παράλληλα ένα CPS έχει τη δυνατότητα να συγκεντρώσει πληροφορίες μέσω των αισθητήρων και να προβλέψει δυναμικά την κίνηση των εκκενωθέντων και των κινδύνων που μπορεί να εμφανιστούν για να λάβουν τις καλύτερες αποφάσεις σχετικά με την κατανομή των πόρων.

Καθώς το σύστημα καθίσταται πιο περίπλοκο, μπορεί να παρέχει ακριβέστερες προβλέψεις και αποφάσεις, βαθύτερη γνώση, υποστήριξη μεγάλης κλίμακας καταστροφών και βέλτιστη απόκριση σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης και να προσφέρει καλύτερη κλιμάκωση, ευελιξία, διάρκεια ζωής του συστήματος και ανοχή σε τυχόν σφάλματα. Ωστόσο, όσο πιο σύνθετο το σύστημα τόσο πιο πολύ βασίζεται σε προηγμένες γνώσεις και πολύπλοκες τεχνολογίες, οι οποίες περιλαμβάνουν μεγαλύτερο κόστος υλικών αλλά και αύξηση των γενικών εξόδων για την ολοκλήρωση του δικτύου, τις επικοινωνίες μεταξύ δικτύων, τη διαχείριση δεδομένων, την υποδομή της δικτύωσης

καθώς και της διαχείρισης πόρων και ανάπτυξης.

## **B. ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ**

### **Κεφάλαιο 3:**

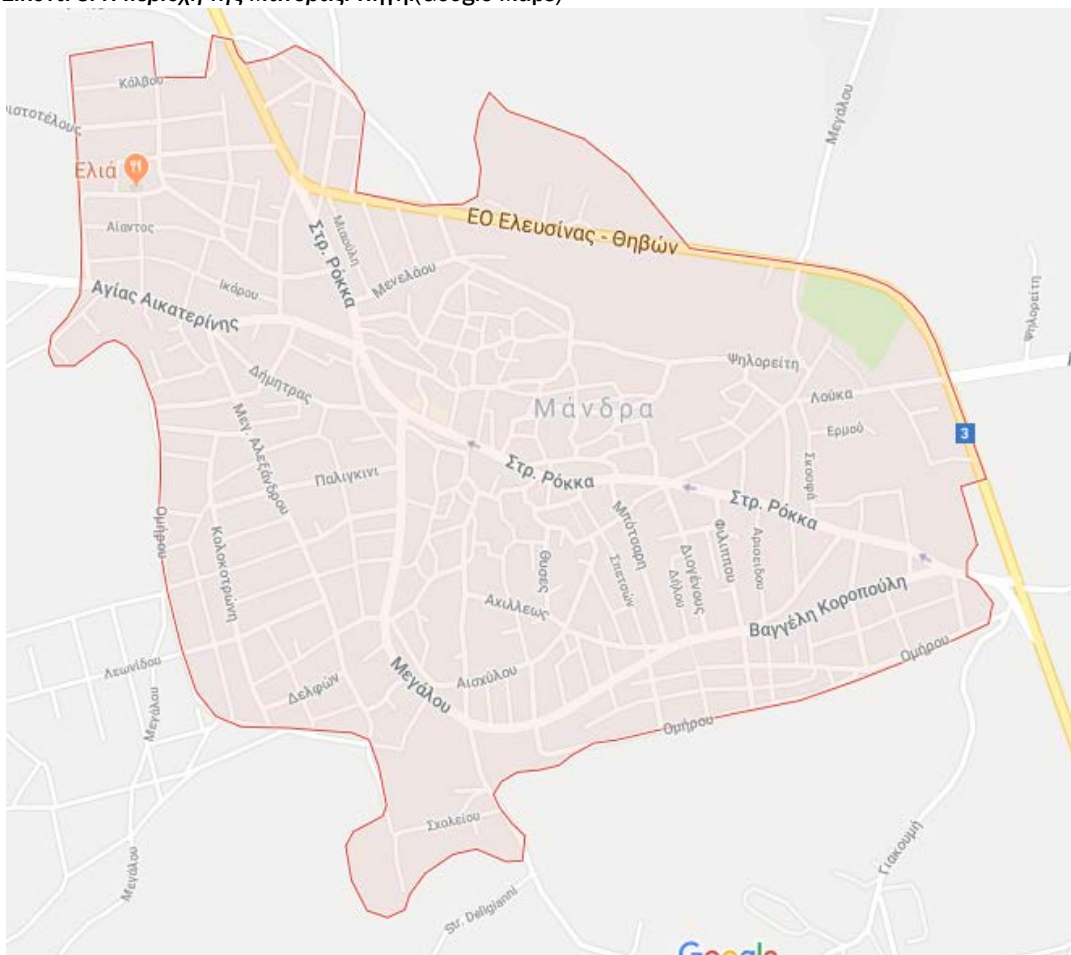
#### **3.1. Μελέτη και Ανάλυση περίπτωσης: Πλημμύρα Μάνδρας 11/2017:**

Η Μάνδρα είναι περιοχή της Δυτικής Αττικής. Βρίσκεται στο δυτικό τμήμα του Ράριου-Θριάσιου Πεδίου, ανάμεσα στις περιοχές της Ελευσίνας και των Μεγάρων και στους πρόποδες του Όρους Πατέρας.(Εικόνα 3), (Εικόνα 4). Αποτελεί έδρα του Δημοτικού διαμερίσματος Μάνδρας – Ειδυλλίας και των Κούντουρων Αττικής. Στην έκταση του Δήμου περιλαμβάνονται οι αρχαίες πόλεις των Ελευθερών και της Μυουπόλεως στον Κιθαιρώνα. Η ονομασία της πόλης Μάνδρα αναφέρεται από τον τραγικό ποιητή Σοφοκλή καθώς και από άλλους λόγιους της εποχής.

Η περιοχή της Μάνδρας διαθέτει μια από τις πιο εκτεταμένες εγκαταστάσεις εφοδιαστικής της Αττικής. Επίσης στην Μάνδρα λειτουργεί το μεγαλύτερο λατομείο αδρανών υλικών της Νοτιοανατολικής Ευρώπης. Η περιοχή έχει την όψη προαστιακής κωμόπολης και διαθέτει πλείστες πευκόφυτες εκτάσεις. Μέχρι την εποχή της κυρίως βιομηχανικής ανάπτυξης οι κάτοικοι της περιοχής επένδυσαν κυρίως στην καλλιέργεια της ελιάς ενώ μεγάλο κομμάτι του πληθυσμού απασχολούνταν στην ρητινοκαλλιέργεια λόγω των προαναφερθεισών μεγάλων πευκόφυτων εκτάσεων. Η Μάνδρα παρουσιάζει αύξηση πληθυσμού τις τελευταίες δεκαετίες, ενώ σύμφωνα με την απογραφή του 2011 αριθμεί 12.792 κατοίκους.



Εικόνα 3: Η περιοχή της Μάνδρας. Πηγή:(Google Maps)



Εικόνα 4: Όρια αστικού ιστού της περιοχής της Μάνδρας. Πηγή:(Google Maps)

Τις ημέρες Τετάρτη-Παρασκευή (14-16 Νοεμβρίου) έκαναν την εμφάνιση τους καταιγίδες σε μεγάλη συχνότητα και με μεγάλη ένταση οι οποίες σύμφωνα με την Μετεωρολογική Υπηρεσία οφείλονταν σε έντονη αστάθεια στην ανώτερη ατμόσφαιρα, προκαλώντας βροχές και καταιγίδες σε μεγάλο μέρος της χώρας. Η περιοχή της Μάνδρας επηρεάστηκε από καταιγίδες τις πρώτες πρωινές ώρες της Τετάρτης 15 Νοεμβρίου 2017. Βασιζόμενοι σε μελέτες πάνω στα δορυφορικά δεδομένα της περιοχής οι μετεωρολόγοι είδαν μια ανατροφοδότηση καταιγίδων σε μία πολύ περιορισμένη περιοχή γύρω από το όρος Πατέρας το πρωί τις 15ης και έως το μεσημέρι της ίδιας ημέρας. Οι επαναλαμβανόμενες βροχοπτώσεις σε μια περιορισμένη γεωγραφική περιοχή ήταν αυτές που προκάλεσαν τη στιγμιαία πλημμύρα (flash flood) στην περιοχή και συγκεκριμένα στα ρέματα που απορρέουν στην πεδιάδα της Νέας Περάμου και στην πεδινή περιοχή της Μάνδρας και της ΒΙΠΕ Μάνδρας. Οι προαναφερθέντες χείμαρροι ενεργοποίησαν τα αλλουβιακά ριπιδία που έχουν σχηματιστεί από την προσφορά ιζημάτων εντός του Τεταρτογενούς με αποτέλεσμα να προκληθούν πλημμύρες με μεγάλη ποσότητα φερτών υλικών. (Efthymios Lekkas, 2017) Οι περιοχές που πλημμύρισαν βρίσκονται πάνω σε γεωλογικούς σχηματισμούς ριπιδίων. Η ανάπτυξη των οικισμών κάθετα στη ροή του νερού και πάνω στα αλλουβιακά αυτά ριπιδία απέκοψαν την ομαλή αποστράγγιση των υδάτων προς τη θάλασσα με αποτέλεσμα τα ύδατα να πλημμυρίσουν τους οικισμούς. (Efthymios Lekkas, 2017). Επιπρόσθετα η ανάπτυξη οδικού αλλά και σιδηροδρομικού δικτύου κάθετα στη ροή ενδέχεται να απέκοψε την ομαλή ροή, το οποίο με τη σειρά του είχε ως αποτέλεσμα η έκταση της πλημμυράς να ενισχυθεί όσον αφορά το πλάτος.(Εικόνα 5 ).

Η καταιγίδα που προκάλεσε την καταστροφική ξαφνική πλημμύρα που έπληξε τη Δυτική Αττική, χαρακτηρίστηκε από σύντομη διάρκεια και μεγάλη ένταση, χαρακτηριστικά τα οποία είναι τυπικά των καταιγίδων που προκαλούν ξαφνικές πλημμύρες στη Μεσόγειο. Αποτέλεσμα ήταν ο θάνατος 23 ανθρώπων και ο τραυματισμός αρκετών κατοίκων ενώ παράλληλη ύπαρξη υλικών ζημιών σε όλη την ευρύτερη περιοχή.(Εικόνα 6) Η συγκεκριμένη πλημμύρα χαρακτηρίστηκε ως η τρίτη μεγαλύτερη πλημμύρα στην Αττική με βάσει τον αριθμό των νεκρών.

Με βάση τα στατιστικά στοιχεία (Lasda, 2010) από τα τέλη του 19ου αιώνα, υπήρχαν στην Αττική περί τους 700 χειμάρρους, ποτάμια και ρυάκια. Το 1999 ο αριθμός μειώθηκε σε 70 ενώ σήμερα υφίστανται μόλις 50. Οι δομημένες επιφάνειες στο Λεκανοπέδιο μετά το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο ανέρχονταν στο 25% ενώ μετά το 1975 το ποσοστό αυτό ανήλθε σε 75%. Η Αττική έχει να θρηνήσει τόσα θύματα από πλημμύρα τουλάχιστον 60 χρόνια, ενώ συνολικά από το 1960 οι άνθρωποι που έχουν χάσει τη ζωή τους από πλημμύρες στο νομό ανέρχονται σε 189.



Εικόνα 5: Φθορές στο οδικό δίκτυο μετά την καταστροφή Πηγή: (Efthymios Lekkas, 2017)

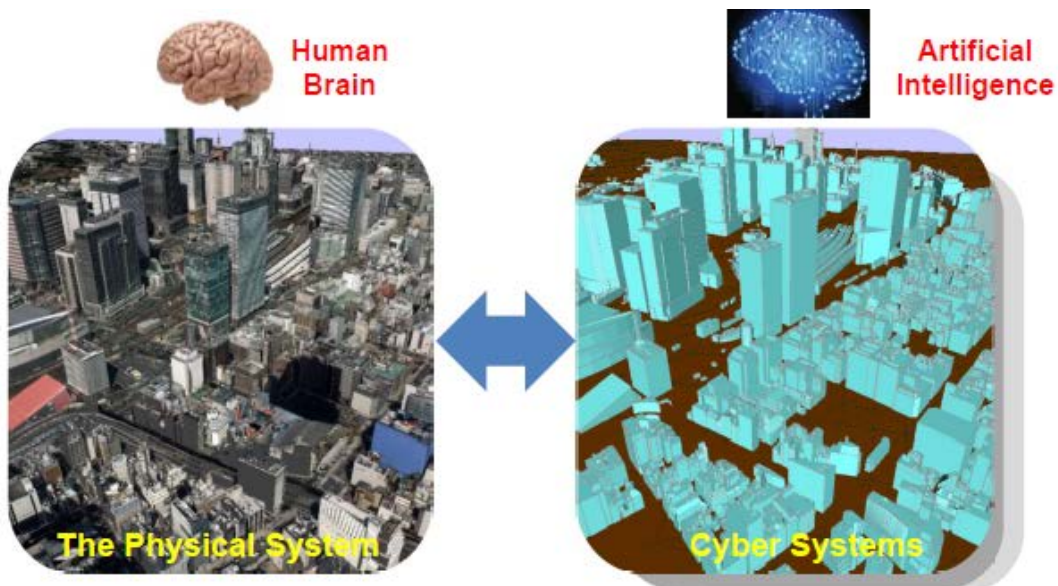


Εικόνα 6: Υλικές ζημιές εντός της περιοχής της Μάνδρας Πηγή: (Efthymios Lekkas, 2017)

### 3.2 Μελέτη χωροθέτησης ενός CPS στην πλημμύρα της Μάνδρας:

Κάνοντας μία αναδρομή στη ιστορία παρατηρεί κανείς ότι η καταστροφή στην περιοχή της Μάνδρας δεν είναι ένα πρωτοφανές συμβάν. Τα έτη 1996 και 1999 η περιοχή της Μάνδρας είχε πληγεί πάλι από ακραία καιρικά φαινόμενα έχοντας για άλλη μια φορά θύματα. Λαμβάνοντας υπόψη την προϊστορία της περιοχής όσον αφορά τα πλημμυρικά φαινόμενα είναι δυνατόν να θεωρηθεί ότι η περιοχή είναι κατάλληλη ως περιοχή μελέτης. Σκοπός της μελέτης είναι η χωροθέτηση ενός CPS το οποίο θα λειτουργεί ως σύστημα παρακολούθησης και έγκαιρης προειδοποίησης από καιρικά φαινόμενα τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε αντίστοιχα μήκη καταστροφών.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί το CPS είναι ένα σύστημα το οποίο λειτουργεί σε 2 επίπεδα, το ψηφιακό και το φυσικό(Εικόνα 7).

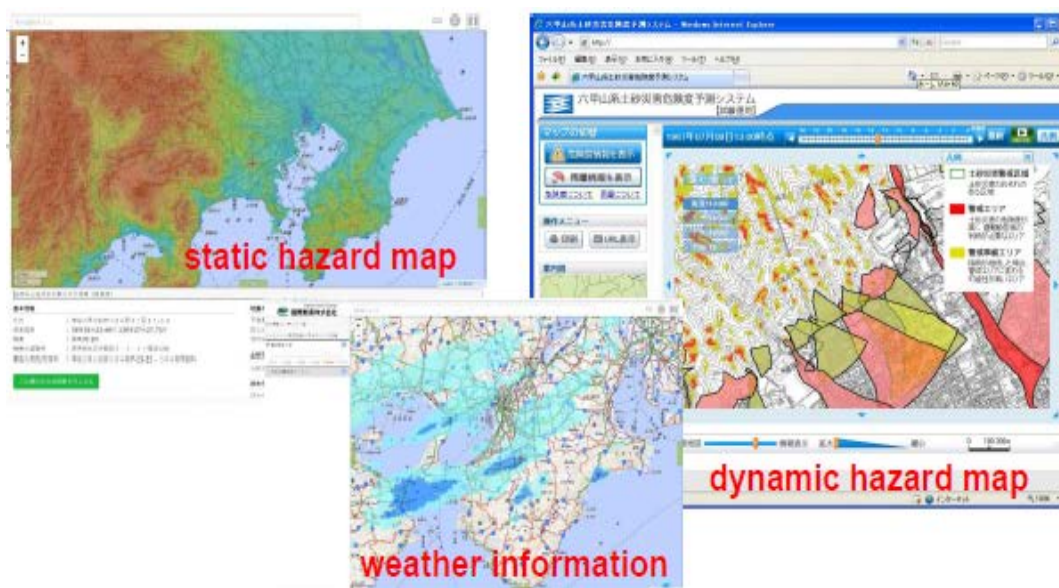


Εικόνα 7: Φυσικό και ψηφιακό - Τα δύο επίπεδα πληροφορίας που αποτελούν ένα CPS. Πηγή: (Koichi Tsuno, 2016)

Ο μηχανισμός ελέγχεται ή παρακολουθείται από αλγόριθμους βασισμένους σε υπολογιστή, και στην αλληλεπίδραση με το Internet και τους χρήστες του. Σε αντίθεση με τα πιο παραδοσιακά ενσωματωμένα συστήματα, ένα πλήρες CPS σχεδιάζεται τυπικά ως ένα δίκτυο αλληλοεπιδρώντων στοιχείων με φυσική είσοδο και έξοδο, που δρουν ως αυτόνομες συσκευές. Η έννοια αυτή συνδέεται στενά με τις έννοιες της ρομποτικής και των δικτύων αισθητήρων με μηχανισμούς νοημοσύνης.

Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διατριβή είναι ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων(WSN) το οποίο σε συνδυασμό με έναν κεντρικό υπολογιστή μπορεί να λαμβάνει πληροφορία σε πραγματικό χρόνο μέσω Internet, να την επεξεργάζεται και στη συνέχεια να αποφασίζει για της κατάλληλες ενέργειες. Οι ενέργειες αυτές

περιλαμβάνουν την δημιουργία δυναμικών αλλά και στατικών χαρτών που βασίζονται σε παλαιότερα δεδομένα οι οποίοι θα παρουσιάζουν χωρικά τοποθετημένες πληροφορίες για το πλημμυρικό φαινόμενο σε πραγματικό χρόνο(Εικόνα 8)



Static hazard maps ↔ Dynamic hazard maps

Εικόνα 8: Δημιουργία στατικών και δυναμικών χαρτών με πληροφορία για το φαινόμενο σε πραγματικό χρόνο  
Πηγή: (Kolchl Tsuno, 2016)

Παράλληλα το σύστημα παρέχει την δυνατότητα ενημέρωσης του Κρατικού μηχανισμού και των αρχών ώστε να δράσουν εγκαίρως, καθώς και της άμεσης ενημέρωσης των πολιτών με σκοπό την αποφυγή θυμάτων και πανικού λόγω της καταστροφής παρέχοντας οδηγίες για να οδηγηθούν όλοι σε ασφαλές μέρος. Στο τέλος της διατριβής παρατίθεται ενδεικτικά η παρουσίαση τρόπων με τους οποίους οι πολίτες θα έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν τις ενημερώσεις.

### 3.2.1. Μεθοδολογία – Δημιουργία Χαρτών

Οι μετρήσεις στο πεδίο αποτέλεσαν ένα βασικό και αναπόσπαστο κομμάτι στην εκτέλεση της συγκεκριμένης διατριβής. Με βάση τις επιτόπιες έρευνες που πραγματοποίησε η ερευνητική ομάδα του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών «Στρατηγικές Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Καταστροφών και Κρίσεων» συλλέχθηκαν πρωτογενή δεδομένα τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία των τελικών χαρτών για την χωροθέτηση του CPS.

Πιο συγκεκριμένα, η ερευνητική ομάδα έλαβε μετρήσεις στάθμης του νερού μετά την καταστροφή, δεδομένα τα οποία στη συνέχεια μετατράπηκαν σε ψηφιακή μορφή και εισήχθησαν στον ArcMap (ESRI) αποκτώντας και χωρική υπόσταση. Επιπρόσθετα,



δημιουργήθηκε επίπεδο πληροφόρησης που απεικονίζει την έκταση της πλημμύρας καθώς και τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους και επιφάνειας (DEM, DSM). Παράλληλα, η ομάδα με την χρήση Drone είχε την δυνατότητα λήψης φωτογραφιών, έχοντας έτσι μια ολοκληρωμένη εικόνα της καταστροφής όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 9), (Εικόνα 10).



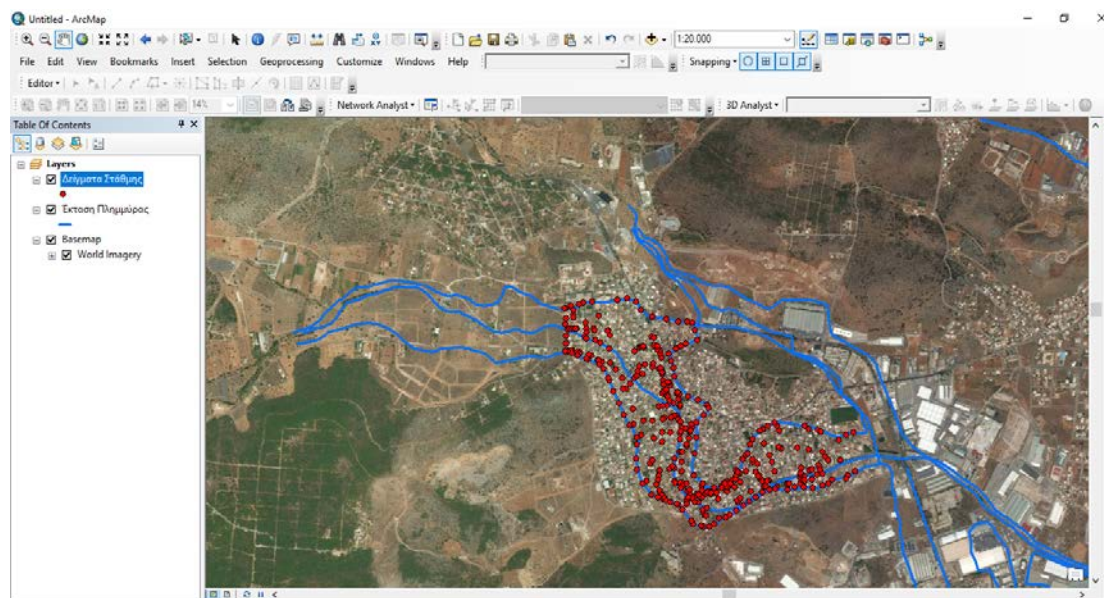
Εικόνα 9: Φωτογραφία από Drone μετά την καταστροφή. Πηγή: (Efthymios Lekkas, 2017)



Εικόνα 10: Φωτογραφία από Drone μετά την καταστροφή. Πηγή: (Efthymios Lekkas, 2017)

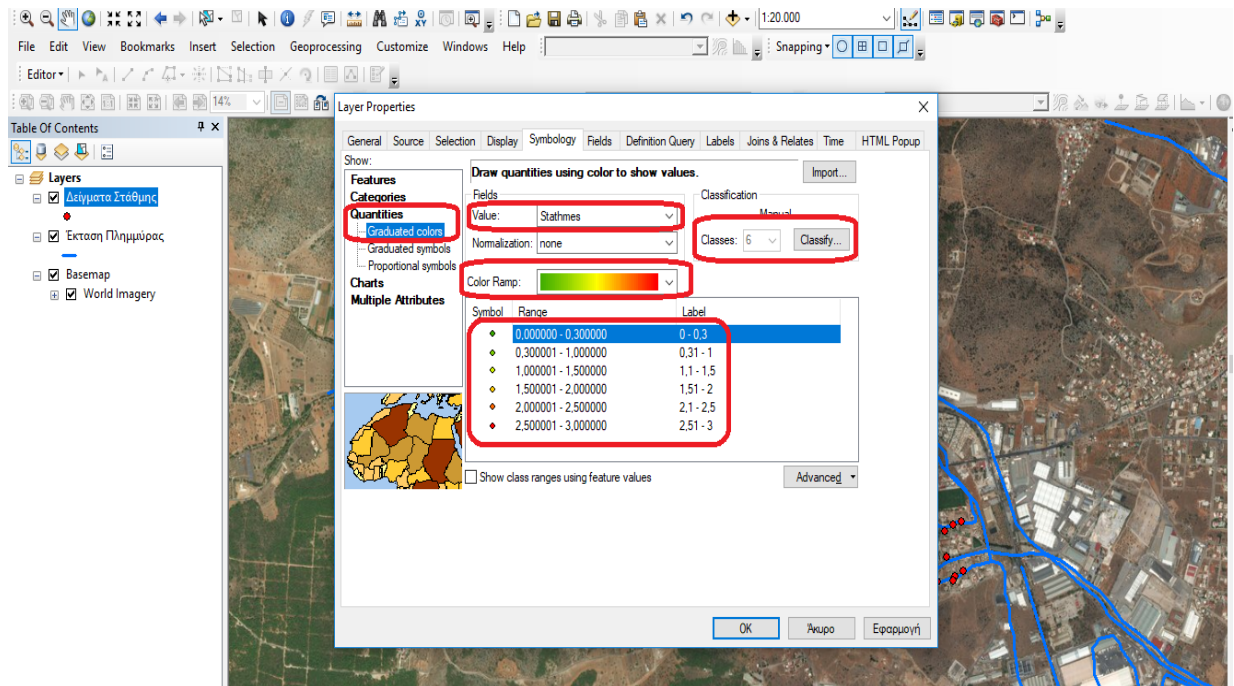
Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, πραγματοποιήθηκε η αναγκαία επεξεργασία στο λογισμικό ArcGIS Desktop - ArcMap, όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια.

Αρχικά δημιουργήθηκε ένας χάρτης (Εικόνα 11), στον οποίο απεικονίζονται οι θέσεις δειγματοληψίας που πραγματοποιήθηκαν στο πεδίο και η έκταση της πλημμύρας. Ως υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκε η δορυφορική απεικόνιση της περιοχής μέσω του Imagery από τη gallery βασικών χαρτών της ESRI.

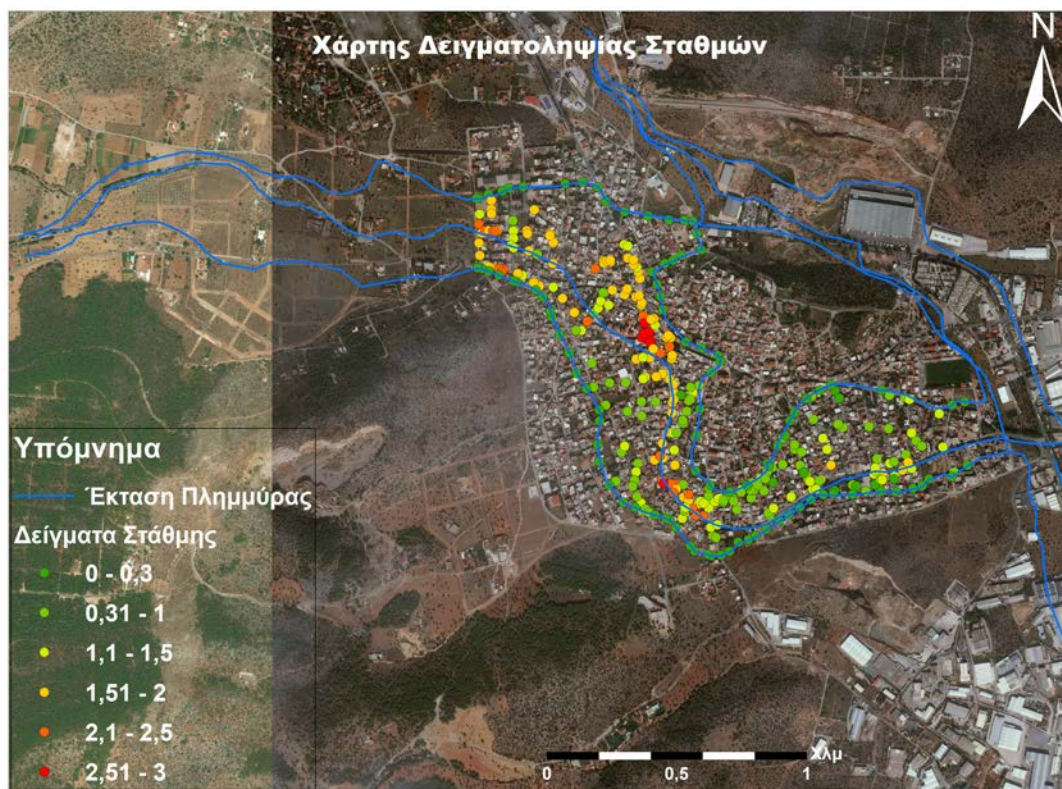


Εικόνα 11: Στιγμιότυπο οθόνης όπου απεικονίζονται οι θέσεις των σημείων δειγματοληψίας και η έκταση της πλημμύρας. Ως υπόβαθρο χρησιμοποιήθηκε η δορυφορική απεικόνιση της περιοχής μέσω του Imagery από τη gallery βασικών χαρτών της ESRI.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η κατηγοριοποίηση των θέσεων δειγματοληψίας με βάση το ύψος της στάθμης (Εικόνα 12), (Εικόνα 13). Μέσω του μενού Properties και την επιλογή Quantities, ορίστηκαν 6 διακριτές κλάσεις. Η πρώτη κλάση (0-0,3cm) ορίστηκε βιβλιογραφικά (Pregnoiato M., 2017), καθότι για να θεωρηθεί μία πλημμύρα απειλή θα πρέπει η στάθμη του νερού να φτάσει τα 30 εκατοστά, στάθμη κατά την οποία καλύπτονται πλήρως οι ρόδες ενός οχήματος, με αποτέλεσμα το όχημα να χάνει πλέον τη σταθερότητα του και να παρασύρεται μαζί με τα υπόλοιπα υλικά. Για τον ορισμό των υπολοίπων κλάσεων ο διαχωρισμός έγινε ισόποσα έχοντας ως βάση την πρώτη κλάση που ορίστηκε μέσω της βιβλιογραφίας. Παράλληλα για να οριστεί η άνωθεν κατηγοριοποίηση πραγματοποιήθηκαν και πειραματικές κατηγοριοποιήσεις έτσι ώστε η τελική απεικόνιση των κατηγοριοποιήσεων στο χάρτη να είναι όσο πιο ορατή γίνεται. Η χρωματική παλέτα που επιλέχθηκε απεικονίζει τις στάθμες με το χαμηλότερο ύψος με αποχρώσεις του πράσινου χρώματος και διαδοχικά καταλήγει στις στάθμες με το μεγαλύτερο ύψος, το οποίο φτάνει τα 3 μέτρα, οι οποίες αναπαρίστανται με κόκκινο χρώμα.



Εικόνα 12: Κατηγοριοποίηση των δειγμάτων με βάση το ύψος της στάθμης.



Εικόνα 13: Χάρτης όπου απεικονίζονται οι θέσεις δειγματοληψίας κατηγοριοποιημένες με βάση το ύψος της στάθμης του νερού.

Προκειμένου να κατασκευαστεί ο χάρτης πλημμυρικού κινδύνου της περιοχής, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο γεωχωρικής ανάλυσης SANET (Spatial Analysis along

Networks), έκδοση SANET Standalone Version 1.0, του καθηγητή Okabe Atsu του Πανεπιστημίου Aoyama Gakuin στο Τόκιο της Ιαπωνίας.

Το SANET είναι ένα σύνολο εργαλείων, συμβατών με το λογισμικό ArcMap (ESRI) το οποίο ως στόχο έχει την ανάλυση γεγονότων που συμβαίνουν σε δίκτυα ή παράλληλα με δίκτυα, π.χ., αυτοκινητιστικά ατυχήματα σε δρόμους. Τα δίκτυα αυτά ενδέχεται να είναι δρόμοι, ποτάμια, σωλήνες, καλώδια κ.λπ. Ενδεικτικά τα εργαλεία που διαθέτει το SANET είναι τα εξής:

- Tool01: Voronoi Diagram
- Tool02: Kernel density estimation
- Tool03: Global auto nearest neighbor distance method
- Tool04: Global cross nearest neighbor distance method
- Tool05: Local cross nearest neighbor distance method (in preparation)
- Tool06: Global auto  $K$  function method
- Tool07: Global cross  $K$  function method
- Tool08: Local cross  $K$  function method
- Tool09: Global Voronoi cross  $K$  function method
- Tool10: Interpolation
- Tool11: Delaunay diagram (in preparation)
- Tool12: Point clustering method
- Tool13: Random points generator
- Tool14: Shortest path distance between points in a set of points
- Tool15: Shortest path distance between A points to B points
- Tool16: Network Characteristics: polylines, points and links

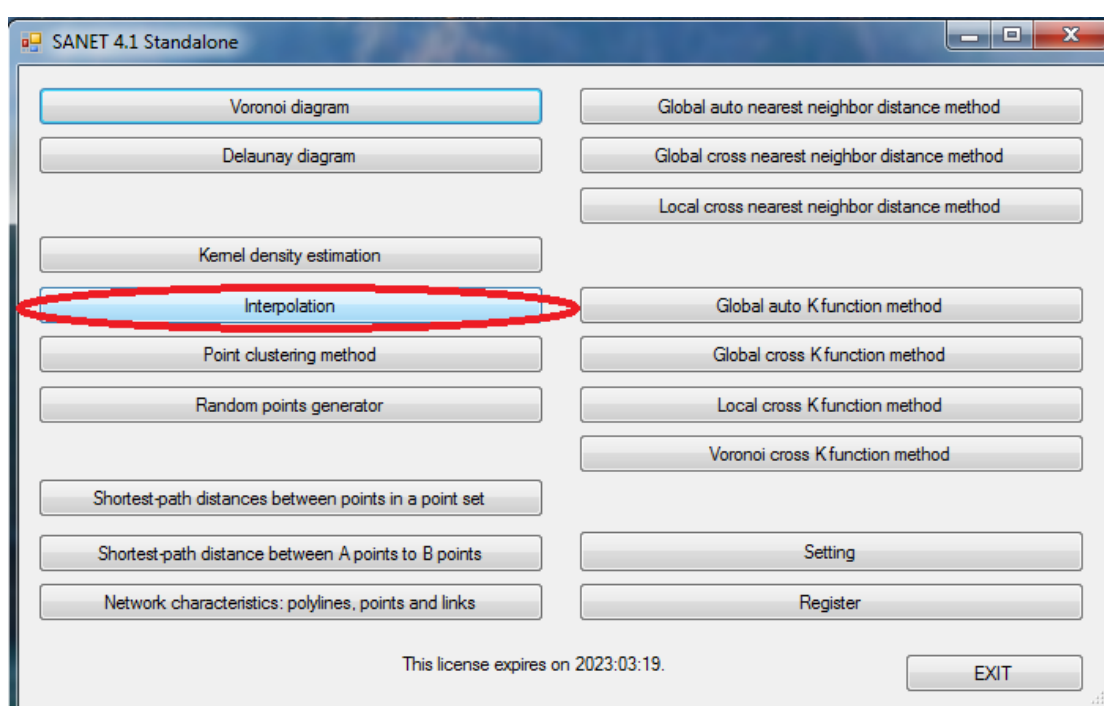
Για την περίπτωση μελέτης της περιοχής της Μάνδρας, το καταλληλότερο εργαλείο από τα παραπάνω για την αναπαράσταση της επικινδυνότητας του οδικού δικτύου είναι το εργαλείο 10: Interpolation. Η μέθοδος του Interpolation είναι η διαδικασία χρήσης σημείων με γνωστές τιμές ή σημείων δειγματοληψίας για την εκτίμηση τιμών σε άλλα άγνωστα σημεία. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη αγνώστων τιμών για οποιαδήποτε δεδομένα γεωγραφικού σημείου, όπως ανύψωση, βροχόπτωση, χημικές συγκεντρώσεις, επίπεδα θορύβου κ.ά.

Στην παρούσα διατριβή η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση τιμών σε άγνωστα σημεία κάνοντας χρήση των σημείων δειγματοληψίας των σταθμών με σκοπό την παραγωγή ενός χάρτη όπου θα είναι διακριτός στο οδικό δίκτυο της περιοχής ο

πλημμυρικός κίνδυνος. Την δυνατότητα του εργαλείου αυτού την παρέχει και το λογισμικό ArcMap (ESRI), όμως με την εργαλειοθήκη του SANET δίνεται η δυνατότητα βέλτιστης αποτύπωσης της επικινδυνότητας στο οδικό δίκτυο καθώς οι εκτιμώμενες τιμές περιορίζονται μόνο επάνω σε αυτό.

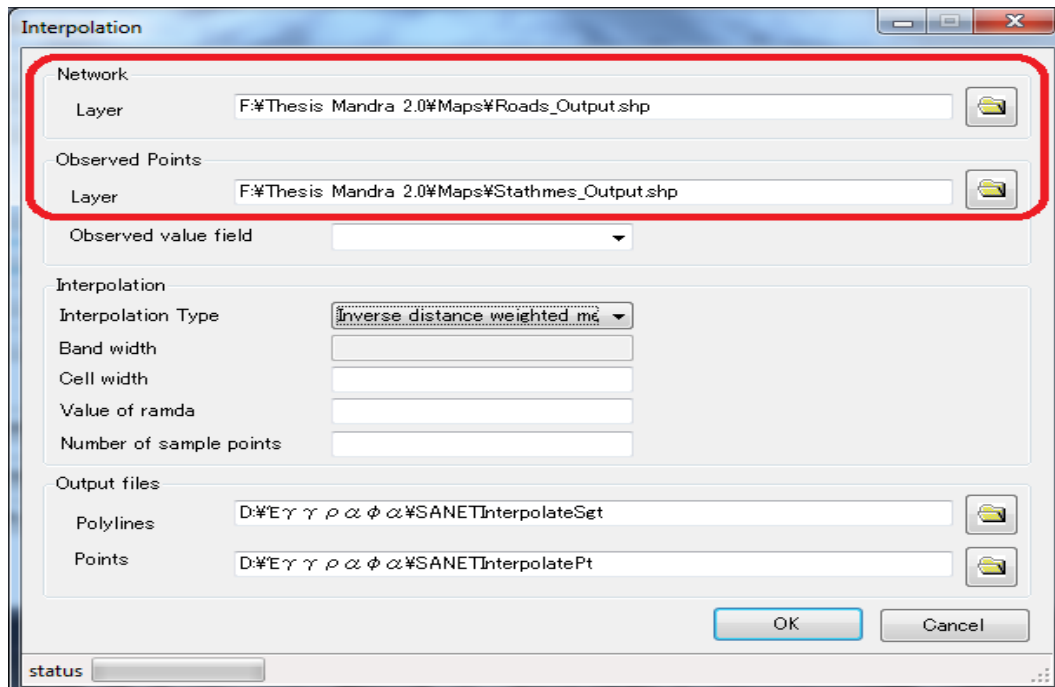
Τα βήματα που ακολουθήθηκαν προκειμένου να πραγματοποιηθεί η επεξεργασία, ήταν:

1. Επιλογή του εργαλείου Interpolation (παρεμβολή) μέσα από την επιφάνεια εργασίας του SANET (Εικόνα 14).



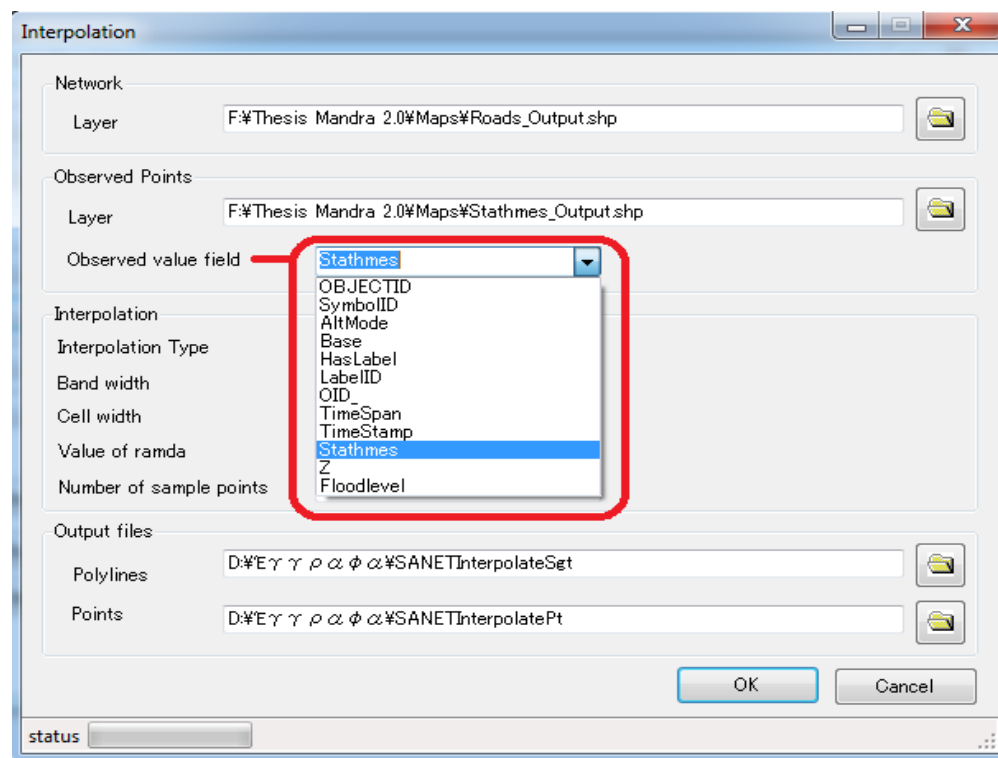
Εικόνα 14: Στιγμιότυπο οθόνης της επιφάνειας εργασίας του SANET. Με κόκκινο σημειώνεται το εργαλείο *Interpolation* που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των μετρήσεων.

2. Εισαγωγή των αρχείων (Εικόνα 15). Όπως φαίνεται και στην εικόνα, απαιτείται η εισαγωγή δύο αρχείων. Στο πεδίο **Network** θα πρέπει να εισαχθεί το επίπεδο πληροφορίας του οδικού δικτύου της περιοχής της Μάνδρας και αντίστοιχα στο πεδίο **Observed Points** το επίπεδο πληροφορίας με τις θέσεις δειγματοληψίας.



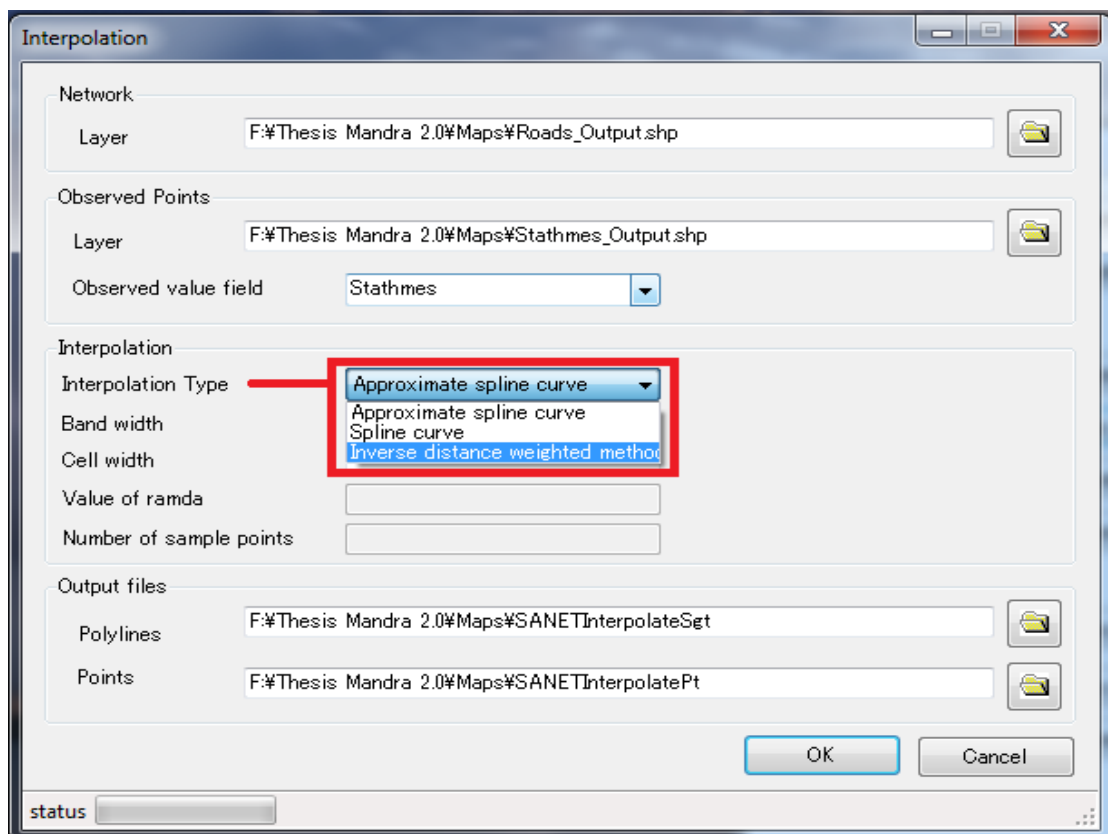
Εικόνα 15: Εισαγωγή των αρχείων στο SANET.

3. Επιλογή του πεδίου που περιέχει τις τιμές που θα χρησιμοποιηθούν στην διαδικασία της παρεμβολής (Εικόνα 16). Στο πεδίο **Observed Value Field** επιλέχθηκε το πεδίο που περιέχει την τιμή της στάθμης ύδατος ανά θέση δειγματοληψίας.



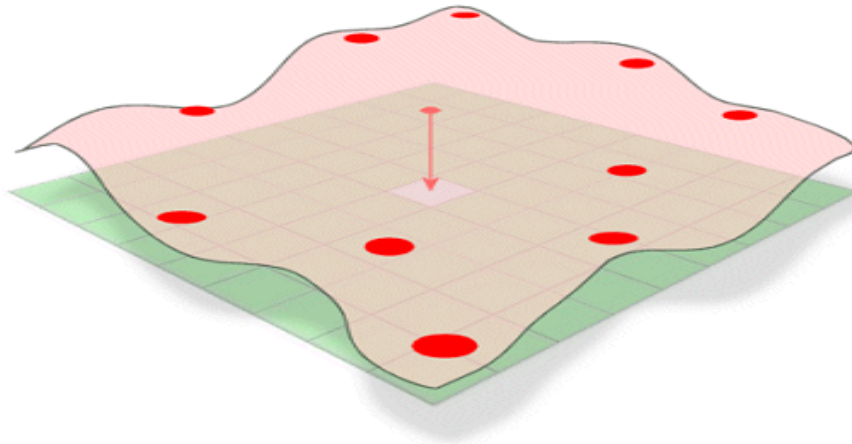
Εικόνα 16: Επιλογή κατάλληλου δεδομένου από το shp της δειγματοληψίας.

4. Επιλογή του τύπου της παρεμβολής. Οι διαθέσιμοι τύποι παρεμβολής είναι οι εξής (Εικόνα 17):
- **Approximate Spline Curve**
  - **Spline Curve**
  - **Inverse Distance Weighted Method**



Εικόνα 17: Στιγμιότυπο οθόνης με τις διαθέσιμες επιλογές παρεμβολής (Interpolation).

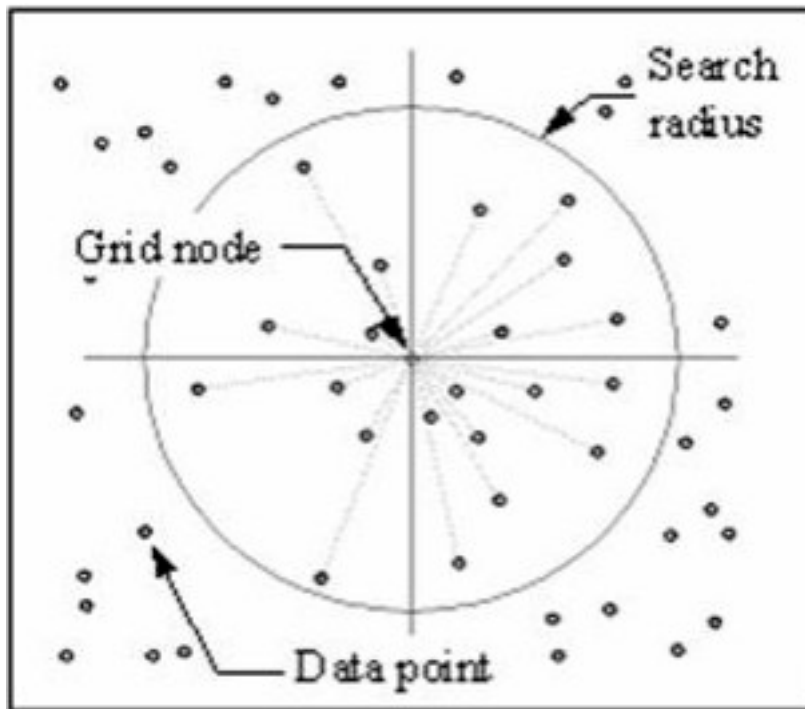
Ο πρώτος τύπος και ο δεύτερος τύπος ανήκουν στην κατηγορία **Spline Curve**. Ο τύπος **Spline Curve** υπολογίζει τις τιμές χρησιμοποιώντας μια μαθηματική συνάρτηση που ελαχιστοποιεί τη συνολική καμπυλότητα της επιφάνειας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας λείας επιφάνειας που περνάει ακριβώς μέσα από τα σημεία εισόδου. Συνάδει με μια μαθηματική συνάρτηση σε έναν καθορισμένο αριθμό πλησιέστερων σημείων εισόδου, ενώ διέρχεται από τα σημεία δειγματοληψίας. Αυτή η μέθοδος είναι ιδανική για επιφάνειες που μεταβάλλονται ελαφρώς, όπως για παράδειγμα το υψόμετρο, ή οι συγκεντρώσεις ρύπανσης (Εικόνα 18).



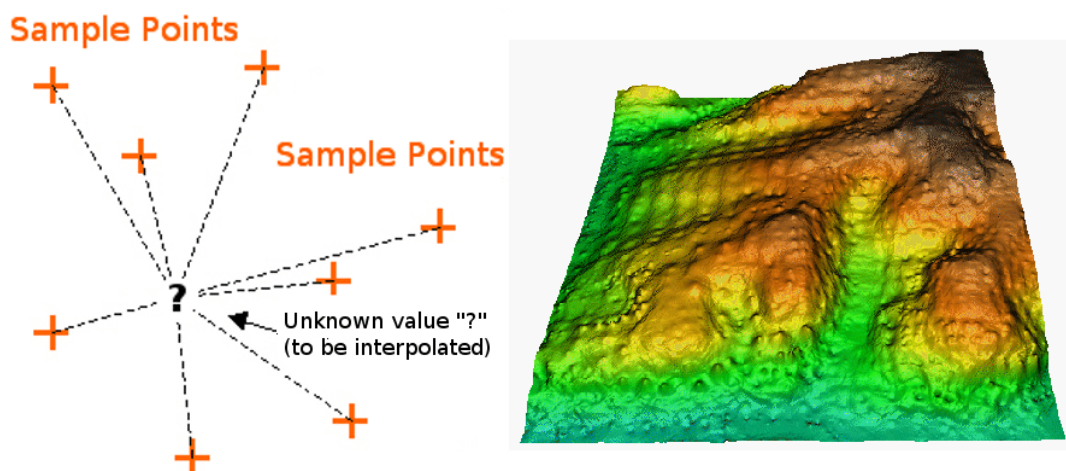
Εικόνα 18: Οι τύποι **Spline Curve** υπολογίζουν τις άγνωστες τιμές καμπυλώνοντας μία επιφάνεια σύμφωνα με τις γνωστές τιμές. Πηγή:([http://www.gisresources.com/types-Interpolation-methods\\_3/](http://www.gisresources.com/types-Interpolation-methods_3/))

Ο τύπος **Inverse Distance Weighted Method** υποθέτει ότι κάθε σημείο δρα τοπικά, λαμβάνοντας περισσότερο υπόψη τα σημεία πιο κοντά στο κελί που επεξεργάζεται παρά αυτά που βρίσκονται πιο μακριά. Ένας καθορισμένος αριθμός σημείων ή όλα τα σημεία εντός μιας καθορισμένης ακτίνας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της τιμής κάθε τοποθεσίας. Η χρήση αυτής της μεθόδου προϋποθέτει ότι η μεταβλητή που χαρτογραφείται μειώνει την επιρροή της με την απόσταση από τη θέση δειγματοληψίας. Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιεί η μέθοδος (IDW) είναι ένας κινητός μέσος όρος αλληλοεπικάλυψης που εφαρμόζεται συνήθως σε δεδομένα με μεγάλη μεταβλητότητα. Ο τύπος IDW εφαρμόζει ρητά την υπόθεση ότι τα πράγματα που βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο είναι πιο ομοειδή από εκείνα που είναι πιο απομακρυσμένα. Για την πρόβλεψη μίας τιμής για οποιαδήποτε άγνωστη τοποθεσία, ο τύπος IDW θα χρησιμοποιήσει τις μετρηθείσες τιμές που περιβάλλουν τη θέση πρόβλεψης. Αυτές οι τιμές που μετρούνται πλησιέστερα στη θέση πρόβλεψης θα έχουν μεγαλύτερη επίδραση στην προβλεπόμενη τιμή από εκείνες που βρίσκονται πιο μακριά. Η συνάρτηση IDW θα πρέπει να χρησιμοποιείται όταν το σύνολο των σημείων είναι αρκετά πυκνό για να καταγράψει την έκταση της τοπικής μεταβολής της επιφάνειας που απαιτείται για ανάλυση. Επιπρόσθετα, υπολογίζει μια τιμή για κάθε κόμβο δικτύου εξετάζοντας τα γύρω δεδομένα που βρίσκονται μέσα σε μια ακτίνα αναζήτησης η οποία καθορίζεται από τον χρήστη (Εικόνα 19). Ορισμένα ή όλα τα σημεία δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία (Εικόνα 20).





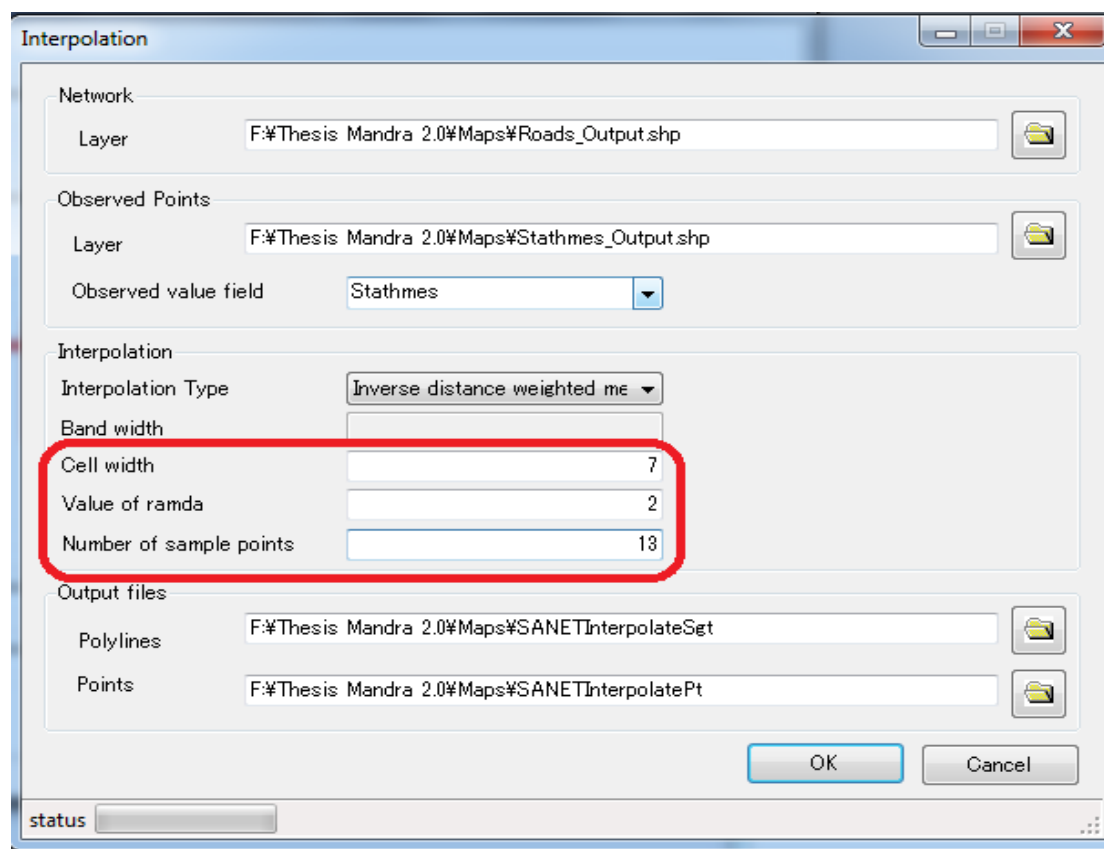
Εικόνα 19: Μια ακτίνα παράγεται γύρω από κάθε σημείο του πλέγματος από το οποίο επιλέγονται τα σημεία δειγματοληψίας για τον υπολογισμό. Πηγή:([http://www.gisresources.com/types-interpolation-methods\\_3/](http://www.gisresources.com/types-interpolation-methods_3/))



Εικόνα 20: Ο αλγόριθμος του IDW είναι μια παρεμβολή του μέσου όρου που συνήθως εφαρμόζεται σε δεδομένα με μεγάλη μεταβλητότητα. Πηγή:([http://www.gisresources.com/types-interpolation-methods\\_3/](http://www.gisresources.com/types-interpolation-methods_3/))

Ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε ο τύπος IDW είναι γιατί μπορεί να υπολογίσει μεγαλύτερο αριθμό σημείων δειγματοληψίας με καλύτερη ακρίβεια. Επίσης παρέχει τη δυνατότητα αυξομείωσης του αριθμού των δειγμάτων, από τα οποία δείγματα θα γίνει η παρεμβολή, με βάση την κάθε περίπτωση, και τέλος έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει τη διαδικασία της παρεμβολής ακόμα και σε δείγματα με μεγάλη πυκνότητα τα οποία καταλαμβάνουν μικρό χώρο.

## 5. Ορισμός των παραμέτρων παρεμβολής (Εικόνα 21):



Εικόνα 21: Στιγμιότυπο οθόνης όπου σημειώνονται οι παράμετροι της παρεμβολής IDW που πρέπει να οριστούν.

- **Μέγεθος κελιού (Cell Width).** Με τον όρο μέγεθος κελιού εννοούμε το μέγεθος της επιφάνειας ουσιαστικά από την οποία θα ληφθούν μετρήσεις.
- Τιμή **Ramda** ή αλλιώς τιμή  **$\alpha$** . Σύμφωνα με την θεωρία, το  $\alpha$  είναι μια προκαθορισμένη παράμετρος που λαμβάνει θετικές τιμές μόνο. Η πιο κοινή τιμή που λαμβάνει το  $\alpha$  είναι η τιμή 2 και αυτό έτσι ώστε τα δεδομένα να είναι αντιστρόφως σταθμισμένα ως προς την τετραγωνική απόσταση (Okabe A., 2012).
- Αριθμός σημείων δειγματοληψίας (**Number of sample points**). Η παράμετρος αυτή ορίζει το πόσα σημεία θα ληφθούν γύρω από ένα συγκεκριμένο κελί για να γίνει η διαδικασία της παρεμβολής.

Για την περιοχή μελέτης επιλέχθηκε ως μέγεθος κελιού η τιμή 7, λόγω του ότι η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε περιορισμένο χώρο, με αποτέλεσμα τα δείγματα

να έχουν μεγάλη πυκνότητα, οπότε περιορίζοντας το μέγεθος του κελιού έγινε καλύτερη κατανομή των δειγμάτων. Πρέπει να αναφερθεί ότι η συγκεκριμένη τιμή επιλέχτηκε ως ιδανική για την περίπτωση μελέτης, ύστερα από διαδοχικά πειράματα με εφαρμογή διαφόρων σετ τιμών. Ως προς την τιμή Ramda, αυτή ορίστηκε με βάση τη βιβλιογραφία (Okabe A., 2012) ως 2. Τέλος, η τιμή για τον αριθμό των σημείων δειγματοληψίας βασίστηκε κατά κύριο λόγο στην τιμή του μεγέθους του κελιού και λαμβάνοντας υπόψη ότι όσο πιο πολύ μειώνεται η τιμή του κελιού, τόσο αυξάνονται τα σημεία, επιλέχθηκε και πάλι πειραματικά η τιμή 13.

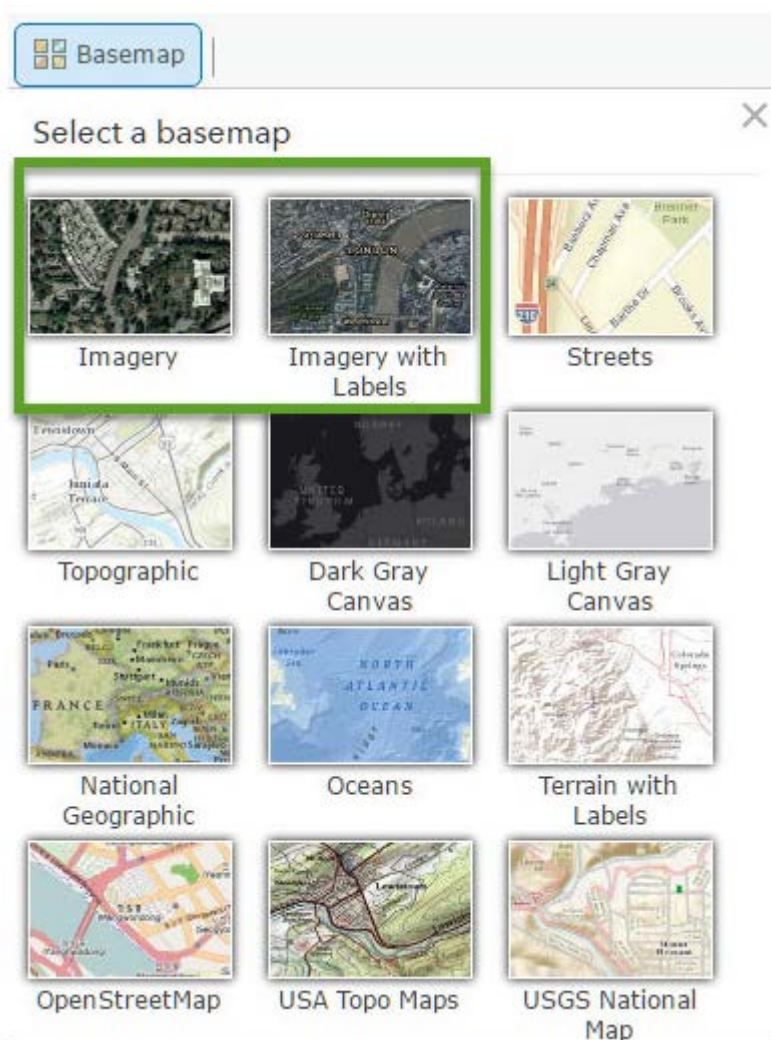
Η διαδικασία ολοκλήρωσης της εντολής είναι πολύ χρονοβόρα διαδικασία και απαιτεί αρκετά ισχυρή υπολογιστική ισχύ ώστε να μπορέσει να εκτελεστεί η εντολή δίχως πρόβλημα.

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία δημιουργούνται 2 σετ αρχείων (Εικόνα 22). Το ένα σετ αφορά σημειακά δεδομένα, ενώ το άλλο γραμμικά δεδομένα. Τα δύο αυτά σετ δεδομένων είναι το αποτέλεσμα της διαδικασίας του Interpolation με βάση τα δείγματα που εισήχθησαν σε αρχικό στάδιο και δημιουργούνται αυτομάτως από το λογισμικό του SANET. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση του αποτελέσματος του Interpolation μέσα στο περιβάλλον εργασίας του Arc Map ενώ δίνουν την δυνατότητα στο χρήστη για περαιτέρω επεξεργασία των αρχείων εντός του Arc Map για καλύτερη απεικόνιση σύμφωνα με τις προτιμήσεις του χρήστη.

Roads_Output	11/1/2018 10:23 πμ	Λογιστικό φύλλο ...	346 KB
Roads_Output.prj	11/1/2018 10:23 πμ	Αρχείο PRJ	1 KB
Roads_Output.sbn	11/1/2018 10:23 πμ	Αρχείο SBN	26 KB
Roads_Output.sbx	11/1/2018 10:23 πμ	Αρχείο SBX	2 KB
Roads_Output.shp	11/1/2018 10:23 πμ	Αρχείο SHP	632 KB
Roads_Output.shp	11/1/2018 10:23 πμ	'Εγγραφο XML	9 KB
Roads_Output.shx	11/1/2018 10:23 πμ	Αρχείο SHX	31 KB
SANETInterpolatePt	29/4/2018 8:28 μμ	Λογιστικό φύλλο ...	4.200 KB
SANETInterpolatePt.shp	29/4/2018 8:28 μμ	Αρχείο SHP	970 KB
SANETInterpolatePt.shx	29/4/2018 8:28 μμ	Αρχείο SHX	216 KB
SANETInterpolateSgt	29/4/2018 8:28 μμ	Λογιστικό φύλλο ...	30.786 KB
SANETInterpolateSgt.shp	29/4/2018 8:28 μμ	Αρχείο SHP	11.618 KB
SANETInterpolateSgt.shx	29/4/2018 8:28 μμ	Αρχείο SHX	775 KB
Stathmes_Output	11/1/2018 10:23 πμ	Λογιστικό φύλλο ...	620 KB
Stathmes_Output.prj	11/1/2018 10:23 πμ	Αρχείο PRJ	1 KB
Stathmes_Output.sbn	11/1/2018 10:23 πμ	Αρχείο SBN	4 KB
Stathmes_Output.sbx	11/1/2018 10:23 πμ	Αρχείο SBX	1 KB
Stathmes_Output.shp	11/1/2018 10:23 πμ	Αρχείο SHP	17 KB
Stathmes_Output.shp	11/1/2018 10:23 πμ	'Εγγραφο XML	12 KB
Stathmes_Output.shx	11/1/2018 10:23 πμ	Αρχείο SHX	4 KB

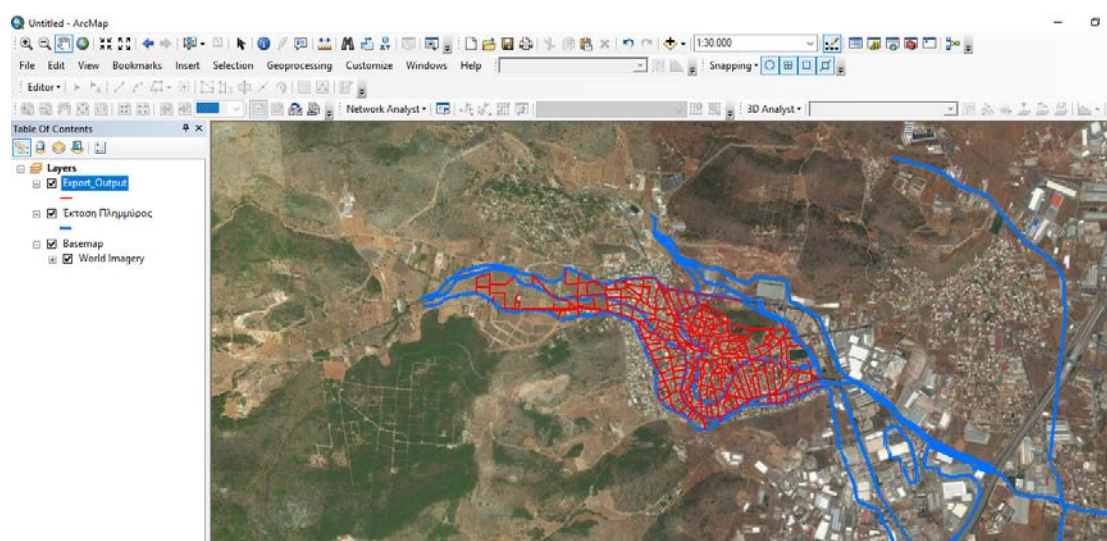
Εικόνα 22: Στιγμιότυπο οθόνης που απεικονίζονται τα σετ των αρχείων που δημιουργούνται κατά την παρεμβολή.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η κατασκευή του δεύτερου χάρτη ο οποίος αναπαριστά τον πλημμυρικό κίνδυνο πάνω στο οδικό δίκτυο για την περιοχή της Μάνδρας. Για την οπτικοποίηση αυτού του χάρτη εισήχθησαν στο λογισμικό τα επίπεδα πληροφορίας που αφορούν το οδικό δίκτυο, την έκταση της πλημμύρας και το αρχείο των γραμμικών δεδομένων που παρήχθηκε κατά τη διαδικασία της παρεμβολής. Ως υπόβαθρο του χάρτη χρησιμοποιήθηκε εκ νέου το Imagery από τη βασική γκαλερί χαρτών της ESRI (Εικόνα 23). Αναφορικά με το Imagery, οι εικόνες του Imagery αποτελούνται από δορυφορικές εικόνες από όλο τον κόσμο και αεροφωτογραφίες υψηλής ανάλυσης που προστέθηκαν από πολλές περιοχές και αποτελούν μέρος μιας προεπιλεγμένης γκαλερί του Arc GIS Desktop και παρέχουν στο χρήστη τη δυνατότητα χρήσης των εικόνων αυτών ως το υπόβαθρο ενός χάρτη.



Εικόνα 23: Στιγμιότυπο οθόνης που απεικονίζονται τα υπόβαθρα που είναι διαθέσιμα μέσω του Imagery στο ArcGIS Desktop. Πηγή: (<https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-enterprise/imagery/learning-more-about-the-world-imagery-basemap/>)

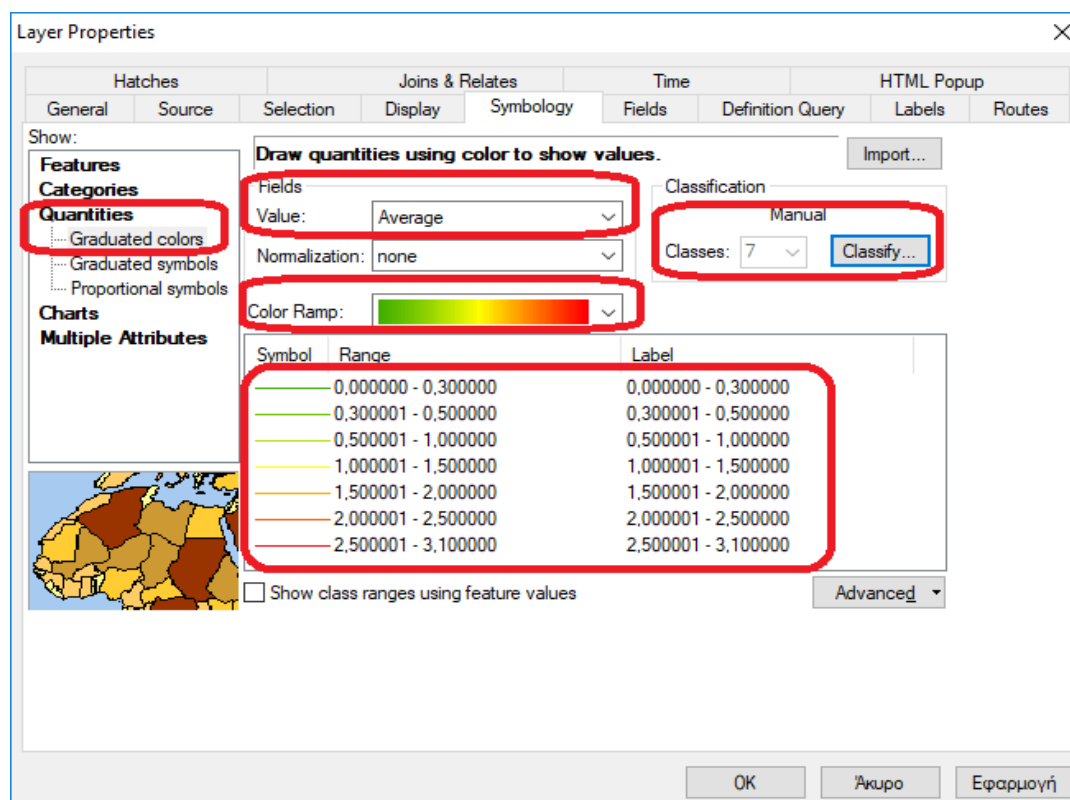
Στην συνέχεια χρησιμοποιώντας το εργαλείο Clip αφαιρέθηκε πληροφορία από τον χάρτη, η οποία δεν είναι απαραίτητη, όπως τμήματα του οδικού δικτύου τα οποία είναι εκτός της περιοχής μελέτης. Τα τελικά επίπεδα πληροφορίας απεικονίζονται στην (Εικόνα 24). Σημειώνεται ότι το επίπεδο πληροφορίας του οδικού δικτύου περιλαμβάνει πλέων και τα αποτελέσματα της διαδικασίας της παρεμβολής, αυτό έγινε εφικτό μέσω του λογισμικού SANET όπου σε πρώιμο στάδιο εισήχθησαν γραμμικά δεδομένα με το οδικό δίκτυο τα οποία μετά την διαδικασία της παρεμβολής(Interpolation) και λαμβάνοντας υπόψη και τα σημεία δειγματοληψίας εξήχθη ένα αρχείο με το οδικό δίκτυο στο οποίο σαν πληροφορία περιλαμβάνεται και το αποτέλεσμα της παρεμβολής όπως αναφέρεται και παραπάνω.



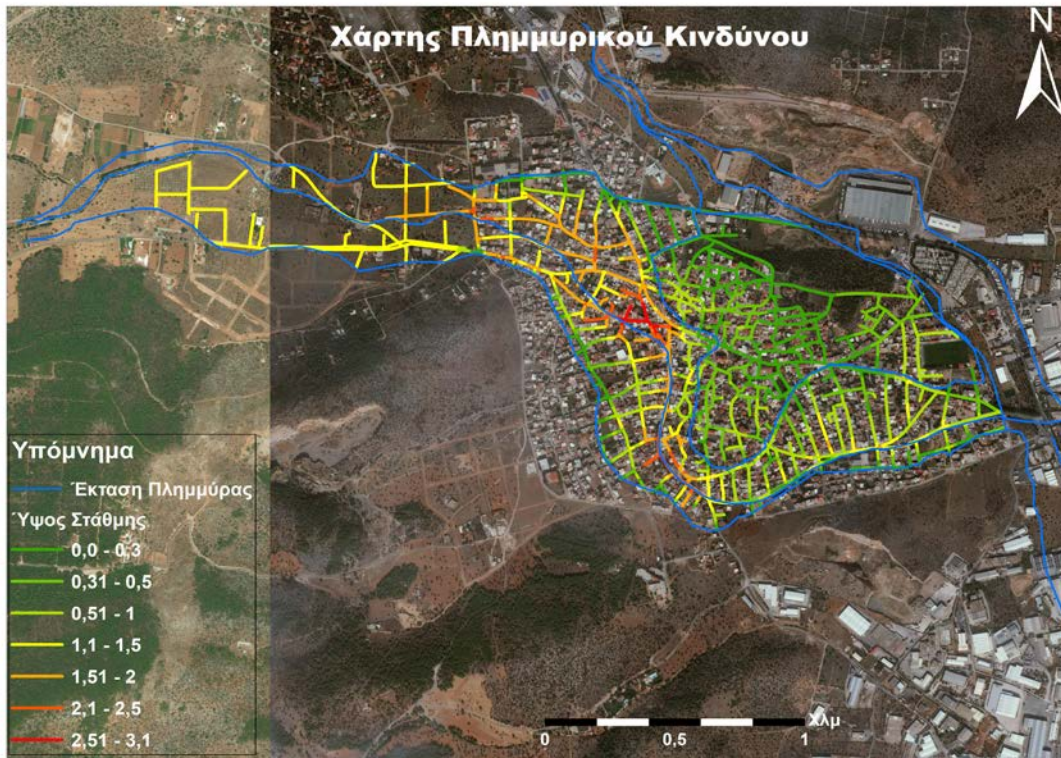
Εικόνα 24: Στιγμιότυπο οθόνης όπου απεικονίζονται τα τελικά επίπεδα πληροφορίας.

Η κατηγοριοποίηση του επιπέδου πληροφορίας του οδικού δικτύου πραγματοποιήθηκε μέσω της επιλογής Quantities, και ως πεδίο ορίστηκε η τιμή Average, καθώς το πεδίο αυτό περιλαμβάνει το αποτέλεσμα της παρεμβολής. Για να ολοκληρωθεί η διαδικασία ορίστηκε μια χρωματική παλέτα (Color Ramp) για να αναπαραστήσει τον πλημμυρικό κίνδυνο και τις διαβαθμίσεις του. Τέλος ορίστηκε ένας αριθμός κλάσεων (Classes) βάση των οποίων θα πραγματοποιηθεί και η κατηγοριοποίηση. Ο αριθμός των κλάσεων επιλέχτηκε πειραματικά ώστε να μπορεί να αποτυπωθεί στο μέγιστο η πληροφορία για τον πλημμυρικό κίνδυνο (Εικόνα 25), ενώ τα όρια των κλάσεων μορφοποιήθηκαν έτσι ώστε να είναι κατανοητά με ομοιομορφία και να γίνεται διακριτή οπτικά και στο χάρτη η διαφορά της κάθε κλάσης.

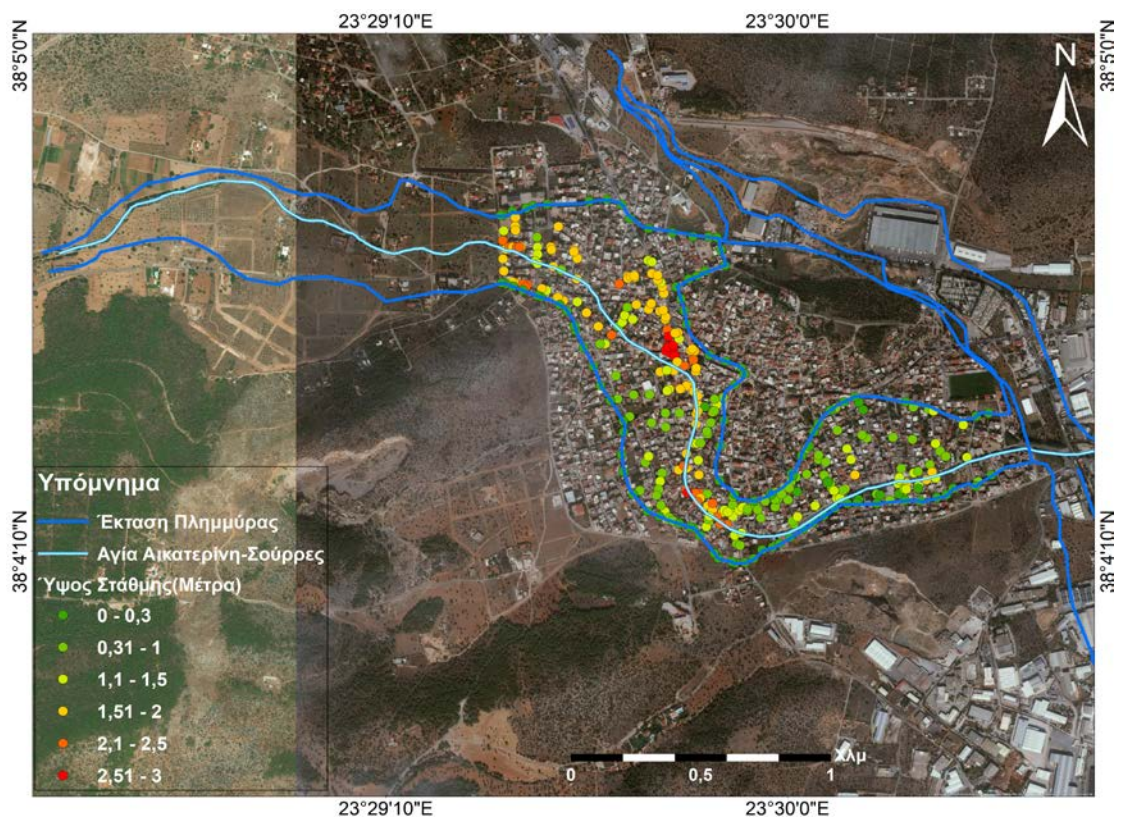
Ο τελικός χάρτη (Εικόνα 26), ο οποίος απεικονίζει τον πλημμυρικό κίνδυνο για την περιοχή της Μάνδρας, είναι αποτέλεσμα της διαδικασίας του **Interpolation** και αναπαριστά τα πιο ασφαλή σημεία του οδικού δικτύου με αποχρώσεις του πράσινου έως και τα σημεία με την μεγαλύτερη επικινδυνότητα με αποχρώσεις του κόκκινου, απέναντι σε μία πλημμύρα αντίστοιχη με αυτή που έπληξε την περιοχή της Μάνδρας, καθώς για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από την τελευταία πλημμύρα που έπληξε την περιοχή. Ειδικότερα παρατηρείται ότι δύο συγκεκριμένα σημεία στην πόλη είναι αυτά όπου ο πλημμυρικός κίνδυνος είναι υψηλότερος και αυτό είναι ορατό με την παρουσία του έντονου κόκκινου χρώματος. Παράλληλα υπάρχουν αρκετά σημεία μέσα στην πόλη όπου εμφανίζεται το πορτοκαλί χρώμα, εδώ όμως θα πρέπει να τονιστεί ότι με μεγαλύτερη παρατήρηση φαίνεται ότι ακόμα και τα σημεία με χρώμα πορτοκαλί είναι κοντά στα δύο σημεία της πόλης τα οποία είναι και πιο ευάλωτα. Τέλος παραθέτοντας μαζί τους χάρτες όπου απεικονίζεται ο πλημμυρικός κίνδυνος (Εικόνα 26) (Εικόνα 27) και τα σημεία δειγματοληψίας, είναι εμφανής η ομοιότητα των σημείων δειγματοληψίας με έντονο κόκκινο χρώμα, σημεία δηλαδή όπου η στάθμη του νερού έφτασε στο υψηλότερο σημείο σε σχέση με τα σημεία όπου σύμφωνα με τον χάρτη του πλημμυρικού κινδύνου είναι πιο ευάλωτα. Αυτή η σύγκριση έρχεται να επιβεβαιώσει το αποτέλεσμα της παρεμβολής ενώ παράλληλα παρέχει έναν βασικό άξονα για περαιτέρω δοκιμές.



Εικόνα 25: Στιγμιότυπο οθόνης όπου απεικονίζονται οι παράμετροι που ορίστηκαν στην διαδικασία κατηγοριοποίησης του επιπέδου πληροφορίας του οδικού δικτύου.



Εικόνα 26.: Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου κατά μήκος του οδικού δικτύου για την περιοχή της Μάνδρας



Εικόνα 27.: Χάρτης όπου απεικονίζονται οι θέσεις δειγματοληψίας κατηγοριοποιημένες με βάση το ύψος της στάθμης του νερού.

### 3.2.2. Χωροθέτηση του CPS στην περιοχή μελέτης:

Έχοντας ολοκληρώσει την παραγωγή των χαρτών, υπάρχει πλέον το υπόβαθρο για την διεκπεραίωση της χωροθέτησης του CPS στην περιοχή μελέτης. Με βάση τους χάρτες που παρουσιάστηκαν, αλλά και την βιβλιογραφία που αφορά τα CPS, η χωροθέτησή του θα πρέπει να αποτελείται από στάδια ώστε να μην υπάρξει λάθος στη διαδικασία.

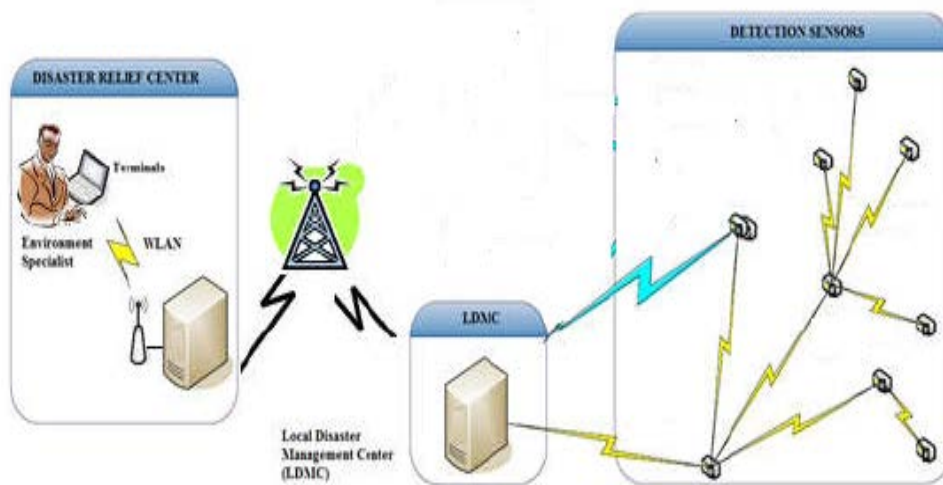
Αρχικά το πρώτο βήμα για την χωροθέτηση είναι η επιλογή του κατάλληλου τύπου CPS σύμφωνα με το φαινόμενο που μελετάται, αλλά και με την περιοχή μελέτης. Για την περιοχή της Μάνδρας θα χρειαστεί ένα σύστημα παρακολούθησης και προειδοποίησης, το οποίο θα λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο. Εφόσον υπάρχει η έννοια πραγματικός χρόνος και με βάση τη θεωρία που έχει ήδη αναφερθεί πρωτίστως όσον αφορά τα CPS, η τεχνολογία του δικτύου ασυρμάτων αισθητήρων (WSN) αποτελεί αναπόσπαστο στοιχείο των σχεδίων για την χωροθέτηση του CPS. Πιο συγκεκριμένα, αν η τεχνολογία WSN δεν χρησιμοποιηθεί στην ανάπτυξη του CPS, το σύστημα λήψης αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο μπορεί να έχει δυσκολίες στην απόκτηση διαθέσιμων δεδομένων εισροής στο CPS και στην έγκαιρη λήψη αποφάσεων. Ως αποτέλεσμα, τα σχέδια για το CPS θα είναι αναξιόπιστα και απρόβλεπτα. Το CPS θα λειτουργεί σε δύο επίπεδα, στο φυσικό κόσμο και στο ψηφιακό.

Λαμβάνοντας τα δεδομένα από τους αισθητήρες, το CPS αναλαμβάνει να λάβει αποφάσεις, σύμφωνα με τα δεδομένα των αισθητήρων και την υπολογιστική επεξεργασία που πραγματοποιείται στους ενεργοποιητές μεταφέροντας της απόφαση αυτή στο φυσικό κόσμο μετά από μια σειρά διαδικασιών.

Προτού γίνει αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά πρέπει να αναλυθεί η αρχιτεκτονική πίσω από τους ασύρματους αισθητήρες καθώς εκεί βασίζεται και η λειτουργία του δικτύου (Εικόνα 28). Ο ασύρματος αισθητήρας είναι μια συσκευή που μετατρέπει τις διάφορες μετρήσεις που πραγματοποιούνται στον φυσικό κόσμο και συγκεκριμένα στην περίπτωση μελέτης τις μετρήσεις της στάθμης του νερού, αλλά και μετρήσεις όσον αφορά τις καιρικές συνθήκες, σε ψηφιακές πληροφορίες που μπορούν να διαβαστούν και να αναγνωριστούν από ένα χρήστη ή από ένα όργανο. Ο αισθητήρας αποτελείται από δύο υπομονάδες: τον αισθητήρα και τον μετατροπέα αναλογικού προς ψηφιακό (ADC). Η υπομονάδα αισθητήρων είναι υπεύθυνη για τη συλλογή πληροφοριών από τον φυσικό κόσμο. Εκτός από την υπομονάδα του αισθητήρα, το (ADC) χρησιμοποιείται για τη μετατροπή των αναλογικών σημάτων που παράγονται από την υπομονάδα του αισθητήρα σε ψηφιακά σήματα τα οποία στη συνέχεια αποστέλλονται στη μονάδα επεξεργασίας του αισθητήρα. Η μονάδα επεξεργασίας αποτελείται από δύο υπομονάδες:



τη μνήμη και τον επεξεργαστή. Παρόμοια με τη συσκευή αποθήκευσης, όπως ο σκληρός δίσκος του κεντρικού υπολογιστή, η υπομονάδα μνήμης χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των πληροφοριών που συλλέγονται από τη μονάδα ανίχνευσης και λειτουργεί από το υλικολογισμικό. Επιπλέον, τα καθήκοντα της υπομονάδας επεξεργαστή, που είναι παρόμοια με την κεντρική μονάδα επεξεργασίας του κεντρικού υπολογιστή, είναι να εκτελέσουν τις οδηγίες που είναι αποθηκευμένες στην υπομονάδα μνήμης εκτός από τη διαχείριση και το συντονισμό όλων των μονάδων. Η μονάδα πομποδέκτη και η μονάδα ισχύος είναι και τα δύο σημαντικά στοιχεία ενός αισθητήρα. Επιπλέον, η αντικατάσταση των κόμβων αισθητήρων είναι δύσκολη για ορισμένες εφαρμογές όταν ορισμένοι κόμβοι εξαντλούν την ενέργειά τους. Για να αντιμετωπιστεί αυτός ο περιορισμός, κάθε αισθητήρας είναι εξοπλισμένος τόσο με πομποδέκτη, όσο και με μονάδα ισχύος. Η μονάδα πομποδέκτη εξασφαλίζει ότι κάθε κόμβος αισθητήρα μπορεί να επικοινωνεί με τους γείτονές του μέσω ασύρματων επικοινωνιών, ενώ η μονάδα ισχύος χρησιμοποιείται για τη διαχείριση και την κατανομή του πόρου ισχύος. Γενικά, η πηγή ισχύος ενός κόμβου αισθητήρα βασίζεται συνήθως σε μπαταρίες.



Εικόνα 28: Αρχιτεκτονική δομή ενός δικτύου ασύρματων αισθητήρων σε συνδυασμό με ένα CPS

Επιλέγοντας λοιπόν το είδος του CPS που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να γίνει αναφορά στα 5 βασικά χαρακτηριστικά ενός ασυρμάτου δικτύου αισθητήρων στα οποία θα βασιστεί και ο σχεδιασμός του CPS και ανήκουν στο φυσικό κόσμο.

- την παράταξη
- τον εντοπισμό
- την κάλυψη
- τη συλλογή δεδομένων
- την επικοινωνία

Πρώτο χαρακτηριστικό είναι η παράταξη. Η ανάπτυξη άρτιας παράταξης είναι απαραίτητη στο σχεδιασμό του CPS. Οι κύριοι στόχοι της παράταξης είναι η διασφάλιση της ποιότητας παρακολούθησης της περιοχής ενδιαφέροντος και της συνδεσιμότητας του δικτύου. Η ποιότητα παρακολούθησης της περιοχής προϋποθέτει ότι πρέπει να καλύπτεται από αισθητήρες. Η συνδεσιμότητα δικτύου διασφαλίζει ότι τα δεδομένα ανιχνεύσεως μπορούν να παραδοθούν με επιτυχία από κάθε αισθητήρα στον κεντρικό κόμβο. Χωρίς αποτελεσματική παράταξη, δεν είναι εγγυημένη ούτε η ποιότητα της παρακολούθησης, ούτε και η συνδεσιμότητα του δικτύου. Δηλαδή, το σύστημα λήψης αποφάσεων δεν θα λαμβάνει με επιτυχία τις διαθέσιμες εισροές CPS, καθιστώντας έτσι δυσκολότερη την κατασκευή αξιόπιστων και προβλέψιμων CPS. Αναφορικά με την παράταξη των αισθητήρων στην περίπτωση της Μάνδρας, οι θέσεις των αισθητήρων έχουν προκύψει από τον χάρτη του πλημμυρικού κινδύνου και την ανάλυση του καθώς επίσης και από τη βιβλιογραφία που υπάρχει όσον αφορά το φαινόμενο των στιγμιαίων πλημμυρών, αλλά και την μορφολογία της περιοχής.

Δεύτερο χαρακτηριστικό είναι ο εντοπισμός. Ο εντοπισμός με χαμηλό κόστος και υψηλή ακρίβεια είναι εξαιρετικά σημαντικός σε ένα WSN, όπως και ο εντοπισμός θέσης, η παρακολούθηση στόχων, η κάλυψη, και άλλα. Χωρίς τη διαθεσιμότητα πληροφοριών θέσης, αυτές οι εφαρμογές δεν μπορούν να εκτελεστούν με επιτυχία. Ο εξοπλισμός κάθε κόμβου αισθητήρα με μια συσκευή GPS είναι ένας από τους απλούστερους τρόπους για να βοηθήσει τον κόμβο να αποκτήσει τις δικές του πληροφορίες θέσης. Ωστόσο, η κατοχή συσκευής GPS για κάθε κόμβο αισθητήρα δεν είναι εφικτή λύση. Στην περίπτωση που μελετάται όμως στην παρούσα διατριβή, το ζήτημα αυτό δεν προκύπτει καθώς οι θέσεις των αισθητήρων θα είναι γνωστές και μη μεταβλητές συνεπώς η χρήση GPS κρίνεται μη απαραίτητη.

Τρίτο χαρακτηριστικό είναι η κάλυψη. Το πρόβλημα της κάλυψης των αισθητήρων σχετίζεται με το αν έχουμε μια σταθερή παράταξη των αισθητήρων ή μια μη σταθερή παράταξη, οι οποίες βασίζονται στο εάν η ανάπτυξη αισθητήρων πρέπει να σχεδιαστεί πριν από ένα συμβάν ή μετά. Η εγκατάσταση σταθερού αισθητήρα υλοποιεί ένα σχέδιο πριν από την εμφάνιση ενός συμβάντος. Συνήθως βασίζεται σε συγκεκριμένα γεωγραφικά σχήματα και μαθηματικούς υπολογισμούς που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της θέσης κάθε αισθητήρα. Στην περίπτωση μελέτης, όμως, και όπως προαναφέρθηκε, η παράταξη είναι σταθερή και προκαθορισμένη με βάση τη θεωρία και τη γεωχωρική ανάλυση που προκύπτει από τους χάρτες.

Τέταρτο χαρακτηριστικό είναι η συλλογή δεδομένων. Η συλλογή δεδομένων σε ένα WSN ορίζεται ως η συστηματική συλλογή των δεδομένων που ανιχνεύονται από πολλούς

αισθητήρες και τελικά μεταδίδονται στον σταθμό βάσης για επεξεργασία. Ο κύριος περιορισμός είναι ότι οι περισσότεροι κόμβοι αισθητήρων τροφοδοτούνται από περιορισμένη μπαταρία, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα σημαντικό ζήτημα στη συλλογή δεδομένων προκειμένου να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας έτσι ώστε να παραταθεί η διάρκεια ζωής του δικτύου. Οι πρόσφατες ερευνητικές προσπάθειες για αποτελεσματικά συστήματα συλλογής δεδομένων μπορούν γενικά να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες: στην αναμετάδοση μέσω δρομολόγησης και στη συλλογή δεδομένων με κινητά μέσα. Για την περιοχή μελέτης, το δίκτυο και οι θέσεις των αισθητήρων είναι σταθερές, επομένως η συλλογή των δεδομένων θα γίνεται μέσω της δρομολόγησης των δεδομένων αυτών από τον έναν αισθητήρα στον άλλο και στο τέλος στον κεντρικό υπολογιστή. Αξίζει να σημειωθεί ότι αν και αποτελεσματική αυτή η μέθοδος καταναλώνει αρκετά υψηλά επίπεδα ενέργειας από τις μπαταρίες.

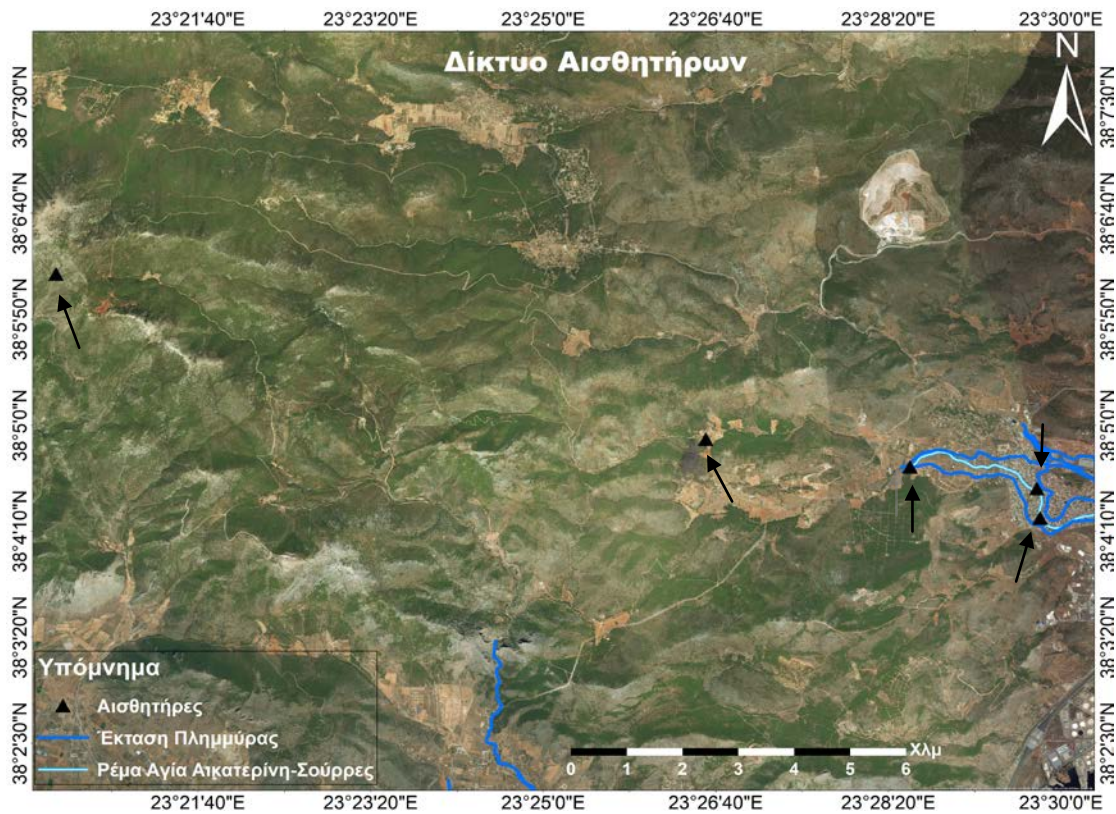
Τέλος, το πέμπτο χαρακτηριστικό είναι η επικοινωνία. Ο σχεδιασμός του πρωτοκόλλου ελέγχου μεσαίας πρόσβασης (MAC) διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό των CPS. Πολλές εφαρμογές των CPS μεταξύ αυτών και τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης χρησιμοποιούνται σε εξωτερικό περιβάλλον. Επομένως, οι αισθητήρες δύσκολα επαναφορτίζονται όταν εξαντλούν την ενέργεια της μπαταρίας τους. Σε αυτό το κομμάτι παρουσιάζονται διάφορα πρωτόκολλα MAC για την αποτελεσματική διαχείριση της ενέργειας των αισθητήρων. Τα ενεργειακά αποδοτικά πρωτόκολλα MAC για WSNs πρέπει να διατηρούν την κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια των επικοινωνιών των αισθητήρων. Υπάρχουν πολλά χαρακτηριστικά που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός αποτελεσματικού πρωτοκόλλου MAC. Το πρώτο χαρακτηριστικό είναι η ενεργειακή απόδοση. Δεδομένου ότι οι αισθητήρες είναι τροφοδοτούμενοι από μπαταρία και συχνά είναι δύσκολο να αλλάξουν ή να επαναφορτιστούν, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κάθε κόμβου αισθητήρα αποτελεί πρόκληση. Η δεύτερη απαίτηση είναι η καθυστέρηση στην επικοινωνία. Στα WSN, τα δεδομένα από τους αισθητήρες πρέπει να παραδίδονται από τους αισθητήρες στον κεντρικό υπολογιστή σε πραγματικό χρόνο έτσι ώστε η αντίστοιχη λειτουργία να μπορεί να εκτελεστεί γρήγορα. Η τρίτη απαίτηση είναι η εγκυρότητα η οποία εξασφαλίζει ότι όλοι οι αισθητήρες είναι σε θέση να στέλνουν με ακρίβεια τα δεδομένα των αισθητήρων στον κεντρικό υπολογιστή, αποφεύγοντας έτσι το πρόβλημα της έλλειψης δεδομένων. Στην περίπτωση μελέτης, το δίκτυο επικοινωνίας των αισθητήρων που προτείνεται, είναι ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας υψηλών ταχυτήτων, ώστε να μπορεί να καλύψει επαρκώς τις παραπάνω απαιτήσεις.

Συνοψίζοντας και έχοντας λάβει υπόψη τα παραπάνω χαρακτηριστικά, για την ομαλή λειτουργία του δικτύου, αλλά και την θεωρία που αναπτύχθηκε σε αυτή τη διατριβή μπορεί πλέον το δίκτυο να χωροθετηθεί. Ο αριθμός των αισθητήρων που επιλέχτηκε και περιγράφεται στη συνέχεια είναι σύμφωνα με την θεωρία και τα χαρακτηριστικά του δικτύου ασυρμάτων αισθητήρων καθώς και την έκταση της περιοχής που μελετάται.

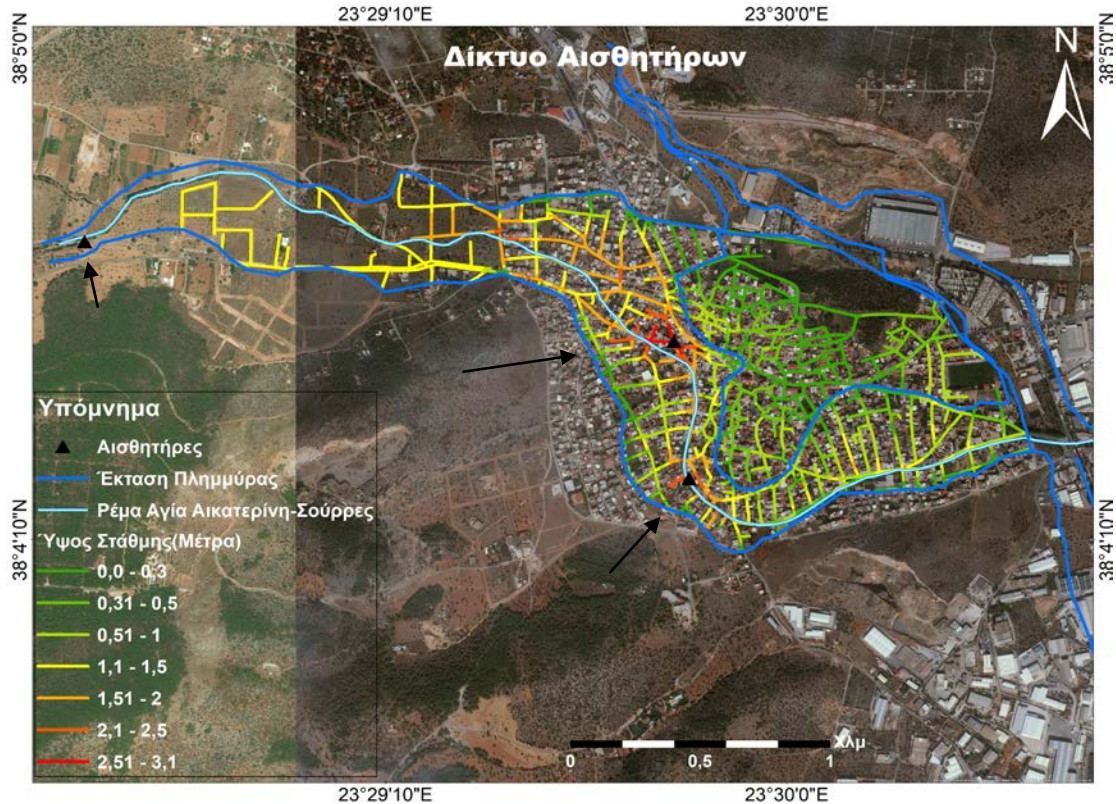
Αρχικά, αναλύοντας τον χάρτη της εικόνας 26, όπου αναπαρίσταται ο πλημμυρικός κίνδυνος, είναι εμφανή δύο σημεία στα οποία ο κίνδυνος είναι πολύ υψηλός (κόκκινο χρώμα). Τα δύο αυτά σημεία βάση της ανάλυσης παρουσίασαν την μεγαλύτερη τρωτότητα αφού σε αυτά τα σημεία της δειγματοληψίας η στάθμη του νερού έφτασε τα 3 μέτρα. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό το γεγονός, αλλά και τη μορφολογία της περιοχής τα δύο αυτά σημεία κρίνονται κατάλληλα για την τοποθέτηση 2 αισθητήρων – έναν στο κάθε σημείο - οι οποίοι θα λαμβάνουν μετρήσεις της στάθμης του νερού ανά δεδομένες χρονικές στιγμές. Τα 2 αυτά σημεία βρίσκονται το ένα νότια από το κέντρο της πόλης ενώ το άλλο βρίσκεται κεντρικά της περιοχής της Μάνδρας όπως φαίνεται και στον χάρτη. Οι χρονικές στιγμές θα βασίζονται στις μετρήσεις των υπολοίπων αισθητήρων, αλλά και του τι θα ορίσει ο χρήστης του συστήματος.

Στη συνέχεια η τοποθέτηση των επόμενων αισθητήρων βασίζεται στη θεωρία που παρουσιάστηκε κατά την διάρκεια της διατριβής, όσον αφορά το πώς λειτουργούν οι στιγμιαίες πλημμύρες, το χρόνο εμφάνισής τους και τις καιρικές συνθήκες που προϋποθέτονται για την δημιουργία τους. Ο επόμενος αισθητήρας θα τοποθετηθεί στην αρχή των ορίων της έκτασης της πλημμύρας, σημείο το οποίο επιλέχτηκε επίσης καθώς είναι και φυσικό ποτάμι, συνεπώς θα υπάρχει ακρίβεια στις μετρήσεις της στάθμης του νερού, πριν το νερό φτάσει στα όρια της κατοικήσιμης περιοχής. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας όπως και οι 2 προηγούμενοι θα μετράει τη στάθμη του νερού.

Τέλος θα τοποθετηθούν 2 ακόμα αισθητήρες στην διαδρομή από την κορυφή του όρους Πατέρα και ενδιάμεσα μέχρι τον αισθητήρα στην αρχή της έκτασης της πλημμύρας. Οι δύο αυτοί αισθητήρες θα είναι αισθητήρες «καιρού» και θα λαμβάνουν μετρήσεις που αφορούν τις καιρικές συνθήκες ώστε να ειδοποιούν άμεσα για καιρικές μεταβολές, οι οποίες μπορεί να θεωρηθούν απειλή, ενώ παράλληλα θα αποστέλλουν την πληροφορία αυτή και στους υπόλοιπους αισθητήρες ενεργοποιώντας τους για να ξεκινήσουν να λαμβάνουν αντίστοιχα μετρήσεις. Στις εικόνες 29 και 30 απεικονίζονται οι θέσεις των αισθητήρων.



Εικόνα 29: Χάρτης που απεικονίζεται η συνολική εικόνα του δικτύου αισθητήρων και τα σημεία που τοποθετήθηκαν.



Εικόνα 30: Χάρτης που απεικονίζονται οι αισθητήρες που τοποθετήθηκαν εντός της πόλης της Μάνδρας.

Πιο συγκεκριμένα στον χάρτη της εικόνας 29 είναι ορατή η συνολική εικόνα του δικτύου των αισθητήρων. Ξεκινώντας από το δυτικό σημείο στο χάρτη όπου φαίνεται και ο πρώτος αισθητήρας ο οποίος είναι τοποθετημένος στην κορυφή του όρους Πατέρας και πρόκειται για έναν αισθητήρα καιρού με δυνατότητες ανίχνευσης των καιρικών συνθηκών και αναμετάδοση αυτών στους υπόλοιπους αισθητήρες αλλά και στον κεντρικό υπολογιστή. Αντίστοιχες λειτουργίες παρέχει και ο αισθητήρας που εντοπίζεται στο κεντρικό σημείο του χάρτη και δυτικά της πόλης της Μάνδρας. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας είναι τοποθετημένος επί του ρέματος το οποίο ξεκινάει από το όρος Πατέρας και καταλήγει στην πόλη της Μάνδρας. Συνεχίζοντας με την εικόνα 30 όπου απεικονίζονται πιο αναλυτικά οι 3 αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι εντός της πόλης της Μάνδρας, στα δυτικά την πόλης και στα όρια περίπου της πόλης της Μάνδρας μπορεί να εντοπιστεί ο πρώτος αισθητήρας ο οποίος είναι τοποθετημένος εντός του ρέματος που διασχίζει την πόλη. Ο αισθητήρας αυτός καθώς και οι άλλοι δύο αισθητήρες είναι αισθητήρες στάθμης παρέχοντας σε πραγματικό χρόνο μετρήσεις της στάθμης του νερού κατά την διάρκεια ενός καιρικού φαινομένου. Σε συνδυασμό με τους 2 αισθητήρες καιρού από τους οποίους και λαμβάνουν επίσης μετρήσεις και δεδομένα αποτελούν την ολοκληρωμένη μορφή του δικτύου των αισθητήρων. Έχοντας την εικόνα του δικτύου των αισθητήρων στην συνέχεια για να θεωρηθεί το δίκτυο πλήρες και να μπορεί να λειτουργήσει θα πρέπει να εγκατασταθεί σε ένα σταθερό σημείο στο οποίο θα έχουν πρόσβαση κρατικοί φορείς αλλά και επιστήμονες του χώρου, μια κεντρική υπολογιστική μονάδα η οποία θα είναι το κέντρο ελέγχου ουσιαστικά του CPS. Η μονάδα αυτή απαιτεί για την λειτουργία της την συνεχή χρήση μίας πολύ γρήγορης σύνδεσης στο Ιντερνέτ καθώς και ισχυρή επεξεργαστική ισχύ ώστε να μπορεί να δέχεται δεδομένα βάση στα οποία θα εξάγει αποτελέσματα. Η λειτουργία της μονάδας και συνεπώς και η λειτουργία όλου του δικτύου βασίζεται επίσης στην δημιουργία ή την χρήση ενός λογισμικού στο οποίο ο χρήστης θα ορίζει τις συνθήκες και τις μεταβλητές οι οποίες θα επιτρέπουν στο σύστημα να λειτουργεί και να λαμβάνει μετρήσεις καθώς και το πότε ένα φαινόμενο θεωρείται κατάσταση έκτακτης ανάγκης. Παράλληλα θα μπορεί να επιτρέπει στην κεντρική μονάδα να λαμβάνει τα δεδομένα από τους αισθητήρες να τα επεξεργάζεται και να εξάγει αποτελέσματα τα οποία ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει ή να αναλύσει, ενώ συγχρόνως το σύστημα θα έχει την δυνατότητα μαζί με τα αποτελέσματα να μπορεί να επέμβει παρέχοντας λύσεις στο πρόβλημα που προκύπτει, λαμβάνοντας αποφάσεις σύμφωνα με την παρούσα κατάσταση. Να σημειωθεί ότι όλη αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο καθώς σε μία επικείμενη καταστροφή το χρονικό περιθώριο είναι πολύ μικρό.

## **Κεφάλαιο 4:**

### **Αποτελέσματα:**

Σκοπός της παραπάνω διατριβής ήταν η παρουσίαση ενός μοντέλου με σκοπό την παρακολούθηση και άμεση ενημέρωση για την διαχείριση μίας περιβαλλοντικής κρίσης όπως είναι μια στιγμιαία πλημμύρα. Ως περιοχή μελέτης και σαν γεγονός χρησιμοποιήθηκε η περιοχή της Μάνδρας στην δυτική Αττική και η στιγμιαία πλημμύρα που έπληξε την περιοχή. Το μοντέλο που παρουσιάζεται παραπάνω είναι ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης το οποίο διαφέρει από τα παραδοσιακά συστήματα ίδιου τύπου καθώς το σύστημα αυτό είναι ένα Cyber Physical System. Ένα σύστημα στο οποίο βασικό χαρακτηριστικό είναι η ενσωμάτωση της στοχαστικής φύσης των συστημάτων επικοινωνίας, της δυναμικής των πληροφοριακών συστημάτων και τη δυναμική των συστημάτων ελέγχου. Το μοντέλο που παρατίθεται παραπάνω αφορά την σωστή χωροθέτηση και λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος το οποίο σχεδιάστηκε με βάση τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν ύστερα από την συγκεκριμένη καταστροφή. Με το πέρας της γεωχωρικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε εξήχθησαν χάρτες οι οποίοι απεικονίζουν τον πλημμυρικό κίνδυνο στην περιοχή σύμφωνα με τα δεδομένα από την τελευταία πλημμύρα και σε συνδυασμό με την θεωρία που προκύπτει για τα Cyber Physical Systems, πραγματοποιήθηκε χαρτογραφική απεικόνιση ενός δικτύου αισθητήρων για την χωροθέτηση και λειτουργία του Cyber Physical System. Κατά την διάρκεια την γεωχωρικής ανάλυσης πραγματοποιήθηκαν πειράματα με τα δεδομένα έτσι ώστε η χωροθέτηση του δικτύου και του συστήματος να είναι βέλτιστη, εκεί όπου και εντοπίστηκαν σημεία μέσα στην πόλη της Μάνδρας τα οποία με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο κρίθηκαν ως πιο ευάλωτα.

## Συζήτηση – Συμπεράσματα:

Έχοντας φτάσει στο τέλος της διατριβής προκύπτουν μία σειρά από συμπεράσματα όσον αφορά την χωροθέτηση και λειτουργία ενός συστήματος όπως είναι ένα Cyber Physical System ως σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης. Αρχικά αξίζει να αναφερθεί ότι με την χωροθέτηση των αισθητήρων και την λειτουργία του συστήματος CPS υπάρχει δυνατότητα για έγκαιρη προειδοποίηση και άμεση απόκριση κατά την εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων, ενώ παράλληλα δίνεται η δυνατότητα παρακολούθησης της περιοχής μελέτης σε πραγματικό χρόνο μέσω διαδραστικών χαρτών στους οποίους έχουν πρόσβαση και οι πολίτες. Η εύρυθμη λειτουργία του CPS μπορεί να οδηγήσει σε πιο αποδοτική και αποτελεσματική διαχείριση κρίσεων αλλά και να αποτρέψει ανθρώπινες απώλειες. Επιπροσθέτως με σωστό σχεδιασμό και κατάλληλες υποδομές ένα σύστημα CPS μπορεί να μειώσει σε μεγάλο βαθμό το εύρος μιας καταστροφής, με την χρήση καινοτόμων εφαρμογών για τον κάθε χρήστη αναφορικά με την ασφάλεια του.

Η μορφή του συστήματος που παρουσιάζεται στην διατριβή αυτή είναι μία πρώιμη μορφή του συστήματος και των δυνατοτήτων του. Η χωροθέτηση και η λειτουργία του βασίστηκε σε δεδομένα από την συγκεκριμένη καταστροφή, γεγονός το οποίο δεν επιτρέπει στην βέλτιστη βαθμονόμηση του συστήματος.

Ένα σύστημα όπως το CPS μπορεί να προσφέρει τεχνολογική αναβάθμιση στον χώρο των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης, με την χρήση εφαρμογών τελευταίας τεχνολογίας, όπως είναι η επαυξημένη πραγματικότητα για την ασφαλή εκκένωση των πολιτών κατά την διάρκεια μίας καταστροφής. Επίσης δίνεται η δυνατότητα για ενημέρωση των πολιτών μίας περιοχής σε πραγματικό χρόνο μέσω γραπτού μηνύματος στο κινητό όσον αφορά μία επικείμενη καταστροφή. Σε μεταγενέστερο στάδιο το CPS έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει αποφάσεις με βάση τα δεδομένα που λαμβάνει από τις μετρήσεις των αισθητήρων και να συνδέεται άμεσα με το δίκτυο τηλεφωνίας, το δίκτυο ηλεκτροδότησης αλλά και το δίκτυο ύδρευσης, όπου μέσω ενεργοποιητών επιβλέπει την λειτουργία των δικτύων και παρεμβαίνει όπου χρειάζεται ώστε να διατηρηθεί η λειτουργία τους.

Ολοκληρώνοντας, από την στιγμή που γίνεται αναφορά σε ένα υπολογιστικό σύστημα προκύπτει το ζήτημα της ασφάλειας αυτού του συστήματος από κυβερνο-απειλές. Πρέπει κατά την εγκατάσταση και λειτουργία του, το σύστημα να ελέγχεται και να είναι υπό συνεχή επιτήρηση ώστε να παραμένει ασφαλές από οποιαδήποτε βλαβερή ενέργεια με σκοπό την αλλοίωση της λειτουργίας του. Κάτι τέτοιο είναι εφικτό με την χρήση λογισμικού κυβερνο - ασφάλειας αλλά και τακτικούς ελέγχους.

Τέλος για θεωρηθεί ολοκληρωμένη η παρούσα διατριβή θα πρέπει να γίνει αναφορά και στο οικονομικό πλαίσιο της χωροθέτησης ενός τέτοιου συστήματος. Η χωροθέτηση που



πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια αυτής της διατριβής είναι με βάση την οικονομική κατάσταση της χώρας αλλά και σύμφωνα με το εύρος της καταστροφής. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι για να λειτουργήσει ένα αντίστοιχο σύστημα ακόμα και σε πιλοτική μορφή θα πρέπει να υπάρχει και η ανάλογη χρηματοδότηση σύμφωνα πάντα με της απαιτήσεις του συστήματος αλλά και της πληγείσας περιοχής.

## Βιβλιογραφία

- Barredo, J. I. (2007). Major flood disasters in Europe: 1950–2005. *Natural Hazards*, 125-148.
- Basher, R. (2006). Global early warning systems for natural hazards: systematic and people-centred. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A*, 2167-2182.
- Bhadoria, R. S. (2015). *Architectural Analysis of Cyber-Physical Systems*.
- Borga, M. G. (2008). Surveying flash floods: gauging the ungauged extremes. *Hydrological processes*.
- Collins, M. L. (2008). Early warning systems and disaster preparedness and response in local government. . *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 587-600.
- de León, J. C. (2006). Early warning systems in the context of disaster risk management. *Entwicklung and Ländlicher Raum*, 23-25.
- Diakakis, M. M. (2012). Floods in Greece, a statistical and spatial approach. *Natural hazards*, 485-500.
- Efthymios Lekkas, D. M. (2017). *Πλημμύρες στη Δυτική Απτική (Μάνδρα, Νέα Πέραμος)*. Athens: Efthymios Lekkas, Nikolaos Voulgaris, Stylianos Lozios.
- Estrela, V. V. (2017). An In-Situ Disaster Prevention Framework with Sustainable Electronics and Cyber-Physical Systems.
- Estrela, V. V. (2017). Emergency Response Cyber-Physical System for Disaster Prevention with Sustainable Electronics. *10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, (σσ. 238-239).
- Fernandez, I. (2013). *Cybersecurity for Industrial Automation & Control Environments*. Frost & Sullivan.
- Francis N Mensah, R. G. (2013). Security Analysis of CPS: Understanding Current Concerns as a Foundation for Future Design. *ASEE Annual Conference & Exposition*.
- Gaume, E. B. (2009). A compilation of data on European flash floods. *Journal of Hydrology*, 70–78.
- Gelenbe, E. &. (2013). Future research on cyber-physical emergency management systems. *Future Internet*, 336-354.
- Hoff, H. B. (2003). *Risk management in water and Climate—the role of insurance and other financial services*. Delft/Munich.
- International, S. (2012). *Addressing Cyber-Threats to Industrial Control Systems*.
- Kim, K. D. (2012). Cyber–physical systems: A perspective at the centennial. *Proceedings of the IEEE*, (σσ. 1287-1308).

- Koichi Tsuno, K. A. (2016). *Cyber-Physical System (CPS) with precisely positioned IoT for Disaster Management and Mitigation (DMM)*. Japan.
- Krzhizhanovskaya, V. V. (2011). Flood early warning system: design, implementation and computational modules. *Procedia Computer Science*, 106-115.
- Lasda, O. D. (2010). Flash flooding in Attika, Greece: climatic change or urbanization? *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 608-611.
- Lin, C. Y. (2012). Enabling cyber physical systems with wireless sensor networking technologies. *International Journal of Distributed Sensor Networks*.
- Llasat, M. C.-B. (2010). High-impact floods and flash floods in Mediterranean countries: the FLASH preliminary database. *Advances in Geosciences*, 47-55.
- Marchi, L. B. (2010). Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *Journal of Hydrology*, 118-133.
- MI, W. Z. (2016). A Real-time Cyber-Physical System for Indoor Environment Monitoring. *International Conference on Manufacturing Science and Information Engineering*.
- Mimikou, M. &. (1995). Extreme floods in Greece: The case of 1994. *Research Workshop on the Hydrometeorology, Impacts, and Management of Extreme Floods*. Perugia, Italy.
- Okabe A., S. K. (2012). *Spatial Analysis Along Networks*. John Wiley & Sons.
- Pengel, B. E. (2013). Flood early warning system: sensors and internet. *Procedia Computer Science*, 445-453.
- Pregnolato M., F. A. (2017). The impact of flooding on road transport: A depth-disruption function. *Elsevier*, 67-81.
- Security, H. (2009). *A Roadmap for Cybersecurity Research*.
- Zschau J, K. A. (2003). *Early Warning Systems for Natural Disaster Reduction*.