



Το παρόν έργο αδειοδοτείται υπό τους όρους της άδειας Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής επισκεφτείτε το σύνδεσμο: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Πλημμύρες

Δρ. Βασίλης Μπέλλος

Κίνδυνοι

- **Φυσικοί**
 - Γεωφυσικοί
 - Μετεωρολογικοί
 - Υδρολογικοί
 - Κλιματολογικοί
 - Βιολογικοί
 - Εξωγήινοι
- **Τεχνολογικοί**

Φυσικοί κίνδυνοι

Γεωφυσικοί



Μετεωρολογικοί



Υδρολογικοί



Κλιματολογικοί



Βιολογικοί



Εξωγήινοι



Φυσικές καταστροφές

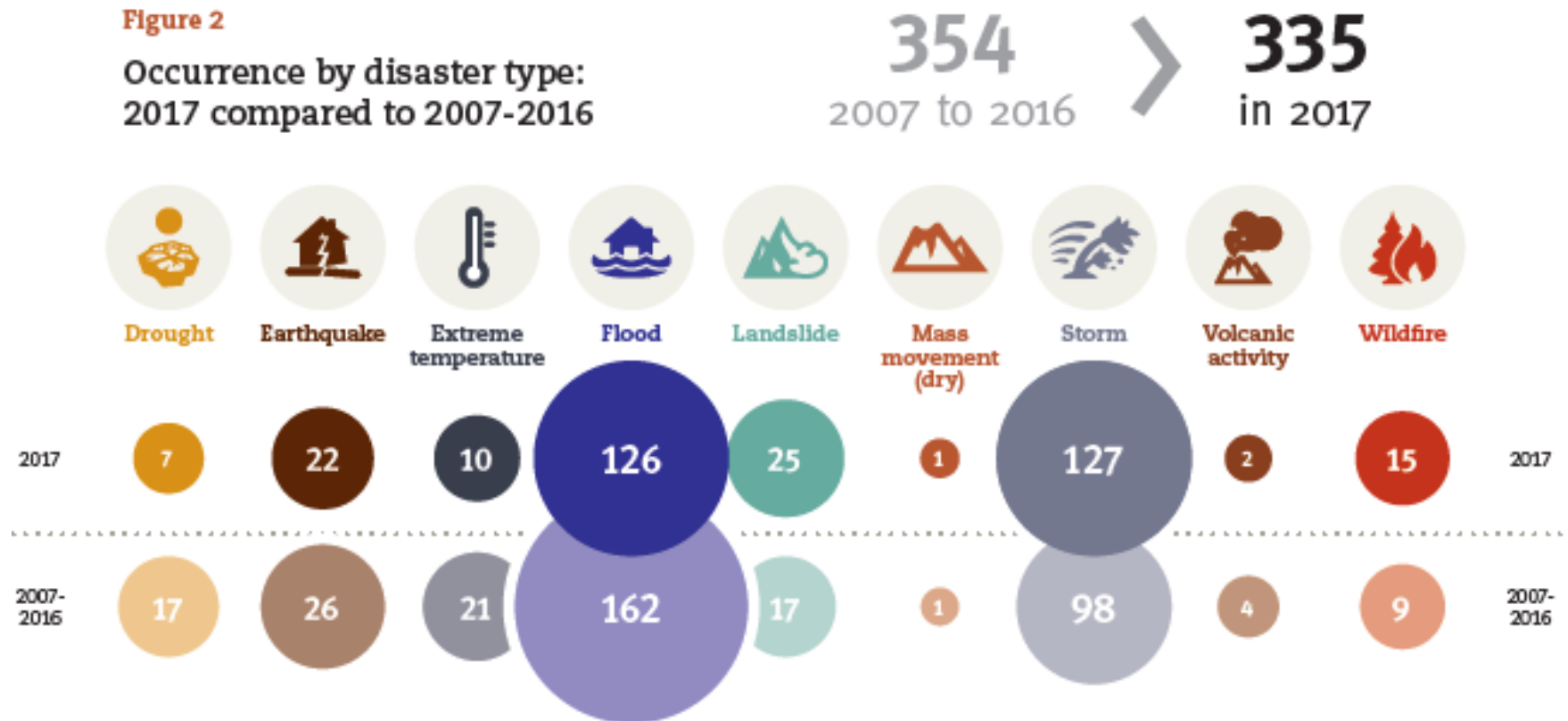
2017

Figure 1

Number of disasters by continent and top 10 countries



Φυσικές καταστροφές

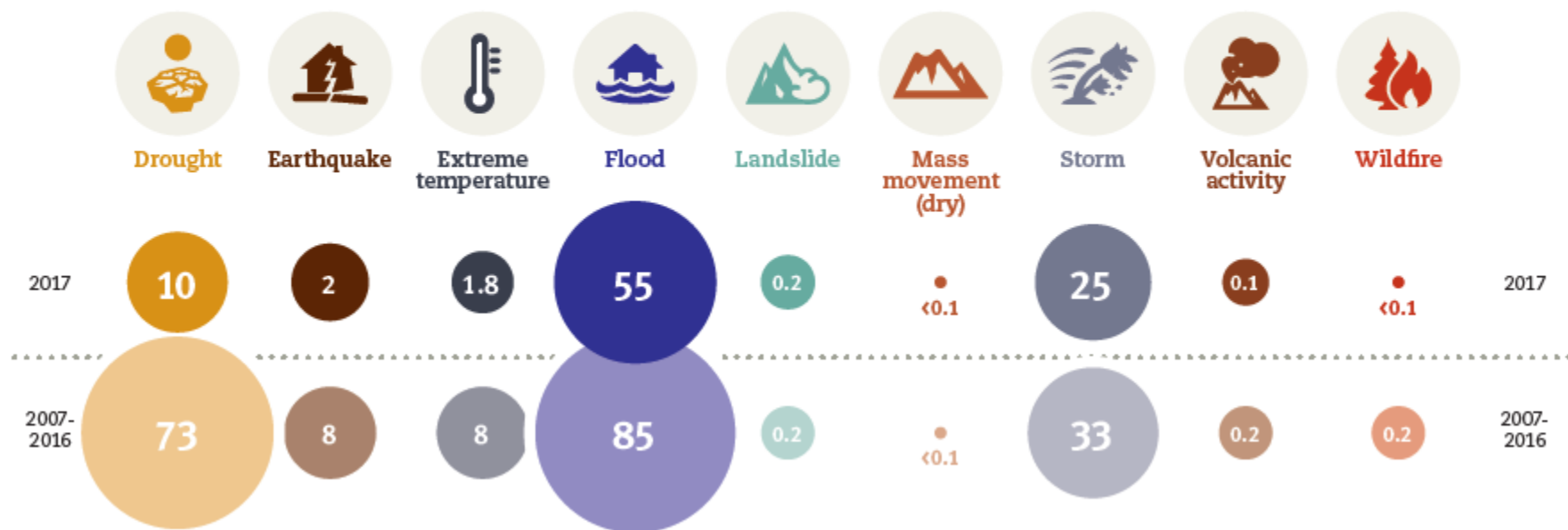


Εκτεθειμένοι πληθυσμοί

Figure 6

Number of affected (million) by disaster type: 2017 compared to 2007-2016

210
2007 to 2016 > 96
in 2017

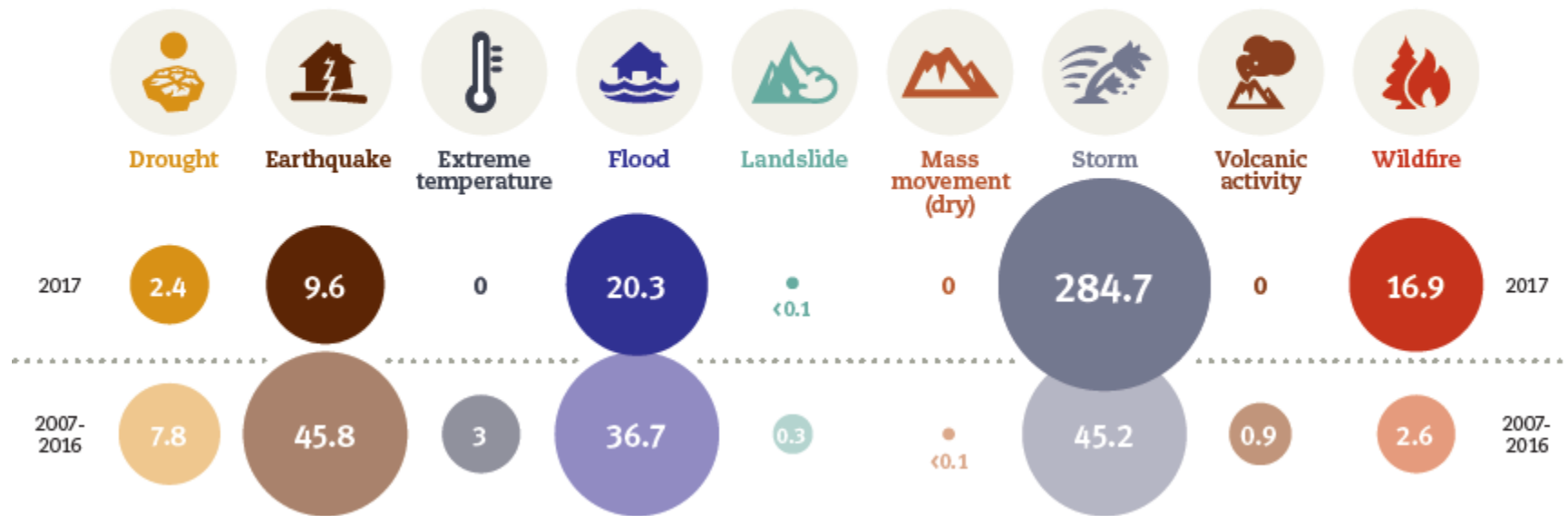


Οικονομικές επιπτώσεις

Figure 8

Economic losses (billion US\$) by disaster type: 2017 compared to 2007-2016

142 < 334
2007 to 2016 in 2017



Πηγή: UCL, CRED, USAID (2017). Natural Disasters, 2017.

Πλημμύρες

- Προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους το οποίο, υπό φυσιολογικές συνθήκες, δεν καλύπτεται από νερό
- Πολλαπλοί μηχανισμοί
 - υπερχείλιση ποταμού → fluvial scale
 - άμεση βροχόπτωση → pluvial flooding
 - αστοχία τεχνικού έργου → θραύση φράγματος
 - παράκτια ζώνη → παλιρροιακό κύμα
 - συνδυαστικά γεγονότα → compound events
- Χρονική διάσταση
 - βραδεία απόκριση
 - μέση απόκριση
 - ταχεία απόκριση → flash floods

Πλημμυρικό πεδίο

- **Φυσικό περιβάλλον**

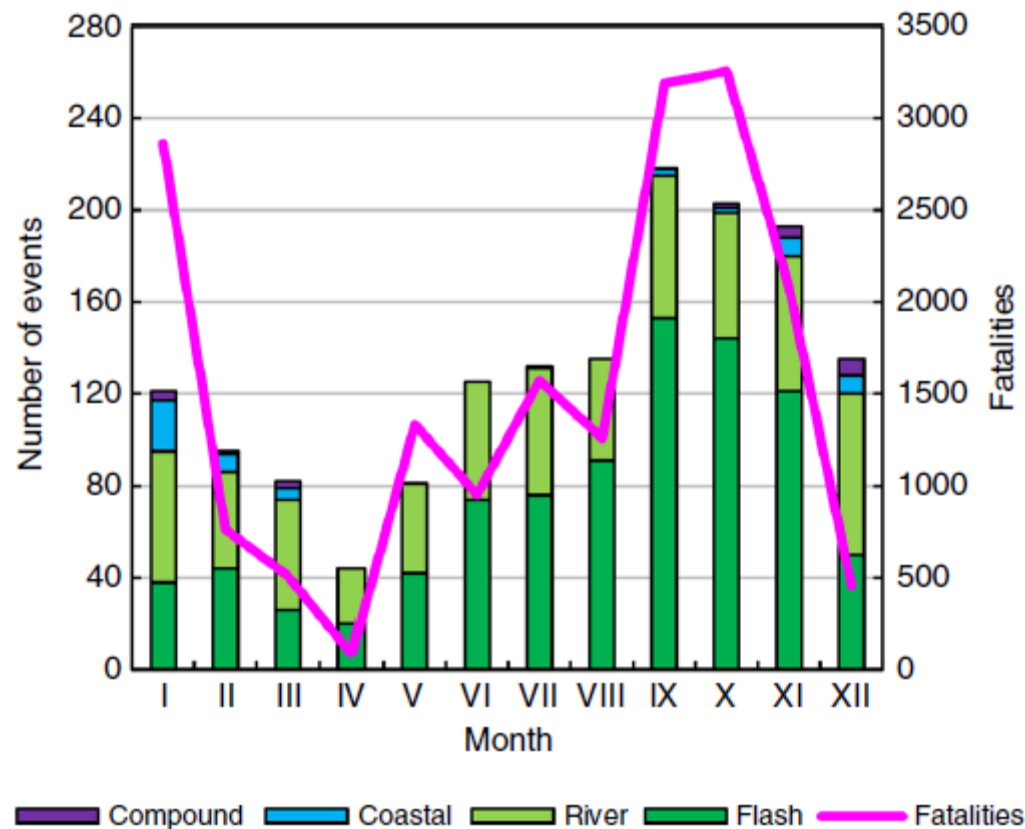
- όλοι οι μηχανισμοί
- όχι τόσο συνηθισμένη η πλημμύρα λόγω άμεσης βροχόπτωσης

- **Αστικό περιβάλλον**

- όλοι οι μηχανισμοί
- κυρίως πλημμύρες λόγω άμεσης βροχόπτωσης
- πλημμύρες ταχείας απόκρισης

Αιτίες πλημμύρας

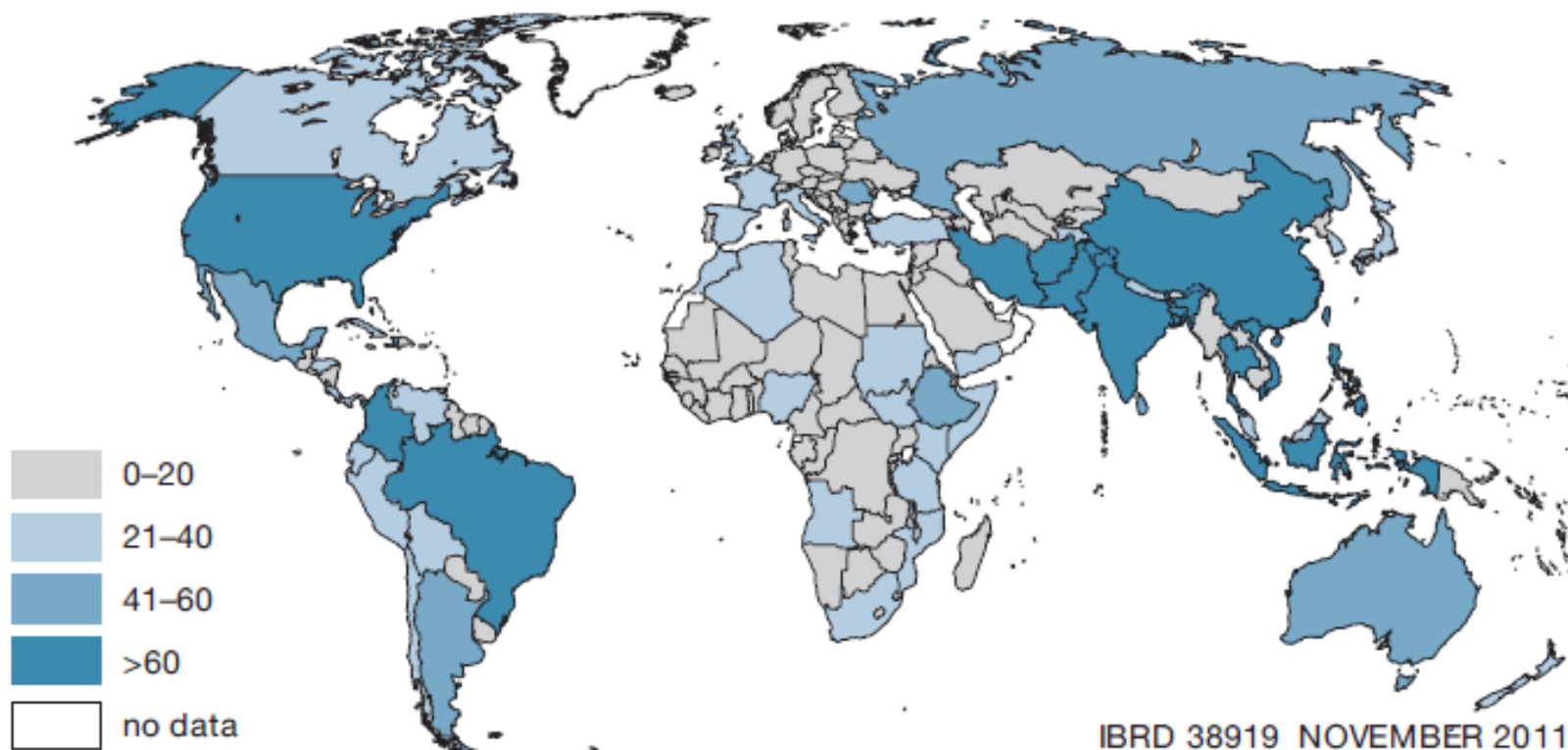
Ευρώπη 1870-2016



Πηγή: Paprotny, D., Sebastian, A., Morales-Napoles, O., Jonkman, S.N. (2018). Trends in flood losses in Europe over the past 150 years. Nature Communications, 9, 1985.

Πλημμυρικά γεγονότα

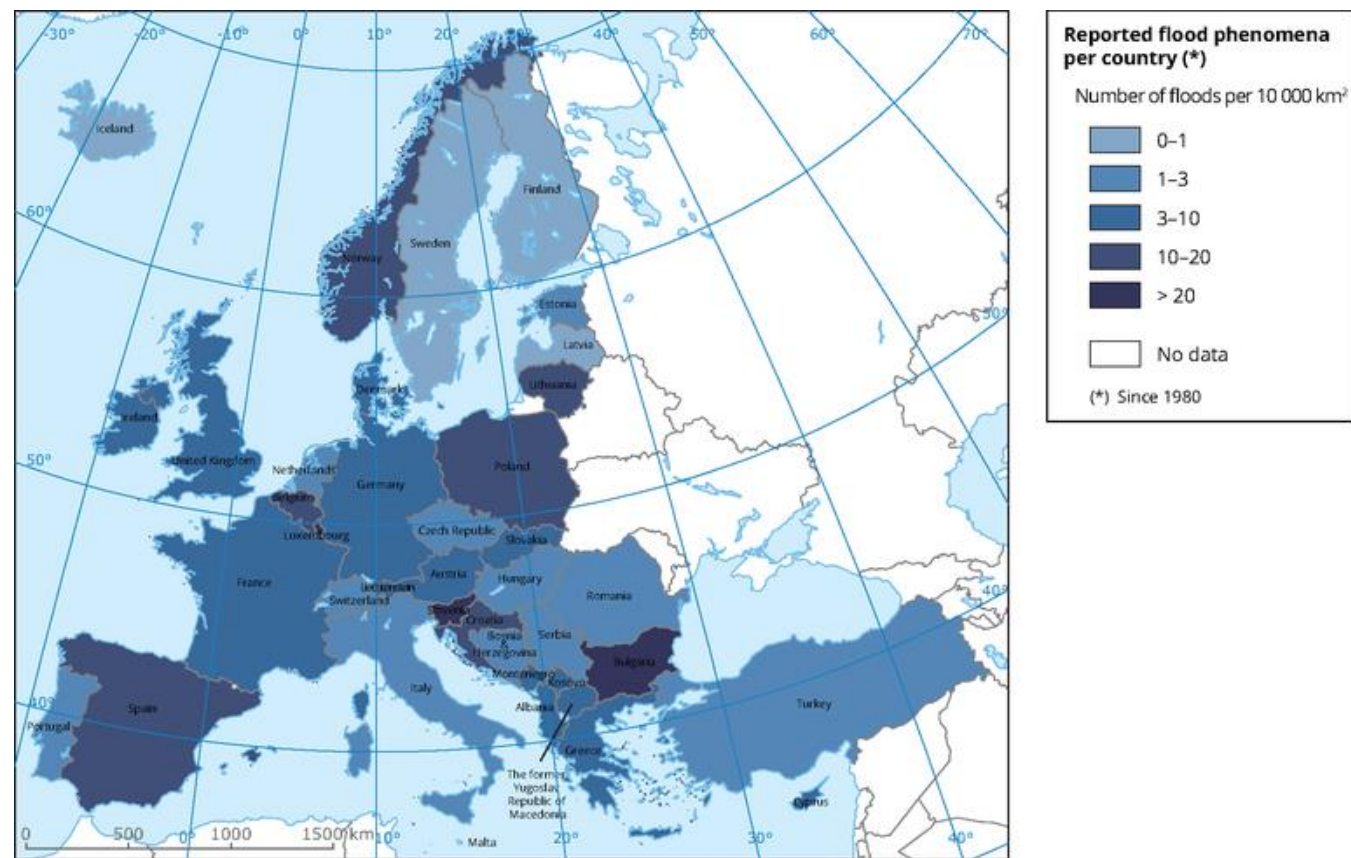
1970-2011



Πηγή: Jha, K.A., Bloch, R., Lamond, J. (2012). Cities and Flooding: A guide to integrated urban flood risk management for the 21st century. The World Bank Publications.

Πλημμυρικά γεγονότα

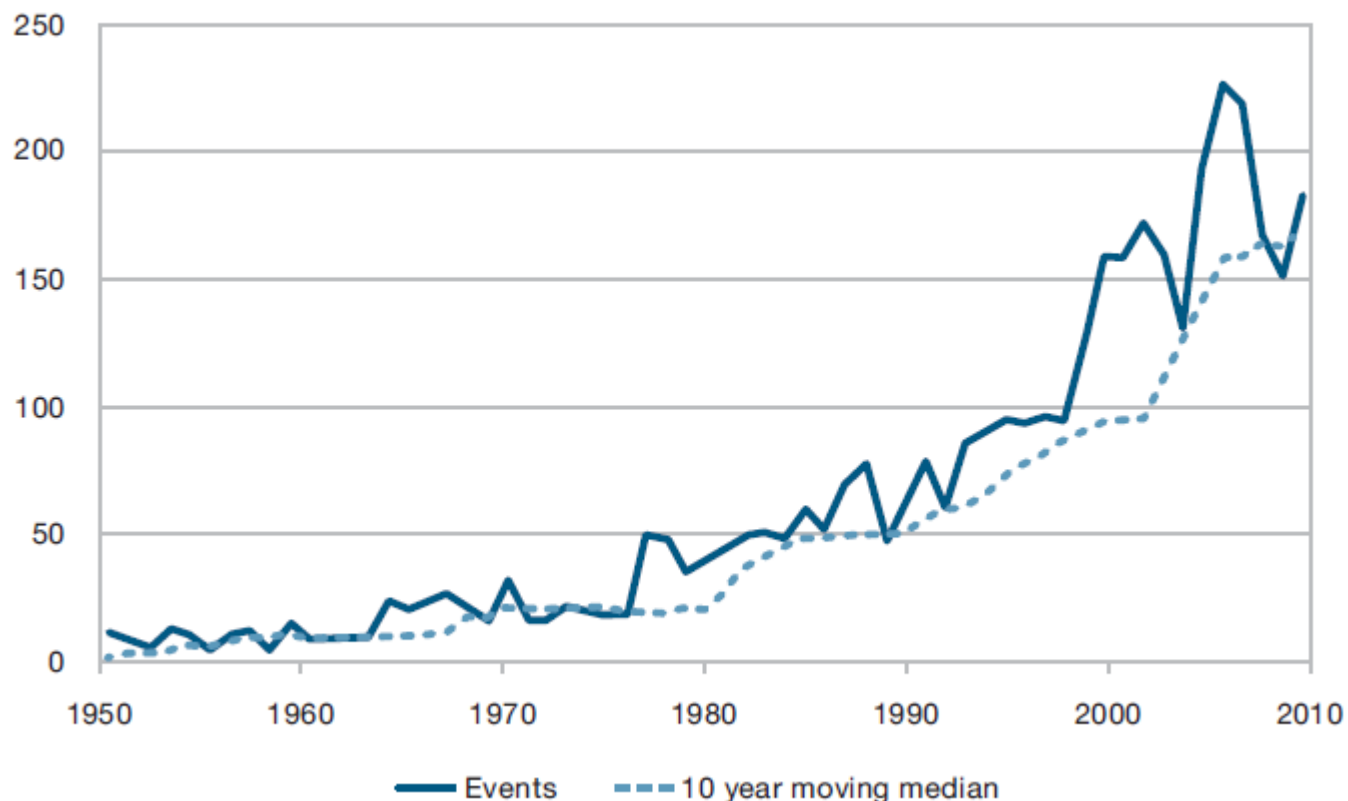
1980-2015



Πηγή: European Environmental Agency (www.eea.europa.eu)

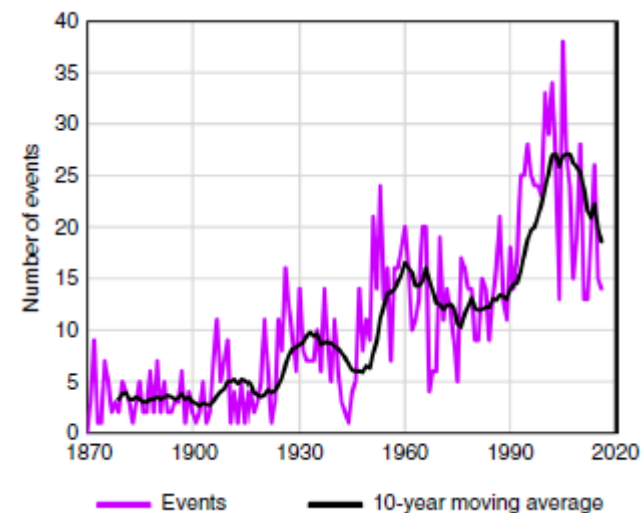
Πλημμυρικά γεγονότα

παγκόσμια



Πηγή: Jha, K.A., Bloch, R., Lamond, J. (2012). Cities and Flooding: A guide to integrated urban flood risk management for the 21st century. The World Bank Publications.

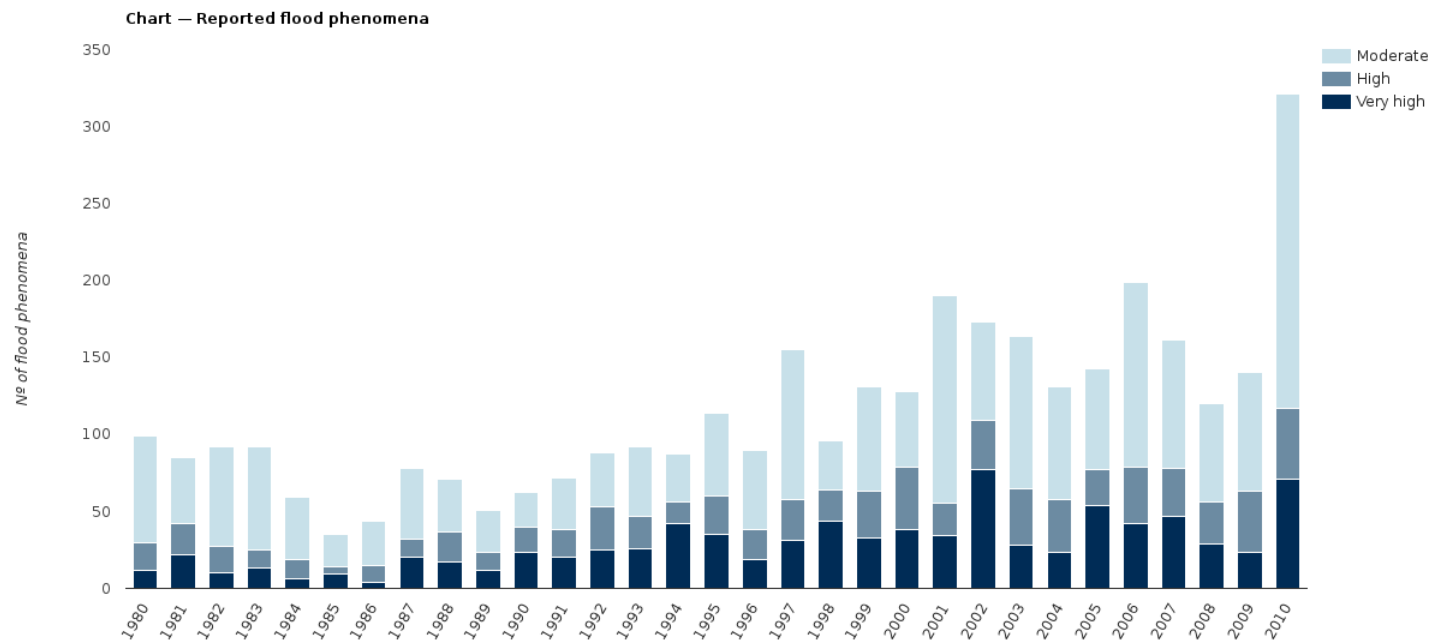
Ευρώπη



Πηγή: Paprotny, D., Sebastian, A., Morales-Napoles, O., Jonkman, S.N. (2018). Trends in flood losses in Europe over the past 150 years. Nature Communications, 9, 1985.

Πλημμυρικά γεγονότα

Ευρώπη



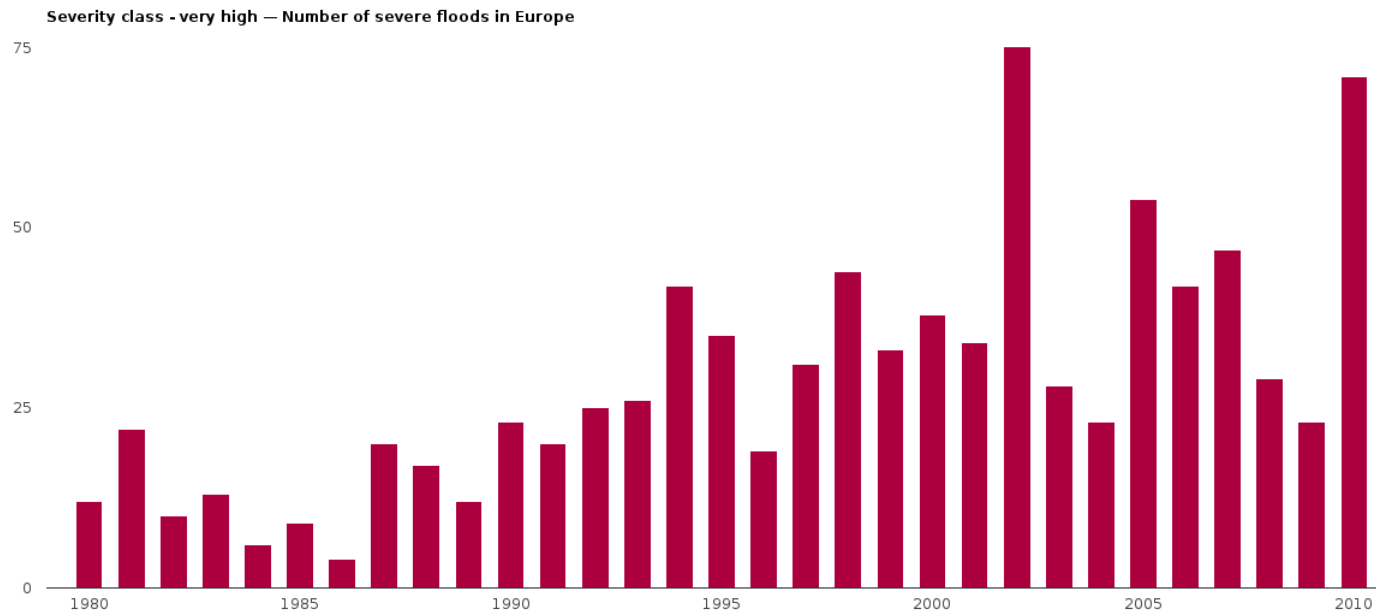
Note:

Flood severity is an assessment of flood phenomena magnitude. It considers the reported values on frequency, reported total damage (in Euros and descriptive classes), number of flood events within one flood phenomena unit and severity classes as reported in the Dartmouth Flood Observatory database (ETC/ICM, 2015b). All phenomena with fatalities are in the 'very high' severity class.

Πηγή: European Environmental Agency (www.eea.europa.eu)

Πλημμυρικά γεγονότα

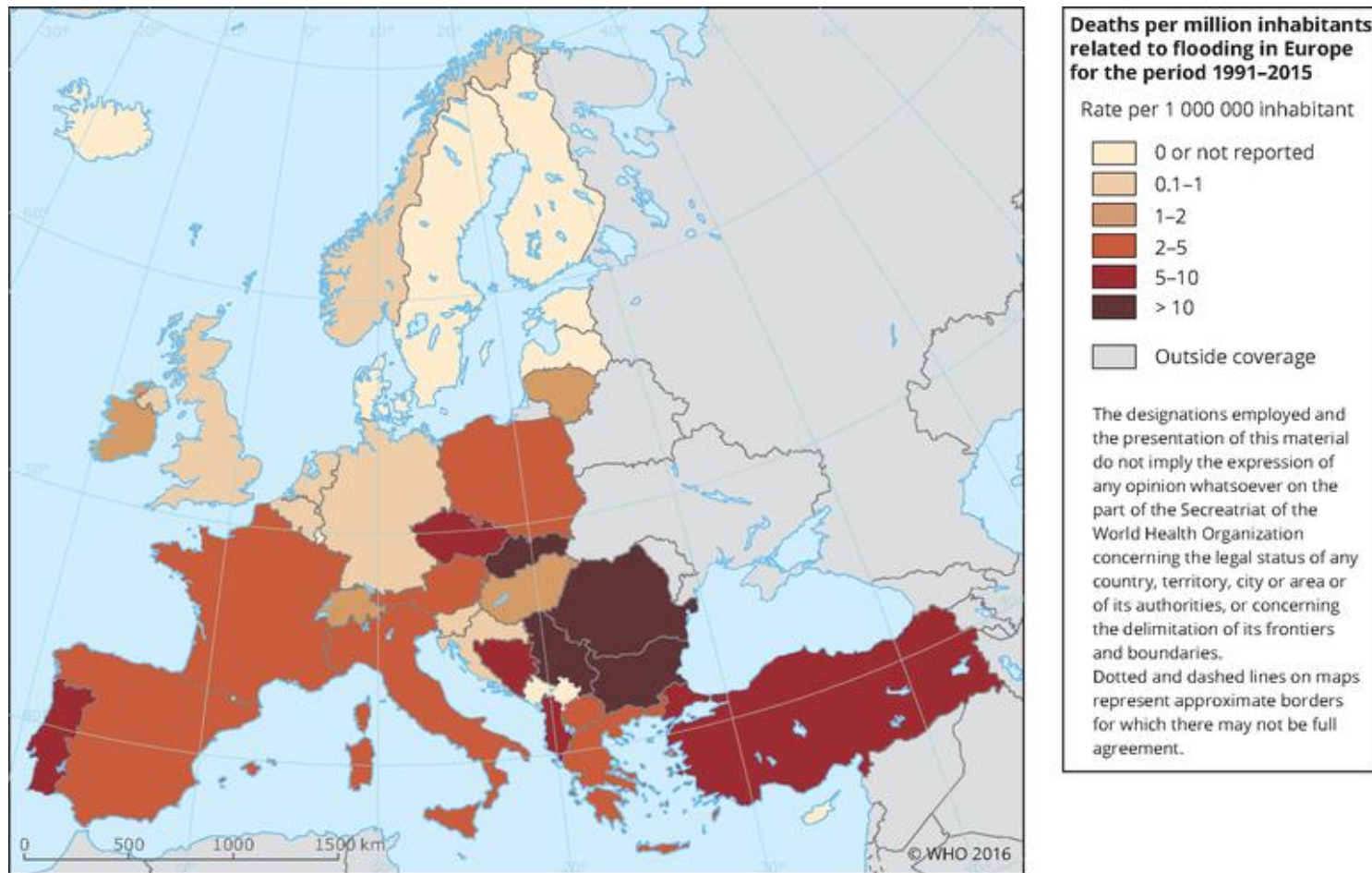
Ευρώπη



Πηγή: European Environmental Agency (www.eea.europa.eu)

Αριθμός νεκρών

Ευρώπη 1991-2015



Πηγή: European Environmental Agency (www.eea.europa.eu)

Ελλάδα

1970-2010

- 53 πλημμυρικά γεγονότα με απώλειες
- 151 νεκροί
- Οι περισσότεροι νεκροί στο μητροπολιτικό συγκρότημα της Αθήνας → αστικοποίηση
- Ρεκόρ → 44 νεκροί το 1977 (39 στην Αττική)

ΑΤΤΙΚΗ

Ημερομηνία	Ύψος βροχόπτωσης (mm)	Νεκροί
26/11/1896	119.3	61
23/11/1925	93.0	8
21/2/1930	90.5	2
24/10/1930	43.1	2
17/10/1933	30.2	1
3/12/1933	56.4	2
22/11/1934	39.2	8
6/11/1936	57.4	2
31/10/1938	37.6	1
18/9/1949	142.9	1
6/11/1961	81.2	40
31/10/1972	50.8	1
2/11/1977	132.8	36
27/10/1980	46.7	1
5/10/1989	42.9	7
15/1/1991	25.3	1
21-22/10/1994	86.8	9
8/7/2002	91.0	1
	Σύνολο	182

Πηγή: Βλαχαβιώλος, Θ. (2011). Μεθοδολογία προσδιορισμού ευάλωτων περιοχών σε πλημμύρες σύμφωνα με την οδηγία 2007/60. Διπλωματική εργασία με επιβλέποντα το Ν. Μαμάση, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ.

Θεσμικό πλαίσιο

- **Οδηγία 2000/60**

- «Καλή» κατάσταση των υδάτων
- Έμφαση σε ποιοτικά μεγέθη → ποιότητα νερού

- **Οδηγία 2007/60**

- Πρώτη φάση → προκαταρκτική αξιολόγηση
- Δεύτερη φάση → χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας (hazard)
- Τρίτη φάση → Χάρτες πλημμυρικού κινδύνου (risk)

Οδηγία 2007/60

- **Πρώτη φάση**

- προκαταρκτική αξιολόγηση των περιοχών που κινδυνεύουν από πλημμύρες σε κάθε λεκάνη απορροής ποταμού ή τμήμα διεθνούς περιοχής λεκάνης απορροής ποταμού

- **Δεύτερη φάση**

- χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας κινδύνου (hazard) → μέγιστα βάθη και ταχύτητες

- **Τρίτη φάση**

- χάρτες κινδύνου πλημμύρας (risk) → δυνητικές αρνητικές συνέπειες (οικονομικά μεγέθη)

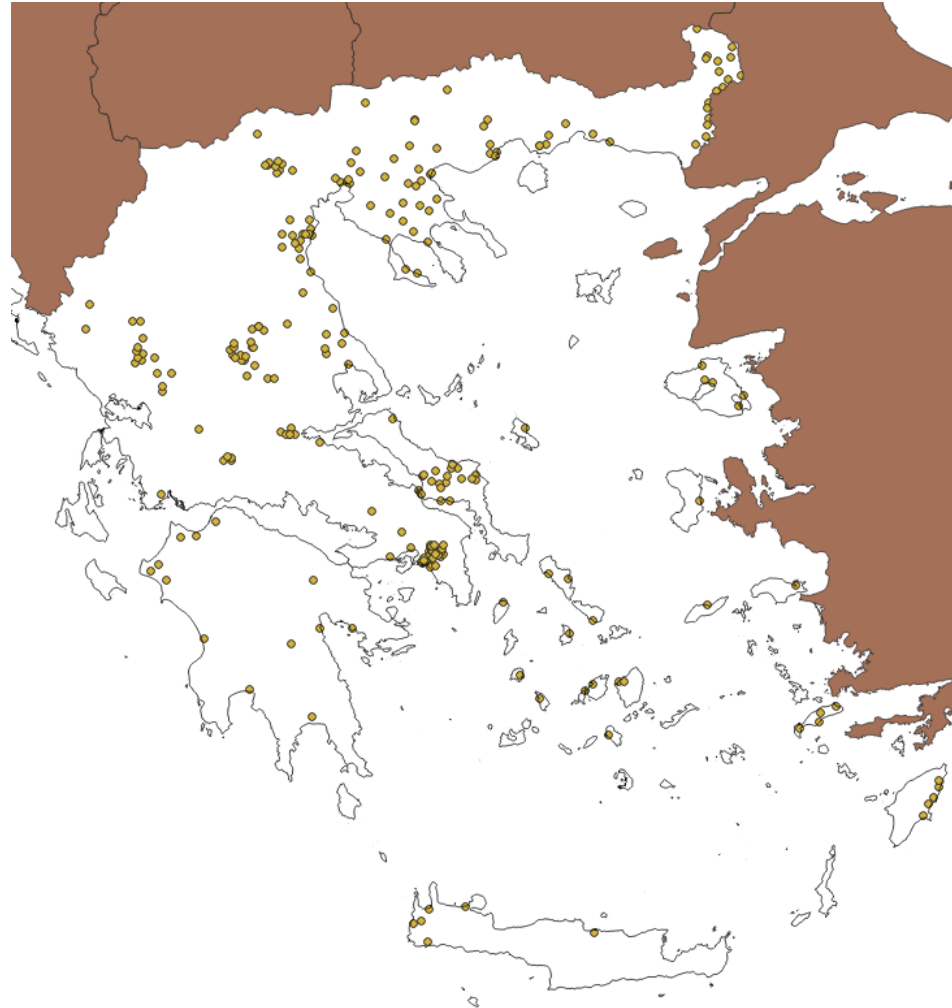
ΣΚΟΠΟΣ

- Θέσπιση πλαισίου για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, με στόχο τη μείωση των αρνητικών συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες που συνδέονται με τις πλημμύρες στην Κοινότητα.

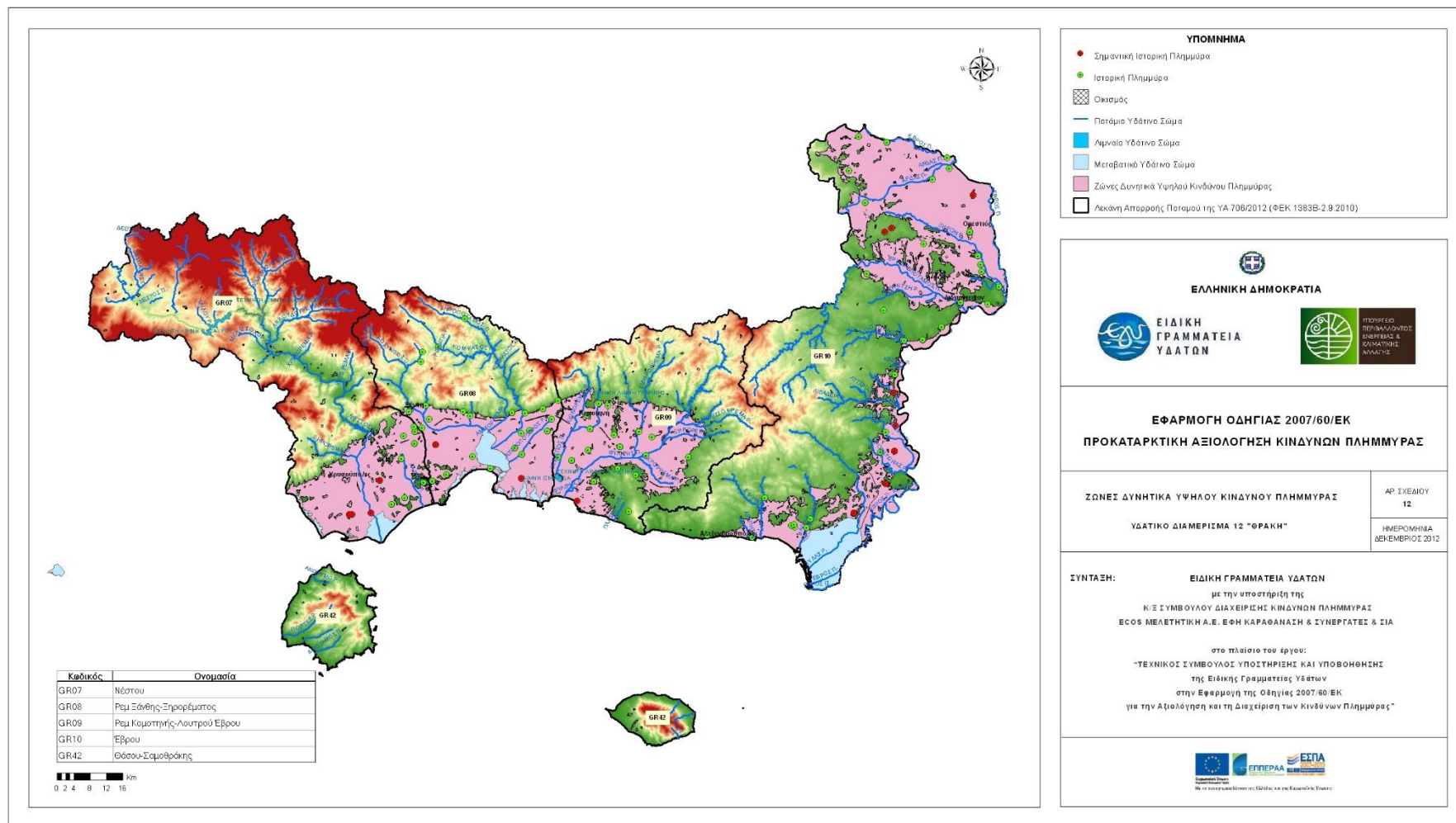
Προκαταρκτική αξιολόγηση

- Χάρτες λεκανών και υπολεκανών → τοπογραφικά χαρακτηριστικά και τη χρήση γης
- Περιγραφή των πλημμυρών οι οποίες σημειώθηκαν κατά το παρελθόν και είχαν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στις ανθρώπινες ζωές, στις οικονομικές δραστηριότητες και στο περιβάλλον
- Περιγραφή των σημαντικών πλημμυρών οι οποίες σημειώθηκαν κατά το παρελθόν, εκ των οποίων θα μπορούσαν, ενδεχομένως, να προβλεφθούν οι σημαντικές αρνητικές συνέπειες παρόμοιων φαινομένων στο μέλλον
- Αξιολόγηση των δυνητικών αρνητικών συνεπειών των μελλοντικών πλημμυρών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και την οικονομική δραστηριότητα

Ιστορικά γεγονότα



ΥΔ Αν. Μακεδονίας και Θράκης



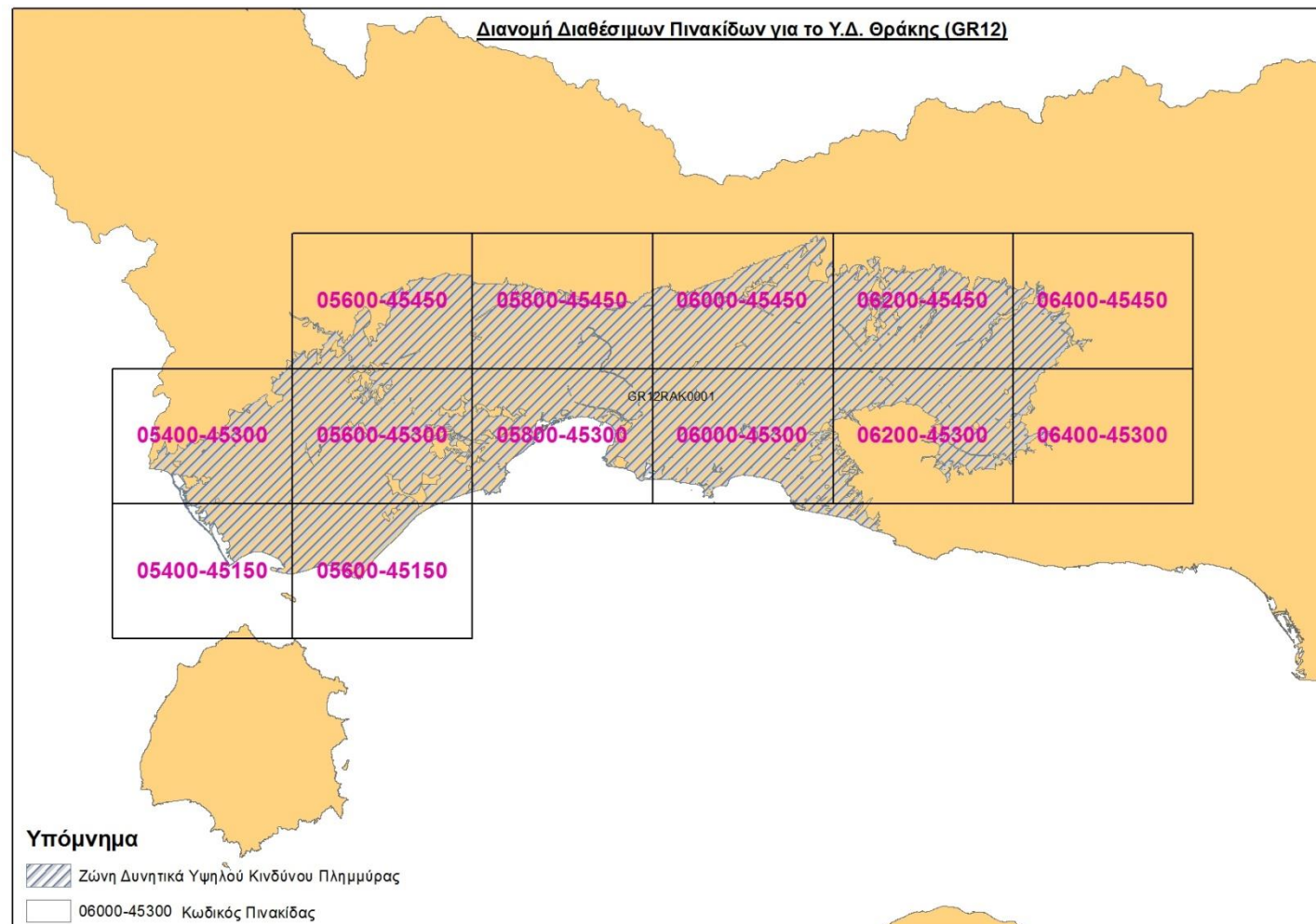
Έβρος



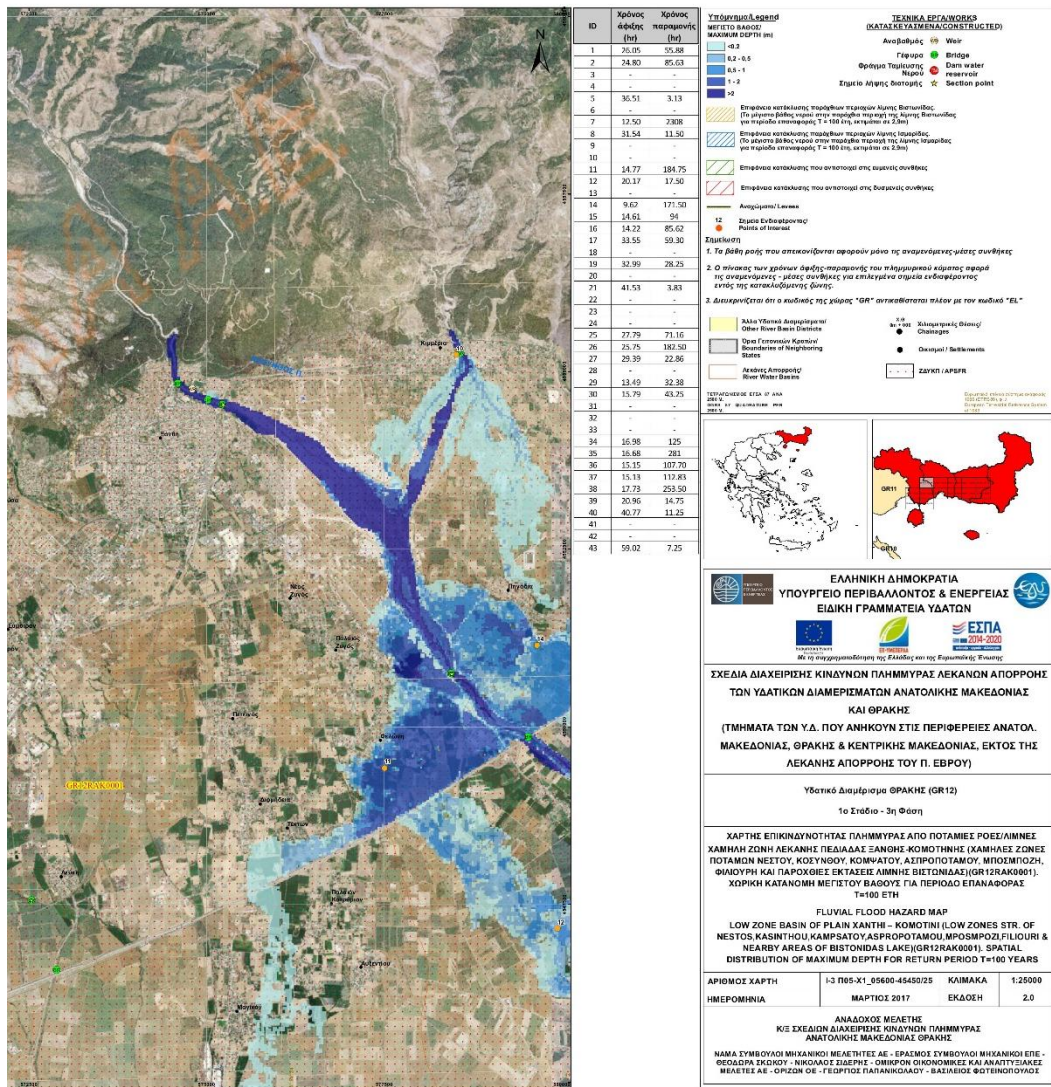
Χάρτες επικινδυνότητας

- **Πιθανότητα πλημμύρας**
 - Χαμηλή πιθανότητα (T=1000 χρόνια)
 - Μέση πιθανότητα (T=100 χρόνια)
 - Υψηλή πιθανότητα (T=50 χρόνια)
- **Καταγράφονται**
 - Έκταση πλημμύρας
 - Βάθη νερού
 - Ταχύτητες ροής

Χάρτες επικινδυνότητας



Χάρτες επικινδυνότητας



Βάθη νερού για T=100 έτη

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
 ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ & ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
 ΕΙΔΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΥΔΑΤΩΝ

ΣΧΕΔΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΩΝ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΩΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ (ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΩΝ Υ.Δ. ΠΟΥ ΑΝΗΚΟΥΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΦΕΡΙΕΣ ΑΝΑΤΟΛ. ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ, ΘΡΑΚΗΣ & ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ, ΕΚΤΟΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ Π. ΕΒΡΟΥ)

Υδατικό Διαμέρισμα ΘΡΑΚΗΣ (GR12)
 1ο Στάδιο - 3η Φάση

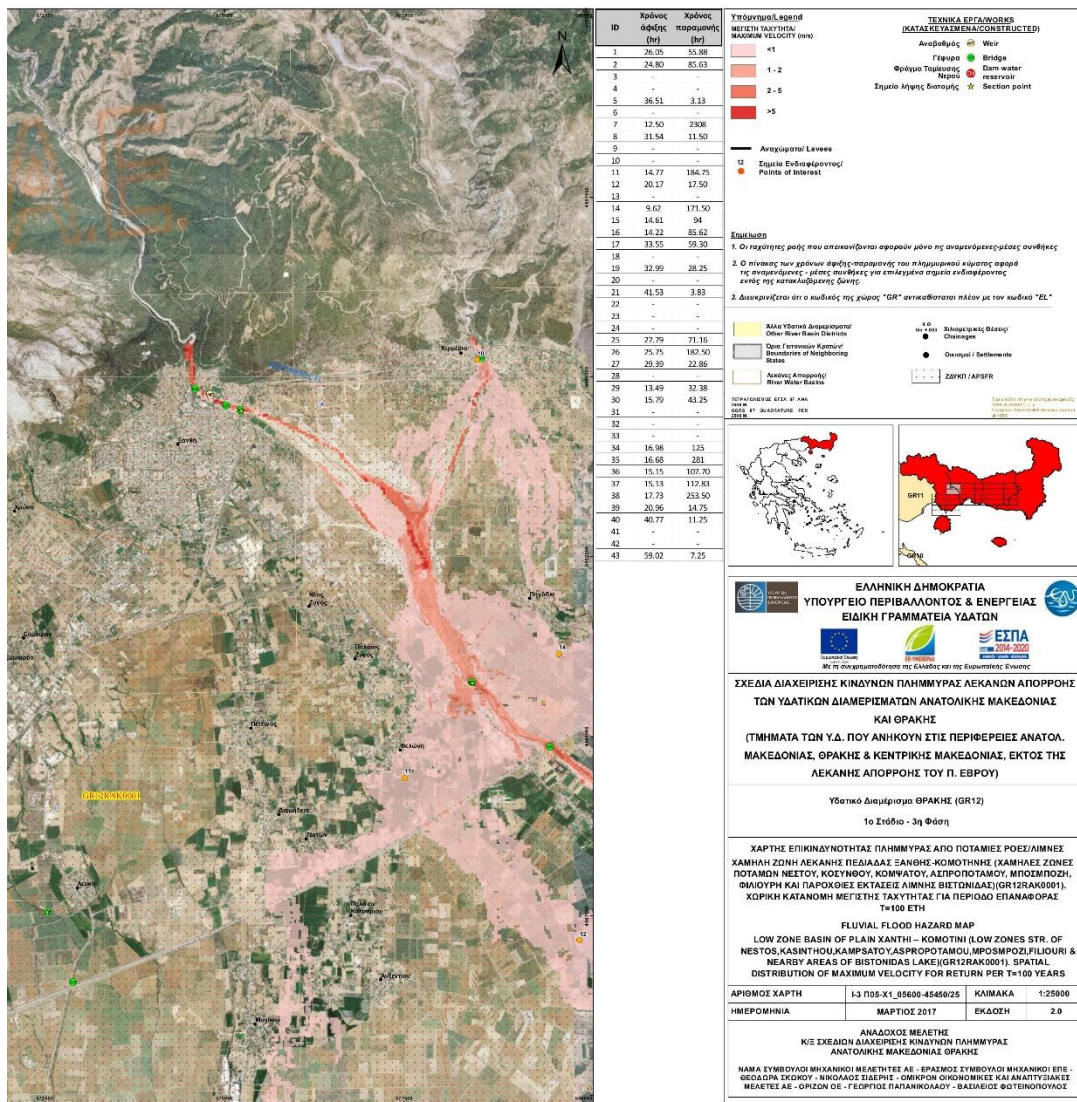
ΧΑΡΤΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΑΠΟ ΠΟΤΑΜΙΕΣ ΡΟΕΣ/ΛΙΜΝΕΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΖΩΝΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΠΕΔΙΑΔΑΣ ΣΑΝΘΗΣ ΚΟΜΟΤΗΝΗΣ (ΧΑΜΗΛΕΣ ΖΩΝΕΣ ΠΟΤΑΜΩΝ ΝΕΣΤΟΥ, ΚΑΣΙΝΤΗΟΥ, ΚΑΜΠΣΑΤΟΥ, ΑΣΠΡΟΠΟΤΑΜΟΥ, ΜΡΟΣΜΟΖΙ, ΦΙΛΟΥΡΙ ΚΑΙ ΠΑΡΟΧΩΙΕΣ ΕΓΧΕΙΡΣΕΙΣ ΛΙΜΝΗΣ ΒΙΣΤΟΝΙΔΑΣ) (GR12RAK001). ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΒΑΘΟΥΣ ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ T=100 ΕΤΗ

FLUVIAL FLOOD HAZARD MAP
 LOW ZONE BASIN OF FLAIN XANTHI - KOMOTINI (LOW ZONES STR. OF NESTOS, KASINTHOU, KAMPSATOU, ASPROPO TAMOU, MROSMOZOI, FILOURI & NEARBY AREAS OF BISTONIDAS LAKE) (GR12RAK001). SPATIAL DISTRIBUTION OF MAXIMUM DEPTH FOR RETURN PERIOD T=100 YEARS

ΑΡΙΘΜΟΣ ΧΑΡΤΗ 1-3 Π05-Χ1_65600-45480/25 ΚΑΙΜΑΚΑ 1:25000
 ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΜΑΡΤΙΟΣ 2017 ΕΚΔΟΣΗ 2.0

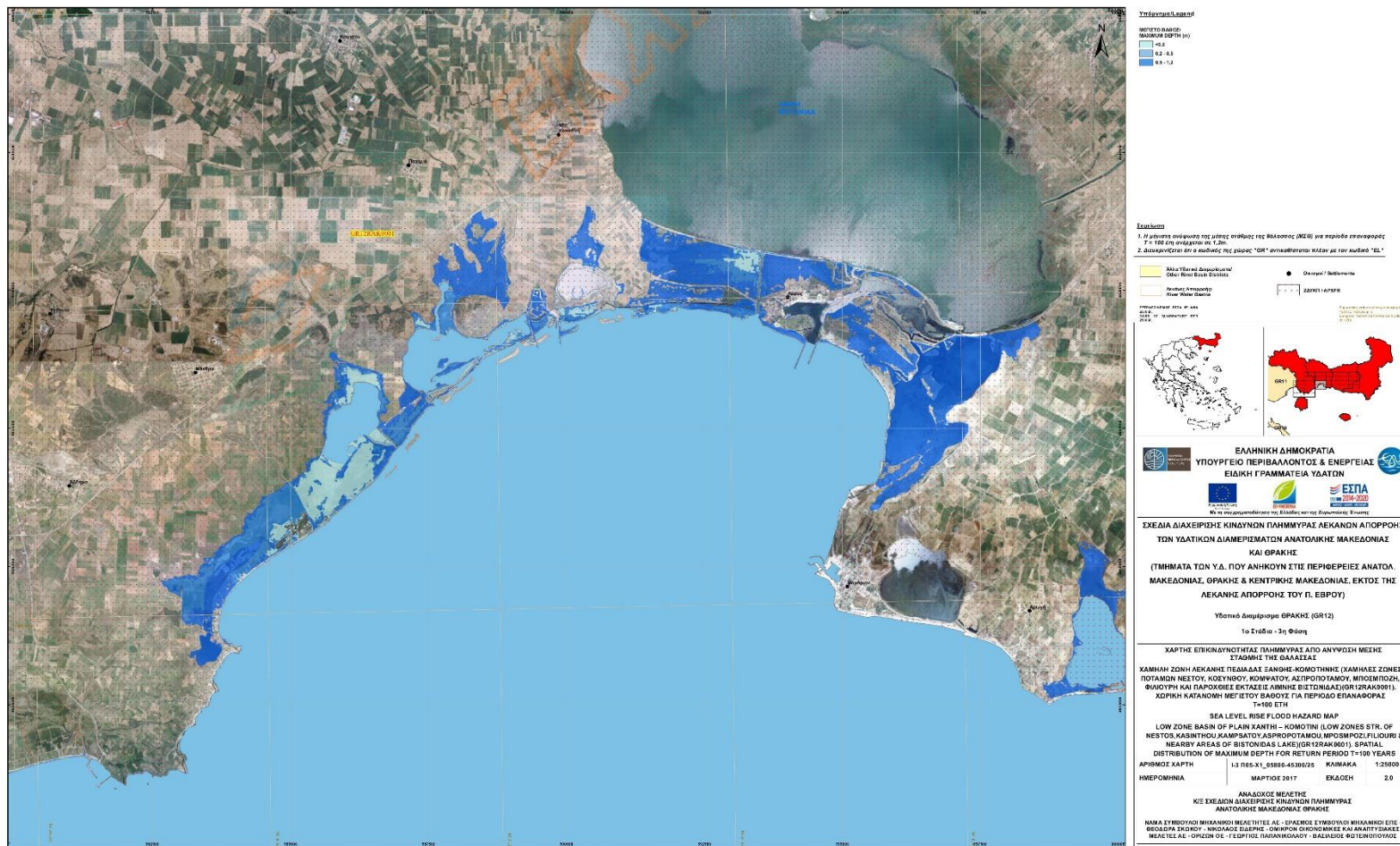
ΑΝΑΔΟΧΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΙΝΔΥΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΘΡΑΚΗΣ
 ΝΑΜΑ ΓΥΜΝΑΣΙΟΝ ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ ΜΕΛΕΤΗΤΕΣ ΑΕ - ΕΡΑΣΜΟΣ ΣΤΗΦΑΝΙΔΟΥ ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ ΕΠΕ-ΒΕΣΑΔΡΑ ΣΚΟΔΡΑ - ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΣΙΔΕΡΗΣ - ΟΜΙΚΡΟΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΔΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΤΥΤΣΙΑΚΗΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΑΕ - ΟΡΙΖΩΝ ΟΕ - ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ - ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΦΩΤΙΝΟΠΟΥΛΟΣ

Χάρτες επικινδυνότητας



Ταχύτητες ροής για T=100 έτη

Χάρτες επικινδυνότητας



Επικινδυνότητα από θάλασσα για T=100 έτη

Υπερχείλιση ποταμού

- Ο πιο κλασικός μηχανισμός
- Ο κάθε ποταμός διακρίνεται σε
 - Κυρίως κανάλι
 - Πλημμυρικό πεδίο
- Υπέρβαση ενός κατωφλίου → πλημμύρα

Υπερχείλιση ποταμού

πλημμυρικά αναχώματα



πλημμυρικά αναχώματα

Ταχείας απόκρισης



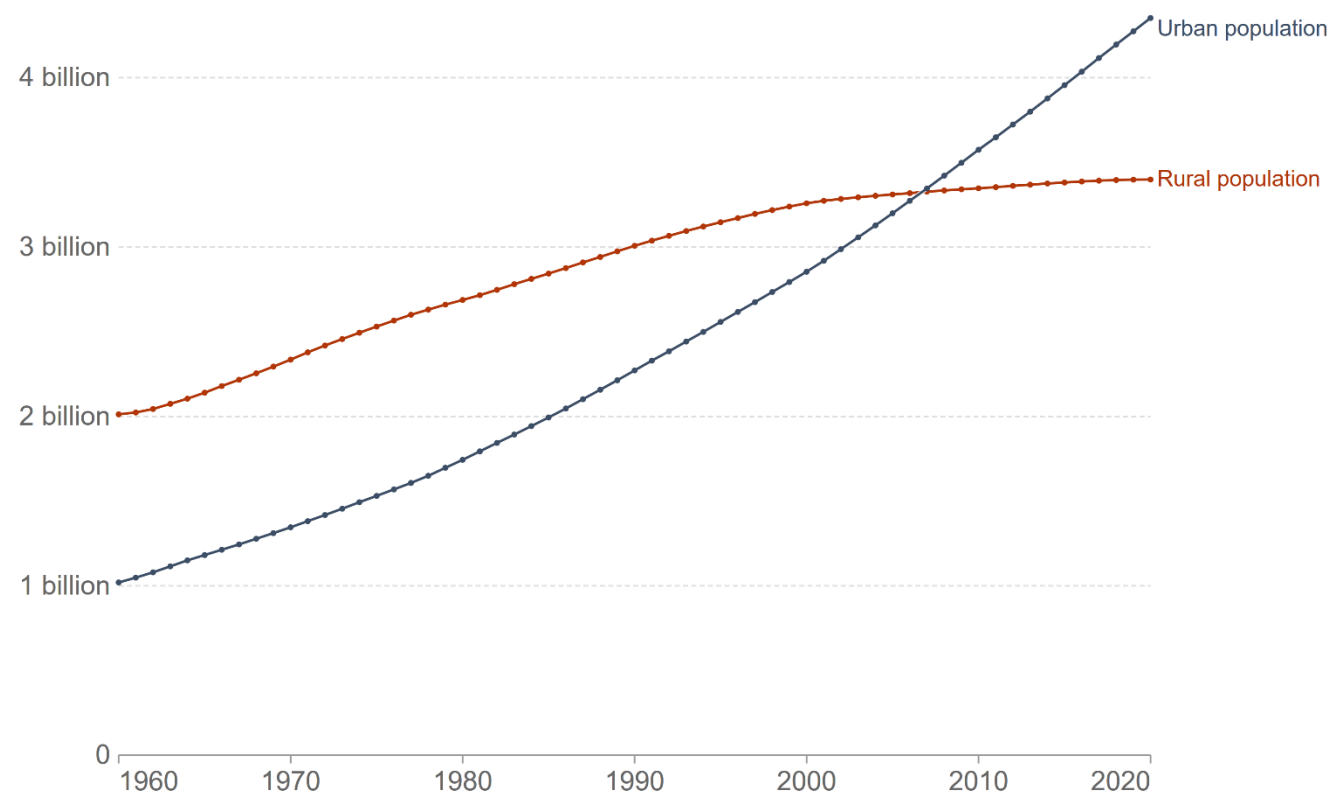
Άμεση βροχόπτωση

- Κυρίως σε δομημένο περιβάλλον
- Αποτέλεσμα της αστικοποίησης
- Αδυναμία του αποχετευτικού δικτύου να παραλάβει τον όγκο βροχής
- Η πόλη μετατρέπεται σε ένα υδρογραφικό δίκτυο που ορίζεται από τα στοιχεία της
- Το νερό έχει μνήμη!

Αστικοποίηση

Number of people living in urban and rural areas, World

Our World
in Data



Source: World Bank based on data from the UN Population Division

OurWorldInData.org/urbanization • CC BY

Note: Urban populations are defined based on the definition of urban areas by national statistical offices.

«Μπάλος»



Παράκτια ζώνη

- **Αστρονομική παλίρροια**
 - Βαρυτική έλξη σελήνης και ήλιου
- **Μετεωρολογική παλίρροια**
 - Ακραίο καιρικό γεγονός
- **Τσουνάμι**
 - Παλιρροιακό κύμα μεγάλου μήκους
 - Προκαλείται ή από σεισμό ή από υποθαλάσσια κατολίσθηση

Αστρονομική παλίρροια



Μετεωρολογική παλίρροια



Τσουνάμι



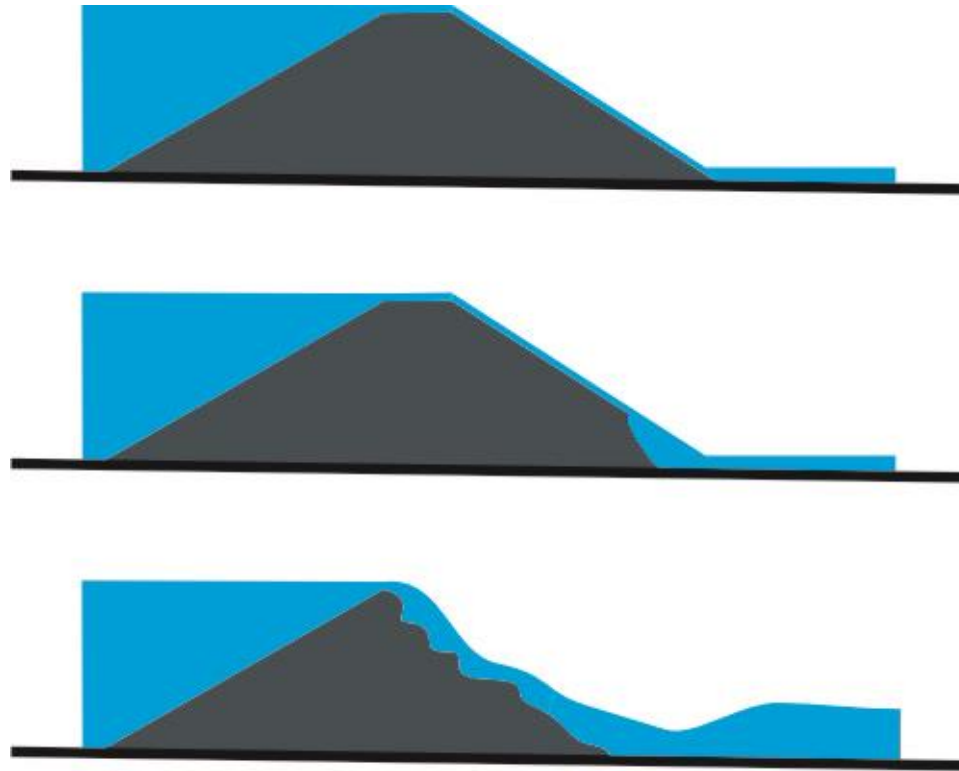
Αστοχία τεχνικού έργου

- **Τεχνικά έργα**
 - Αναχώματα
 - Φράγμα
- **Δημιουργία πλημμυρικού κύματος**
- **Έντονο και ακραίο γεγονός**
- **Μεγάλες αβεβαιότητες**
- **Ολοκληρωμένη προσομοίωση**

Μηχανισμοί αστοχίας

- **Υπερπήδηση (overtopping)**
 - αδυναμία διοχέτευσης πλημμυρικού υδρογραφήματος
 - ο πλημμυρικός όγκος υπερπηδά το τεχνικό έργο
- **Διασωλήνωση (piping)**
 - διάβρωση εδάφους
 - δημιουργία ροϊκών γραμμών
 - αστοχία

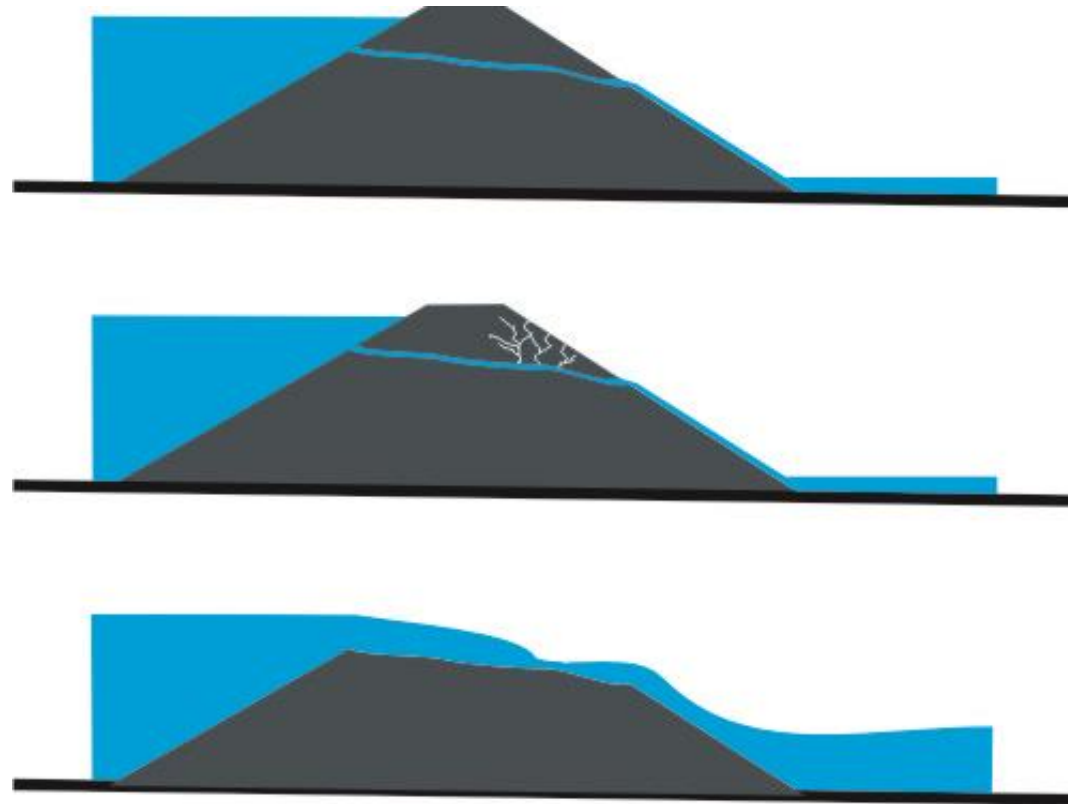
Υπερπήδηση



Υπερπήδηση



Διασωλήνωση



Διασωλήνωση

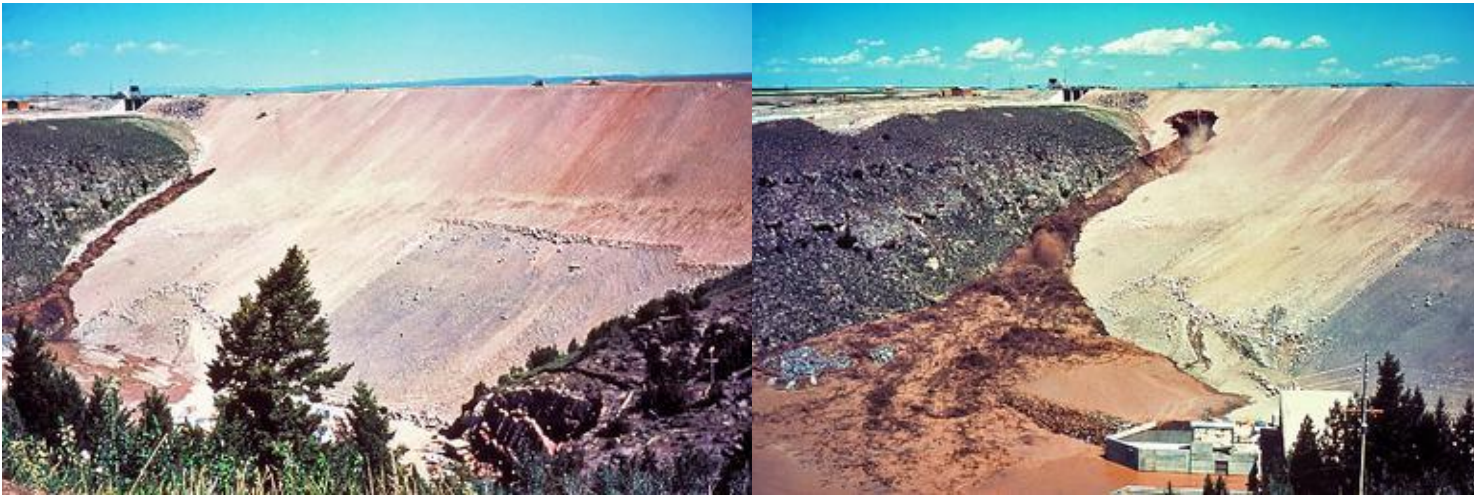
Teton dam, 1976



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Teton_Dam

Διασωλήνωση

Teton dam, 1976



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Teton_Dam

Διασωλήνωση

Teton dam, 1976



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Teton_Dam

Διασωλήνωση

Teton dam, 1976



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Teton_Dam

Αιτίες αστοχίας

φράγματα

- Κακή ποιότητα κατασκευής (υλικά) → **Gleno dam**
- Κακός σχεδιασμός υπερχειλιστή → **South Fork dam**
- Γεωλογικές αστάθειες λόγω αλλαγής της στάθμης νερού στον ταμιευτήρα → **Malpasset dam**
- Κατολίσθηση στον ταμιευτήρα → **Vajont dam**
- Κακή διατήρηση → **Lawn Lake dam**
- Πλημμύρα με περίοδο επαναφοράς μεγαλύτερη από του σχεδιασμού → **Shakidor dam**
- Σχεδιαστικό σφάλμα → **Dale Dike reservoir**
- Διάβρωση σώματος φράγματος ή διασωλήνωση → **Teton dam**
- Σεισμός → **Shihgang dam**
- Πολεμική ενέργεια → **Edersee dam**

Αιτίες αστοχίας

αναχώματα

- **Αστοχία θεμελίων**
- **Διάβρωση**
 - μεγάλες παροχές
 - άνεμος
 - πτώση δέντρων
 - ναυσιπλοΐα
 - αντικείμενα που επιπλέουν
 - κτηνοτροφία!
- **Υπερπήδηση**
- **Πολεμική ενέργεια**

Γενικές πληροφορίες

φράγματα

- Πάνω από 100 καταγεγραμμένες περιπτώσεις
- Αρχαιότερη καταγραφή το 575 στη Σέμπα, Υεμένη (Marib dam)
→ μετανάστευση 50000 ατόμων
- Περισσότεροι νεκροί το 1975 στην Τσουματιέν, Κίνα (Banqiao και Shimantan dams) → 171000 νεκροί
- Σχεδόν 200000 καταγεγραμμένοι νεκροί → ~6500 στην Ευρώπη
- Οι περισσότερες αστοχίες στις ΗΠΑ → 34% του συνόλου

Γενικές πληροφορίες αναχώματα

- Αρχαιότερη καταγραφή το 1421 στην Ολλανδία → 2000-10000 θύματα
- Περισσότεροι νεκροί το 1938 από την καταστροφή των αναχωμάτων του Κίτρινου ποταμού στη διάρκεια του σινο-ιαπωνικού πολέμου → 500000 νεκροί
- Τυφώνας Κατρίνα → αστοχία του καναλιού της 17^{ης} οδού στη Νέα Ορλεάνη (~1500 θύματα)
- Περισσότερες αστοχίες → Ολλανδία, ΗΠΑ, Κίνα

Ιστορικές αστοχίες

Malpasset dam, 1959

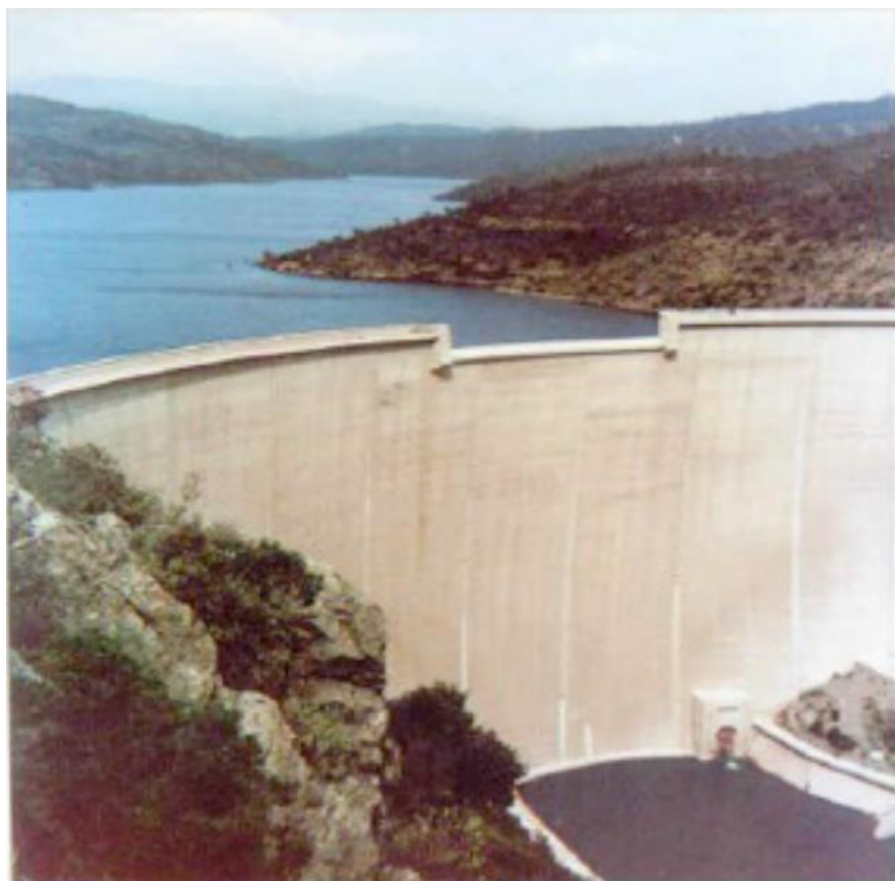
ΠΡΙΝ...



Ιστορικές αστοχίες

Malpasset dam, 1959

ΠΡΙΝ...



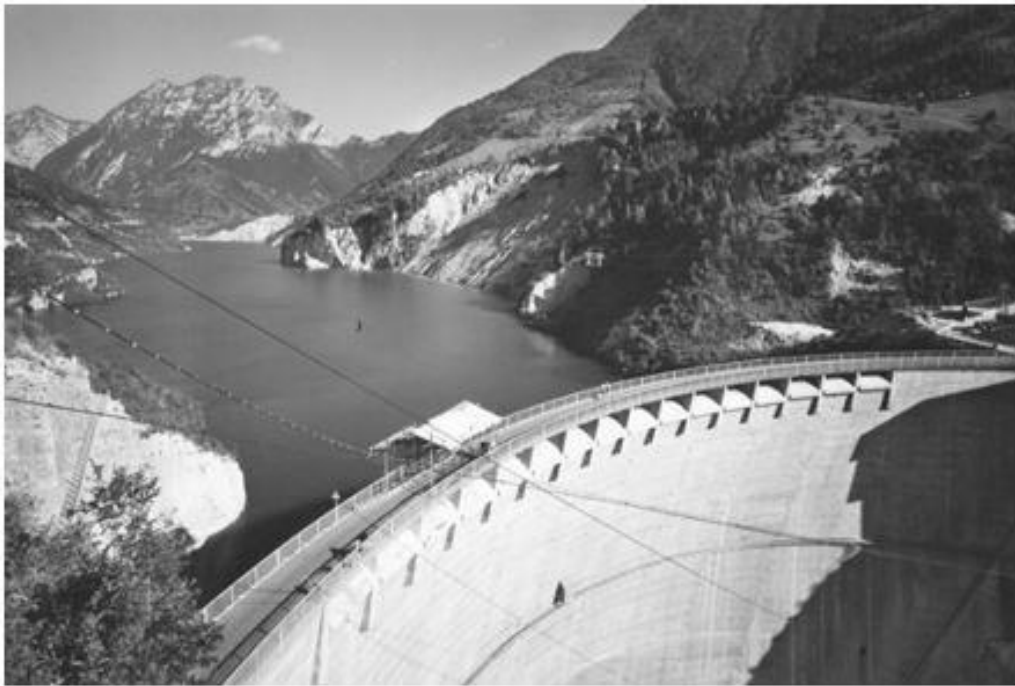
... ΚΑΙ ΜΕΤΑ



Ιστορικές αστοχίες

Vajont dam, 1959

μπορεί το σώμα του φράγματος να μην πάθει τίποτα!



Προσομοίωση



Φράγμα από γεώδη υλικά



Φράγμα από σκυρόδεμα



Ελληνική νομοθεσία

- **Κανονισμός Ασφάλειας Φραγμάτων**
- **ΦΕΚ 4420/Β'/30-12-2016**
- **Ορισμός αστοχίας**
 - η απώλεια της επιτελεστικότητας του φράγματος, ο μη έλεγχος της οποίας μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του φράγματος, ή/και να δημιουργήσει πλημμυρικό κύμα
- **Συνίσταται να εκπονηθεί μελέτη θραύσης φράγματος**

Αστοχίες

- **Tous dam**

- Βαλένθια, Ισπανία
- θραύση φράγματος → 1982
- ανακατασκευή γεγονός

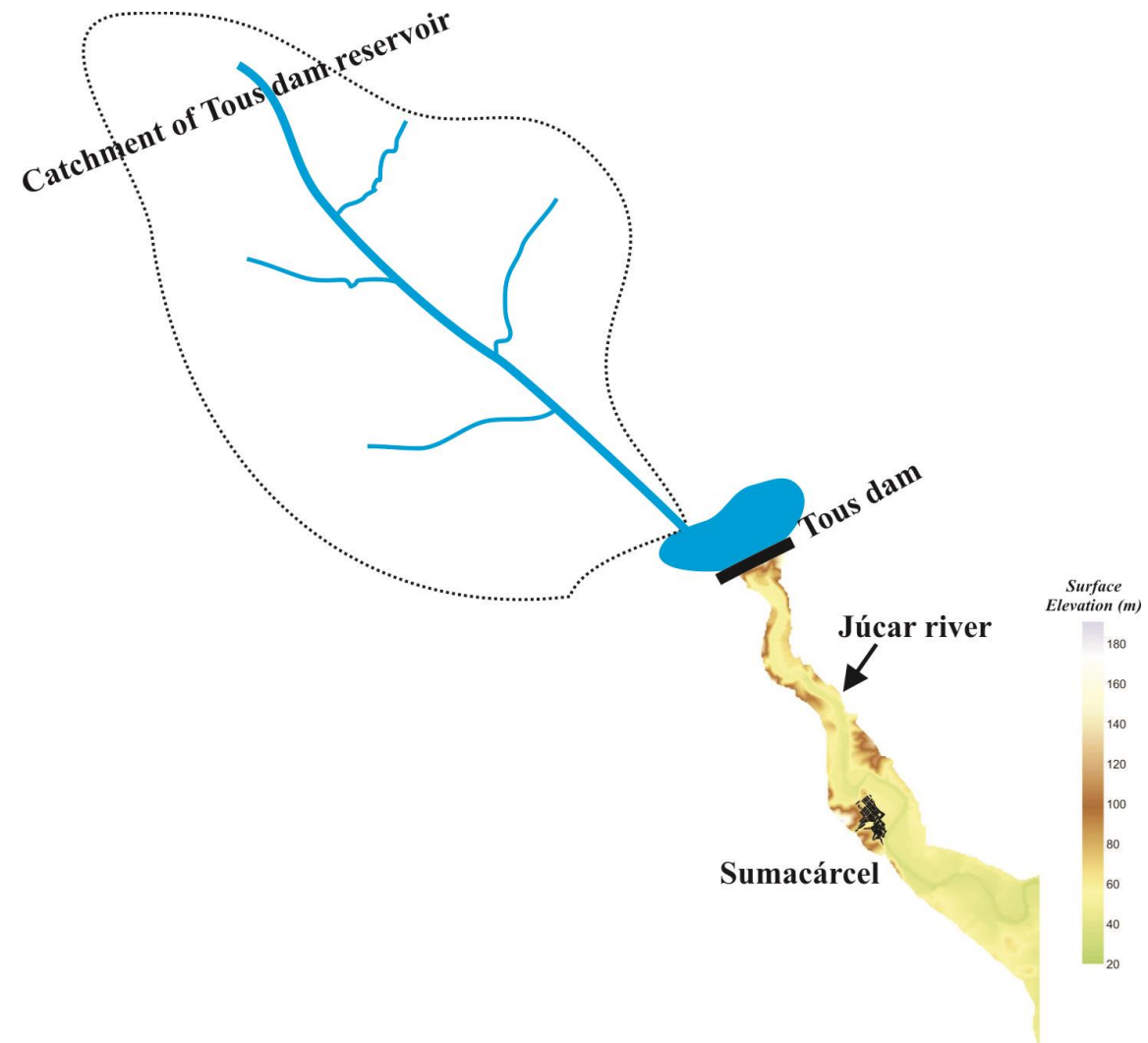
- **Αποσελέμης**

- το φράγμα κατασκευάστηκε το 2012
- μελέτη υποθετικής θραύσης φράγματος

- **Ταυρωνίτης**

- υπό μελέτη
- μελέτη υποθετικής θραύσης φράγματος

Φράγμα Tous



Αστοχία

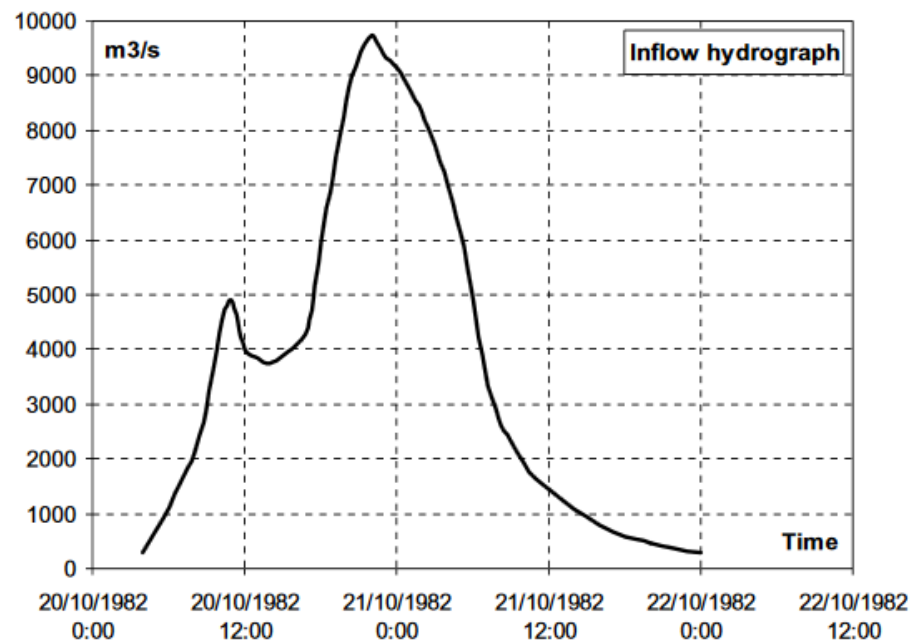


Πηγή: Alcrudo, F., Mulet, J. (2007). Description of the Tous Dam break case study (Spain). *Journal of Hydraulic Research*, 45, 45-57.

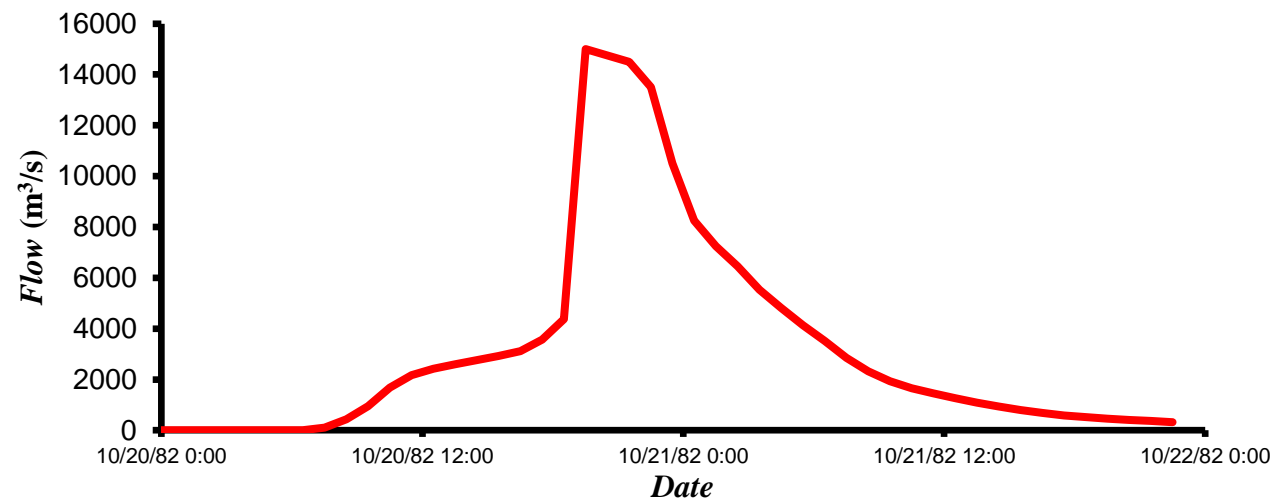
Ανακατασκευή γεγονός

21 σημεία

εισροή



εκροή



Πηγή: Alcrudo, F., Mulet, J. (2007). Description of the Tous Dam break case study (Spain). Journal of Hydraulic Research, 45, 45-57.

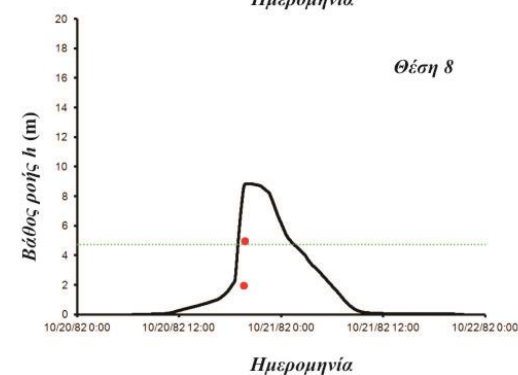
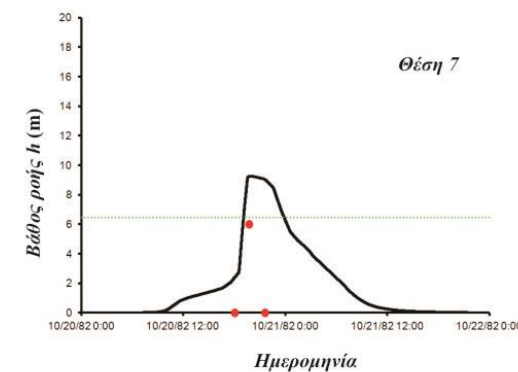
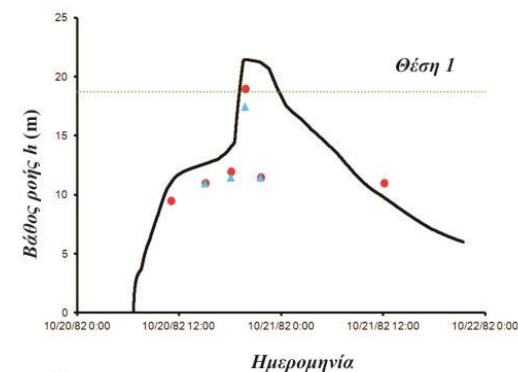
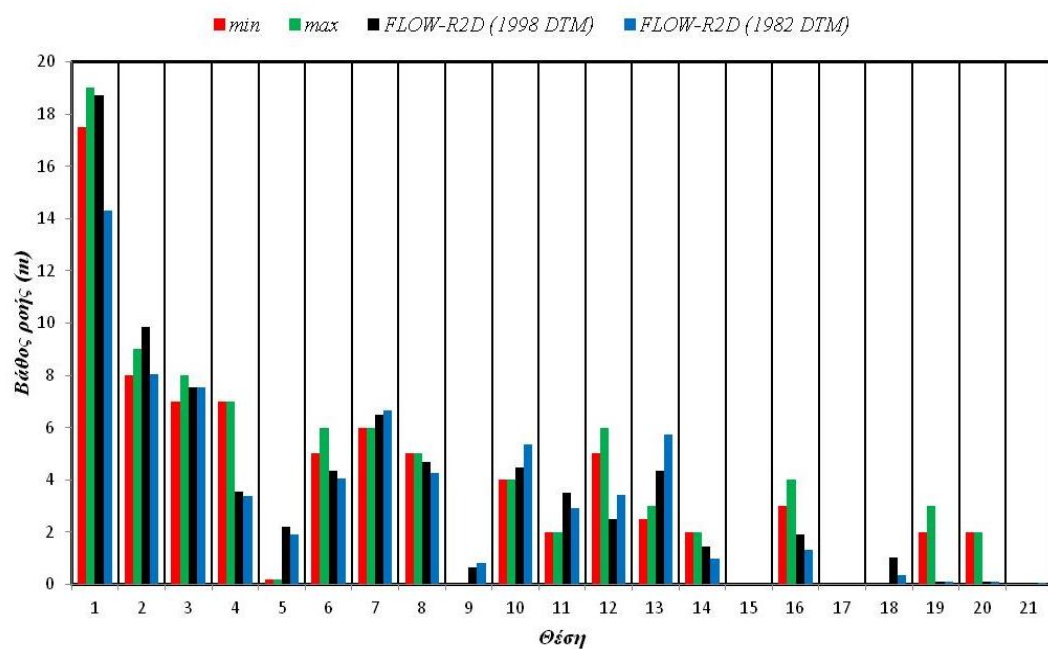
Ανακατασκευή γεγονότος



Πηγή: Alcrudo, F., Mulet, J. (2007). Description of the Tous Dam break case study (Spain). *Journal of Hydraulic Research*, 45, 45-57.

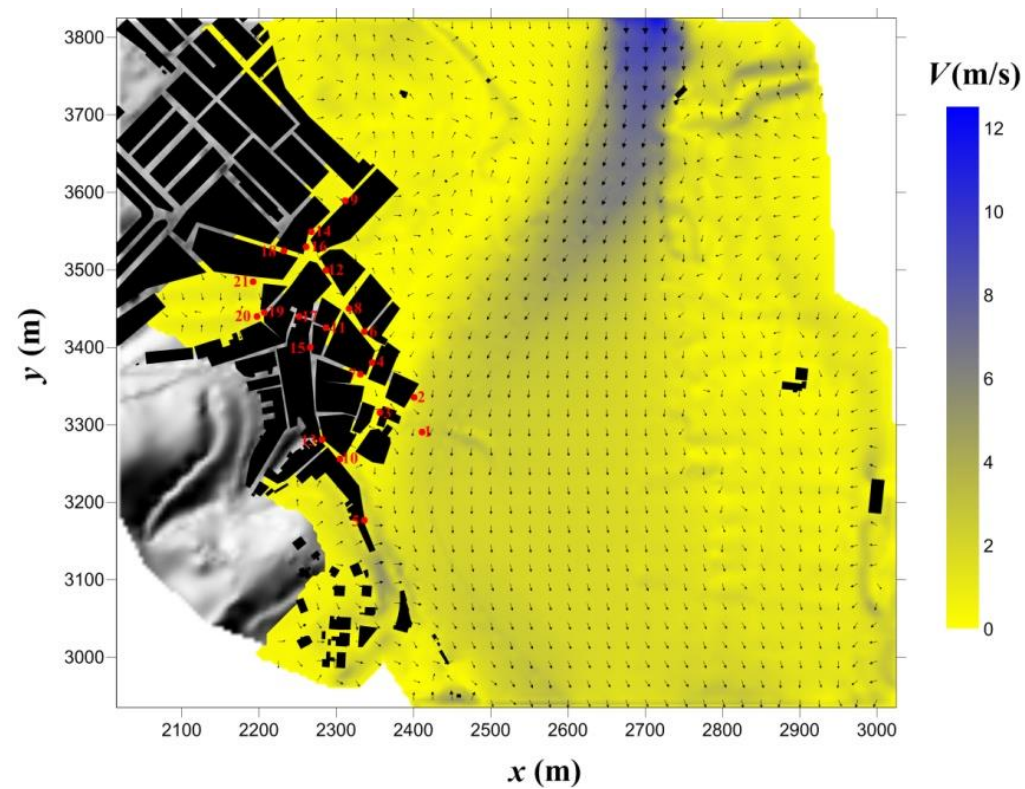
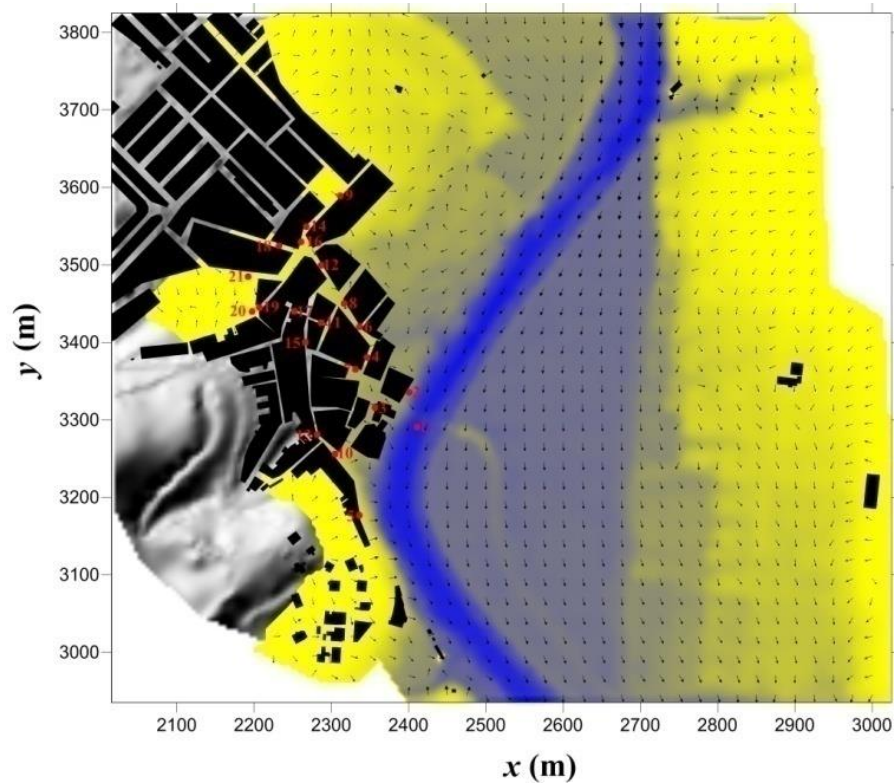
Προσομοίωση

21 σημεία



Προσομοίωση

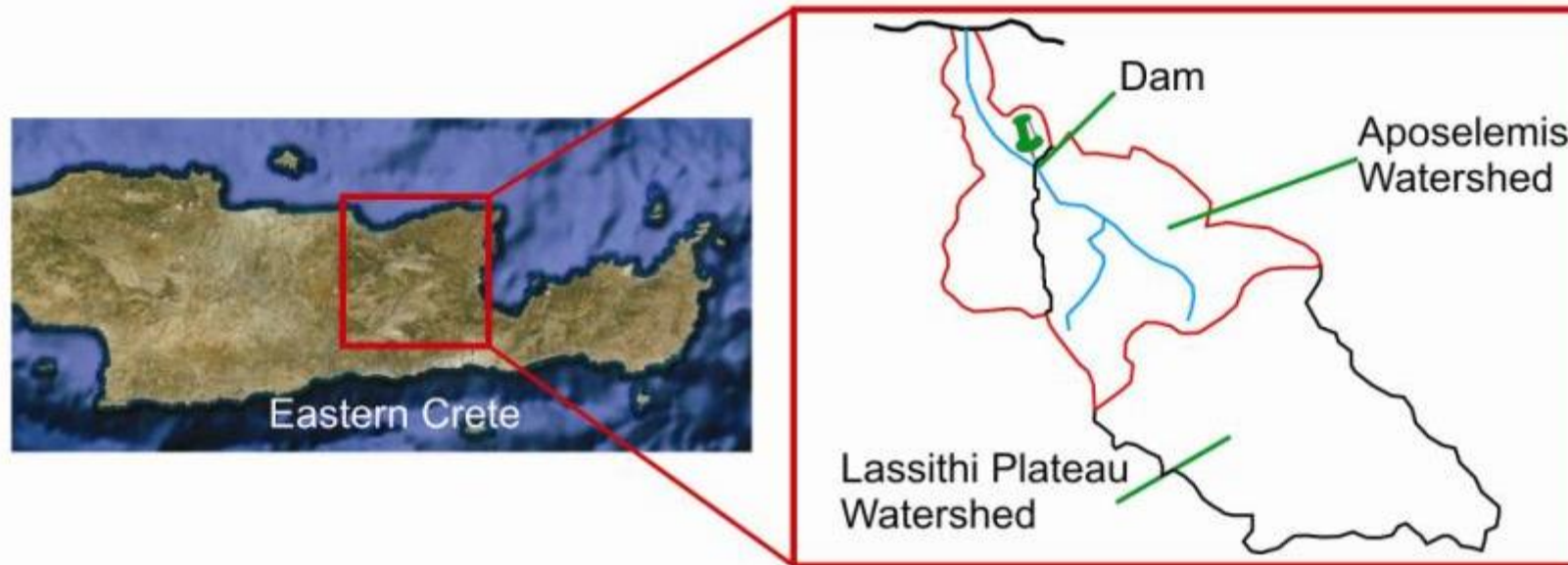
Sumácarcel



αποτελέσματα

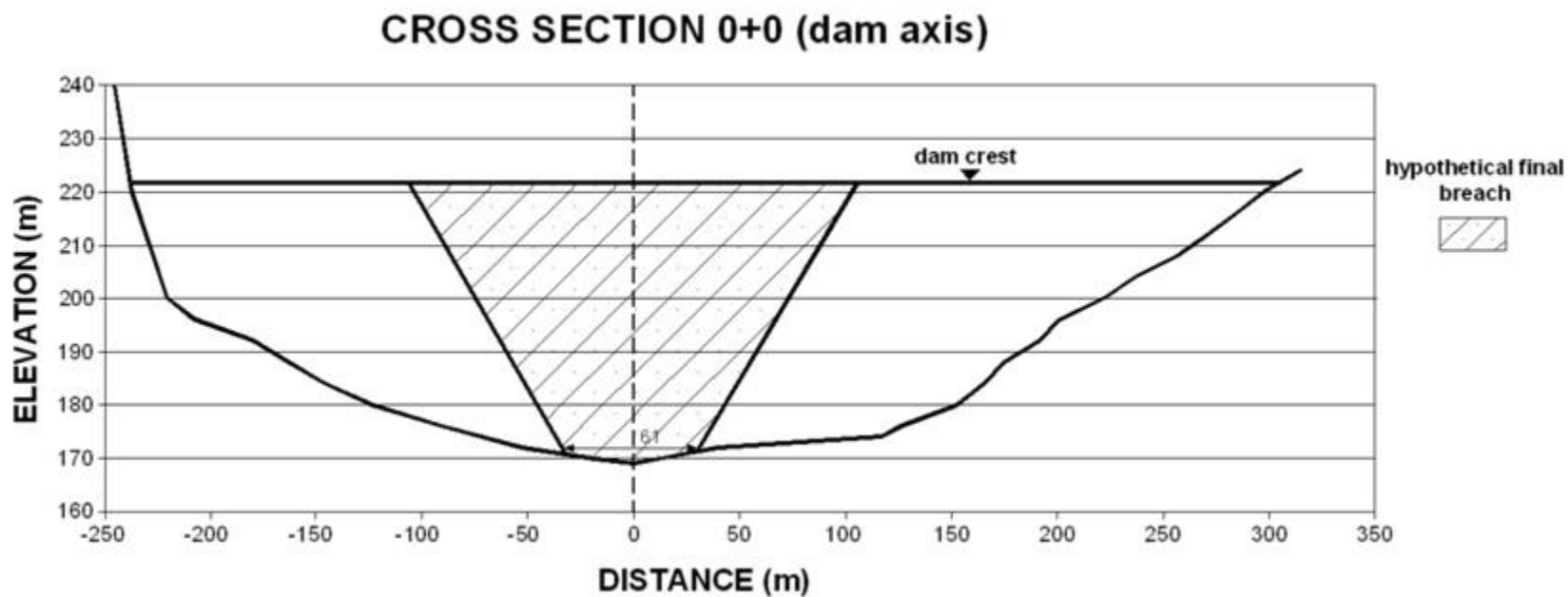
Αποσελέμης

υποθετική θραύση φράγματος



Αποσελέμης

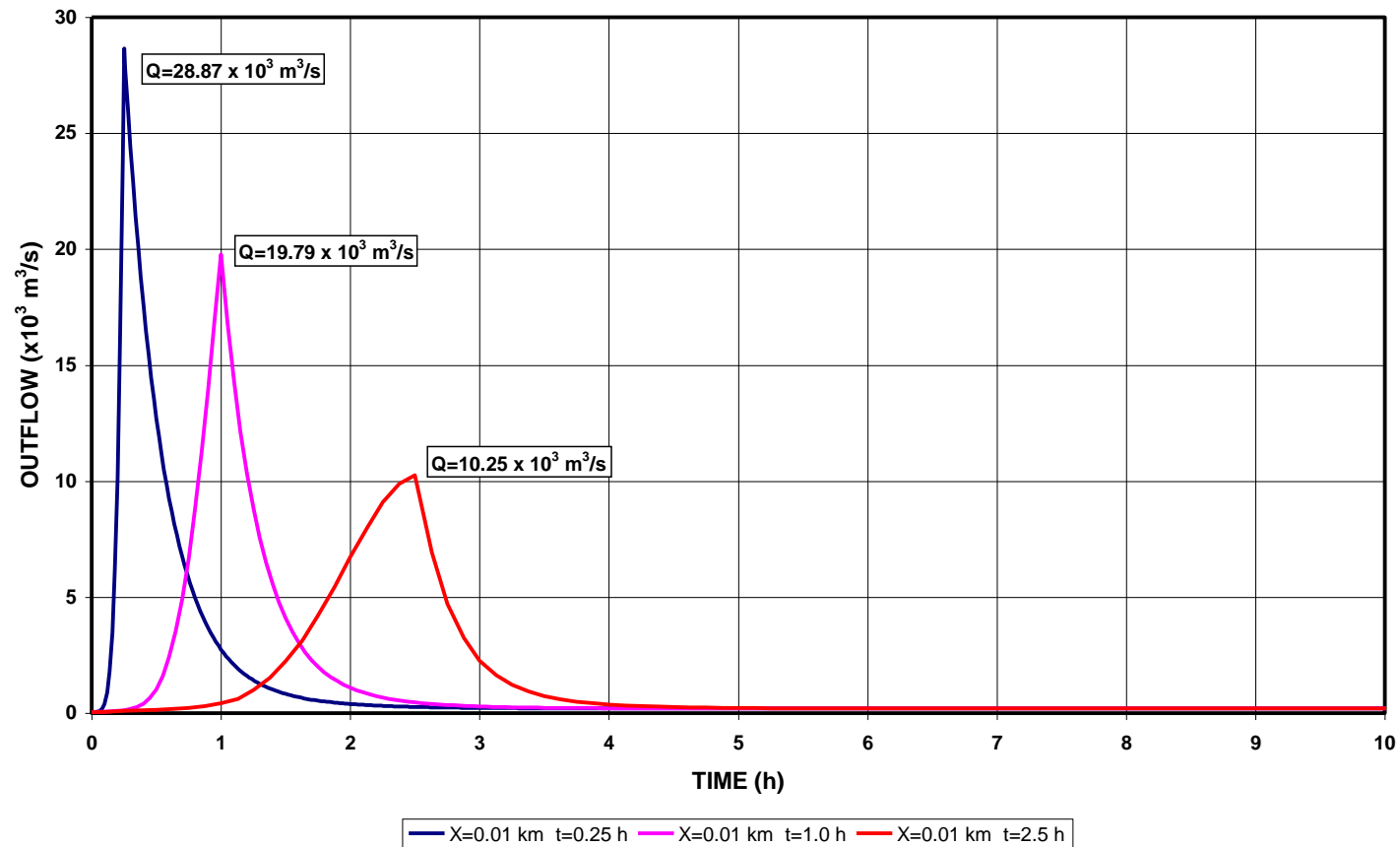
υποθετική θραύση φράγματος



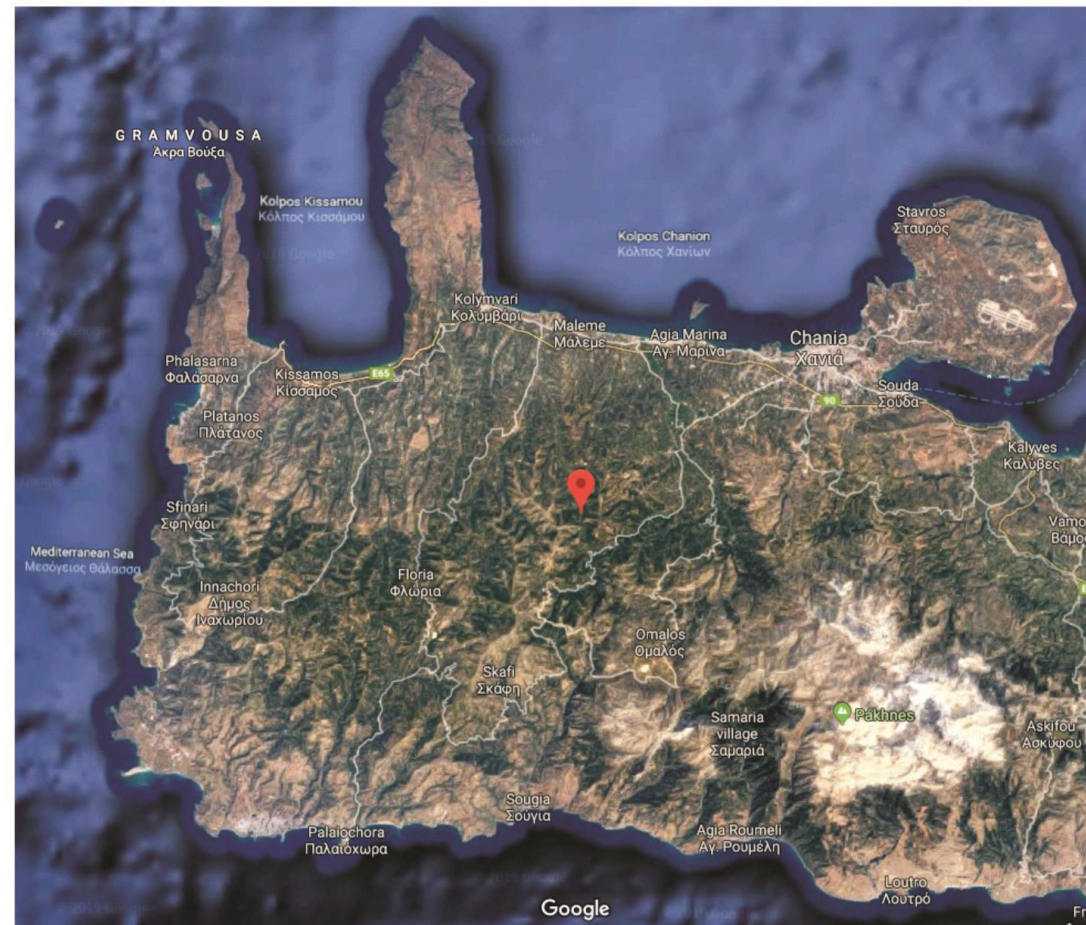
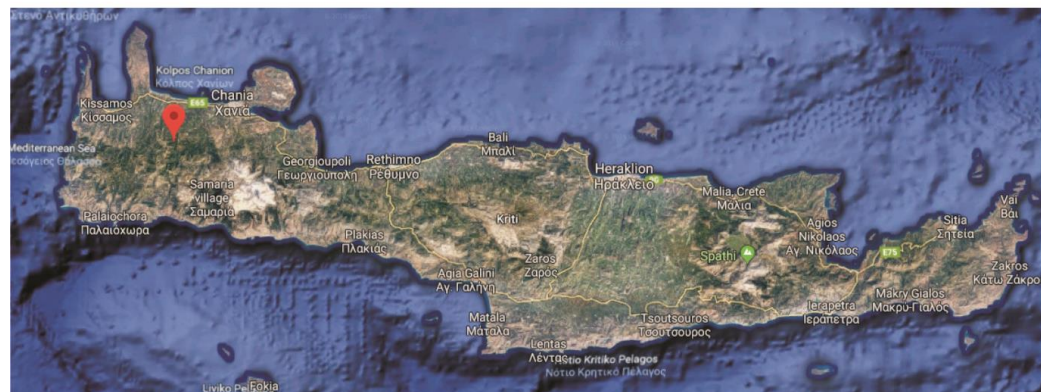
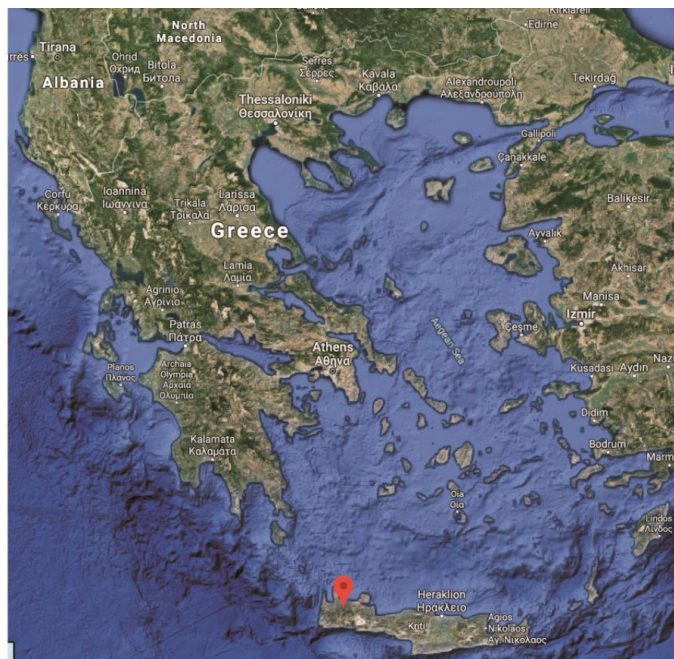
μορφή αστοχίας

Αποσελέμης

υποθετική θραύση φράγματος

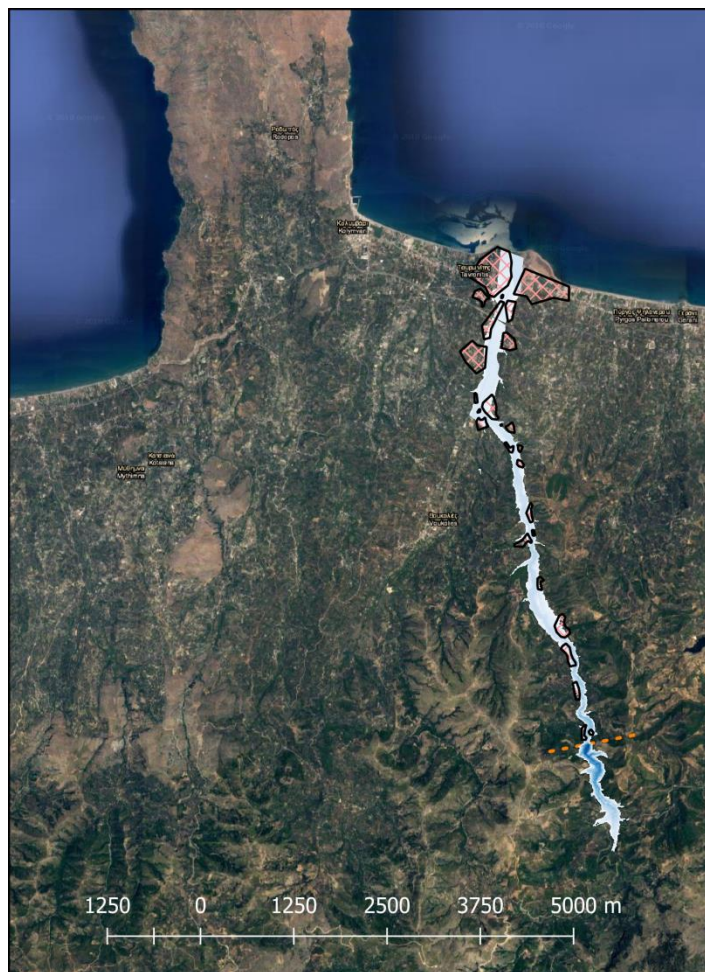


Ταυρωνίτης

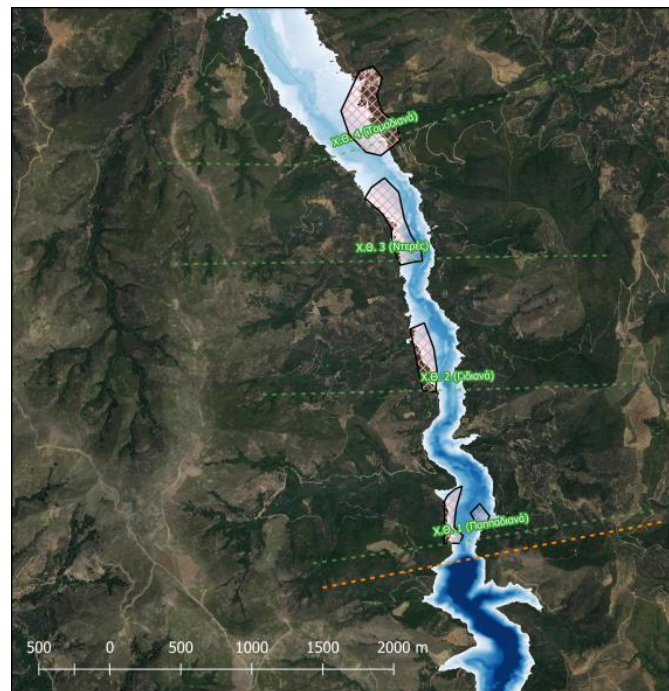


Πλημμυρικά όρια

γενική εικόνα



λεπτομέρειες



αποτελέσματα

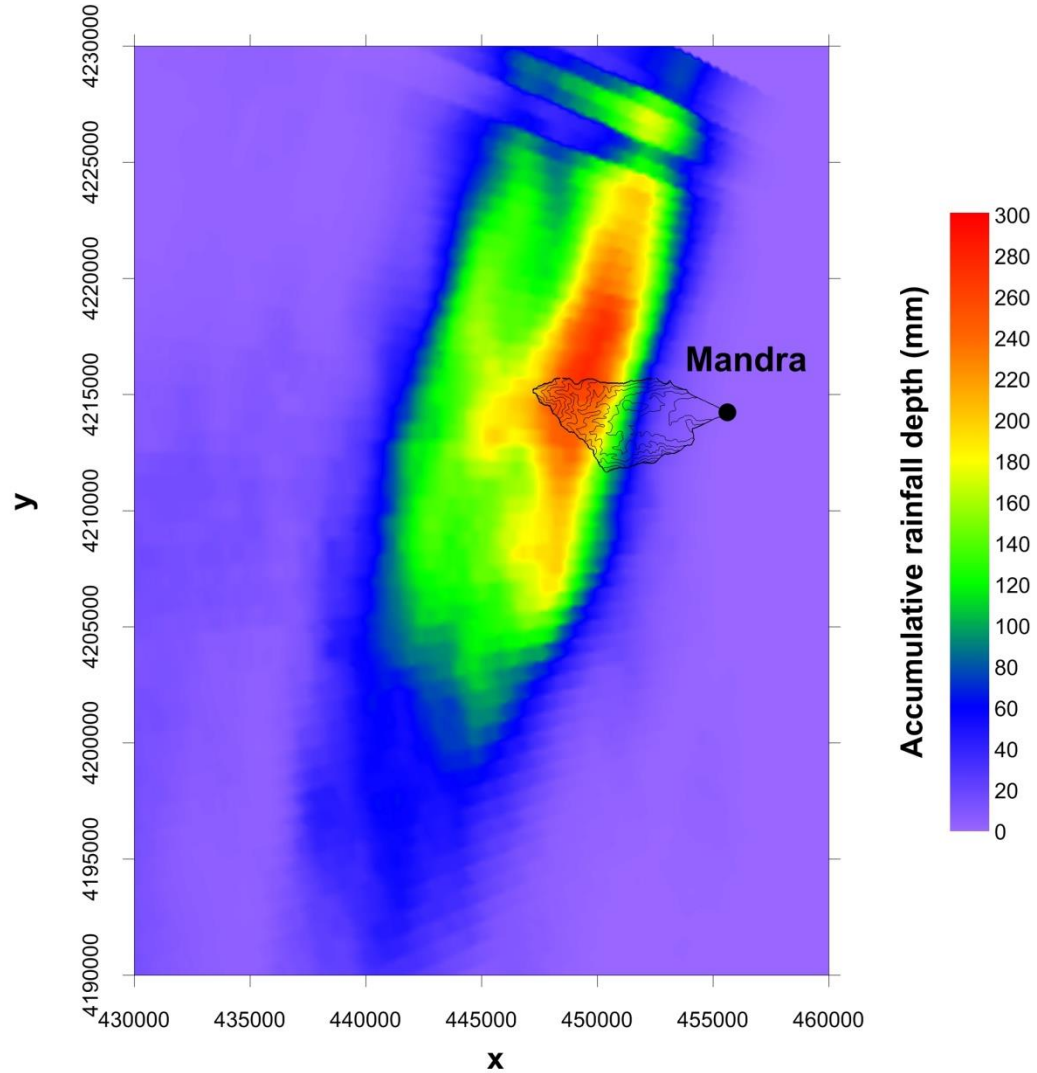
Μάνδρα

- 15 Νοεμβρίου 2017
- 24 νεκροί
- Πλημμύρα ταχείας απόκρισης
- Έντονη χωρική ανομοιογένεια της βροχόπτωσης
- Έως και 300 mm βροχόπτωσης μέσα σε 10 h

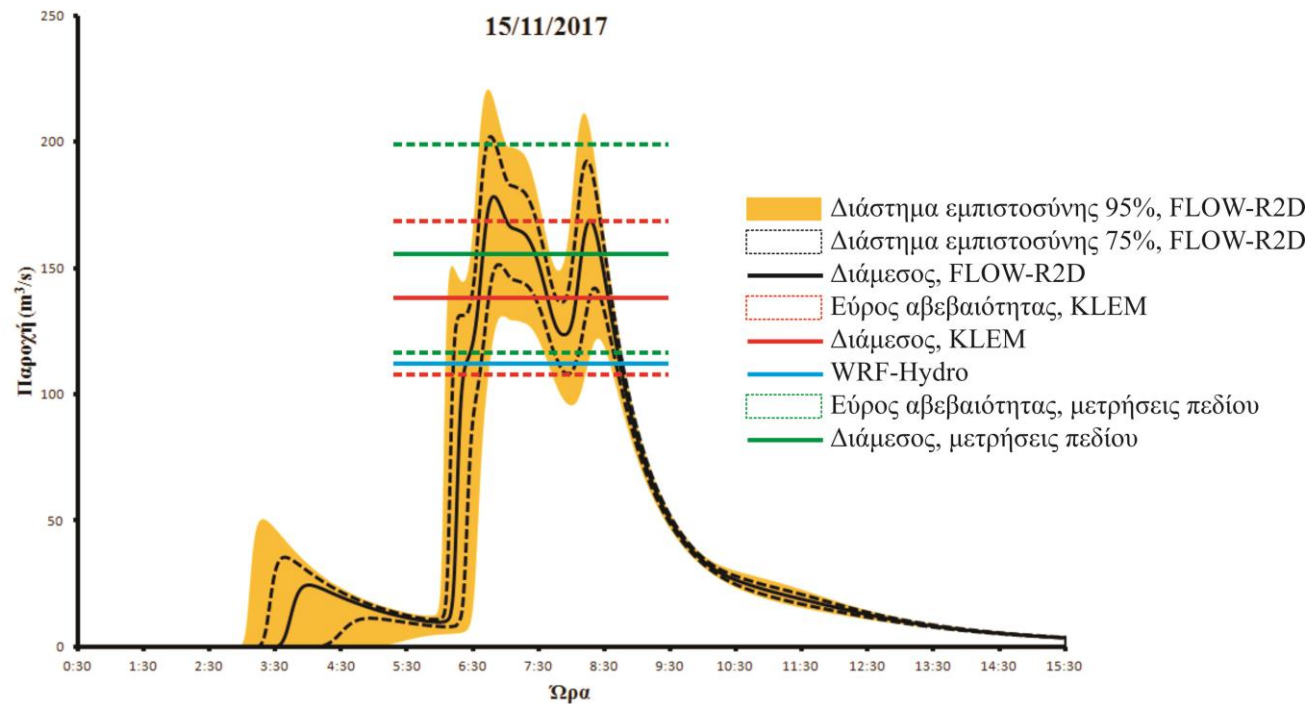
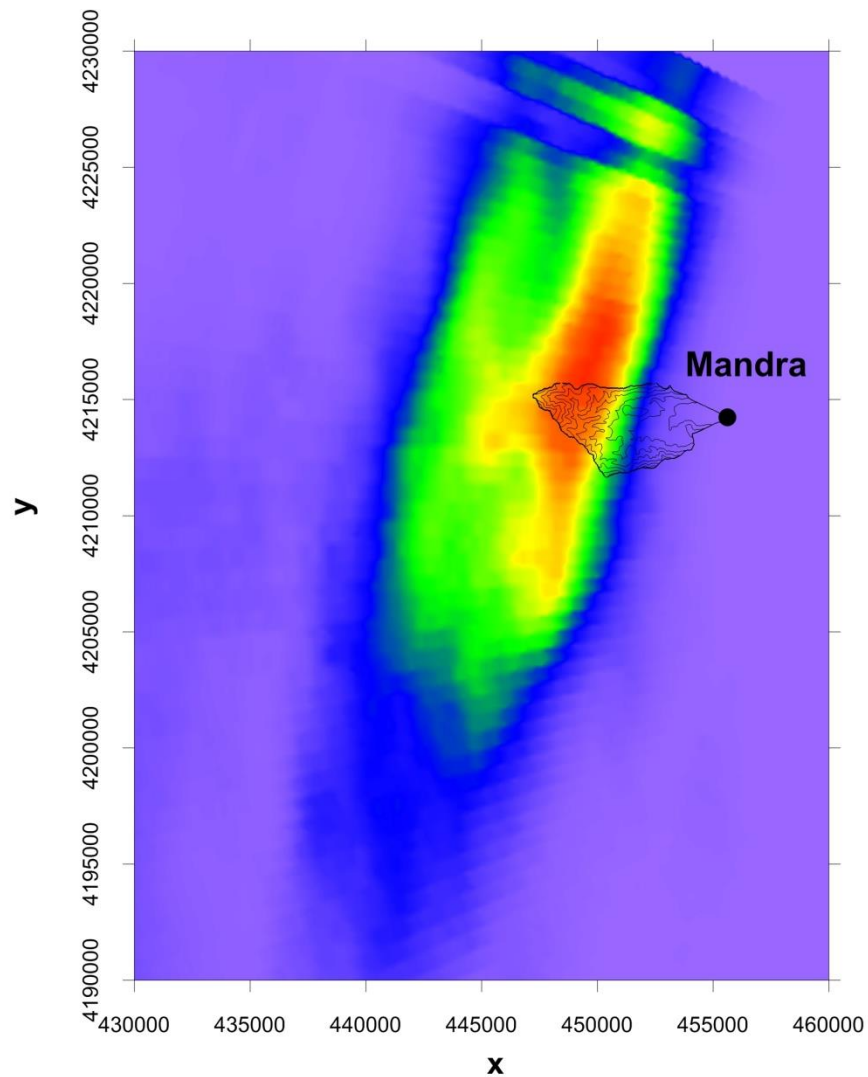
Μάνδρα



Επεισόδιο βροχής



Πλημμυρικό υδρογράφημα



Ανακατασκευή γεγονόςτος



Προσομοίωση

