



Artificial intelligence & 3D printing. Ο ρόλος του μηχανικού
Κλιματική αλλαγή
Μεταβαλλόμενα τοπία (πυρκαγιές, μεταβολές χλωρίδας)
Τοπίο και έργα υποδομής
Ο ρόλος του πλέγματος νερού-ενέργειας-τροφίμων



Βόρεια Εύβοια, κάμπινγκ Ροβιές
Κόστος διανυκτέρευσης 5 €/ημέρα

Δηλώσεις συμμετοχής
email: fivos@itia.ntua.gr

Προθεσμία υποβολής δηλώσεων: 31.5.2023 (θέσεις περιορισμένες)



ADOPTML

Εύβοια, Ιούλιος 2023

Αντιμετώπιση και Διαχείριση Φυσικών Καταστροφών με Έμφαση στις Πλημμύρες

Παναγιώτης Δημητριάδης και
Σταυρούλα Σιγούρου

Τομέας Υδατικών Πόρων και
Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών
Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο
Πολυτεχνείο

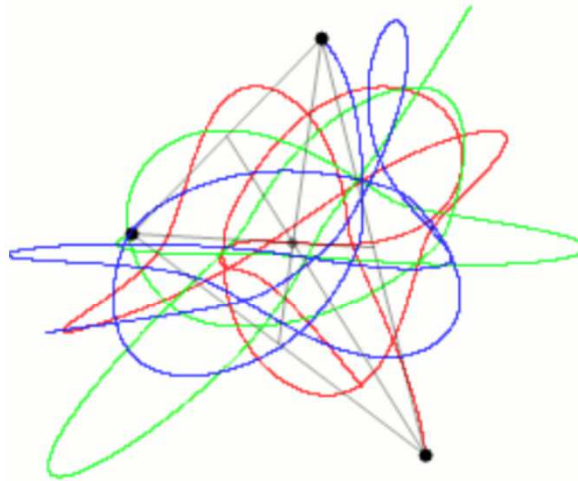
Α. Μέρος (18:00 – 19:00)

Ανάλυση της αβεβαιότητας
στην εκτίμηση του πλημμυρικού
ρίσκου (φυσικής διεργασίας και
μοντέλου πλημμύρας)

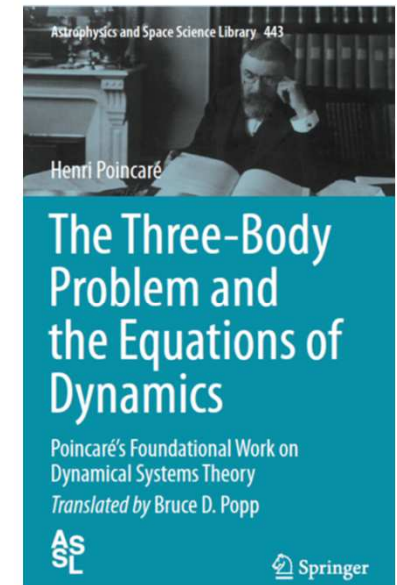
1. Εισαγωγή – Ντετερμινισμός και Τυχαιότητα (I)

Η **τυchaiότητα** και ο **ντετερμινισμός** θεωρούνται συνήθως ως διαφορετικές εκφάνσεις ενός φαινομένου. Ακόμα όμως και αν μπορούσαμε να εκφράσουμε κάποιους φυσικούς νόμους για ένα φαινόμενο που να περιέγραφαν με **πλήρη λεπτομέρεια** πολύ-σύνθετα φαινόμενα θα ήταν αδύνατο να προβλέψουμε ή απλά να εξηγήσουμε (μέσα από αυτές τις εξισώσεις) τη μελλοντική διακύμανση του φαινομένου.

Για παράδειγμα, η ανάλυση του **Poincaré (1890)** για το σύστημα τριών σωμάτων, έδειξε πως η χαοτική συμπεριφορά μπορεί να αναδυθεί και από τις εξισώσεις της κλασσικής μηχανικής.



Πηγή: Wikipedia



I believed when I started this work that once the solution of the problem was found for the specific case that I dealt with it would be immediately generalizable without having to overcome any new difficulties outside of those which are due to the larger number of variables and the impossibility of a geometric representation. I was mistaken.

2. Εισαγωγή – Ντετερμινισμός και Τυχαιότητα (II)

Η **κλιματική δυναμική** είναι περίπλοκο φαινόμενο, δηλαδή αποτελείται από πολλές διεργασίες που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με μη-γραμμικό τρόπο.

Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν και από την ανάλυση του **Lorenz (1963)** σε απλοποιημένες εξισώσεις της ατμοσφαιρικής δυναμικής, όπου εκτιμήθηκε ένα χρονικό παράθυρο προβλεψιμότητας ίσο με 2 εβδομάδες, ακόμα και αν το μοντέλο μας είναι τέλειο με γνωστές αρχικές συνθήκες (φαινόμενο χάους).

Ανάδειξη και της συμπεριφοράς
φράκταλ (Viswanath, 2004).

JOURNAL OF THE ATMOSPHERIC SCIENCES



Deterministic Nonperiodic Flow¹

EDWARD N. LORENZ

Massachusetts Institute of Technology

(Manuscript received 18 November 1962, in revised form 7 January 1963)

ABSTRACT

Finite systems of deterministic ordinary nonlinear differential equations may be designed to represent forced dissipative hydrodynamic flow. Solutions of these equations can be identified with trajectories in phase space. For those systems with bounded solutions, it is found that nonperiodic solutions are ordinarily unstable with respect to small modifications, so that slightly differing initial states can evolve into considerably different states. Systems with bounded solutions are shown to possess bounded numerical solutions.

A simple system representing cellular convection is solved numerically. All of the solutions are found to be unstable, and almost all of them are nonperiodic.

The feasibility of very-long-range weather prediction is examined in the light of these results.

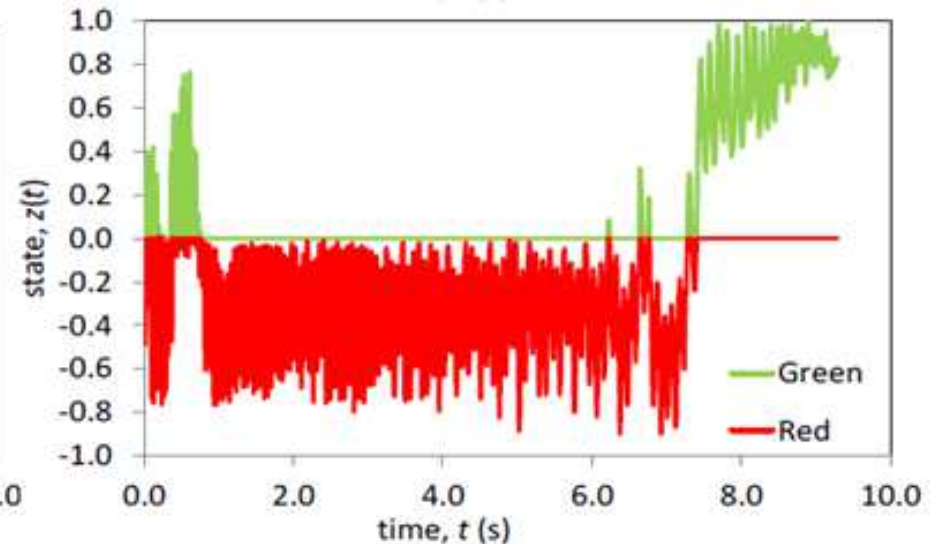
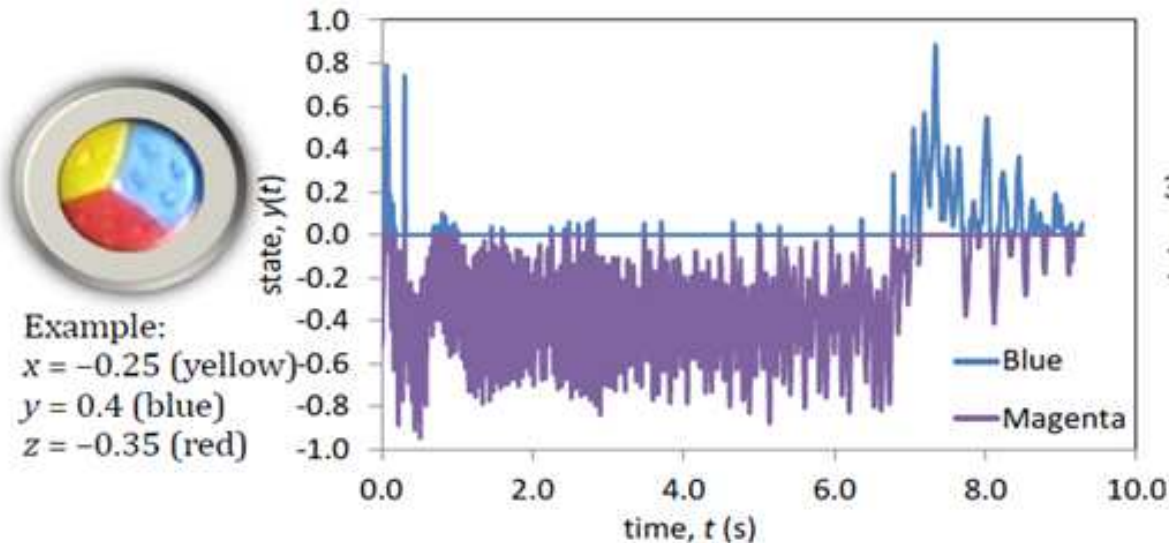
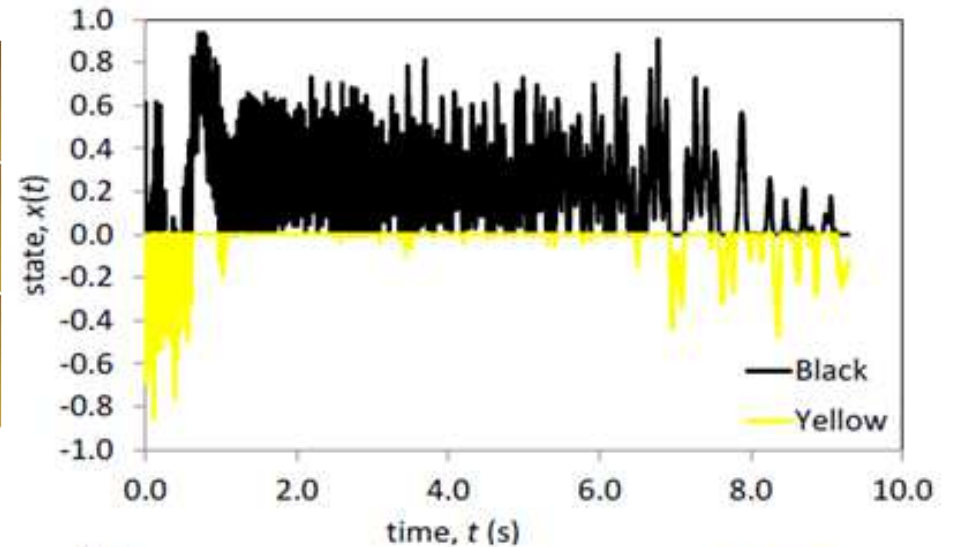
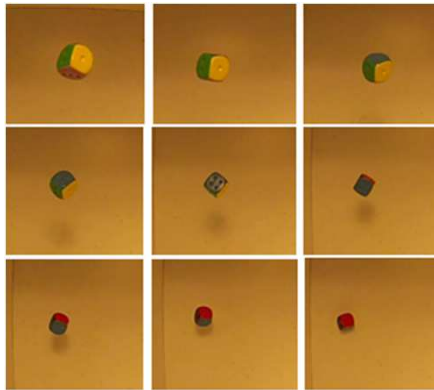
There remains the very important question as to how long is “very-long-range.” Our results do not give the answer for the atmosphere; conceivably it could be a few days or a few centuries. In an idealized system,



Πηγή: Wikipedia και
<https://sciencephotogallery.com/featured/lorenz-attractor-alfred-pasieka.html>

3. Εισαγωγή – Ντετερμινισμός και Τυχαιότητα (III)

Όμως, μιας και η τυχαιότητα αυτή μπορεί να προκύψει από ένα πλήρως ντετερμινιστικό, μη γραμμικά δυναμικό, σύστημα, είναι εσφαλμένη η διχοτομία μεταξύ τυχαιότητας και ντετερμινισμού (Koutsoyiannis, 2010).



4. Εισαγωγή – Ντετερμινισμός και Τυχαιότητα (IV)

Αντιθέτως, φαίνεται πως αυτές οι δύο συμπεριφορές **συνυπάρχουν** σε ένα φυσικό φαινόμενο, και διαχωρίζονται μόνο από τον **χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης** (και άρα επεξήγησης) **της διακύμανσης του φαινομένου αυτού, μέσα σε κάποιο περιθώριο λάθους** (σε μικρότερα όρια λάθους το σύστημα θεωρείται προβλέψιμο, ενώ για μεγαλύτερα σφάλματα απρόβλεπτο, δηλαδή, **αβέβαιο**).

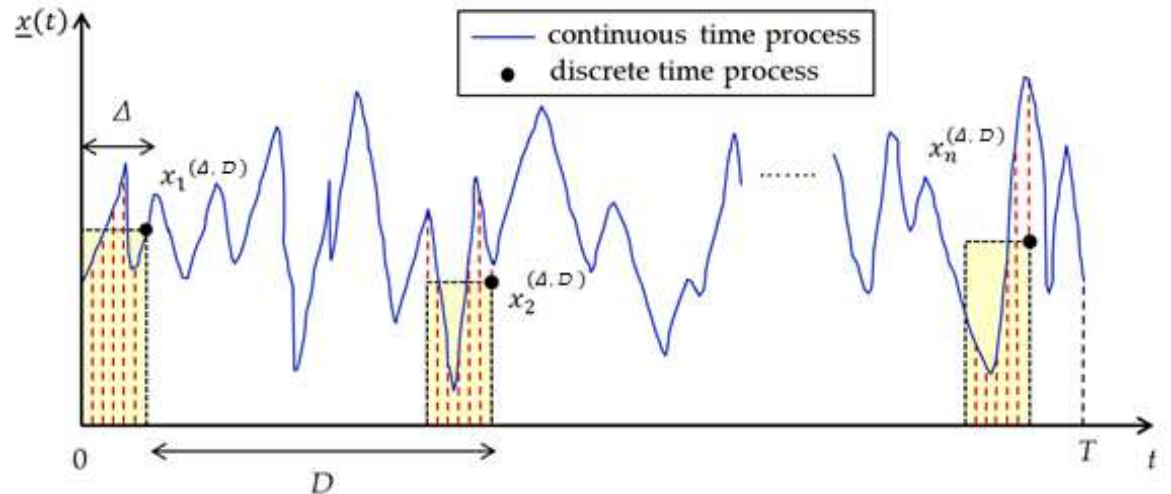
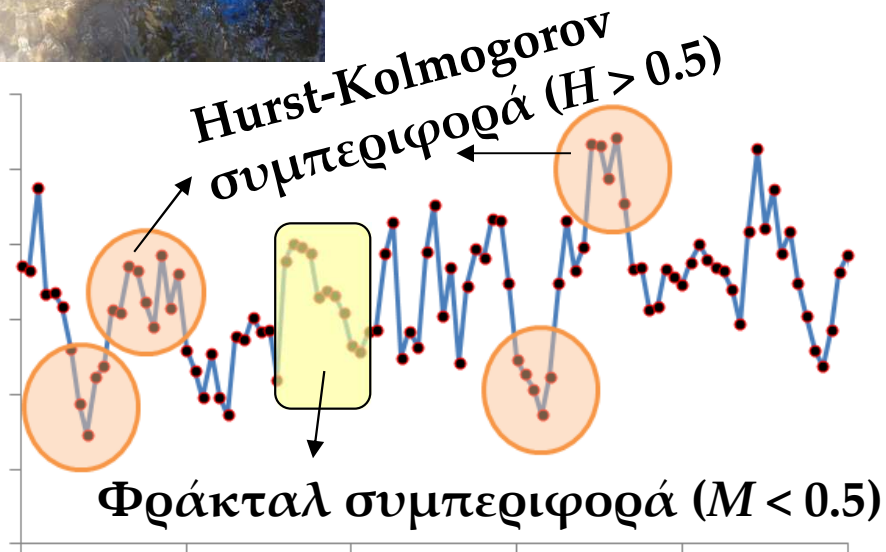
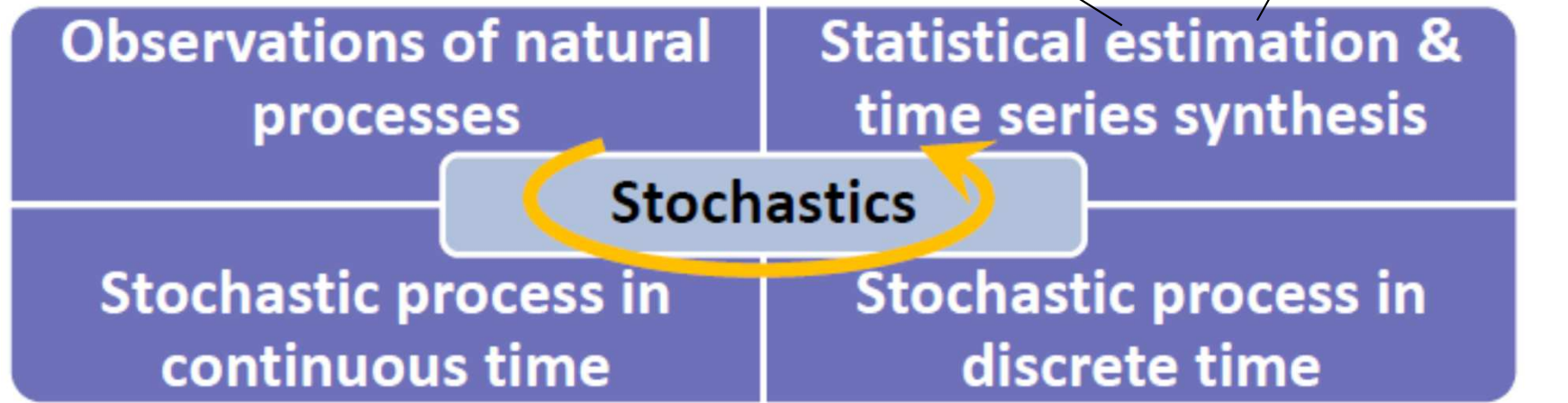
Μέσα από τη **στοχαστική ανάλυση** λοιπόν, αναγνωρίζουμε την παρατηρημένη αβεβαιότητα του συστήματος μέσα από μια στοχαστική διεργασία. Με αυτή τη μαθηματική διεργασία (ή αλλιώς ανέλιξη) μπορούμε (?) να δημιουργήσουμε πολλαπλές πραγματοποιήσεις, ενώ από τη φυσική διεργασία μπορούμε (?) να παρατηρήσουμε μόνο μια πραγματοποίηση του συστήματος (ή πολλαπλά μόνο μέσα από εργαστηριακά πειράματα).



Παράθυρο προβλεψιμότητας τροχιάς ζαριού ίσο με 0.1 sec, ενώ για τα αναλυμένα συμβάντα καταιγίδων 10 min, και του άνεμο 1 h (Dimitriadis et al. (2016a).

5. Στοχαστική Ανάλυση (μέσω θεωρίας και πράξης)

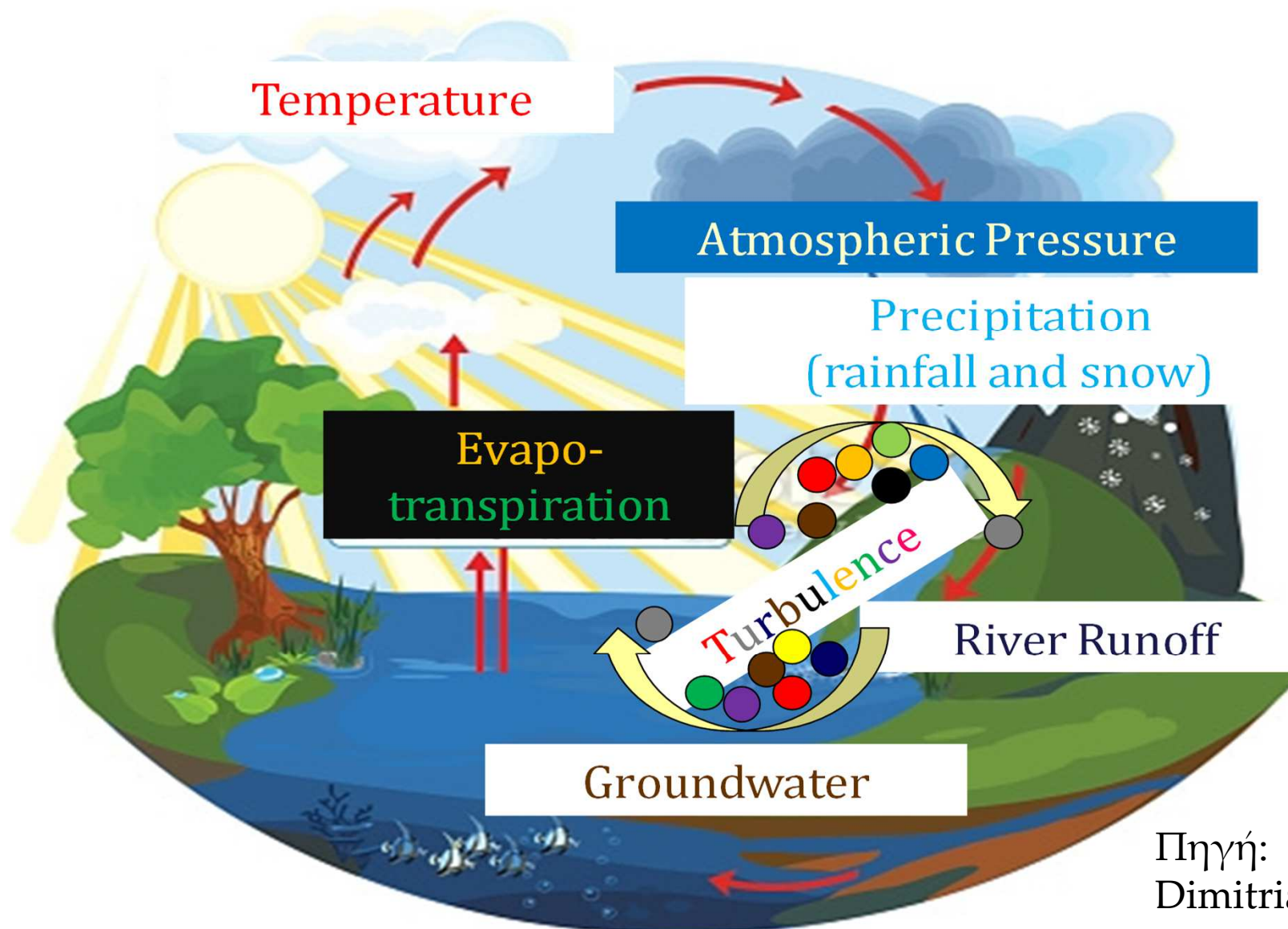
Όμως, η συλλογή πολλών δεδομένων δε θα επαρκεί, αν δεν ενταχθούν μέσα σε ένα φυσικά και μαθηματικά επαρκές θεωρητικό πλαίσιο.



Πηγές: Koutsoyiannis (2016); Dimitriadis (2017); Koutsoyiannis and Dimitriadis (2021).

6. Αβεβαιότητα φυσικής διεργασίας – Παγκόσμια ανάλυση (I)

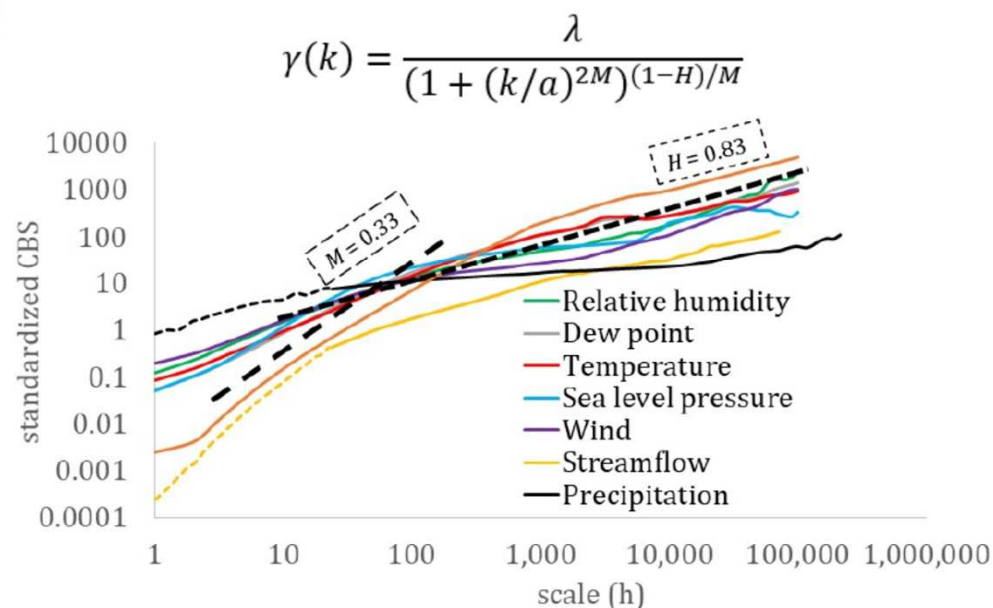
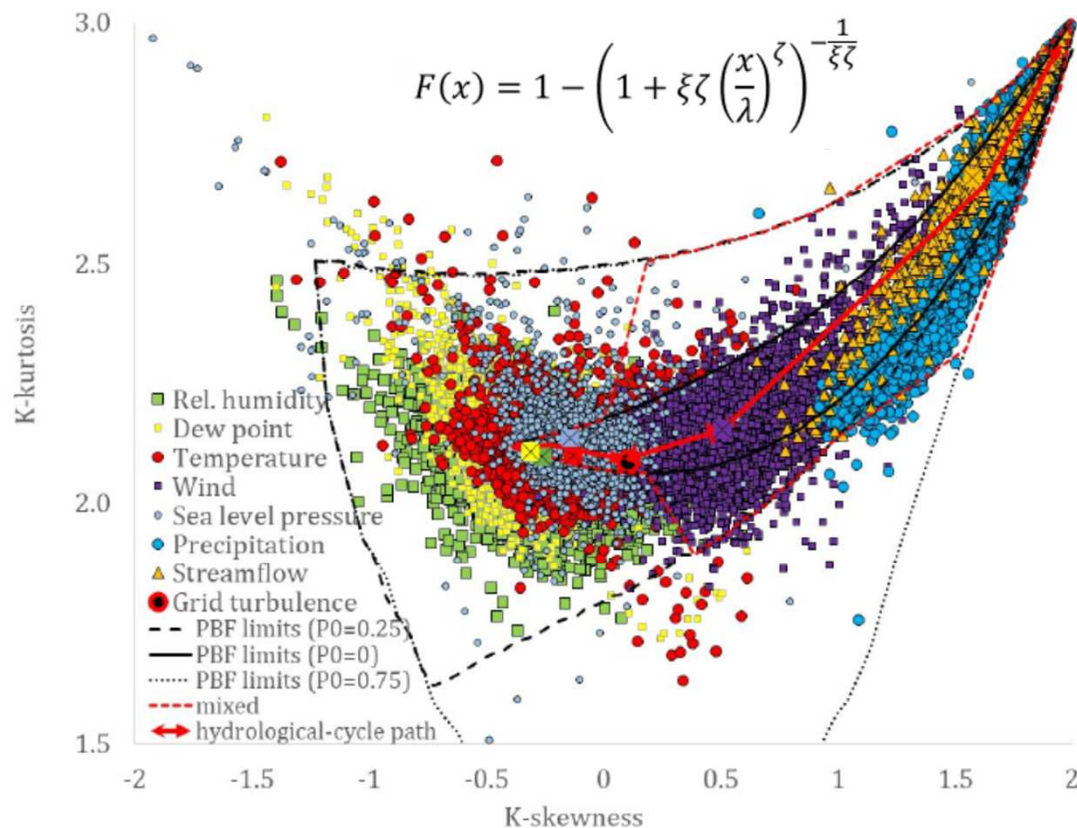
Δυνατότητα πολλαπλών παρατηρήσεων φυσικών διεργασιών με την επίδραση φυσικών παραγόντων αβεβαιότητας.



Πηγή:
Dimitriadis (2017)

7. Αβεβαιότητα φυσικής διεργασίας – Παγκόσμια ανάλυση (II)

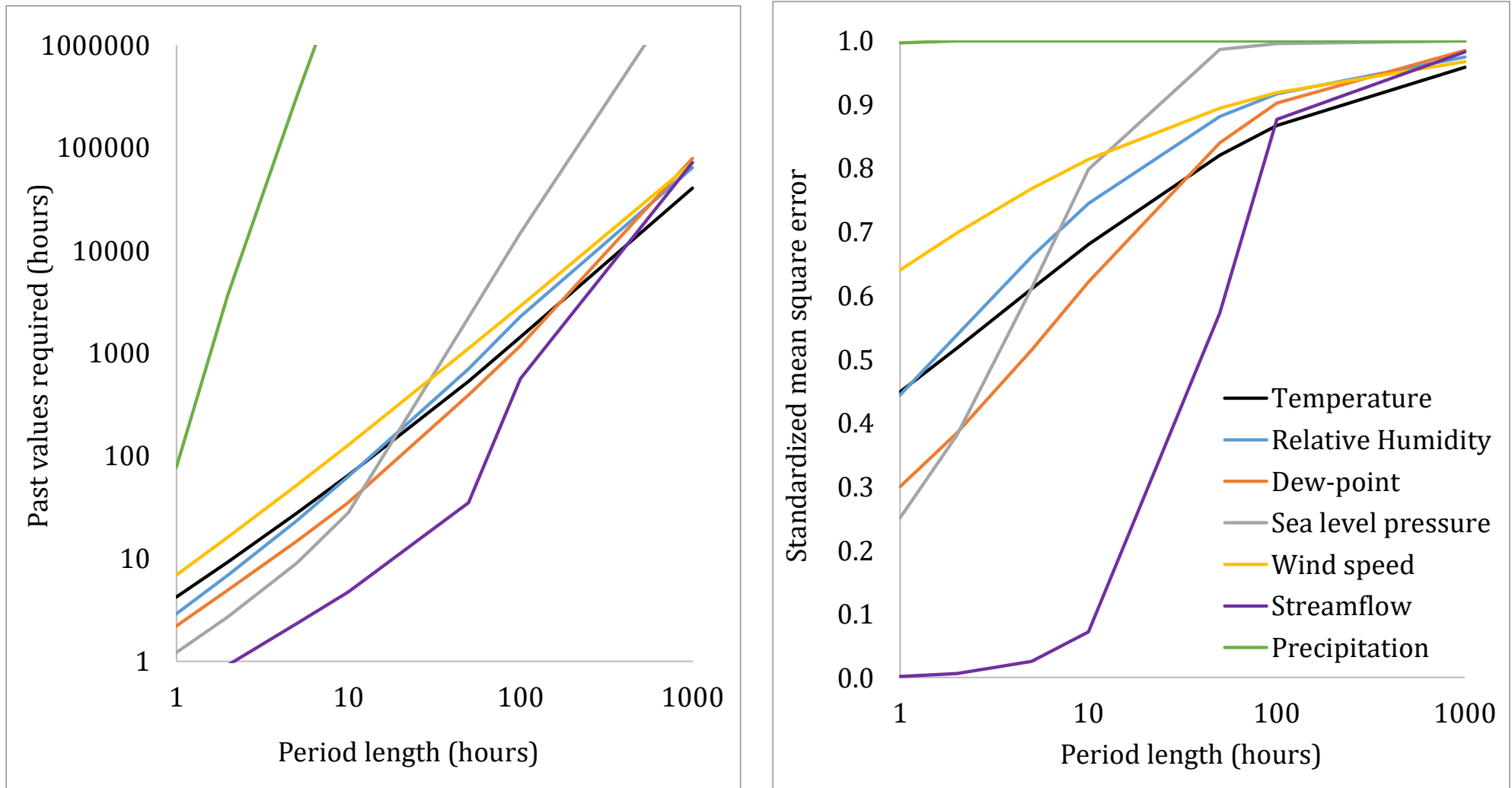
	Near-Surface Temperature	Dew Point	Humidity	Sea Level Pressure	Wind Speed	Precipitation	Streamflow
Temporal resolution	Hourly	hourly	hourly	hourly	hourly	hourly/daily	hourly/daily
Total number of stations/time series	6613	5978	4025	4245	6503	93,904	1815
Total number of data values (×10 ⁶)	907.1	730.0	540.2	364.9	781.7	938.7	13.5
Time period	1938–today	1938–today	1940–today	1939–today	1939–today	1778–today	1900–today



Τριπαραμετρικές κατανομή πιθανότητας $F(x)$, και συνάρτηση αυτοσυσχέτισης $\gamma(k)$, με συμπεριφορά HK ($H > 0.5$ και $M < 0.5$).

8. Αβεβαιότητα φυσικής διεργασίας – Παγκόσμια ανάλυση (III)

Μέσω της εύρεσης των στοχαστικών ομοιοτήτων, δίνεται η δυνατότητα εκτίμησης του μέσου **χρονικού ορίζοντα πρόβλεψης** για κάθε βασική διεργασία του υδρολογικού κύκλου μέσω της μεθοδολογίας Koutsoyiannis (2022), και έτσι, της αβεβαιότητας της βροχής και απορροής που συνδέεται με αυτή του πλημμυρικού ρίσκου.



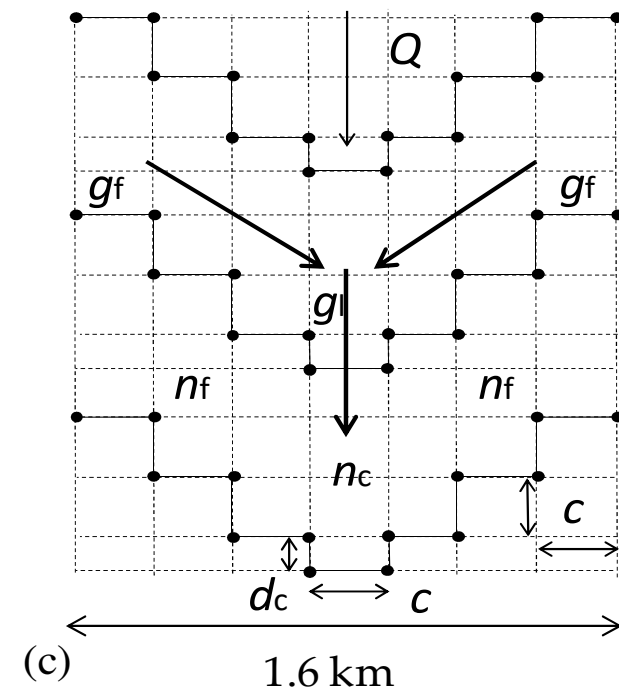
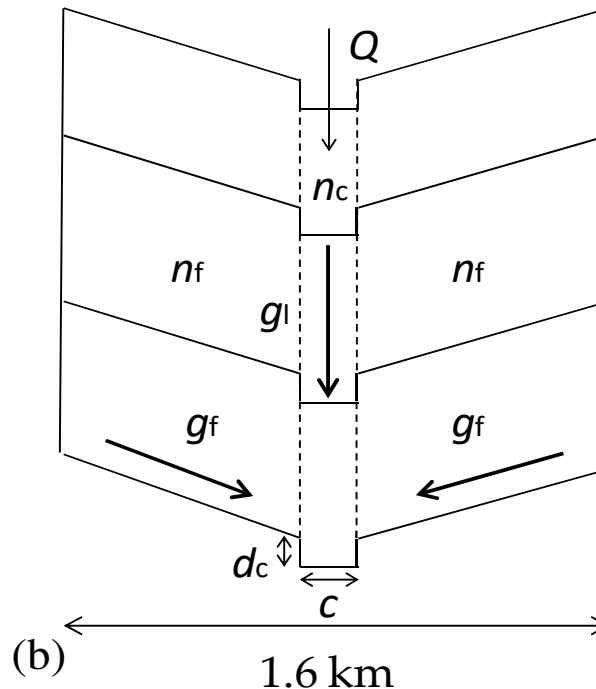
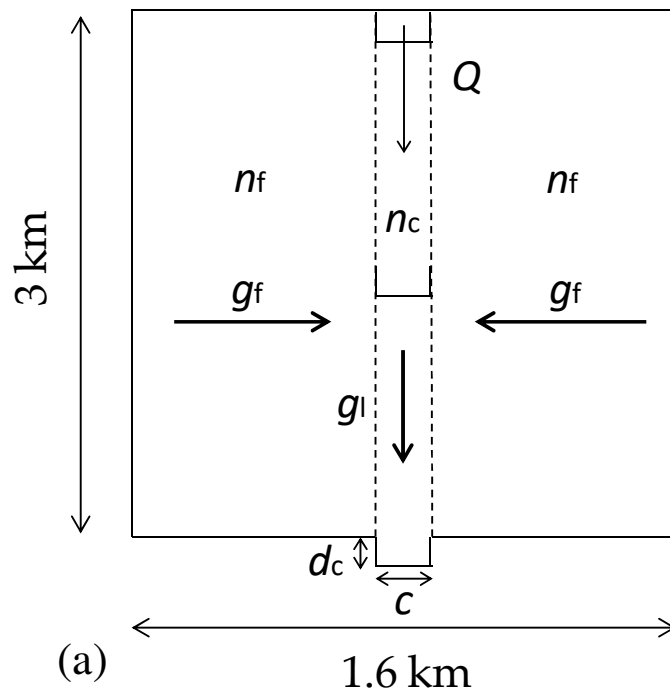
Πηγή: Λεπτομέρειες και αναφορές για τα αποτελέσματα στο Dimitriadis et al. (2022).

9. Αβεβαιότητα μοντέλου πλημμύρας (I)

Για την ανάλυση της αβεβαιότητας των μοντέλων πλημμύρας εφαρμόζεται μια ανάλυση ευαισθησίας.

Variables used within sensitivity analysis and associated range of feasible values; all variables are uniformly distributed, except for the model resolution determined by the channel width, which takes three discrete values (25, 50 or 100 m).

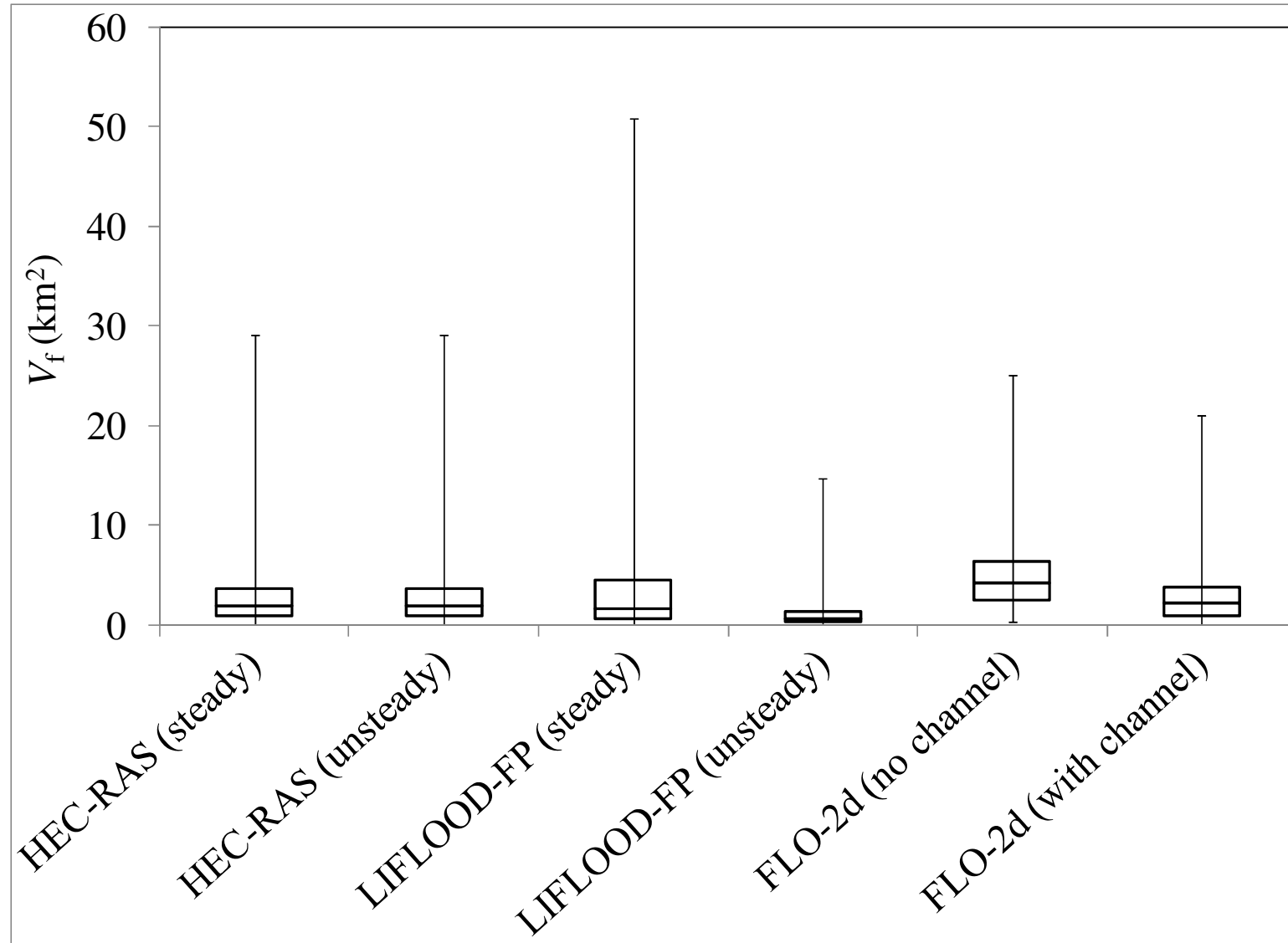
Variable	Symbol and units	min	max
Upstream flow	(m^3/s)	100	5000
Longitudinal gradient	(%)	0.1	5
Lateral gradient	(%)	0.1	5
Roughness coefficients (channel)	($\text{s}/\text{m}^{1/3}$)	0.01	0.1
Roughness coefficients (floodplain)	($\text{s}/\text{m}^{1/3}$)	0.05	0.3
Model resolution (= channel width)	(m)	25, 50, 100	



Layout of benchmark tests and input variables associated with (a) the target geometry (plan view), (b) section-based models realization and (c) raster-based models realization (from Dimitriadis et al., 2016 a).

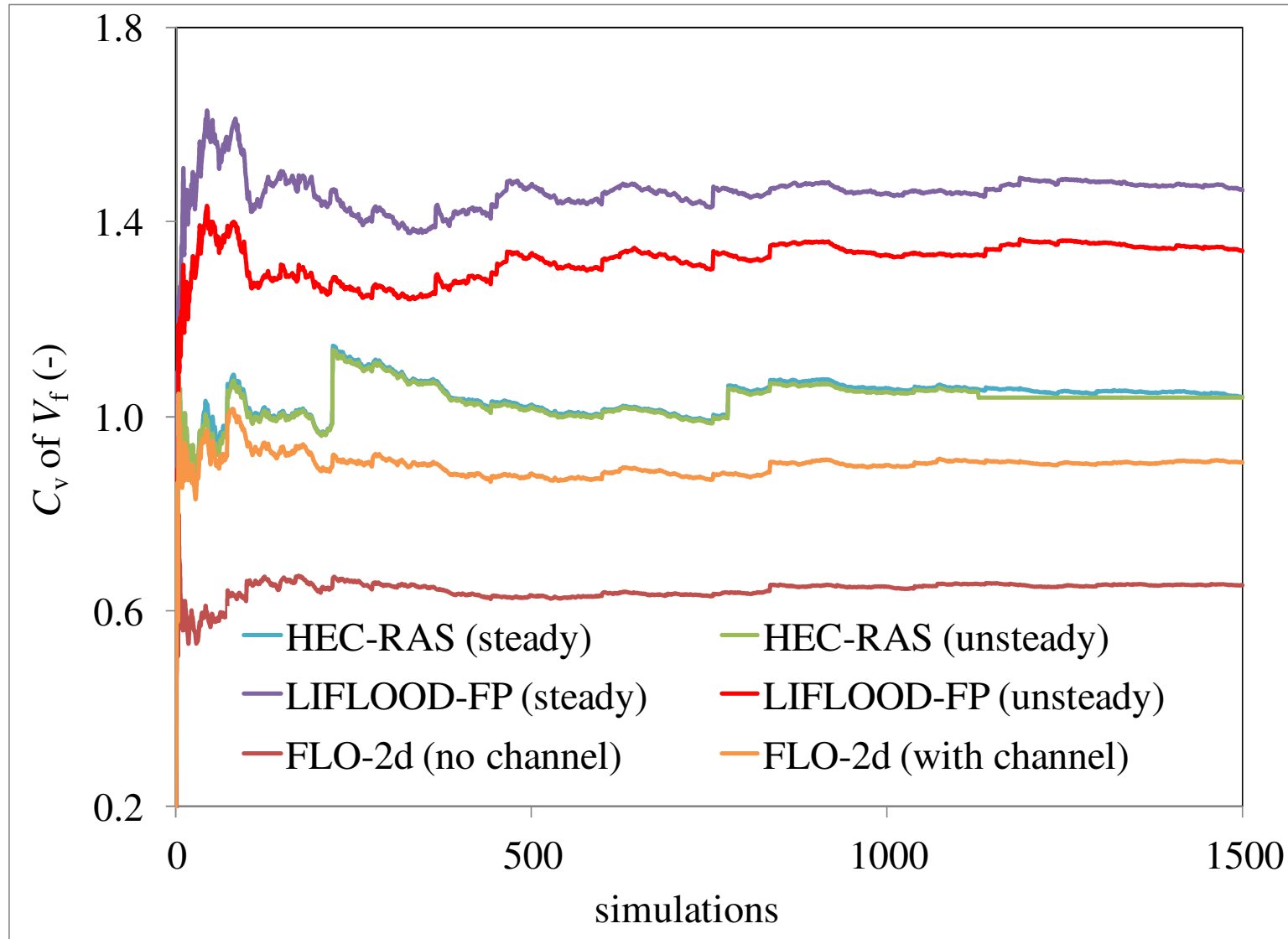
10. Αβεβαιότητα μοντέλου πλημμύρας (II)

Ενώ ο μέσος πλημμυρικός όγκος (σε km^3) είναι πολύ κοντά για κάθε μοντέλο και σχήμα, το εύρος διαφέρει αρκετά.



11. Αβεβαιότητα μοντέλου πλημμύρας (III)

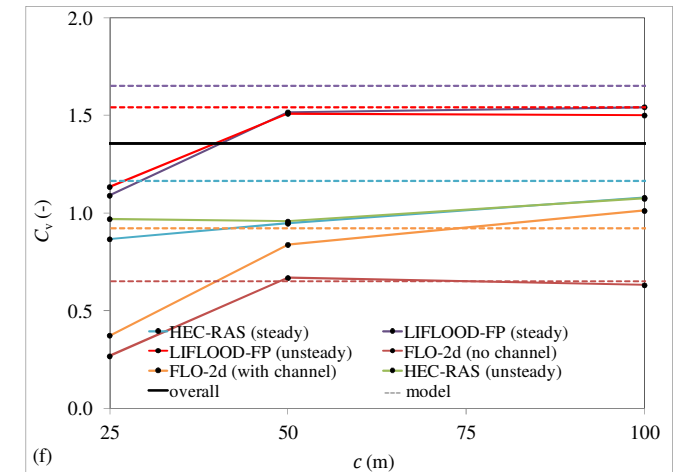
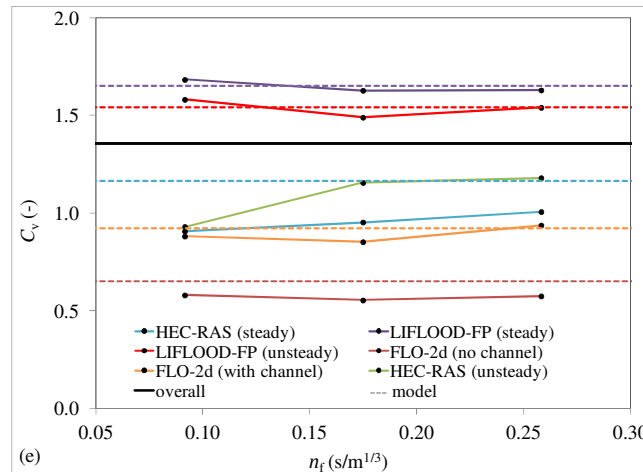
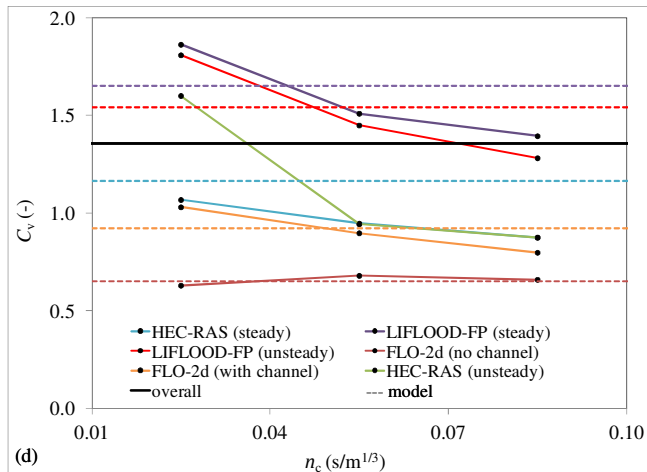
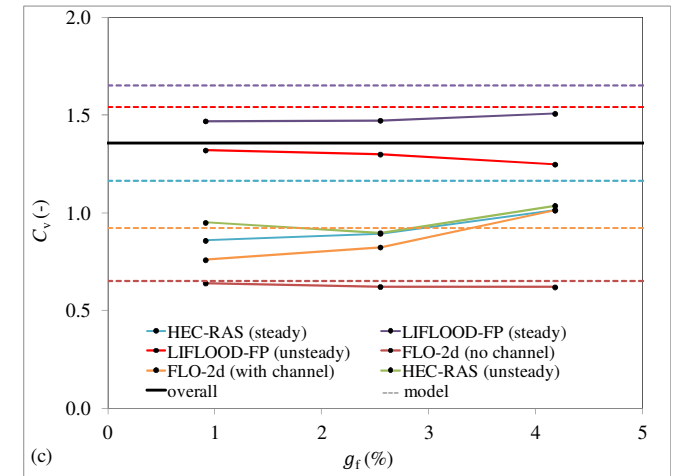
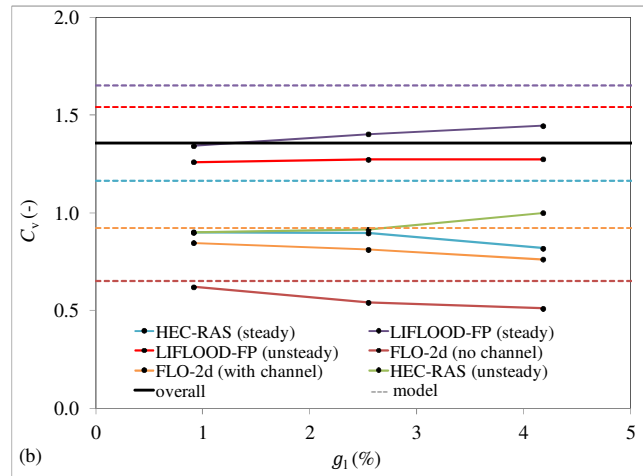
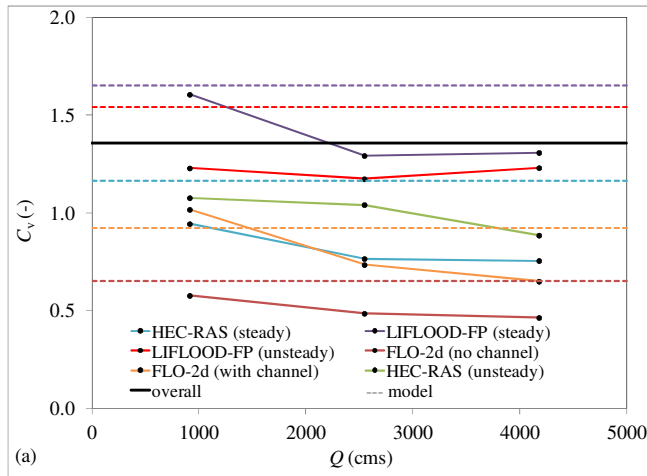
Εκτίμηση αβεβαιότητας παραμέτρων διαφόρων μοντέλων (και υπολογιστικών σχημάτων) πλημμύρας, μέσω του **συντελεστή μεταβλητότητας** C_v του πλημμυρικού όγκου.



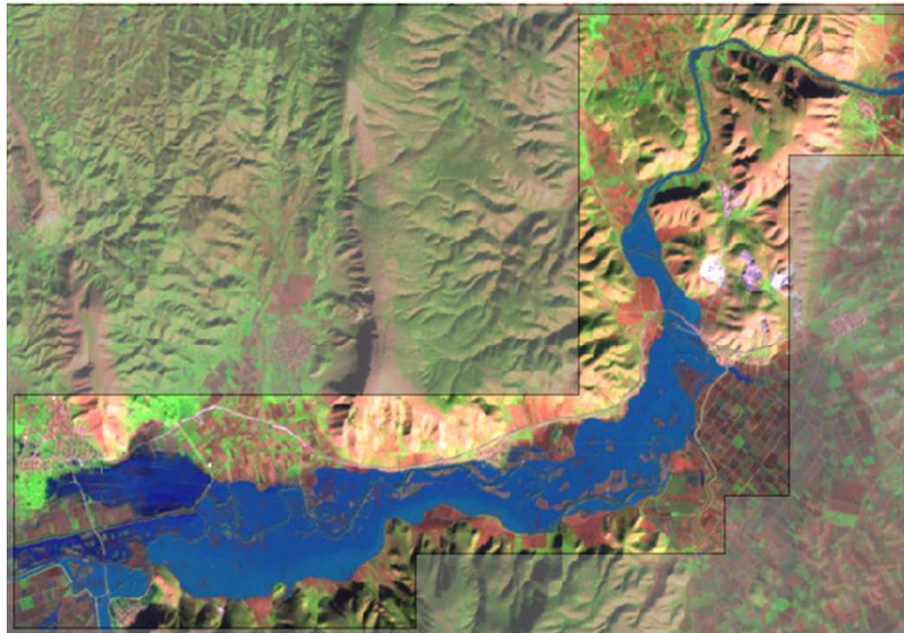
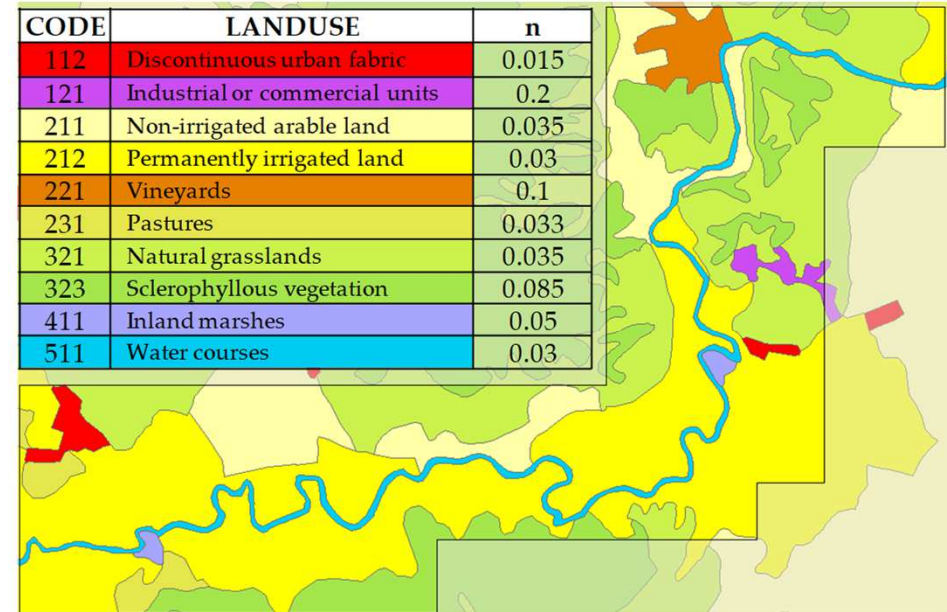
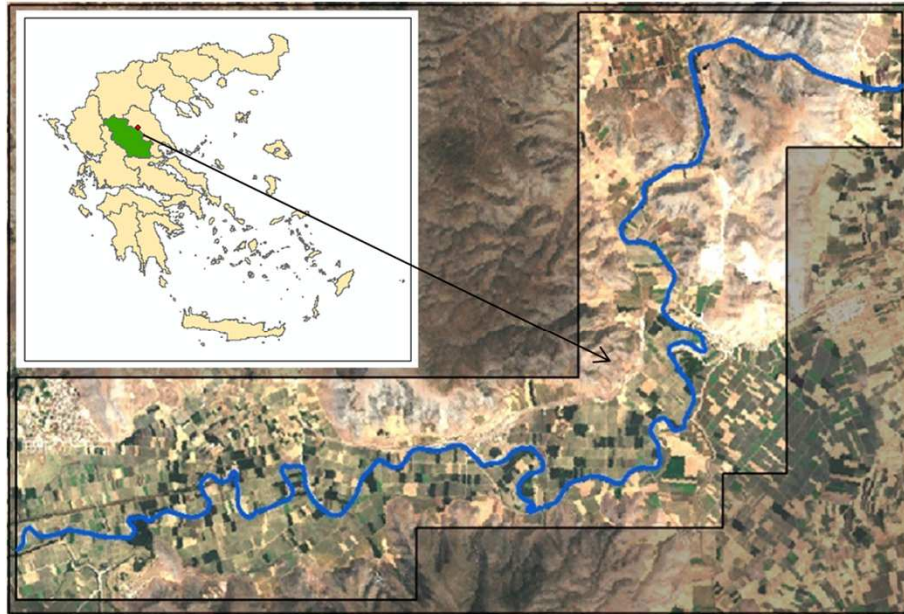
12. Αβεβαιότητα μοντέλου πλημμύρας (IV)

Η διαφορά στην αβεβαιότητα των μοντέλων και σχημάτων οφείλεται στη διαφορετική επίδραση που προκαλούν οι διάφοροι παράμετροι στο κάθε μοντέλο και σχήμα.

Από την ανάλυση ευαισθησίας προέκυψε πως μεγαλύτερη επίδραση έχει η τραχύτητα, και η απορροή, και στη συνέχεια, η κλίση και η διακριτοποίηση.



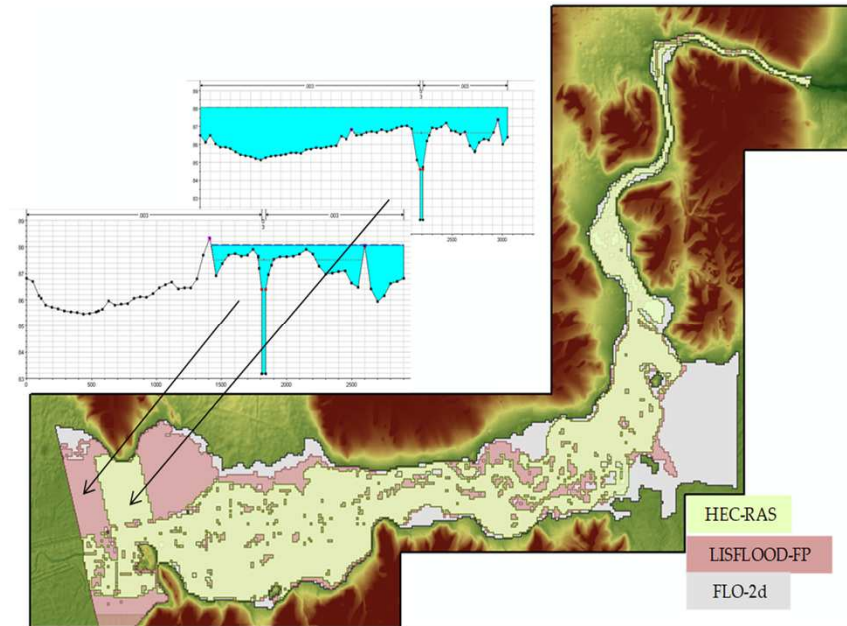
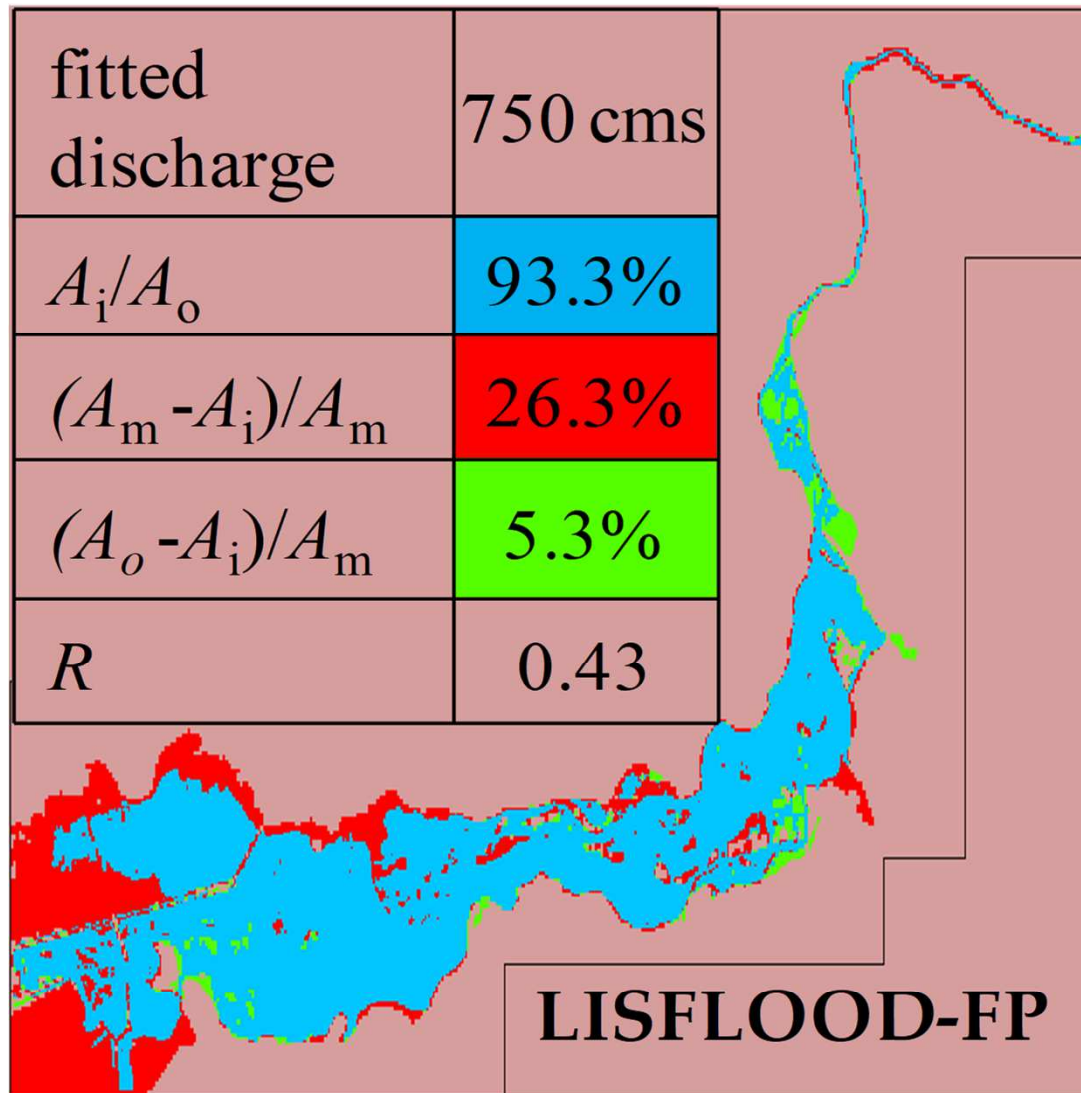
13. Πιθανοτικός πλημμυρικός χάρτης (I)



5×5 m² DEM (upper left), land-use map extracted from Corine 2000 (upper right) and landsat-7 satellite image (up) taken in 28/1/2003 (left), corresponding to a flood event at the middle of the Penios river in Thessaly, Greece. Πηγή: Dimitriadis et al. (2016b).

Η τυπική μεθοδολογία περιλαμβάνει τοπογραφική και υδρολογική ανάλυση, γεωλογικούς χάρτες και χρήσης-γης, μοντέλο βροχής-απορροής, και υδραυλική προσομοίωση πλημμυρικού κύματος (Dimitriadis et al., 2017).

14. Πιθανοτικός πλημμυρικός χάρτης (II)



Preliminary tests for selecting the appropriate model configuration (up) and simulated flood inundation (left) Πηγή: Dimitriadis et al. (2016b).

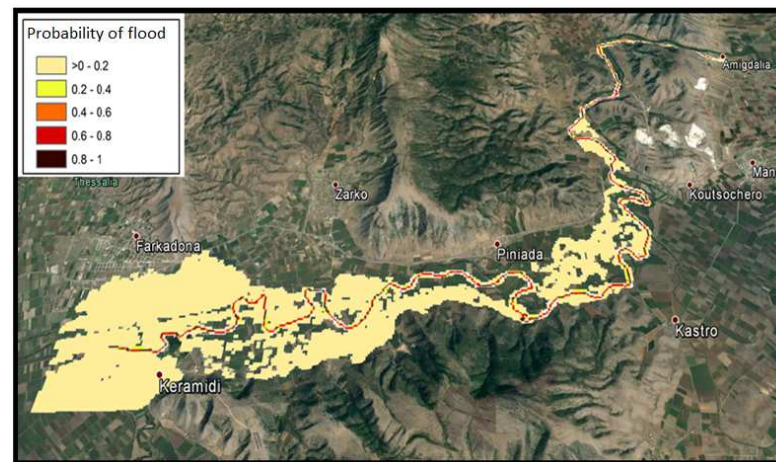
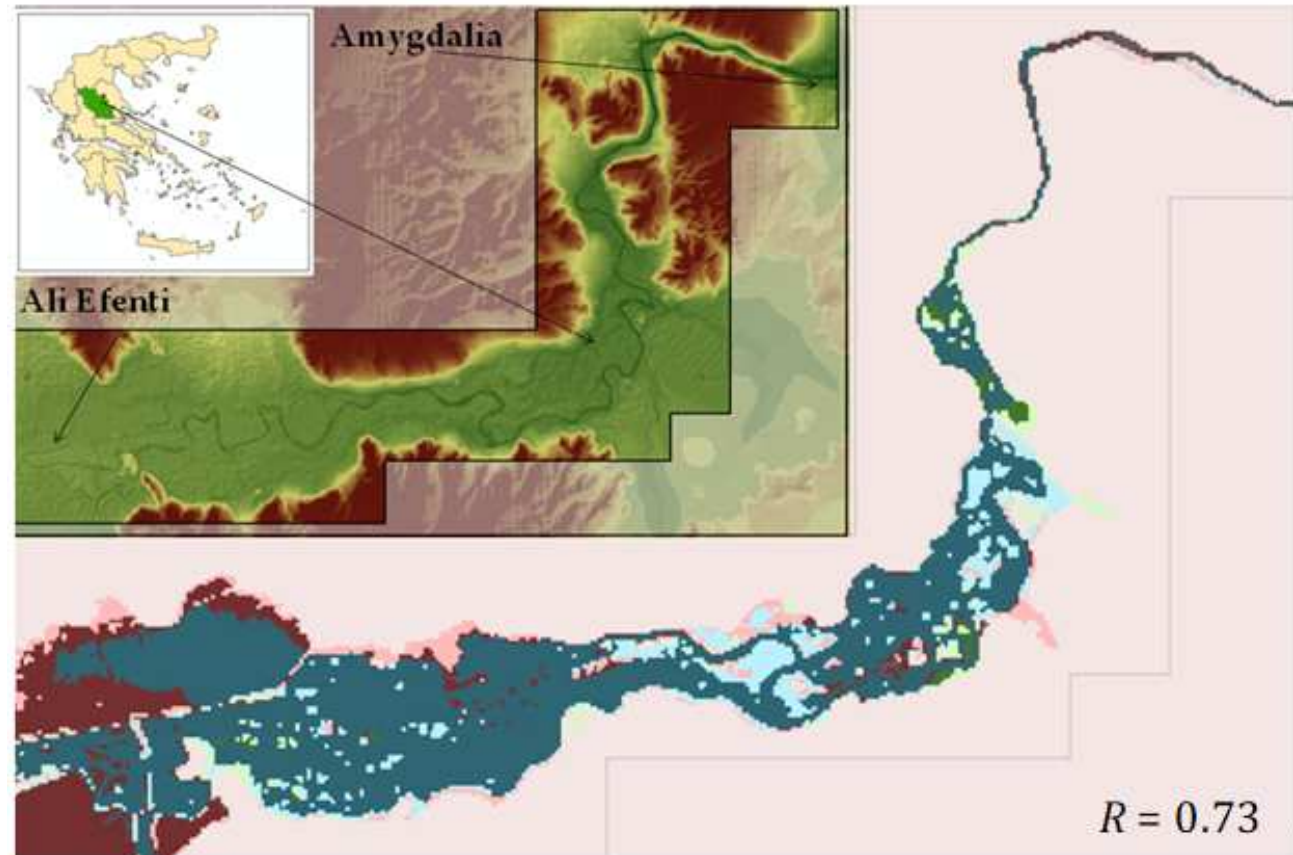
$$R = (A_o + A_m)/A_i - 2$$

where A_o is the observed flooded area, A_m is the simulated one and A_i is the intersection area.

15. Πιθανοτικός πλημμυρικός χάρτης (III)

Μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας μπορεί να βελτιωθεί ο πλημμυρικός χάρτης, δηλαδή να καλύψει τις περιοχές που παρατηρήθηκε πλημμύρα, αλλά δε μπόρεσε το μοντέλο με τη σταθερή παροχή να προσομοιώσει.

Η ανάλυση ευαισθησίας αποτελεί και φυσικό παράγοντα, μιας και τα μεγέθη που εκτιμούμε σε ένα τοπογραφικό, υδρολογικό και υδραυλικό μοντέλο είναι πάντα τα μέσα.



16. Σχόλια και Συμπεράσματα

- Ο ντετερμινισμός και η τυχαιότητα συνυπάρχουν, και διαχωρίζονται από τον χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης μέσα σε κάποιο περιθώριο λάθους (σε μικρότερα όρια λάθους το σύστημα θεωρείται προβλέψιμο, ενώ για μεγαλύτερα σφάλματα απρόβλεπτο, δηλαδή, αβέβαιο).
- Για την εκτίμηση της αβεβαιότητας φυσικών διεργασιών της πλημμύρας (π.χ., βροχή και απορροή), απαιτείται ένα στοχαστικό θεωρητικό πλαίσιο και η ανάλυση πολλαπλών χρονοσειρών σε παγκόσμια κλίμακα.
- Από την ανάλυση στοχαστικών ομοιοτήτων, προκύπτει πως η βροχή (απορροή) έχει τη μικρότερο (μεγαλύτερο) χρονικό ορίζοντα πρόβλεψης, καθώς και το μεγαλύτερο (μικρότερο) σφάλμα αυτής, σε σχέση με τις βασικές διεργασίες του υδρολογικού κύκλου.
- Για την εκτίμηση της επίδρασης των μοντέλων πλημμύρας (σχήμα και παράμετροι εισόδου) στην αβεβαιότητα του πλημμυρικού όγκου, εφαρμόζεται μια ανάλυση ευαισθησίας, που καταλήγει σε πιθανοτικό πλημμυρικό χάρτη.
- Από την ανάλυση ευαισθησίας προκύπτει πως μεγάλη επίδραση στην αβεβαιότητα του πλημμυρικού όγκου, έχουν η τραχύτητα και η παροχή, και μετέπειτα, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, όπως κλίση και διακριτόποίηση.

17. Αναφορές

- Dimitriadis, P., Hurst-Kolmogorov dynamics in hydroclimatic processes and in the microscale of turbulence, PhD thesis, Department of Water Resources and Environmental Engineering – National Technical University of Athens, 2017.
- Dimitriadis, P., D. Koutsoyiannis, and K. Tzouka, Predictability in dice motion: how does it differ from hydrometeorological processes?, *Hydrological Sciences Journal*, 61 (9), 1611–1622, doi:10.1080/02626667.2015.1034128, 2016a.
- Dimitriadis, P., A. Tegos, A. Oikonomou, V. Pagana, A. Koukouvinos, N. Mamassis, D. Koutsoyiannis, and A. Efstratiadis, Comparative evaluation of 1D and quasi-2D hydraulic models based on benchmark and real-world applications for uncertainty assessment in flood mapping, *Journal of Hydrology*, 534, 478–492, doi:10.1016/j.jhydrol.2016.01.020, 2016b.
- Dimitriadis, P., A. Tegos, A. Petsiou, V. Pagana, I. Apostolopoulos, E. Vassilopoulos, M. Gini, A. D. Koussis, N. Mamassis, D. Koutsoyiannis, and P. Papanicolaou, Flood Directive implementation in Greece: Experiences and future improvements, 10th World Congress on Water Resources and Environment "Panta Rhei", Athens, European Water Resources Association, 2017.
- Dimitriadis, P., D. Koutsoyiannis, T. Iliopoulou, and P. Papanicolaou, A global-scale investigation of stochastic similarities in marginal distribution and dependence structure of key hydrological-cycle processes, *Hydrology*, 8 (2), 59, doi:10.3390/hydrology8020059, 2021.
- Dimitriadis, P., T. Iliopoulou, and D. Koutsoyiannis, Theoretical framework for the stochastic synthesis of the variability of global-scale key hydrological-cycle processes and estimation of their predictability limits under long-range dependence, *IAHS 100th Anniversary – 11th IAHS-AISH Scientific Assembly 2022*, Montpellier, France, IAHS2022-610, International Association of Hydrological Sciences, 2022.
- Hurst, H.E., Long term storage capacities of reservoirs, *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 116, 776–808, 1951.
- Kolmogorov, A.N., Wiener Spirals and Some Other Interesting Curves in a Hilbert Space, 1940, *Selected Works of Mathematics and Mechanics*, Kolmogorov, A.N., Tikhomirov, V.M., Eds.; Kluwer: Dordrecht, The Netherlands, pp. 303–307, 1991.
- Koutsoyiannis, D., A random walk on water, *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 585–601, doi:10.5194/hess-14-585-2010, 2010.
- Koutsoyiannis, D., Generic and parsimonious stochastic modelling for hydrology and beyond, *Hydrological Sciences Journal*, 61 (2), 225–244, doi:10.1080/02626667.2015.1016950, 2016.
- Koutsoyiannis, D., *Stochastics of Hydroclimatic Extremes - A Cool Look at Risk*, Edition 2, ISBN: 978-618-85370-0-2, 346 pages, doi:10.57713/kallipos-1, Kallipos Open Academic Editions, Athens, 2022.
- Koutsoyiannis, D., and P. Dimitriadis, Towards generic simulation for demanding stochastic processes, *Sci*, 3, 34, doi:10.3390/sci3030034, 2021.
- Lorenz, E.N., Deterministic nonperiodic flow, *J. Atmospheric Sci.*, 20, 130–141, 1963.
- Poincare, H., *The Three-body Problem and the Equations of Dynamics (Astrophysics and Space Science Library, 443)*, Springer, Cham, 2017 (Poincare's foundational work on dynamical systems theory, Translated from the 1890 French original and with a preface by Bruce D. Popp.).