

# TECHNICAL REPORT

Case Study για Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης  
στιγμιαίων πλημμυρών στην έρημη περιοχή της  
Αιγύπτου.

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Νικόλαος Γκολιόπουλος

8<sup>ο</sup> Εξάμηνο

CV14004

Επιβλέπων: Ε. Μπαλτάς

**ΘΕΜΑ: Σύνταξη τεχνικού κειμένου για την παρουσίαση ενός case study σχετικού με Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης για τον κίνδυνο Πλημμύρας.**

## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή στο θέμα .....	2
2. Περιοχή εφαρμογής .....	3
3. Μεθοδολογικό πλαίσιο EWS και δεδομένα .....	3
3.1 Πρόγνωση Βροχοπτώσεων .....	4
3.1.1 Αριθμητική Πρόγνωση Πλημμυρών για τη Λειτουργική Πρόγνωση Πλημμυρών .....	4
3.1.2 Δορυφορική Εκτίμηση κατακρημνίσεων: Ανάλυση ιστορικών flash floods .....	4
3.2 Υδρολογικό και Υδραυλικό Μοντέλο .....	5
3.3 Διήθηση και Απώλειες Μεταφοράς .....	5
3.4 Σύστημα Ειδοποιήσεων .....	6
3.5 Επικοινωνία και Λήψη Αποφάσεων .....	6
4. Αποτελέσματα – Παραδείγματα εφαρμογής .....	7
4.1 Προκλήσεις για Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης flash flood σε ξηρές περιοχές .....	7
4.2 Αντιστοιχία μεταξύ δεδομένων βροχόπτωσης και flash flood γεγονότων .....	7
4.3 Πρόγνωση απορροής και παροχής εξόδου .....	8
5. Σύνοψη – Συμπεράσματα .....	9
6. Αναφορές .....	9

## 1. Εισαγωγή στο θέμα

Η υπό μελέτη εργασία “An Early Warning System for Flash Floods in hyper-arid Egypt” από τον J. Cools et. al, πραγματεύεται το θέμα της δημιουργίας ενός Συστήματος Έγκαιρης Πρόβλεψης για flash floods (στιγμαϊές πλημμύρες) στην κοιλάδα Watir της χερσονήσου του Σινά, στο ξηρό τμήμα της Αιγύπτου. Στόχος της εργασίας είναι να δείξει ότι η δημιουργία ενός τέτοιου συστήματος δεν είναι αδύνατη ακόμα και σε περιοχές με μεγάλες επιστημονικές αβεβαιότητες και περιορισμένα δεδομένα.

Πιο συγκεκριμένα, οι flash floods σε ορεινές κεκλιμένες περιοχές είναι καταστροφικά φαινόμενα που μπορεί να δημιουργηθούν κατά τη διάρκειά ή λίγο μετά από έντονες βροχοπτώσεις (Lin, 1999; Wheather, 2002). Όπως έχουν δείξει οι Michaud και Sorooshian (1994), τα απλά μοντέλα λειτουργούν εξίσου καλά ή ακόμα καλύτερα από τα περίπλοκα. Επιπλέον, όπως αναφέρουν οι Pilgrim et al. (1988), Gheith and Sultan (2002), Foody et al. (2004), Morin (2006) and Bahat et al. (2009), οι σημαντικότερες διαδικασίες σε ξηρές λεκάνες απορροής είναι η διήθηση, η διόδευση και οι απώλειες στη μεταφορά.

Μια αποτελεσματική μέθοδος για μείωση του ρίσκου των flash floods είναι η δημιουργία ενός Συστήματος Έγκαιρης Πρόγνωσης. Στις περιοχές με ελλιπή διαθέσιμα δεδομένα υπάρχει περιορισμένη κατανόηση της δυναμικής των flash floods που οδηγεί σε δυσκολία διαμόρφωσης υδρολογικών και υδραυλικών μοντέλων. Ακόμη, σε ξηρές περιοχές, δεν είναι δυνατή η χρήση υδρολογικών μοντέλων που έχουν παραχθεί για περιοχές με υψηλότερη υγρασία και η μέτρηση των δεδομένων είναι δύσκολη από τη στιγμή που οι flash floods δημιουργούνται σε μικρό διάστημα και έχουν καταστροφικές και απρόβλεπτες συνέπειες. Γι' αυτό άλλωστε είναι και δύσκολο να προβλεφθούν οι συνέπειές τους.



Εικόνα 1: Κοιλάδα Watir στη χερσόνησο του Σινά

Ένα λειτουργικό Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης κάνει προβλέψεις με τις οποίες λειτουργεί. Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης, το σύστημα έχει αναπτυχθεί υπό το πρόγραμμα LIFE με Ευρωπαϊκή χρηματοδότηση και στη συνέχεια θα περιγραφεί ο τρόπος που ορισμένα τυπικά προβλήματα που συναντώνται σε ξηρές περιοχές έχουν ξεπεραστεί και μερικές προκλήσεις με στόχο την περαιτέρω βελτίωση του Συστήματος.

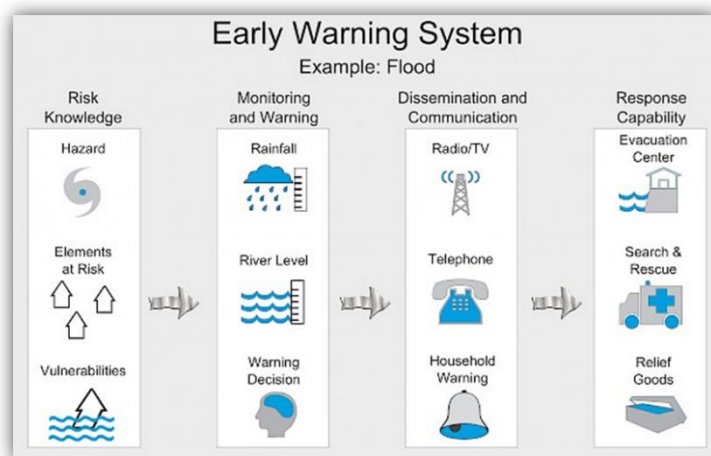
## 2. Περιοχή εφαρμογής

Η κοιλάδα Watir βρίσκεται στο νότιο τμήμα της χερσονήσου του Σινά και είναι από τα πιο ενεργά ποτάμια στην περιοχή εξαιτίας των flash floods. Η κοιλάδα απορρέει στον κόλπο Aqaba, στην Ερυθρά Θάλασσα και το δέλτα του ποταμού έχει συνολική έκταση 40 km<sup>2</sup>. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι 35mm/yr. Στην περιοχή υπάρχουν βροχές από τον Σεπτέμβριο μέχρι το Μάιο κάθε έτους. Το βασικό μέρος της λεκάνης απορροής και των μεγάλων πρηνών αποτελείται από αδιαπέρατους βράχους, πράγμα που συντελεί στην μείωση του χρόνου απορροής και των διηθήσεων και αυξάνει τον πλημμυρικό κίνδυνο. Αντίθετα, η κοίτη του ποταμού αποτελείται από χονδρόκοκκη άμμο και χαλίκι μεταβάλλεται εύκολα.

Η κατανόηση της προέλευσης των περισσότερων βροχοπτώσεων στη χερσόνησο του Σινά δείχνει ότι οι περισσότερες είναι τοπικές με μεγάλη χωρική μεταβλητότητα και μικρή διάρκεια κυρίως στις κορυφές των όρων γύρω από την Ερυθρά Θάλασσα.

## 3. Μεθοδολογικό πλαίσιο EWS και δεδομένα

Το Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης περιλαμβάνει ένα πλήθος από διαφορετικά στοιχεία που συνδέονται με μια αυτόματη πλατφόρμα. Σημαντικότερο στοιχείο είναι η πρόγνωση των



Εικόνα 2: Το μεθοδολογικό πλαίσιο ενός EWS

βροχοπτώσεων, τα δεδομένα των οποίων διαμερισματοποιούνται στις λεκάνες απορροής και χρησιμοποιούνται ως στοιχεία εισόδου στο μοντέλο βροχόπτωσης-απορροής. Η διόδευση της πλημμύρας μπορεί να γίνει και με άλλο υδραυλικό

σύστημα και τελικά το Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης στέλνει ειδοποίηση ανάλογα με τα κατώτατα όρια κινδύνου που έχει ορίσει ο χρήστης του.

Η ειδοποίηση θα προωθηθεί πρώτα σε έναν χειριστή για να απορριφθούν πιθανοί λάθος υπολογισμοί και στη συνέχεια αν υπάρχει κίνδυνος θα ειδοποιηθούν οι υπεύθυνοι για να λάβουν αποφάσεις έτσι ώστε να έχουν χρόνο να λάβουν δράση για την αποφυγή καταστροφών. Η αποτελεσματικότητα της επικοινωνίας και της λήψης αποφάσεων βρίσκεται ακόμα υπό διερεύνηση.

### 3.1 Πρόγνωση Βροχοπτώσεων

#### 3.1.1 Αριθμητική Πρόγνωση Πλημμυρών για τη Λειτουργική Πρόγνωση Πλημμυρών

Η αριθμητική μέθοδος πρόγνωσης χρησιμοποιείται ως εργαλείο χρησιμοποιώντας το Weather Research and Forecasting model (WRF, Skamarock et al., 2008). Το RFF είναι ένα μοντέλο για περιορισμένη επιφάνεια που αντλεί αρχικές και τελικές συνθήκες από το Global Forecast System (GFS). Το GFS τρέχει 4 φορές τη μέρα και παράγει προγνώσεις για 16 ημέρες. Βασισμένο σε αυτές τις προγνώσεις το WRF δημιουργεί ένα χωρικό πλέγμα με ωριαίο βήμα σε 2 κλίμακες:

α) Για όλη την Αίγυπτο με ανάλυση 30 χιλιόμετρα.

β) Για την κοιλάδα Watir με ανάλυση 3 χιλιόμετρα.

Η αξία της πρόγνωσης πλημμυρών με υψηλή ανάλυση ωστόσο, είναι περιορισμένη λαμβάνοντας υπόψιν ότι το σύστημα βροχόπτωσης-απορροής υπολογίζει τους μέσους όρους της βροχόπτωσης των υπολεκανών απορροής.

#### 3.1.2 Δορυφορική Εκτίμηση κατακρημνίσεων: Ανάλυση ιστορικών flash floods

Η δορυφορική εκτίμηση κατακρημνίσεων δεν είναι ακόμη απευθείας διαθέσιμα για Συστήματα Έγκαιρης Πρόγνωσης λόγω της καθυστέρησης μεταξύ της απόκτησης και της αποστολής των φωτογραφιών και επειδή θεωρούνται παρατηρήσεις και όχι προγνώσεις. Ωστόσο, η δορυφορική εκτίμηση συνέβαλλε σημαντικά στην ανάπτυξη και δοκιμασία των Συστημάτων Έγκαιρης Πρόγνωσης. Πιο συγκεκριμένα, ο χρόνος, η ακριβής διάρκεια και το εύρος των πλημμυρών δεν ήταν ξεκάθαρα από τις μετρήσεις και χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία από το Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) και το Global Precipitation Climatology Center (GPCC) για την περίοδο 1987-2010.

### 3.2 Υδρολογικό και Υδραυλικό Μοντέλο

Για να μοντελοποιηθούν τα υδρολογικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης ξηρής περιοχής, αναπτύχθηκε ένα συμβάν βροχόπτωσης-απορροής. Οι αρχικές απώλειες μοντελοποιούνται μέσω μιας εννοιολογικής δεξαμενής η οποία είναι συνεχώς εξαντλημένη λόγω εξάτμισης. Οι διάφορες απώλειες που πραγματοποιούνται στη λεκάνη απορροής εκτιμώνται με επιστημονικές ή εμπειρικές μεθόδους. Μια λεπτομερής περιγραφή του μοντέλου βροχόπτωσης-απορροής είναι διαθέσιμη στο Abdelkhalek (2011).

Το online σύστημα βροχόπτωσης-απορροής υπερτερεί από το offline διότι αφενός έχει αυτόματες διαδρομές μετατροπής των ράστερ εικόνων της βροχόπτωσης σε βροχοπτώσεις των υπολεκάνων και αφετέρου τα αρχεία εξόδου έχουν σφραγίδες πραγματικού χρόνου.

Η διόδευση της πλημμύρας γίνεται με τη μέθοδο Muskingum (Chow et al., 1988), η οποία εφαρμόζεται με το υδραυλικό software package "InfoWorks-RS". Η λεκάνη διαιρείται σε 48 υπολεκάνες απορροής. Η χρήση της μεθόδου αυτής γίνεται καθώς τα κλασικά υδροδυναμικά μοντέλα διόδευσης δεν μπορούν να λειτουργήσουν αποτελεσματικά για μεγάλες έως πολύ μεγάλες κλίσεις που συναντώνται στην περιοχή. Έτσι χρησιμοποιείται η Muskingum με έναν συντελεστή που αφορά τη μεταφορά του νερού.

### 3.3 Διήθηση και Απώλειες Μεταφοράς

Στα μοντέλα λεκάνης που παρουσιάζονται σε αυτή την εργασία, οι πιο σημαντικές παράμετροι βαθμονόμησης είναι αυτές που αφορούν τη διήθηση και τις απώλειες μεταφοράς.

Η λεκάνη αποτελείται από δύο είδη εδάφους, τους αδιαπέρατους βράχους και τα διαπερατά τμήματα από άμμο και χαλίκι. Οι δείκτες διήθησης των διαπερατών τμημάτων είναι διαθέσιμοι από εργαστηριακούς ελέγχους διήθησης και κυμαίνονται από 0,66 μέχρι 72mm/min. Έτσι, λαμβάνοντας υπόψιν την ότι το μοντέλο δε μπορεί να συνυπολογίσει την υδρολογική ετερογένεια, θεωρείται μια αρχική διήθηση 2 mm και ένας τελικός ρυθμός διήθησης 2mm/min. Η διήθηση σε αδιαπέρατους βράχους οφείλεται κυρίως μεγάλες ρωγμές που μπορούν να διηθήσουν μεγάλες ποσότητες νερού αλλά δε μπορούν να μελετηθούν λεπτομερώς και η αντιμετώπισή τους γίνεται με την προσθήκη μειωτικού συντελεστή 0,8 στο μοντέλο.

Τέλος, στο μοντέλο διάδευσης, οι απώλειες μεταφοράς συνυπολογίζονται με εμπειρικούς συντελεστές και συγκεκριμένα θεωρούνται 20% της συνολικής ροής.

### 3.4 Σύστημα Ειδοποιήσεων

Το Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης στέλνει ειδοποιήσεις κάθε φορά που τα κατώτατα όρια υπερβαίνονται. Τα κατώτατα όρια μπορεί να ορισθούν για τη βροχόπτωση, την απορροή, τη παροχή εξόδου του νερού και μπορούν να σταλούν για κάθε στοιχείο της αλυσίδας που αποτελεί το σύστημα. Για κάθε περίπτωση ορίζονται 3 κατώτατα όρια. Το πρώτο όριο (Start) περιλαμβάνει την αρχή της βροχής, της απορροής ή της παροχής εξόδου, ή την παρουσία νερού στις δεξαμενές. Το δεύτερο όριο (Warning) περιλαμβάνει την πιθανότητα κάποιας επικίνδυνης πλημμύρας και τέλος, το τρίτο όριο (Alert) περιλαμβάνει την υψηλή πιθανότητα επικίνδυνων πλημμυρών. Στο σύστημα της μελέτης έχει τοποθετηθεί μόνο όριο για τη βροχόπτωση και σύμφωνα με την τοπική εμπειρία των flash floods, υπάρχει ειδοποίηση warning όταν η σωρευτική βροχόπτωση 6 ωρών υπερβεί τα 10 mm και alert όταν υπερβεί τα 15 mm. Το σύστημα παράγει προβλέψεις για χρονικό ορίζοντα 24 ωρών και με δεδομένο ότι μια αποτελεσματική αντιμετώπιση χρειάζεται 2 ώρες, ικανοποιούνται οι χρονικές απαιτήσεις. Στην πράξη ωστόσο, συχνά υπάρχουν ατέλειες λόγω τεχνικών προβλημάτων ή προβλημάτων χειρισμού, που προκαλούν δυσλειτουργία στην ικανοποίηση των χρονικών περιθωρίων του συστήματος.

### 3.5 Επικοινωνία και Λήψη Αποφάσεων

Πολύ σημαντικά για τη λειτουργία του Συστήματος Έγκαιρης Πρόγνωσης είναι τα βήματα που χρειάζονται μεταξύ της αποστολής της ειδοποίησης και της εφαρμογής δράσεων. Μέτρα μπορούν να ληφθούν πριν, κατά τη διάρκεια αλλά και μετά από μία flash flood.

Η διαδικασία που ακολουθούν οι χρήστες είναι να στέλνουν τις καθημερινές προγνώσεις στους κυβερνήτες της Αιγύπτου με την απαραίτητη επισήμανση αφού πρώτα έχουν ελέγξει την εγκυρότητα των ειδοποιήσεων του συστήματος. Για Alert ειδοποιήσεις, ο χειριστής ενημερώνει τηλεφωνικά και τους κυβερνήτες της χερσονήσου του Σινά. Αποφάσεις για δράση λαμβάνονται από τους κυβερνήτες της χερσονήσου και μεταφέρονται στους δήμους για να εφαρμοστούν από τις τεχνικές υπηρεσίες και τους κατοίκους.

#### 4. Αποτελέσματα – Παραδείγματα εφαρμογής

##### 4.1 Προκλήσεις για Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης flash flood σε ξηρές περιοχές



Εικόνα 3: Καταστροφές στην κοιλάδα Watir λόγω flash flood

Πολλές προκλήσεις υπάρχουν και τη δημιουργία τέτοιων συστημάτων σε ξηρές περιοχές. Βασικές τεχνικές προκλήσεις σχετίζονται με ασυνέχειες στα υπάρχοντα δεδομένα, περιορισμένες λεπτομέρειες αλλά και ασύμβατα δεδομένα μεταξύ μετρήσεων βροχόπτωσης και πλημμυρικών φαινομένων. Επίσης,

υπάρχουν μόνο εκτιμήσεις σχετικά με την στάθμη του νερού στις πλημμύρες.

Από κοινωνικής άποψης, υπάρχει δυσκολία στην επικοινωνία των Αιγυπτίων αξιωματούχων και των κατοίκων της περιοχής και στο παρελθόν έχουν σημειωθεί καταστροφές λόγω της δυσπιστίας των κατοίκων και της αίσθησης ότι κινδυνεύει η ιδιοκτησία τους.

Τέλος, η ανάγκη δημιουργίας αξιόπιστης ροής πληροφοριών μεταξύ των υπευθύνων για τις αποφάσεις και των υπόλοιπων ενδιαφερόμενων αποφασίστηκε να χρησιμοποιούνται μόνο οι προγνώσεις των βροχοπτώσεων για την αποστολή επίσημων ειδοποιήσεων.

##### 4.2 Αντιστοιχία μεταξύ δεδομένων βροχόπτωσης και flash flood γεγονότων

Μία ανάλυση παρατηρήσεων που σχετίζονται τόσο με τα δεδομένα των βροχοπτώσεων, όσο και με τις παρατηρήσεις των flash floods φανερώνει έλλειψη αντιστοιχίας μεταξύ των δύο. Ωστόσο, πίσω από τις πολύ μεγάλες πλημμύρες βρίσκονται πράγματι ευρείες περιφερειακές

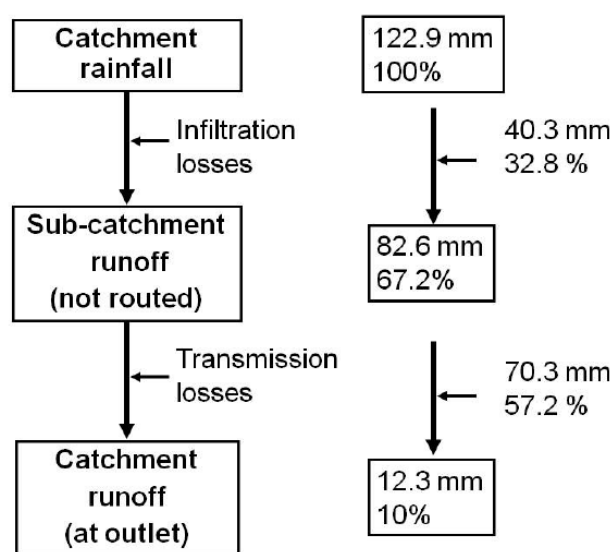


βροχοπτώσεις. Βέβαια, δεν κατέληξαν όλα τα σημαντικά φαινόμενα βροχοπτώσεων σε πλημμύρες, και ειδικότερα 5 σημαντικές βροχοπτώσεις μεταξύ 1990 και 1996.

Για να αποκτήσουμε μια καλύτερη χωρική και χρονική εικόνα των πλημμυρών, τα επιτόπια δεδομένα συγκρίθηκαν με βροχοπτώσεις από δορυφορικές μετρήσεις αλλά και από το WRF και προέκυψε ότι το τελευταίο έχει καλύτερα δεδομένα για σημαντικά γεγονότα πλημμυρών.

Ακόμη, η ασυνέπεια ορισμένων επιτόπιων δεδομένων οφείλεται σε πολύ τοπικές βροχοπτώσεις που κάποιες φορές προκάλεσαν τις πλημμύρες, καθώς και στις μεγάλες διηθήσεις που παρατηρούνται κάποιες φορές στην κοιλάδα. Άλλοι λόγοι μπορεί να είναι ο χειρισμός της καταγραφής των flash flood και η δυσκολία επιτόπιας καταγραφής της κοιλάδας όταν πλημμυρίζει, ειδικά στα ξηρά σημεία.

#### 4.3 Πρόγνωση απορροής και παροχής εξόδου



Εικόνα 4: Μοντελοποίηση Διήθησης και Απωλειών μετάδοσης στην πλημμύρα του 2010.

Η προσομοίωση της απορροής και της παροχής εξόδου των ιδιαίτερα ερημικών περιοχών, όπως η κοιλάδα Watir είναι πολύ δύσκολη και αβέβαιη εξαιτίας των περιορισμένων δεδομένων και της ελλιπούς κατανόησης των φαινομένων της μεταφοράς και διήθησης των υδάτων.

Έτσι, λόγω της απουσίας μετρήσεων απορροής και παροχής εξόδου, το μοντέλο βαθμονομήθηκε με βάση το μέγιστο βάθος στην έξοδο της λεκάνης που παρατηρήθηκε τον Ιανουάριο του 2010. Παρά τις αβεβαιότητες, η πρόγνωση της πλημμύρας του 2010 είναι ικανοποιητικής ποιότητας και ανταποκρίνεται στο παρατηρούμενο μέγιστο βάθος και τη διάρκεια.

## 5. Σύνοψη – Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε ένα Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης για flash floods στη χερσόνησο του Σινά στην Αίγυπτο, μία ιδιαίτερα ξηρή περιοχή με περιορισμένη διαθεσιμότητα δεδομένων πεδίου, περιορισμένη κατανόηση της κοιλιάδας στη βροχόπτωση και ελλιπή αντιστοιχία μεταξύ των δεδομένων της βροχόπτωσης και των παρατηρούμενων flash floods. Φαίνεται μέσα από την εργασία ότι η ανάπτυξη ενός Συστήματος Έγκαιρης Πρόγνωσης δεν είναι ακατόρθωτη ακόμα κι αν συνοδεύεται από σημαντικές τεχνικές και επιστημονικές δυσκολίες και περιορισμένα δεδομένα. Το Σύστημα είναι λειτουργικό και στέλνει ειδοποιήσεις, όπως συνέβη άλλωστε στις μεγάλες βροχοπτώσεις του 2008 και 2010, με βάση τις οποίες οι Αιγυπτιακές αρχές έχουν τη δυνατότητα να λάβουν δράση.

Η WRF αποδείχτηκε ότι είναι ένα αποδεκτό εργαλείο για πρόγνωση βροχοπτώσεων σε ξηρές περιοχές, τόσο για τοπικά συμβάντα βροχοπτώσεων όσο και για ευρύτερα. Τα αποτελέσματα της πλημμύρας του 2010 δείχνουν ότι το 90% της συνολικής βροχόπτωσης χάθηκε σε διηθήσεις ή μεταφορά υδάτων. Επίσης, για ένα λειτουργικό Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης χρειάζεται να συλλεχθούν περισσότερα δεδομένα σχετικά με την εγκυρότητα των κατώτατων ορίων που παράγουν ειδοποιήσεις. Στην περίπτωση της περιοχής μελέτης χρησιμοποιήθηκαν εμπειρικά δεδομένα για τον ορισμό των κατώτατων ορίων και δείχνουν να λειτουργούν παρότι δεν έχουν ελεγχθεί στατιστικά.

Τέλος, ένα Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης τίθεται αποτελεσματικό μόνο εν μέρει από την τεχνολογική του απόδοση. Είναι εξίσου σημαντικό να υπάρχει εκπαιδευμένο προσωπικό που το λειτουργεί αλλά και αποτελεσματικοί δίαυλοι επικοινωνίας ώστε να αποφεύγονται οι κίνδυνοι σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης. Η βασική πρόκληση για να διατηρηθεί ένα Σύστημα Έγκαιρης Προειδοποίησης λειτουργικό αναμένεται να λυθεί με την στενή αλληλεπίδραση των χειριστών με τους υπεύθυνους για τις αποφάσεις και την τεχνική βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος.

## 6. Αναφορές

Abdelkhalek, A.: Development of an early warning system for flash floods in wadi Watir – Sinai desert, PhD thesis at the Vrije Universiteit Brussel (VUB), Brussels, Belgium, 2011.

Bahat, Y., Grodek, T., Lekach, J., and Morin, E.: Rainfall-runoff modeling in a small hyper-arid catchment, J. Hydrol., 373, 204– 217, 2009.

Chow, V., Maidment, R., and Mays, L.: Applied Hydrology, McGraw-Hill, 1988.

Foody, G. M., Ghoneim, E. M., and Arnell, N. W.: Predicting locations sensitive to flash flooding in an arid environment, J. Hydrol., 292, 48–58, 2004.

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Gheith, H. and Sultan, M.: Construction of a hydrologic model for estimating Wadi runoff and groundwater recharge in the Eastern Desert, Egypt, *J. Hydrol.*, 263, 36–55, 2002.

Lin, X.: Flash floods in arid and semi-arid zones, UNESCO, Paris, 65 pp., 1999.

Michaud, J. D. and Sorooshian, S.: Comparison of simple versus complex distributed runoff models on a mid-sized semi-arid watershed, *Water Resour. Res.*, 30, 593–605, 1994.

Morin, E., Jacoby, Y., Navon, S., and Bet-Halachmi, E. B.: Towards flash-flood prediction in the dry Dead Sea region utilizing radar rainfall information, *Adv. Water Res.*, 32, 1066–1076, 2009.

Pilgrim, D. H., Chapman, T. G., and Doran, D. G.: Problems of rainfall–runoff modelling in arid and semiarid regions, *Hydrol. Sci. J.*, 33, 379–400, 1988.

Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D.

Wallingford Software: InfoWorks-RS version 9.0, Wallingford, UK, 2008.