

Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών για την συστηματική καταγραφή των επιπτώσεων ακραίων καιρικών φαινομένων. Η περίπτωση της πλημμύρας της Ρόδου.

Ευθύμης ΛΕΚΚΑΣ ¹, Μιχάλης ΔΙΑΚΑΚΗΣ ², Μαρίτίνα ΚΡΟΥΣΤΑΛΛΗ ³

(1) Καθηγητής Γεωλογίας

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος

Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου 15784, 2107274783, elekkas@geol.uoa.gr

(2) Γεωλόγος PhD

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος

Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου 15784, diakakism@geol.uoa.gr

(3) Γεωλόγος MSc

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος

Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου 15784, maritinakroustalli@hotmail.com

Λέξεις κλειδιά: Πολιτική Προστασία, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Πλημμύρες, Ακραία Καιρικά Φαινόμενα, GIS

Περίληψη

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα και τα καταστροφικά πλημμυρικά συμβάντα που προκαλούν αποτελούν έναν από τους πιο σημαντικούς φυσικούς κινδύνους στο χώρο της Μεσογείου. Ειδικότερα, στον Ελληνικό χώρο ο αριθμός των πλημμυρών παρουσιάζει σημαντική αύξηση τα τελευταία χρόνια, ενώ καταγράφεται ένας σημαντικός αριθμός θυμάτων και υλικών ζημιών. Παρόλα αυτά, μέχρι σήμερα, η αποτύπωση των επιπτώσεων των πλημμυρικών συμβάντων δεν γίνεται με συστηματικό τρόπο, με αποτέλεσμα να χάνονται πολύτιμα δεδομένα, χρήσιμα για την εκτίμηση του κινδύνου, τη λήψη μέτρων και την βελτίωση της προστασίας των πολιτών σε μελλοντικά συμβάντα, ιδιαίτερα υπό το πρίσμα της προβλεπόμενης κλιματικής αλλαγής. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο για την λεπτομερή καταγραφή των φυσικών κινδύνων διεθνώς τόσο σε ερευνητικό όσο και σε εφαρμοσμένο επίπεδο. Η παρούσα μελέτη εστιάζει στη χρήση του GIS για την αποτύπωση των επιπτώσεων των ξαφνικών πλημμυρών, εξετάζοντας το παράδειγμα της πλημμύρας του Νοεμβρίου 2013 στη Ρόδο. Από την καταγραφή προκύπτει η εξαιρετικά υψηλή επίδραση της πλημμύρας στις υποδομές και στα δίκτυα μεταφορών, με ένα σημαντικό ποσοστό του οδικού δικτύου και των γεφυρών να υφίσταται κατάκλυση ή και κάποια αστοχία. Επιπρόσθετα ένας σημαντικός αριθμός οχημάτων και κατοικιών παρουσίασαν ζημιές, ενώ υπήρξαν και 4 ανθρώπινα θύματα. Η σύγκριση του συμβάντος με άλλα όμοια πλημμυρικά φαινόμενα έδειξε σημαντικές ομοιότητες, ενώ η συστηματικοποίηση της πληροφορίας κατέστησε δυνατή για πρώτη φορά την ποσοτικοποίηση την έκτασης των επιπτώσεων, βάζοντας τις βάσεις για την αναγνώριση του είδους του προβλήματος και την προστασία της κοινωνίας από τον κίνδυνο των ακραίων καιρικών φαινομένων.

Abstract

Across Mediterranean, extreme weather events, such as high-intensity storms causing flooding in small river basins, are one of the most common types of hydrometeorological hazards. Flooding phenomena have seen a significant increase in the recent decades and has been associated with a noteworthy number of fatalities and important damages on property and infrastructure. In Greece, although extreme weather events leading to flash flooding is one of the most common hazards, there is no detailed, systematic recording of their impacts, leading to a lack of important data, useful for understanding the local characteristics of flooding and valuable for future protection of the local society, especially in the context of climate change. Geographical Information Systems (GIS) are a very useful tool for developing a detailed record of flood effects. This work focuses on the use of GIS for systematic recording of the impacts of extreme weather events and subsequent flash floods, by examining the case of November 2013 flood in Rhodes, Greece. Apart from the four fatalities, results showed significant effects of flooding on infrastructure and transportation networks with a high percentage of the road network and of river crossings inundated or damaged and a noteworthy number of buildings and automobiles flooded. Comparison with

similar flooding events showed significant similarities, indicating that systematization of recording has the potential to illustrate the causes of flooding, the probable impacts and risks and to eventually protect local societies from such extreme weather events.

1. Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες τόσο ο αριθμός όσο και οι επιπτώσεις των ακραίων καιρικών φαινομένων καταγράφουν σημαντική άνοδο, καθώς η έκθεση του πληθυσμού, των υποδομών και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων σε κίνδυνο ολοένα και αυξάνεται. Η αύξηση αυτή αποτελεί ιδιαίτερη πρόκληση για τις υπηρεσίες πολιτικής προστασίας τόσο σε ότι αφορά την πρόληψη όσο και την διαχείριση και την αποκατάσταση καταστροφικών γεγονότων. Η σημασία της δε, αυξάνεται ιδιαίτερα υπό το πρίσμα της προβλεπόμενης κλιματικής αλλαγής, σύμφωνα με την οποία, η συχνότητα των καταιγίδων υψηλής έντασης αναμένεται να αυξηθεί, δημιουργώντας ένα ακόμα στοιχείο που επιβαρύνει τον μελλοντικό κίνδυνο.

Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS) παρουσιάζουν εξαιρετικές δυνατότητες στην καταγραφή και επεξεργασία των χωρικών πληροφοριών, αποτελώντας την τελευταία δεκαετία ένα σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη, την διαχείριση (Johnson 2000, Greene 2002, Cova 1999, Tran et al. 2009) και την αποκατάσταση καταστροφικών γεγονότων (Gunes and Kovel 2000, Uitto 1998). Σε ότι αφορά το μετακαταστροφικό στάδιο, από τη βιβλιογραφία προκύπτει ότι το GIS έχει τη δυνατότητα να καταγράφει με λεπτομέρεια τη χωρική εξάπλωση των επιπτώσεων μιας καταστροφής (Masozera et al. 2007), να επεξεργάζεται την πληροφορία αυτή ανάλογα με τις ανάγκες ενός χρήστη και να συνδράμει στη δημιουργία υποδομής γεωχωρικών δεδομένων, αν η καταγραφή αυτή γίνεται συστηματικά, στο πλαίσιο μιας αναλυτικής μελέτης του ιστορικού παρόμοιων καταστροφών (Diakakis 2010, Diakakis 2013).

Η παρούσα μελέτη εστιάζει στη χρήση του GIS για την καταγραφή των επιπτώσεων ακραίων καιρικών φαινομένων βροχόπτωσης τα οποία δημιουργούν πλημμυρικά φαινόμενα αιφνίδιου χαρακτήρα (flash floods) σε μικρές υδρολογικές λεκάνες που αποστραγγίζονται από εφήμερα υδατορεύματα (Bull et al. 1999, Belmonte and Beltran 2001). Η σημασία του συγκεκριμένου φαινομένου έγκειται στην αυξημένη συχνότητα του στο Μεσογειακό χώρο (Martini and Loat 2007) και στον Ελληνικό χώρο (Diakakis et al. 2012) και στην αναμενόμενη αύξησή της στο πλαίσιο της προβλεπόμενης κλιματικής αλλαγής (Dankers and Hiederer 2008). Η παρούσα μελέτη εστιάζει στη χρήση του GIS για την καταγραφή των επιπτώσεων ακραίων καιρικών φαινομένων χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα εφαρμογής την καταιγίδα του Νοεμβρίου 2013 στην περιοχή της βόρειας Ρόδου και τα πλημμυρικά φαινόμενα που ακολούθησαν και εξετάζει την προστιθέμενη αξία από τη συστηματική χρήση του. Αναλυτικότερα οι στόχοι της μελέτης είναι:

- Να γίνει λεπτομερής καταγραφή των πλημμυρών του Νοεμβρίου 2013 στη Ρόδο, συμπεριλαμβανομένου των χαρακτηριστικών και των επιπτώσεων τους.
- Να κατηγοριοποιηθούν με τη βοήθεια του GIS οι επιπτώσεις μιας τέτοιας πλημμύρας σε μη αστική λεκάνη και να συγκριθούν με παρόμοιες περιπτώσεις
- Να εκτιμηθεί η ανθεκτικότητα και η απόδοση των υποδομών μεταφορών (οδικό δίκτυο, γέφυρες κλπ.) στα ακραία καιρικά φαινόμενα και να συγκριθεί με παρόμοιες περιπτώσεις σε μη αστικές υδρολογικές λεκάνες.
- Να συζητηθούν τα πλεονεκτήματα της συστηματικής καταγραφής των επιπτώσεων με τη χρήση GIS

1.1. Περιοχή μελέτης

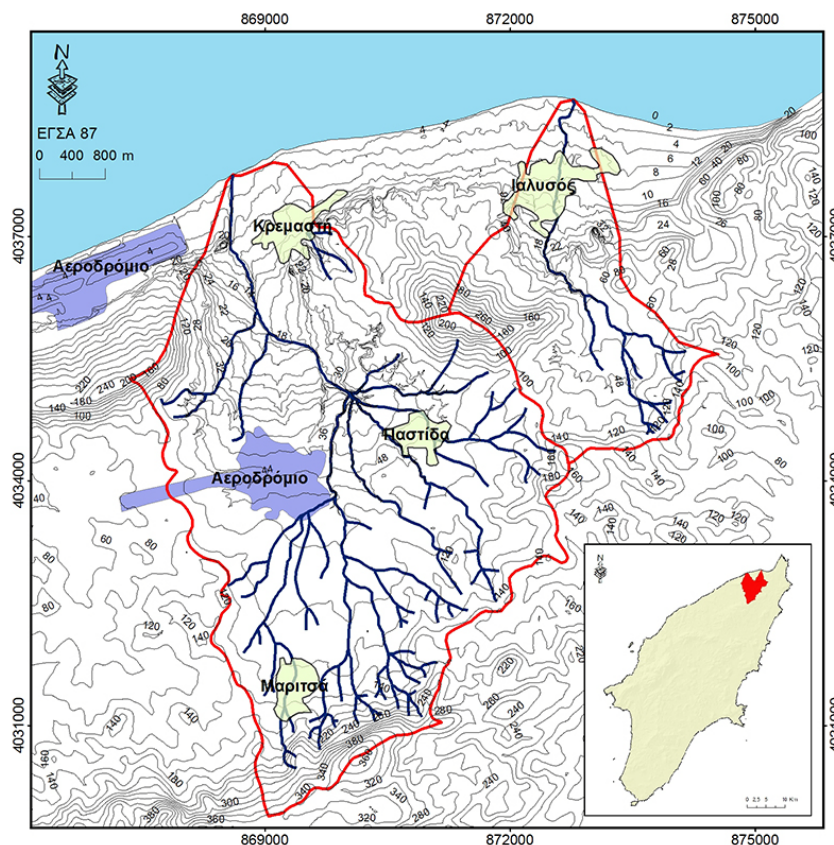
Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της Ρόδου, περίπου 8km δυτικά της πρωτεύουσας του νησιού. Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας μελετώνται δύο υδρολογικές λεκάνες, αυτές των ρεμάτων της Κρεμαστής και της Ιαλυσού (Εικόνα 1). Οι συγκεκριμένες λεκάνες χαρακτηρίζονται κυρίως από το μικρό μέγεθος, τα εφήμερα υδατορεύματα, και το μεγάλο τμήμα μη-αστικών εκτάσεων, ενώ σε μικρό τμήμα τους υπάρχει ο πολεοδομικός ιστός των οικισμών Κρεμαστής και Ιαλυσού αντίστοιχα. Οι δύο λεκάνες χαρακτηρίζονται από χαμηλά υψόμετρα, αραιό υδρογραφικό δίκτυο με περιορισμένη ανάπτυξη και πυκνό οδικό δίκτυο, μικρές βιομηχανικές και αγροτικές μονάδες (Πίνακας 1). Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν καταγραφές πλημμυρικών επεισοδίων του παρελθόντος κατά τα έτη 1996 και 1998.

1.2. Καταιγίδα Νοεμβρίου 2013

Τις ημέρες μεταξύ 20 και 24 Νοεμβρίου ένα βαρομετρικό χαμηλό το οποίο ξεκίνησε δυτικά του Ελληνικού χώρου, επηρέασε τη χώρα στο σύνολό της, προκαλώντας βροχές και καταιγίδες που τοπικά είχαν πολύ ισχυρό χαρακτήρα και συνοδεύτηκαν από ηλεκτρική

δραστηριότητα, ενισχυμένους ανέμους και χαλαζοπτώσεις. Την Παρασκευή 22 Νοεμβρίου τα πολλαπλά μέτωπα των προηγούμενων ημερών περιορίστηκαν στην περιοχή του Αιγαίου και ιδιαίτερα στο ανατολικό νησιωτικό τμήμα.

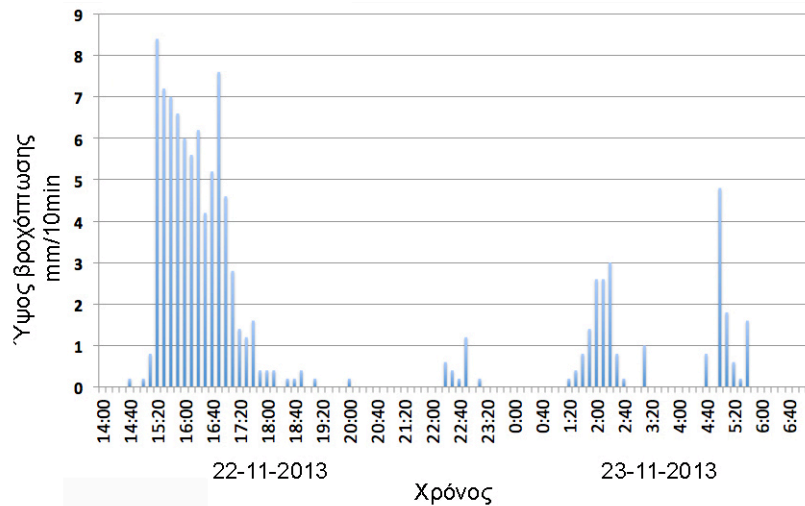
Με βάση την καταγραφή του μετεωρολογικού σταθμού στην περιοχή του αεροδρομίου της Ρόδου, η βροχόπτωση στο βόρειο τμήμα του νησιού ξεκίνησε το μεσημέρι της 22ας Νοεμβρίου στις 14.40 και σύντομα απέκτησε ισχυρή ένταση (Εικόνα 2), η οποία συνεχίστηκε μέχρι τις 19.10 το απόγευμα. Στο διάστημα αυτό των 4 ωρών και 30 λεπτών η συνολική συσσώρευση βροχόπτωσης έφτασε τα 79mm, ενώ στο σύνολο της ημέρας το συνολικό ύψος της βροχόπτωσης ανήλθε στα 104.6mm. Ακολούθως, στις 15.30 με 16.00 ανάλογα με την τοποθεσία εμφανίστηκαν τα πρώτα σημάδια υπερχείλισης των ρεμάτων, τα οποία συνεχίστηκαν για μερικές ώρες με καταστροφικά αποτελέσματα. Από την εξέταση οπτικού υλικού προκύπτει ότι η χρονική απόσταση μεταξύ της αρχικής υπερχείλισης των υδάτων μέχρι το μέγιστο της στάθμης ήταν της τάξης μερικών λεπτών.



Εικόνα 1. Χάρτης των δύο υδρολογικών λεκανών που μελετήθηκαν, της Κρεμαστής (δυτικά) και Ιαλυσού (ανατολικά).

Υδρολογική λεκάνη	Ιαλυσού	Κρεμαστής
Μέγιστο Υψόμετρο (m)	260	397
Ελάχιστο Υψόμετρο (m)	0	0
Μέση κλίση (%)	10.92	8.85
Μήκος κύριου κλάδου (km)	4.53	5.92
Οικισμοί	Ιαλύσος	Κρεμαστή, Παστίδα, Μαρίτσα
Έκταση λεκάνης (km ²)	6.67	23.52
Παλαιότερες πλημμύρες	1996	1996, 1998

Πίνακας 1. Τα κύρια χαρακτηριστικά των υδρολογικών λεκανών Ιαλυσού και Κρεμαστής.



Εικόνα 2. Διάγραμμα εξέλιξης της βροχόπτωσης με βάση τις μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού αεροδρομίου της Ρόδου του Εθνικού Αστεροσκοπείου, κατά τις ημέρες 22 και 23 Νοεμβρίου 2013.

2. Δεδομένα και μεθοδολογία

2.1. Δεδομένα

Στην παρούσα μελέτη έγινε συλλογή γεω-χωρικών δεδομένων, με σκοπό την αναπαράσταση συγκεκριμένων περιβαλλοντικών (π.χ. υψόμετρο, υδρογραφικό δίκτυο) και δομικών πληροφοριών (π.χ. οδικό δίκτυο, υποδομές). Τα δεδομένα αυτά συλλεχθηκαν από διαφορετικές πηγές (Πίνακας 2), ομογενοποιήθηκαν, ελέγχθηκαν ως προς την ποιότητά τους και εντάχθηκαν σε περιβάλλον GIS.

Παράγοντας	Πηγή
Υψόμετρο	Τοπογραφικά διαγράμματα ΓΥΣ Κλίμακας 1:5.000 (ΓΥΣ 2013)
Υδρογραφικό δίκτυο	Τοπογραφικά διαγράμματα ΓΥΣ Κλίμακας 1:5.000 (ΓΥΣ 2013), Δορυφορικές φωτογραφίες ESRI (ESRI 2013)
Όρια κοίτης	Τοπογραφικά διαγράμματα ΓΥΣ Κλίμακας 1:5.000 (ΓΥΣ 2013),
Οδικό δίκτυο	Arial Narrow
Πολεοδομικός ιστός	Διεύθυνση Πολεοδομικού Σχεδιασμού (Δήμος Ρόδου 2014)
Ακτογραμμή	Τοπογραφικά διαγράμματα ΓΥΣ Κλίμακας 1:5.000 (ΓΥΣ 2013), Δορυφορικές φωτογραφίες ESRI (ESRI 2013)
Λιμάνια / Αεροδρόμια	Δορυφορικές φωτογραφίες ESRI (ESRI 2013)
Υδραυλικά έργα	Έρευνα πεδίου
Διαβάσεις υδρ. Δικτύου & γέφυρες	Έρευνα πεδίου, Δορυφορικές φωτογραφίες ESRI (ESRI 2013)
Επιπτώσεις πλημμύρας	Έρευνα πεδίου, Εξέταση οπτικοακουστικού υλικού
Χαρακτηριστικά πλημμυρικών υδάτων	Εξέταση οπτικού υλικού, Έρευνα υπαίθρου, Συνεντεύξεις κατοίκων

Πίνακας 2. Γεωχωρικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και οι αντίστοιχες πηγές.

Επιπρόσθετα συλλέχθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα από τους διαθέσιμους σταθμούς στο βόρειο τμήμα του νησιού (NOA 2013), εστιάζοντας στην καταγραφή της συγκεκριμένης καταιγίδας αλλά και στο πιθανό καθεστώς των βροχοπτώσεων στην περιοχή.

2.2. Μέθοδοι

Στην πρώτη φάση της μελέτης, η οποία περιλάμβανε τη συλλογή των ανωτέρω γεωχωρικών και μετεωρολογικών δεδομένων, ακολούθησε έρευνα πεδίου, η οποία εστίασε στην καταγραφή των επιπτώσεων του πλημμυρικού συμβάντος. Κατά την έρευνα πεδίου χρησιμοποιήθηκαν, υπολογιστής χειρός, συσκευή GPS, φωτογραφικές μηχανές και ηλεκτρονικά αποστασιόμετρα. Παράλληλα, έλαβε χώρα μια σειρά συνεντεύξεων σε κατοίκους με αντικείμενο την καταγραφή περιγραφών του συμβάντος σε διαφορετικές θέσεις. Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε, ακολούθησε τα προτεινόμενα διεθνή στάνταρ καταγραφής των επιπτώσεων πλημμυρικών συμβάντων κατά το μετακαταστροφικό στάδιο, όπως περιγράφονται από τους (Gaume and Borga 2008). Η συλλογή δεδομένων υπαίθρου έγινε σε τρεις (3) φάσεις:

1. Σε πρώτη φάση, εντός διαστήματος ολίγων ωρών μετά την καταστροφή, έγινε λεπτομερής έρευνα πεδίου με καταγραφή των επιπτώσεων στις περιοχές που επλήγησαν περισσότερο.
2. Σε δεύτερη φάση, σε διάστημα ωρών από την καταστροφή έγινε καταγραφή και βιντεοσκόπηση των επιπτώσεων μεγαλύτερης κλίμακας από ελικόπτερο, κατά την οποία οριοθετήθηκε με ακρίβεια η έκταση των υδάτων και έγινε επισκόπηση των επιπτώσεων σε υποδομές.
3. Σε τρίτη φάση, σε διάστημα λίγων εβδομάδων μετά το καταστροφικό συμβάν, έγιναν λεπτομερείς μετρήσεις σε υποδομές, διατομές της κοίτης, δεύτερη χαρτογράφηση της έκτασης της πλημμύρας, καταγραφή των ζημιών σε υποδομές (οδικό δίκτυο, γέφυρες, διαβάσεις) περιουσίες και φυσικό περιβάλλον. Επιπρόσθετα, έγινε μια σειρά συνεντεύξεων με αντικείμενο την καταγραφή των χαρακτηριστικών της πλημμύρας και των περιγραφών συμβάντων που έλαβαν χώρα.

Ακολουθώντας, τα δεδομένα υπαίθρου εισήχθησαν σε περιβάλλον GIS, όπου δημιουργήθηκε μια γεωβάση (geodatabase). Μέσω της βάσης έγινε συστηματικοποίηση της πληροφορίας, ομαδοποίηση των διαφορετικών τύπων των επιπτώσεων, διαδικασίες οι οποίες κατέστησαν δυνατή την ανάλυση των φαινομένων, την ποσοτικοποίηση των επιπτώσεων και τη σύγκριση με παρόμοια πλημμυρικά φαινόμενα σε διαφορετικές περιοχές.

Για τη σύγκριση ορισμένων επιπτώσεων χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα (4) πλημμυρικά φαινόμενα του παρελθόντος, στα οποία ακολουθήθηκε η ίδια μεθοδολογία και συγκεκριμένα οι πλημμύρες του ρέματος της Ραπεντώσας στο Μαραθώνα το 1980, του ρέματος Ξηριάς της Κορίνθου το 1997, του ρέματος Ποταμούλας Αργινίου το 2008 και του Λίλαντα Ευβοίας το 2009 (Πίνακας 3). Η σύγκριση έγινε σε ότι αφορά στις επιπτώσεις των πλημμυρών στις υποδομές και τα θύματα που προκλήθηκαν, ενώ τα μεγέθη των καταγίδων συλλέχθηκαν από τη βιβλιογραφία και συγκεκριμένα από τους: Katsetsiadou (2011), HNMS (1980), Baloutsos et al. (2000), NOA (2013), Kotsis (2005), PPC (2010), Diakakis (2011).

Υδρολογική λεκάνη	Λίλαντας (Εύβοια)	Ραπεντώσα (Μαραθώνας)	Ξηριάς (Κόρινθος)	Ποταμούλα (Αργίνιο)	Κρεμαστή & Ιαλυσός (Ρόδος)
Ημ/νία καταιγίδας	12/9/2009	27/10/1980	13/1/1997	2/10/2008	22/11/2013
Συνολικό ύψος βροχής	203,4 mm	114 mm	123-358 mm	280 mm	104,6 mm
Διάρκεια καταιγίδας	24 h	11 h	43 h	24 h	4,5 h
Περίοδος επανάλιψης	155 έτη	70 έτη	10-1000 έτη	288-327 έτη	10 έτη

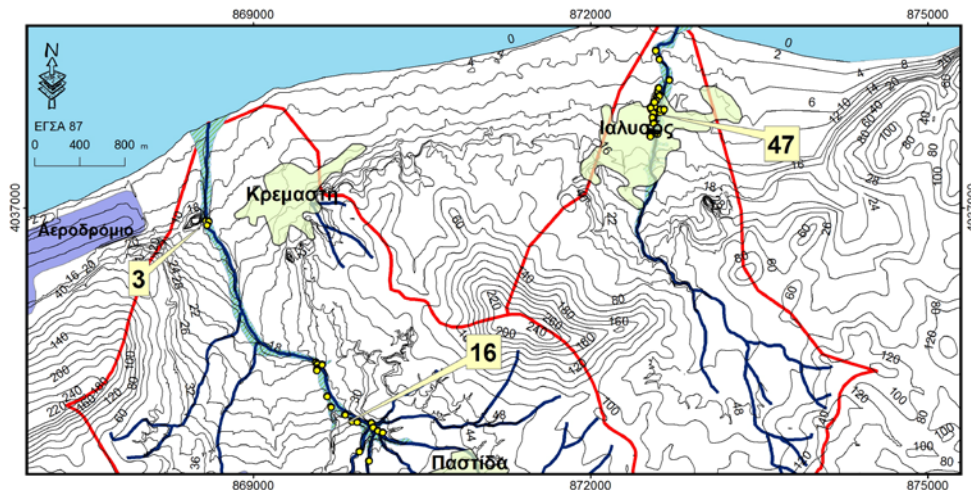
Πίνακας 3. Συμβάντα ξαφνικών πλημμυρών που προκλήθηκαν από ακραία καιρικά φαινόμενα και οι αντίστοιχες υδρολογικές λεκάνες.

3. Αποτελέσματα

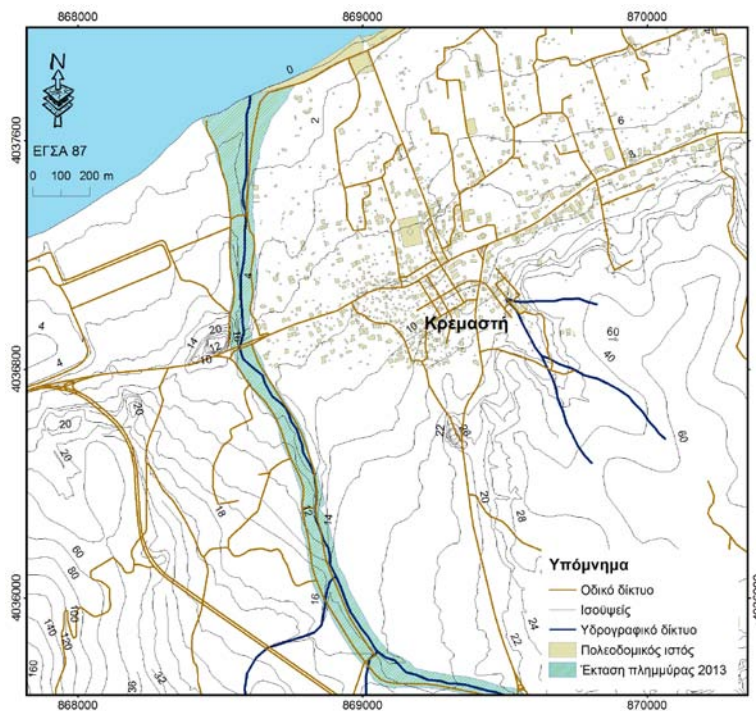
3.1. Πρωτογενείς επιπτώσεις πλημμύρας

Από την έρευνα πεδίου προέκυψαν διαφορετικοί τύποι πρωτογενών επιπτώσεων σε περιουσίες (ακίνητες και κινητές) και υποδομές. Συγκεκριμένα καταγράφηκαν:

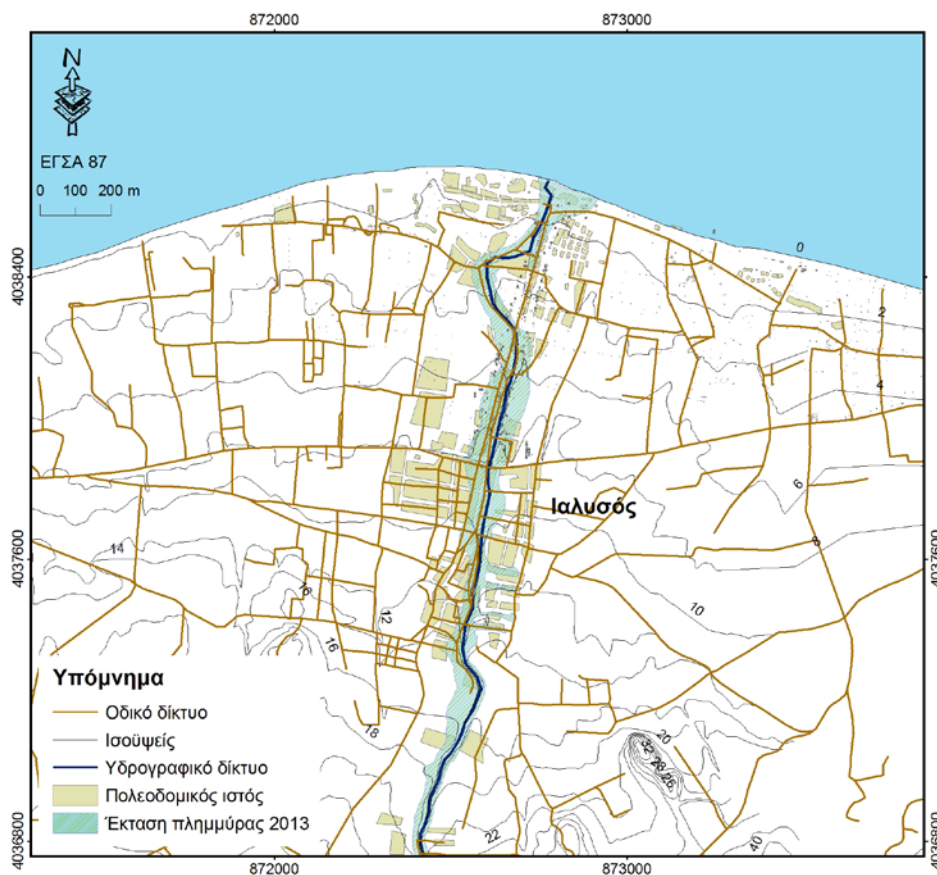
- i. Τουλάχιστον 66 οχήματα τα οποία κατελήφθησαν από πλημμυρικά ύδατα και μέρος των οποίων υπέστη ζημιές από τα ύδατα και φερτά υλικά (Εικόνα 3).
- ii. Περιοχή κατάκλυσης από πλημμυρικά ύδατα επιφάνειας: 0,37 km² στην λεκάνη της Κρεμαστής και 0,17 km² στην λεκάνη της Ιαλυσού (Εικόνες 4 και 5).
- iii. Τουλάχιστον 160 κτήρια πλημμυρισμένα στην λεκάνη της Ιαλυσού και της Κρεμαστής.
- iv. 5.8 km πλημμυρισμένων οδών στην Κρεμαστή και 2.5 km πλημμυρισμένων οδών στην Ιαλυσό.
- v. 4 θύματα σε δύο περιστατικά κατά τα οποία οχήματα παρασύρθηκαν από τα πλημμυρικά ύδατα.



Εικόνα 3. Χάρτες των δύο λεκανών με τις θέσεις των οχημάτων που επλήγησαν από τα πλημμυρικά φαινόμενα και του 2013.



Εικόνα 4. Χάρτης του πεδινού τμήματος της λεκάνης της Κρεμαστής με την μέγιστη έκταση των πλημμυρικών υδάτων κατά τις πλημμύρες του Νοεμβρίου 2013.



Εικόνα 4. Χάρτης του πεδινού τμήματος της λεκάνης της Ιαλουσού με την μέγιστη έκταση των πλημμυρικών υδάτων κατά τις πλημμύρες του Νοεμβρίου 2013.

3.2. Επιπτώσεις στο οδικό δίκτυο

Από την έρευνα πεδίου προέκυψαν διαφορετικοί τύποι επιπτώσεων στο οδικό δίκτυο και τις σχετικές υποδομές, όπως γέφυρες, διαβάσεις του οδικού δικτύου και τις εγκαταστάσεις ασφαλείας και φωτισμού. Σε ότι αφορά αποκλειστικά το οδικό δίκτυο, αναγνωρίστηκαν έξι (6) διαφορετικοί τύποι επιπτώσεων (Εικόνα 6):

- i. Κατάκλυση τμήματος του οδοστρώματος από ύδατα, χωρίς να προκύψουν δομικές ζημιές ή άλλες μόνιμες επιπτώσεις και η οποία οδήγησε σε προσωρινή διακοπή της κυκλοφορίας για λίγες ώρες μετά την πλημμύρα (Εικόνα 6b).
- ii. Κατάκλυση τμήματος του οδοστρώματος από ύδατα, συνοδευόμενη από απόθεση φερτών υλικών και θραυσμάτων βλάστησης τα οποία επηρέασαν την κυκλοφορία για ώρες έως και 1 ή 2 ημέρες από την πλημμύρα. Σε αυτή την περίπτωση δεν προέκυψαν δομικές ζημιές ή άλλες μόνιμες επιπτώσεις (Εικόνα 6a).
- iii. Κατάκλυση τμήματος του οδοστρώματος από ύδατα, η οποία συνοδεύτηκε από διάβρωση ή και υποσκαφή του οδοστρώματος ή επιχωμάτων. Σε αυτές τις περιπτώσεις η κυκλοφορία των οχημάτων επηρεάστηκε για ημέρες έως και μία εβδομάδα στο τμήμα αυτό του οδικού δικτύου. (Εικόνα 6c).
- iv. Κατάκλυση τμήματος του οδοστρώματος από ύδατα, η οποία συνοδεύτηκε από διάβρωση ή και υποσκαφή μόνο του επιφανειακού τμήματος του οδοστρώματος (άσφαλτος). Σε αυτές τις περιπτώσεις η κυκλοφορία επηρεάστηκε για 1-2 ημέρες από την πλημμύρα (Εικόνα 6d).
- v. Κατάκλυση τμήματος του οδοστρώματος από ύδατα, η οποία συνοδεύτηκε από ζημιές στις εγκαταστάσεις ασφαλείας και φωτισμού του οδικού δικτύου όπως κιγκλιδώματα, κολώνες, λαμπτήρες και άλλα. Σε αυτές τις περιπτώσεις η κυκλοφορία επηρεάστηκε για λίγες ώρες μετά την πλημμύρα. Οι επισκευές όμως διήρκησαν περισσότερο (Εικόνα 6e).

- vi. Κατάκλυση τμήματος του οδοστρώματος από ύδατα, η οποία συνοδεύτηκε από ολική κατάρρευση ή υποχώρηση του οδοστρώματος και των επιχωμάτων του. Σε αυτές τις περιπτώσεις η κυκλοφορία επηρεάστηκε έως και εβδομάδες μετά την πλημμύρα (Εικόνα 6f).

Σε ότι αφορά τις διαβάσεις του υδρογραφικού δικτύου (π.χ. γέφυρες ή ιρλανδικές διάβασεις) αναγνωρίστηκαν τέσσερις (4) διαφορετικοί τύποι περιπτώσεων:

- Η διάβαση λειτούργησε κανονικά κατά τη διάρκεια και μετά το πλημμυρικό συμβάν, χωρίς να καλυφθεί από ύδατα ή φερτά υλικά και χωρίς να παρουσιάσει μόνιμες ζημιές ή να επηρεασθεί η κυκλοφορία.
- Η διάβαση υπέστη κατάκλυση από πλημμυρικά ύδατα, παρακλύοντας την κυκλοφορία των οχημάτων για λίγες ώρες χωρίς όμως να παρουσιάσει μόνιμες ζημιές ή επιπτώσεις δομικού χαρακτήρα (Εικόνα 7a).
- Η διάβαση υπέστη κατάκλυση από πλημμυρικά ύδατα, που συνοδεύτηκε από επιπτώσεις σε τμήματα της υποδομής όπως (α) το κατάστρωμα, (β) το οδόστρωμα, (γ) τα κιγκλιδώματα, (δ) ο φωτισμός, (ε) τα επιχώματα (ζ) το υπόβαθρο και άλλες ζημιές, οι οποίες ήταν πλήρως επισκευάσιμες χωρίς την ολική ανακατασκευή ή κατάρρευση της υποδομής. Στις περιπτώσεις αυτές η κυκλοφορία επηρεάστηκε για ορισμένες ώρες έως και ημέρες. (Εικόνα 7b,c,d)
- Η διάβαση υπέστη κατάκλυση από πλημμυρικά ύδατα, που συνοδεύτηκε από επιπτώσεις σε τμήματα της υποδομής όπως το κατάστρωμα, το υπόβαθρο και τα επιχώματα που οδήγησαν στην ολική κατάρρευση, κατάρρευση ή και ολική ανακαίνιση της υποδομής (Εικόνα 7e,f).

Εξετάζοντας τις διαβάσεις του υδρογραφικού δικτύου στο σύνολό τους προέκυψε ότι στην περίπτωση της υδρολογικής λεκάνης της Κρεμαστής 19 (54.3%) από τις 35 υπέστησαν τουλάχιστον κατάκλυση από τα πλημμυρικά ύδατα, ενώ στην Ιαλυσό ο αντίστοιχος αριθμός ανήλε σε 5 (62.5%) από τις 8.



Εικόνα 6. Τύποι επιπτώσεων κατά μήκος του οδικού δικτύου όπως (a) .



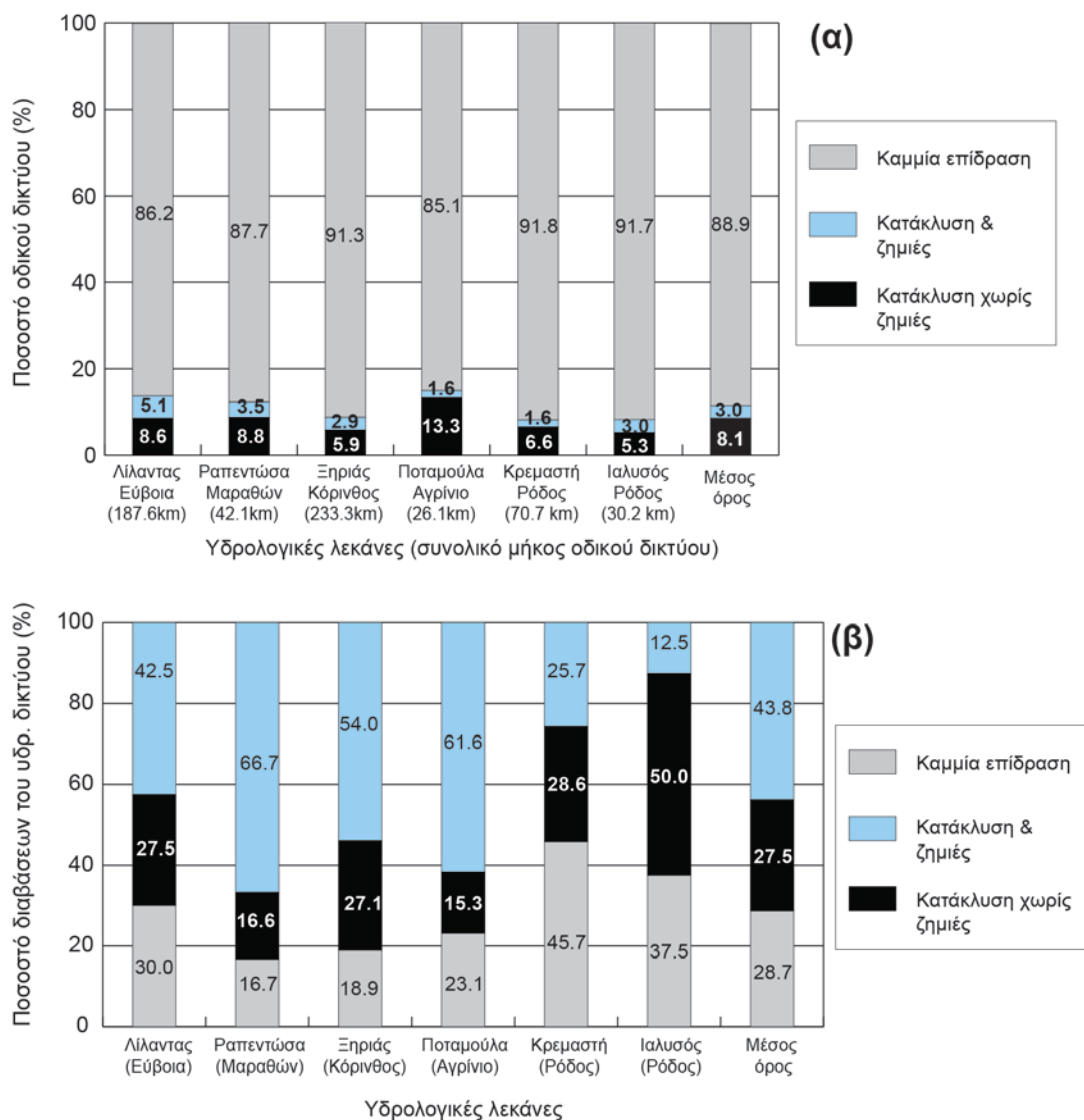
Εικόνα 7. Τύποι επιπτώσεων στις διαβάσεις του υδρογραφικού δικτύου, όπως (a) πλημμυρισμένες ιρλανδικές διαβάσεις, (b, c) φραγμένοι αγωγοί, (d) γκιγκλιδώματα και άλλες εκτασταστάσεις που έχουν καταρρεύσει, (e) διαβρωμένες επιχωματώσεις και (f) κατεστραμμένα καταστρώματα γεφυρών και οδών.

3.3. Σύγκριση με άλλα πλημμυρικά συμβάντα

Συγκρίνοντας τα ευρήματα της έρευνας στην περίπτωση της πλημμύρας (flash flood) της Ρόδου με τέσσερις άλλες παρόμοιες περιπτώσεις πλημμυρικών συμβάντων σε μη-αστικές υδρολογικές λεκάνες προέκυψαν σημαντικές ομοιότητες ιδίως στην έκταση των επιπτώσεων στις υποδομές. Εστιάζοντας στην απόδοση του οδικού δικτύου και των υποδομών μεταφορών προκύπτει ότι από τη συστηματική καταγραφή που έγινε, ποσοτικοποιήθηκε για πρώτη φορά η έκταση της επίδρασης των ακραίων καιρικών φαινομένων στο οδικό δίκτυο. Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 8α) φαίνεται ότι το ποσοστό του οδικού δικτύου που επηρεάστηκε σε όλες τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν και στην περίπτωση της Ρόδου κυμαίνεται από 8.2% έως 14.9% καταγράφοντας ένα μέσο όρο ίσο με 11.1% ενώ δημιουργούν ζημιές σε ένα ποσοστό 3%. Από το σχήμα προκύπτει ότι οι επιπτώσεις της πλημμύρας στις δύο υδρολογικές λεκάνες της Ρόδου κυμάνθηκαν σε χαμηλότερα ποσοστά ίσα με 8.2% για την Κρεμαστή και 8.3% για την Ιαλυσό.

Ομοίως, συγκρίνοντας τις επιπτώσεις των πλημμυρών στις διαβάσεις του υδρογραφικού δικτύου στις έξι λεκάνες που εξετάστηκαν (Εικόνα 8β), ποσοτικοποιήθηκε για πρώτη φορά η έκταση της επίδρασης των ακραίων καιρικών φαινομένων σε αυτού του είδους τις υποδομές. Από το σχήμα προκύπτει ότι οι επιπτώσεις παρόμοιων φαινομένων κυμάνθηκαν από 54.3% έως 88.3%, καταγράφοντας ένα μέσο όρο 71.3%, ενώ δημιουργούν ζημιές σε ένα πολύ υψηλό ποσοστό 43.8%. Στην περίπτωση της Ιαλυσού και της Κρεμαστής τα αντίστοιχα ποσοστά 54.3% και 62.5% αντίστοιχα.

Σε ότι αφορά τα θύματα, στις τέσσερις περιπτώσεις εκτός της Ρόδου που εξετάστηκαν, καταγράφηκαν απώλειες ζώων σε περιστατικά με αυτοκίνητα. Στην περίπτωση του Μαραθώνα το 1980, ένα αυτοκίνητο με τρεις επιβάτες προσπάθησε να περάσει πλημμυρισμένο γεφυράκι επί της οδού Πλαταιών, με αποτέλεσμα τον πνιγμό ενός εκ των τριών. Ομοίως στην Κόρινθο το 1997, ο οδηγός ενός λεωφορείου προσπάθησε να περάσει τον ποταμό Ξηριάς, προκαλώντας τον πνιγμό 4 ατόμων. Αντίστοιχα περιστατικά καταγράφηκαν στην Ποταμούλα Αργινίου το 2008 όταν ένα ζευγάρι προσπάθησε να περάσει ένα πλημμυρισμένο γεφύρι, με αποτέλεσμα τον πνιγμό και των δύο ατόμων, ενώ στην Εύβοια το 2009, ένας οδηγός προσπάθησε να διαβεί ένα πλημμυρισμένο τμήμα του οδοστρώματος με αποτέλεσμα να παρασυρθεί το αυτοκίνητό του. Από τις ιστορικές περιγραφές των συμβάντων αυτών προκύπτει ότι παρουσιάζουν σημαντικές ομοιότητες με τα δύο συμβάντα που συνέβησαν στην Ρόδο το Νοέμβριο του 2013, γεγονός που αποτελεί ισχυρή ένδειξη για την ελεπή ασφάλεια των υποδομών σε σχέση με τις πλημμύρες, η οποία καταγράφεται στη βιβλιογραφία (Diakakis και Deligiannakis 2013a).



Εικόνα 8. Σύγκριση (α) του ποσοστού του οδικού δικτύου και (β) των διαβάσεων του υδρογραφικού δικτύου που επηρεάστηκαν από τα πλημμυρικά ύδατα στις δύο υδρολογικές λεκάνες που μελετήθηκαν στη Ρόδο, και τις τέσσερις επιπλέον που εξετάστηκαν.

4. Συζήτηση - Συμπεράσματα

Σχετικά με την πλημμύρα του Νοεμβρίου 2013 στη Ρόδο, από την ανάλυση των δεδομένων προέκυψαν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τα χαρακτηριστικά των πλημμυρικών συμβάντων. Τα πλημμυρικά ύδατα κατέλαβαν αναλογικά μικρές εκτάσεις καθώς λόγω

της μικρής έκτασης των υδρολογικών λεκανών ο όγκος των υδάτων ήταν σχετικά μικρός. Από την άλλη ο χρόνος αντίδρασης των δύο λεκανών, ο οποίος αντικατοπτρίζεται στην ταχύτητα με την οποία ανέβηκε η στάθμη των υδάτων, ήταν εξαιρετικά μικρός λόγω του μικρού μεγέθους τους. Το χαρακτηριστικό αυτό κάνει τις δύο αυτές λεκάνες επιρρεπείς σε καταγίγδες μικρής διάρκειας και πολύ υψηλής έντασης σαν αυτές που έλαβαν χώρα την 22^η Νοεμβρίου 2013.

Παράλληλα, αυξάνει τον κίνδυνο για τους πολίτες καθώς οι απότομες αλλαγές των συνθηκών δεν αφήνουν χρονικά περιθώρια για προειδοποιήσεις από τις αρχές και σωστή αντίληψη του κινδύνου. Επιπρόσθετα, στην συγκεκριμένη περίπτωση, προκύπτει ότι οι υποδομές δεν είχαν την απαιτούμενη ανθεκτικότητα σε πλημμυρικά φαινόμενα καθώς κατελήφθησαν σε μεγάλο ποσοστό από πλημμυρικά ύδατα, με αποτέλεσμα να ακυρωθεί η λειτουργία τους και να δημιουργήσουν συνθήκες κινδύνου για τους χρήστες. Ιδιαίτερο κίνδυνο παρουσίασαν οι ιρλανδικές διαβάσεις κατά μήκος της Κρεμαστής και η οδός επί του πλακοσκεπής αγωγού στην λεκάνη της Ιαλυσού.

Σε ότι αφορά την τρωτότητα των υποδομών, η παρούσα ανάλυση δείχνει για πρώτη φορά ότι παρουσιάζονται ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά επίδρασης των ακραίων καιρικών φαινομένων βροχόπτωσης και των πλημμυρών που προκαλούν, στο οδικό δίκτυο και κυρίως στις διαβάσεις του υδρογραφικού δικτύου. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα ποσοστά αυτά υπερβαίνουν τις μισές διαβάσεις. Η ομοιότητα των περιστατικών που περιλαμβάνουν θύματα είναι ενδεικτική της χαμηλής ασφάλειας, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι πρέπει να ληφθούν ειδικά μέτρα, όπως αναγνώριση των θέσεων υψηλού κινδύνου, κατάλληλη σήμανση και φωτισμός που να προειδοποιεί τους χρήστες για τον δυνητικό κίνδυνο. Τέλος, προτείνεται η ενίσχυση της εκπαίδευσης των οδηγών στον συγκεκριμένο τομέα, καθώς η συχνότητα των παρόμοιων περιστατικών παρουσιάζει αύξηση (Diakakis και Deligiannakis 2013b)

Σε ότι αφορά τη χρήση του GIS για την καταγραφή των επιπτώσεων παρόμοιων καταστροφών προκύπτουν σημαντικά οφέλη. Αρχικά, κτίζεται ηλεκτρονική υποδομή για διάφορες χρήσεις όπως κτηματολόγιο, χάραξη υδατορευμάτων, χάραξη περιοχών ιδιαίτερης προστασίας (natura), κυκλοφοριακές μελέτες, τουριστικές μελέτες, κοινωνικοπολιτικές μελέτες για το αεροδρόμιο, πολεοδομικές μελέτες, μελέτες φυσικών καταστροφών (σεισμών, κατολισθήσεων, πυρκαγιών), μελέτες χρήσεις γης και περιουσιολογίου. Επιπρόσθετα, η λεπτομερής καταγραφή συστηματοποιεί τις πληροφορίες οργανώνοντας ένα ιστορικό αρχείο, η ανάλυση του οποίου συμβάλει στην υπάρχουσα γνώση. Επίσης η καταγραφή μέσω GIS, καθιστά εύκολες τις συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών καταστροφών σε διαφορετικές τοποθεσίες ή και μέσα στον ίδιο δήμο, προσδιορίζοντας τα λάθη, τις παραλήψεις και τις αιτίες των αστοχιών και ποσοτικοποιώντας τις επιπτώσεις τους. Επιπρόσθετα καταγράφει τα χαρακτηριστικά των καταστροφών με λεπτομέρεια συμβάλλοντας στη γνώση σχετικά με αυτές, καθιστώντας τις υπηρεσίες πολιτικής προστασίας και τις κοινωνίες πιο έμπειρες απέναντι στον κίνδυνο. Τέλος συμβάλει στην διαφάνεια σχετικά με την απόδοση ευθυνών για τις αστοχίες που παρατηρούνται. Για την καλή λειτουργία της μεθόδου θα πρέπει φυσικά να δίνεται προσοχή στην ακρίβεια και την ποιότητα των πληροφοριών που εισάγονται, καθώς η χρήση μοντέλων και αυτοματισμών σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιεί παραδοχές και υποθέσεις, οδηγώντας συχνά σε μη ρεαλιστικά αποτελέσματα.

Βιβλιογραφία

- Baloutsos G., Koutsogiannis D., Kalliris P., 2000. "Investigation of the hydrologic response of the Xerias torrent watershed to the rainstorm of 11-13 January 1997, using the SCS method.", *Geotechnical Scientific Issues*. Vol. 11, no 1/2000, pp. 77-90
- Belmonte, A. M. C., Beltran, F. S., 2001. "Flood events in Mediterranean ephemeral streams (ramblas) in Valencia region, Spain", *Catena*, Vol. 45, pp. 229-249.
- Bull, L. J., Kikrby, M. J., Shannon, J. and Hooke, J. M., 1999. "The impact of rainstorms on floods in ephemeral channels in southeast Spain", *Catena*, Vol. 38, pp. 191-209.
- Cova T. J., 1999 "GIS in emergency management. In: *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Applications, and Management*", P.A. Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire, D.W. Rhind (eds.), John Wiley & Sons, New York, pp. 845-858. Published, 1999.
- Dankers, R., Hiederer, R., 2008. "Extreme temperatures and precipitation in Europe: analysis of a high-resolution climate change scenario", *Joint Research Centre Scientific and Technical Reports*, Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Centre, European Commission, Luxembourg.

- Diakakis M., 2010. "Flood history analysis and its contribution to flood hazard assessment. The case of Marathonas in Greece. Bulletin of the Geological Society of Greece". 43 (3), pp.1323-1334
- Diakakis M., 2013. "An inventory of flood events in Athens, Greece, during the last 130 years. Seasonality and spatial distribution. Journal of Flood Risk Management". Wiley, DOI: 10.1111/jfr3.12053
- Diakakis M., Deligiannakis G., 2013a. "Vehicle-related flood fatalities in Greece. Environmental Hazards", Taylor & Francis, DOI: 10.1080/17477891.2013.832651
- Diakakis M., Deligiannakis G., 2013b. "Changes in flood mortality during the last 50 years in Greece. Bulletin of the Geological Society of Greece". Vol. 47, (In press).
- Diakakis M., Mavroulis S., Deligiannakis G., 2012. "Floods in Greece, a statistical and spatial approach. Natural Hazards", 62 (2), pp.485-500.
- Diakakis M., 2011. "Rainfall thresholds for flood triggering. The case of Marathonas in Greece. " Nat. Hazards 60, 3, pp.789-800.
- ESRI 2013 World Imagery background map, Release 2014. Redlands California, USA, Environmental Systems Research Institute.
- Gaume E., Borga M., 2008. "Post-flood field investigations in upland catchments after major flash floods: proposal of a methodology and illustrations", The Authors Journal Compilation c 2008 Blackwell Publishing Ltd, DOI:10.1111/j.1753-318X.2008.00023.x, pp.175-189.
- Greene R. W., 2002. "Confronting Castastrophe: A GIS Handbook", NCJRS Abstracts Database.
- Gunes A., Kovel J., 2000. "Using GIS in Emergency Management Operations. " J. Urban Plann. Dev., 126(3), pp.136–149.
- HNMS 1980 Rainfall data of 1980. Marathon Station. Hellenic National Meteorological Service.
- Johnson R., 2000. "GIS Technology for Disasters and Emergency Management", An ESRI White Paper.
- Katsetsiadou K., 2011. "Risk of natural disasters in Chalkida Municipality." MSc Thesis, Faculty of Geology and Geoenvironment, National and Kapodistrian University of Athens.
- Kotsis A.I., 2005. "Investigation of high-intensity rainfall events and IFD curves development in the Aegean islands area." MSc Thesis, Department of Civil Engineering, National Technical University of Athens.
- Martini F., Loat R., 2007. "Handbook on good practices for flood mapping in Europe". European exchange circle on flood mapping (EXCIMAP), Paris.
- Masozera M., Bailey M., Kerchner C., 2007. "Distribution of impacts of natural disasters across income groups: A case of study of New Orleans", Ecological Economics Volume 63, Issues 2–3, 1 August 2007, pp.299–306.
- NOA 2013. Rainfall data of the year 2013. Rodos Meteorological station. National Observatory of Athens.
- PPC 2010. Rainfall data from Kastraki and Kremasta stations. Public Power Corporation S.A. Hellas.
- Tran P., Shaw R., Chantry G., Norton J., 2009. "GIS and local knowledge in disaster management: a case study of flood risk mapping in Viet Nam", Disasters, Volume 33, Issue 1, pp.152–169.
- Uitto J., 1998. "The geography of disaster vulnerability in megacities: A theoretical framework", Applied Geography, Volume 18, Issue 1, January 1998, pp.7–16.
- ΓΥΣ 2013. Τοπογραφικοί χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού κλίμακας 1:5000 .
- Δήμος Ρόδου 2014. Πολεοδομικός Ιστός – Γεωχωρικά δεδομένα. Διεύθυνση Πολεοδομικού Σχεδιασμού, Δήμος Ρόδου.