

ΝΟΜΑΡΧΙΑΚΗ ΑΥΤΟΔΙΟΙΚΗΣΗ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ
ΤΗΣ ΠΥΡΚΑΪΑΣ ΤΟΥ 1995
ΣΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΗΣ
ΤΟΥ ΜΕΓΑΛΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ



Δρ Κοτρωνάρον Α., Δρ Καϊμάκη Σ. και συνεργάτες.

ΟΡΦΕΩΣ 35, ΤΚ 145 62

τηλ. 8013593, φαξ. 8082729

Σύμβουλος: Δ. Κουτσογιάννης, Επικ. Καθ. ΕΜΠ

ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 1996

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

1.1 Εισαγωγή - Ιστορικό

1.2 Προσέγγιση μελέτης

1.3 Ομάδα μελέτης

2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Γενικά

2.2 Κλιματικά στοιχεία - βροχοπτώσεις

2.3 Υδρολογικά χαρακτηριστικά

2.4 Γεωλογικά χαρακτηριστικά

2.5 Καμένη περιοχή

2.5.1 Έκταση περιοχής που επηρεάστηκε από την πυρκαϊά

2.5.2 Δραστηριότητες στη λεκάνη μετά την πυρκαϊά -

Σημερινή κατάσταση καμένης έκτασης

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΟ-ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ - ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΥΡΚΑΪΑΣ

3.1 Το φαινόμενο της διάβρωσης εδαφών

3.2 Το φαινόμενο της στερεομεταφοράς

3.3 Η επίδραση των πυρκαϊών στη διάβρωση του εδάφους

3.3.1 Γενικά

3.3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την διάβρωση μετά την πυρκαϊά

3.3.3 Μετρήσεις διάβρωσης μετά από πυρκαϊά, σε διάφορες χώρες

3.3.4 Αποκατάσταση ισορροπίας της διάβρωσης του εδάφους μίας λεκάνης μετά από πυρκαϊά

4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΤΕΡΕΟΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΕΓΑΛΟΥ ΡΕΜΑΤΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ

4.1 Γενικά

4.2 Εκτίμηση στερεοαπορροής με χρήση μαθηματικού μοντέλου

4.2.1 Μοντέλο SEDIMOT-II

4.2.2 Εφαρμογή μοντέλου στην λεκάνη απορροής Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας

4.2.3 Στερεοαπορροή πριν από την πυρκαϊά

4.2.4 Στερεοαπορροή ένα χρόνο μετά την πυρκαϊά

4.3 Εκτίμηση στερεοαπορροής με χρήση εμπειρικών σχέσεων

4.3.1 Εκτίμηση στερεοαπορροής με βάση την Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (USLE), χωρίς την χρήση υδρολογικού μοντέλου

4.3.2 Εκτίμηση στερεοαπορροής με βάση την εμπειρική σχέση Κουτσογιάννη - Ταρλά

4.3.3 Εκτίμηση στερεοαπορροής με βάση την εμπειρική σχέση/παραδοχές Ψιλοβίκου

4.4 Συγκεντρωτική παρουσίαση

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

I. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

II. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

III. ΤΥΠΙΚΟ ΑΡΧΕΙΟ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

IV. ΧΑΡΤΕΣ

1. ΣΤΟΧΟΣ ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

1.1 Εισαγωγή - Ιστορικό

Το Μέγα Ρέμα Ραφήνας αποτελεί ένα εκ των δύο σημαντικότερων χειμάρρων της περιοχής των Μεσογείων. Η λεκάνη απορροής του Ρέματος εκτείνεται σε συνολική έκταση 134.000 στρεμμάτων, το 25% περίπου της οποίας καταλαμβάνεται από δασικές εκτάσεις.

Τον Ιούλιο του 1995 κάηκε το 35% περίπου της συνολικής έκτασης της λεκάνης (47.000 στρέματα) και κυρίως το ορεινό και δασωμένο τμήμα της. Στην “καμένη” όμως αυτή έκταση διεσώθησαν αρκετοί μεμονωμένοι θύλακες βλάστησης στις δασικές περιοχές και το σύνολο σχεδόν των κατοικημένων περιοχών.

Μετά το γεγονός αυτό, παραιρήθηκε αύξηση της ποσότητας των φερτών υλών του Ρέματος, κατά τη διάρκεια μεγάλων καταιγίδων που εμφανίστηκαν τους πρώτους μήνες μετά την πυρκαϊά. Επειδή έχουν ήδη αρχίσει εργασίες επέκτασης του λιμανιού της Ραφήνας, με την ολοκλήρωση των οποίων το Ρέμα θα εκβάλλει πλέον μέσα στον νέο λιμένα της Ραφήνας, είναι σημαντικό να γίνει τεκμηριωμένη εκτίμηση του σχετικά με το κατά πόσον έχει αυξηθεί η ποσότητα των φερτών υλών στο Μέγα Ρέμα λόγω της αύξησης της διάβρωσης του εδάφους της λεκάνης μετά την πυρκαϊά και για πόσο διάστημα προβλέπεται να διαρκέσει η αύξηση αυτή των μεταφερόμενων φερτών.

Η παρούσα μελέτη, παρουσιάζει τα αποτελέσματα “Προγράμματος εκτίμησης της επίδρασης της πυρκαϊάς του 1995 στην αύξηση της στερεοπαροχής του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας”, που μας ανετέθη τον Ιούνιο του 1996, από την Δ/ση Τεχνικών Υπηρεσιών της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Ανατολικής Αττικής.

1.2 Προσέγγιση μελέτης

Ο μηχανισμός διάβρωσης του εδάφους είναι ιδιαίτερα πολύπλοκος και το ειδικότερο πρόβλημα της επίδρασης της απογύμνωσης του εδάφους από την βλάστηση λόγω πυρκαϊάς στην επιφανειακή απορροή και στην μεταφορά ιλύος (φερτών) που τελικά

καταλήγει στα νερά των ποταμών ή χειμάρρων που διασχίζουν την περιοχή (στερεοαπορροή ή στερεοπαροχή, όταν αναφέρεται στον στιγμιαίο ρυθμό μεταφοράς των φερτών), είναι ιδιαίτερα σύνθετο. Αμέσως μετά την πυρκαϊά και κατά την διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων, η απορροή από το καμένο έδαφος είναι ταχεία και η δυνατότητα διήθησης της βροχής χρονικά περιορισμένη, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται ο ρυθμός διάβρωσης του εδάφους.

Η απ'ευθείας μέτρηση της στερεοαποροής στην περιοχή μελέτης θα απαιτούσε την διενέργεια μεγάλου αριθμού μετρήσεων πεδίου (επί τόπου μετρήσεων της συγκέντρωσης ιλύος στα νερά του χειμάρρου) για σημαντικό χρονικό διάστημα (μεγαλύτερο του έτους) για την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων. Ομως, η επιτυχία της προσέγγισης αυτής δεν είναι βεβαία εκ των προτέρων, αφού οι υψηλές διαβρώσεις δημιουργούνται από ιδιαίτερα έντονες βροχοπτώσεις, που είναι και οι σχετικά σπανιότερες (με μεγαλύτερη περίοδο επαναφοράς, δηλαδή αυτές που εμφανίζονται μία φορά στα δέκα ή και πενήντα χρόνια) αλλά και αυτές που δημιουργούν έντονα πλημμυρικά φαινόμενα καθιστώντας τις μετρήσεις πεδίου ιδιαίτερα δυσχερείς και ενδεχομένως ανακριβείς. Ας σημειωθεί ότι το ρέμα Ραφήνας δεν παρουσιάζει συνεχή ροή και το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου είναι ξερό.

Η μαθηματική προσομοίωση, δηλαδή η χρήση μαθηματικών ομοιωμάτων (μοντέλων) για την προσομοίωση του φυσικού φαινομένου με βάση την θεωρητική ανάλυση των φυσικών μηχανισμών και χρήση συντελεστών/παραμέτρων που έχουν προκύψει από εργαστηριακά ή πραγματικά δεδομένα, τα οποία έχουν συλλεγεί από μεγάλο αριθμό περιοχών, είναι κατάλληλη για την πρόβλεψη των ακραίων συνθηκών απορροής και μεταφοράς ιλύος και είναι η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη διεθνώς. Υπάρχει μεγάλος αριθμός σχετικών μαθηματικών μοντέλων, η πλειονότητα των οποίων χρησιμοποιεί την Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (Universal Soil Loss Equation) ή κάποια παραλλαγή της. Η εξίσωση αυτή, που αναπτύχθηκε στην Αμερική και χρησιμοποιείται ευρέως εκεί (π.χ., από τις υπηρεσίες του Υπουργείου Γεωργίας - U.S Department of Agriculture- και της Υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος - Environmental Protection Agency-) αλλά και διεθνώς, έχει επαληθευτεί σε διάφορες περιοχές του κόσμου με καλά αποτελέσματα.

Εκτός από τα μαθηματικά μοντέλα, εκτιμήσεις της στερεοαπορροής μπορούν να γίνουν και με χρήση εμπειρικών στατιστικών σχέσεων, που βασίζονται σε μετρήσεις στερεοπαροχής σε διάφορες περιοχές και εκφράζουν μία συσχέτιση που παρατηρήθηκε μεταξύ της στερεοαπορροής και υδρολογικών ή άλλων παραμέτρων της λεκάνης απορροής. Τέτοιες εμπειρικές σχέσεις έχουν παραχθεί και από Έλληνες ερευνητές με βάση μετρήσεις στερεοπαροχής σε ποτάμια της Ελλάδας (Κουτσογιάννης - Ταρλά, 1987, Ψιλοβίκος, 1995).

Τέλος, ιδιαίτερη αξία για την εκτίμηση της επίδρασης της πυρκαϊών στην διάβρωση του εδάφους και στην στερεοαπορροή, έχουν τα αποτελέσματα μετρήσεων της απώλειας του εδάφους και της μεταφοράς φερτών υλών που έγιναν σε καμένες περιοχές, όπως αυτές αναφέρονται στην βιβλιογραφία. Σχετικές έρευνες έχουν γίνει κυρίως στην Αμερική και στον Καναδά, αλλά και σε Ευρωπαϊκές Μεσογειακές χώρες, όπου οι συνθήκες είναι παρόμοιες με αυτές της Ελλάδας, και συγκεκριμένα στην Ισπανία και στην Πορτογαλία.

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας:

1. Εγινε επιτόπια έρευνα της λεκάνης απορροής για την εξακρίβωση της κατάστασης στην οποία βρίσκεται σήμερα, 15 μήνες μετά την πυρκαϊά και πραγματοποίηση επί τόπου παρατηρήσεων για την συμπεριφορά της, όσον αφορά στη διάβρωση και μεταφορά φερτών υλών. Ταυτόχρονα έγινε συλλογή πληροφοριών για τα φαινόμενα που παρατηρήθηκαν κατά τις πλημμύρες αμέσως μετά την πυρκαϊά, αλλά και κατά τις πιο πρόσφατες σημαντικές βροχές.
2. Εγινε εκτεταμένη βιβλιογραφική ανασκόπηση για την συλλογή στοιχείων για την συμπεριφορά εδαφών μετά από πυρκαϊά, με ιδιαίτερη έμφαση σε στοιχεία που αφορούν στον Μεσογειακό χώρο.
3. Χρησιμοποιήθηκε μαθηματικό μοντέλο, ειδικό για την εκτίμηση στερεοαπορροής, για την εκτίμηση της στερεοπαροχής του Ρέματος πριν από την πυρκαϊά του 1995 και μετά από αυτήν.

4. Εγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων του μοντέλου με τις εκτιμήσεις στερεοαπορροής που προκύπτουν από εμπειρικές σχέσεις που έχουν δημοσιευθεί για τον Ελληνικό χώρο.

Με βάση τα παραπάνω, εξάγονται τεκμηριωμένα συμπεράσματα σχετικά με την αναμενόμενη απόκριση της λεκάνης απορροής του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας σε έντονες βροχοπτώσεις, στο άμεσο και απώτερο μέλλον και γίνεται τεκμηριωμένη εκτίμηση της συνολικής ποσότητας φερτών που θα μεταφέρονται στο λιμάνι της Ραφήνας.

1.3 Ομάδα μελέτης

Στην εκπόνηση της παρούσας συμμετείχαν οι παρακάτω επιστήμονες:

- ° Δρ. Ν. Κοτρωνάρου, Πολιτικός Μηχανικός-Περιβαλλοντολόγος, PhD
- ° Δρ. Σ. Καϊμάκη, Πολιτικός Μηχανικός-Περιβαλλοντολόγος, PhD
- ° Δρ. Γ. Μπαλούτσος, Δασολόγος, PhD
- ° Κ. Σιούλας, Περιβαλλοντολόγος

Σύμβουλοι στην εκπόνηση της μελέτης ήταν οι:

- Δ. Κουτσογιάννης, Πολιτικός Μηχανικός - Υδραυλικός, Επίκ. Καθηγητής ΕΜΠ
- Δ. Ζαρρής, Πολιτικός Μηχανικός, MSc Υδρολογίας

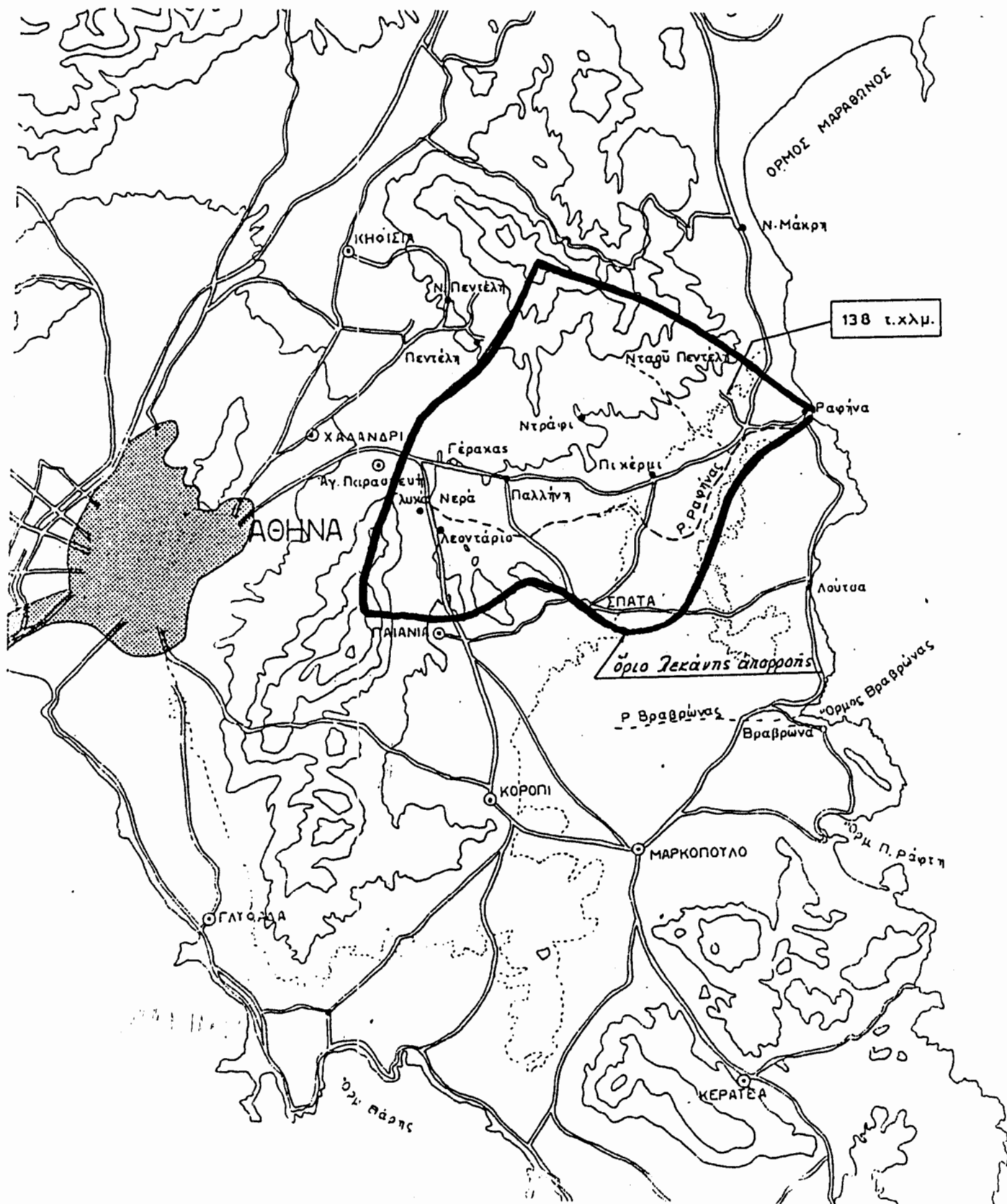
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1 Γενικά

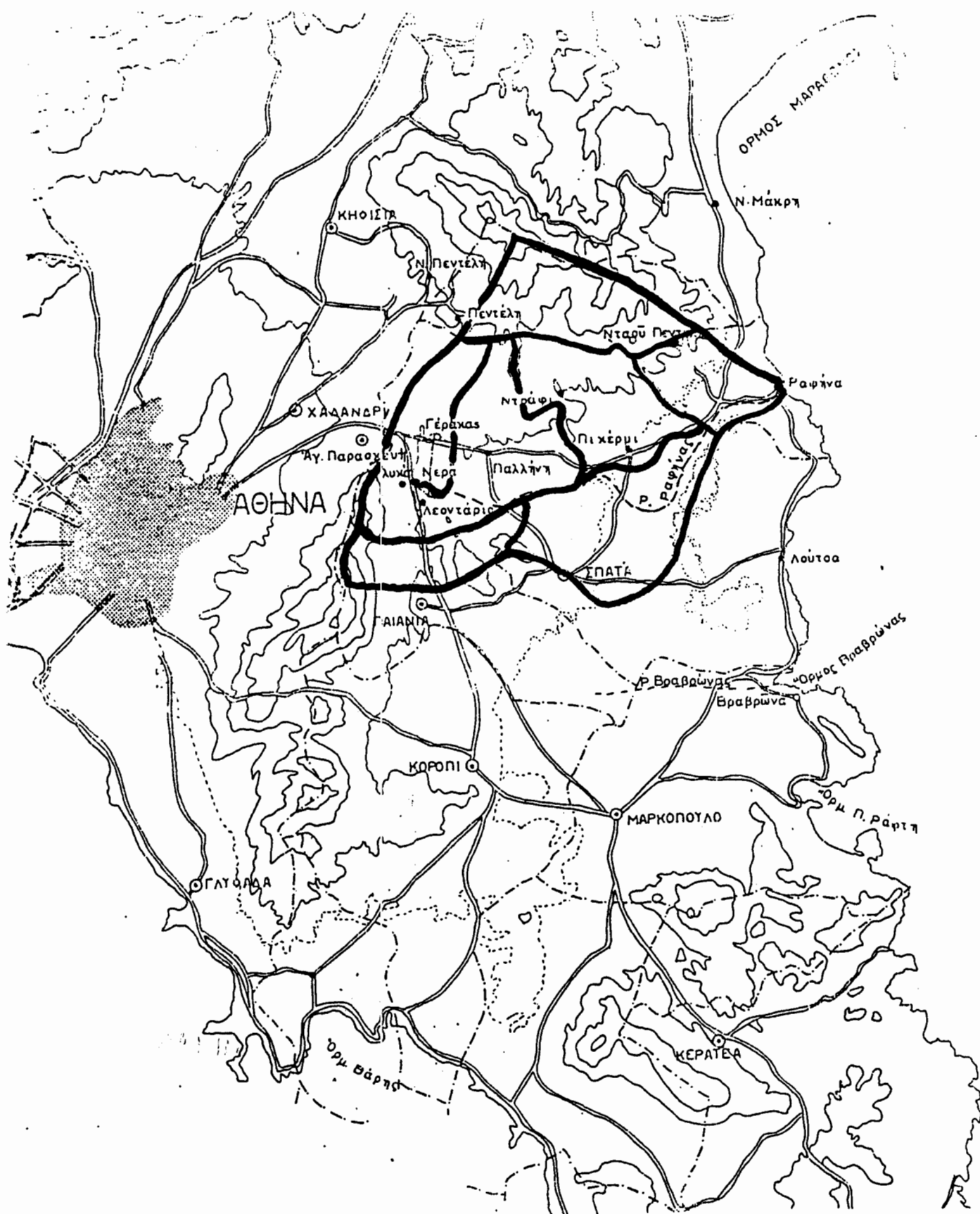
Η λεκάνη απορροής του χειμάρρου “Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας” βρίσκεται ανατολικά του λεκανοπεδίου Αθηνών (βλέπε **Σχήμα 1** και **Χάρτη 1**) και έχει έκταση 134 τετραγωνικά χιλιόμετρα ($134 \text{ km}^2 = 134.000$ στρέματα). Όπως φαίνεται και στο Σχέδιο 1, η λεκάνη συνορεύει δυτικά με τη λεκάνη απορροής του Κηφισού, νότια και νοτιοανατολικά με την λεκάνη απορροής του ρέματος Ερασίνου, βόρεια και βορειοανατολικά με την λεκάνη απορροής ρεμάτων της περιοχής Μάτι, Αγ. Ανδρέα και Νέας Μάκρης και ανατολικά με την θάλασσα.

Στην λεκάνη απορροής βρίσκονται το σύνολο των εκτάσεων του Δήμου Παλλήνης και των Κοινοτήτων Πικερμίου και Ανθούσας και τμήματα των εκτάσεων που ανήκουν στην Κοινότητα Πεντέλης και στους Δήμους Ραφήνας, Γλυκών Νερών, Παιανίας και Σπάτων. Στο **Σχήμα 2** εμφανίζονται τα όρια της λεκάνης και τα κύρια διοικητικά όρια των προαναφερομένων Δήμων και Κοινοτήτων. Ο συνολικός πληθυσμός των Δήμων και Κοινοτήτων εκτάσεις των οποίων βρίσκονται στην λεκάνη απορροής, σύμφωνα με τα στοιχεία της Εθνικής Στατιστικής Υπηρεσίας, ήταν 47.168 κάτοικοι το 1991 (βλέπε **Πίνακα 2-1**).

Στον **Πίνακα 2-2** φαίνεται συγκεντρωτικά η κατανομή της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής ανά χρήση γης, όπως προέκυψε από τον χάρτη χρήσης γης του Υπουργείου Γεωργίας (**Χάρτης 2**). Σημειώνεται ότι η περιοχή είναι γενικά αναπτυσσόμενη και μεγάλο τμήμα όλων των εκτάσεων έχει κτιστεί σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό. Έτσι ακόμα και στις εκτάσεις που εμφανίζονται στον Χάρτη 2 και στον Πίνακα 2 ως δασικές (δέσος ή αραιό δάσος και θαμνώνες) υπάρχουν διάσπαρτες πολλές κατοικίες (βλέπε **Φωτογραφία 1**), ενώ στις εκτάσεις που χαρακτηρίζονται ως γεωργικές καλλιέργειες και αραιοκατοικημένες περιοχές, κυριαρχεί πλέον το αστικό στοιχείο (βλέπε **Φωτογραφία 2**) και η καθαρά γεωργική γη έχει περιοριστεί στο ελάχιστο (βλέπε και **Αεροφωτογραφία**).



Σχήμα 1: Ευρύτερη περιοχή - Όρια λεκάνης απορροής Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας.
Κλίμακα 1:200.000. Πηγή: Μελέτη Διευθέτησας Ρέματος Ραφήνας (Γραφείο
Μαχαίρα ΕΠΕ, 1984).



Σχήμα 2: Διοικητικά όρια Δήμων και Κοινοτήτων εντός λεκάνης απορροής Μεγάλου Ρέματος Ραφίνας. Κλίμακα 1:200.000. Πηγή: Μελέτη Διευθέτησης Ρέματος Ραφίνας (Γραφείο Μτχαίρα ΕΠΕ, 1984).

Πίνακας 1-1
Πληθυσμοί Δήμων και Κοινοτήτων εκτάσεις των οποίων
βρίσκονται στην λεκάνη απορροής του Ρέματος Ραφήνας (ΕΣΥΕ, 1991)

Δήμοι, Κοινότητες, Οικισμοί	Πληθυσμός
<i>Δήμος Παιανίας</i>	
Παιανία	9.710
Αργιθέα	17
<i>Δήμος Παλλήνης</i>	
Παλλήνη	8.021
Λεοντάριο	2.887
<i>Δήμος Σπάτων</i>	
Σπάτα	6.725
Αγία Κυριακή	272
Αγιος Ιωάννης	54
Αγιος Νικόλαος	154
Αγιος Σεραφείμ	73
Βελανιδιά	32
Νεάπολη	221
Φοίνικας	168
Χριστούπολη	97
<i>Κοινότητα Ανθούσας</i>	
Ανθούσα	2.787
Γαλήνη	233
<i>Δήμος Γλυκών Νερών</i>	
Γλυκά Νερά	5.813
<i>Κοινότητα Πικερμίου</i>	
Πικέρμι	650
Δασαμάρι	9
Ντράφι	625
Παλαιός Μύλος	9
<i>Δήμος Ραφήνας</i>	
Ραφήνα	7.752
Καλλιτεχνούπολη	329
Νέος Βουτζάς	530
<i>Σύνολο</i>	<i>47.168</i>

Πίνακας 1-2
Χρήση γης λεκάνης απορροής Ρέματος Ραφήνας

Κατηγορία χρήσης γης	Συνολική έκταση (km ²)	Ποσοστό (%)
Δάσος	32,66	24.4
Αραιό δάσος και θαμνώνες	12,54	9.4
Γεωργικές καλλιέργειες και αραιοκατοικημένες περιοχές	65,65	49.0
Οικισμοί	23,15	17.2
<i>Σύνολο</i>	<i>134</i>	<i>100</i>

2.2 Κλιματικά στοιχεία

2.2.1 Βροχοπτώσεις

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης στην περιοχή της Αττικής είναι περίπου 400 - 450 mm (μέσο υπερετήσιο μετρημένο ύψος στο Ελληνικό 450 mm περίπου, μέσο υπερετήσιο μετρημένο ύψος στα Σπάτα 400 mm περίπου για 10 έτη παρατηρήσεων).

Ειδικότερα για τη λεκάνη απορροής του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας μετρήσεις βροχοπτώσεων υπάρχουν από τους μετεωρολογικούς σταθμούς της Ε.Μ.Υ. στην Ραφήνα, στην Παιανία, στα Σπάτα και στο Μαρκόπουλο, που βρίσκονται είτε μέσα στην λεκάνη απορροής είτε σε κοντινές θέσεις. Ο μετεωρολογικός σταθμός των Σπάτων λειτουργεί κατά τα τελευταία 10 έτη, αλλά δεν υπάρχει πλήρες αρχείο μετρήσεων.

Για την εκπόνηση της παρούσας παρελήφθησαν από την ΕΜΥ τα διαθέσιμα πρωτογενή στοιχεία βροχοπτώσεων του σταθμού Σπάτων (συνολικά ύψη όλων των επεισοδίων βροχής από βροχόμετρο και αντίγραφα ταινίας βροχογράφου για όλες τις σημαντικές βροχές) για τα τελευταία 2 έτη (1995 - 1996), έτσι ώστε να καλύπτεται ένα πλήρες υδρολογικό έτος μετά την πυρκαϊά. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης στοιχεία βροχοπτώσεων παλαιότερων ετών που είχαν συγκεντρωθεί κατά την εκπόνηση παλαιότερων υδραυλικών μελετών για την περιοχή (Μελέτη και Προμελέτη Διευθέτησεως Ρέματος Ραφήνας, Γραφείο Μαχαίρα ΕΠΕ, 1983 και 1984).

Στον Πίνακα 2-3 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα στοιχεία του έτους 1995. Το συνολικό ύψος των καταμετρημένων σημαντικών επεισοδίων βροχόπτωσης κατά το έτος αυτό ήταν 166 mm, σύμφωνα με τα στοιχεία του βροχογράφου. Για τις σημαντικές αυτές βροχές (ύψους βροχής άνω των 10 mm περίπου), οι οποίες είναι εκείνες που δημιουργούν σχετικά σημαντική απορροή και έχουν επομένως ενδιαφέρον από πλευράς στερεοαπορροής, δίνονται πλήρη στοιχεία στο Παράρτημα ΙΙΙ.

Πίνακας 2-3

Συγκεντρωτικά στοιχεία σημαντικών επεισοδίων βροχής
έτους 1995 (EMY, 1996)

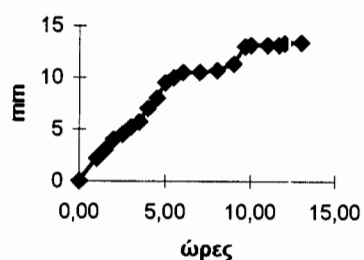
Στοιχεία βροχομέτρου		Στοιχεία βροχογράφου	
Ημερομηνία	ύψος (mm)	Ημερομηνία	ύψος (mm)
3-6/1/1995	28,5	3/1/1995	13,4
		5-6/1/1995	14
13-15/1/95	55,7	13-15/1/95	53,9
20/1/1995	3,8	-	
6-7/3/95	8	-	
13-14/3/95	23,5	13-14/3/95	23,5
16/4/1995	8,4	-	
22/8/1995	3,9	-	
24/10/1995	9,7	-	
27/10/1995	6,4	-	
3-4/11/95	18,9	3-4/11/95	15,6
14-15/11/95	17,2	14-15/11/95	11,3
22/11/1995	3,9	-	
30/11/1995	10,5	-	
4-5/12/95	22,8	4-5/12/95	22,8
19/12/1995	7,3	19/12/1995	8,6
30/12/1995	2,8	30/12/1995	2,8
Σύνολο	231,3		165,9

Τα επεισόδια σημαντικών (έντονων) βροχοπτώσεων είναι αυτά που παρουσιάζουν ενδιαφέρον από πλευράς παραγωγής φερτών, ενώ στις μικρότερες βροχές δεν παρουσιάζεται σημαντική απορροή και οι ποσότητες νερού (και φερτών) που φτάνουν στην εκβολή του Ρέματος Ραφήνας είναι μηδενικές ή αμελητέες (βλέπε και Κεφάλαιο 4).

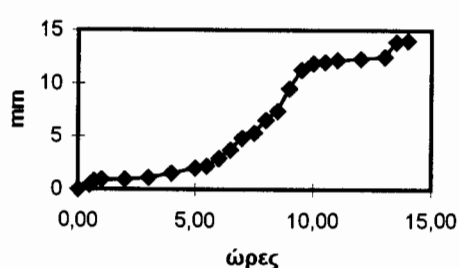
Στο **Σχήμα 3** παρουσιάζονται εποπτικά τα επεισόδια σημαντικών βροχοπτώσεων του 1995 (συνολικό ύψος βροχής κατά την διάρκεια της βροχόπτωσης). Τα σημαντικά επεισόδια βροχόπτωσης του πρώτου τριμήνου του έτους 1996 φαίνονται στο **Σχήμα 4**.

Γενικά, ο αριθμός των επεισοδίων έντονης βροχόπτωσης είναι περιορισμένος. Από τα διαθέσιμα βροχομετρικά στοιχεία προκύπτει ότι συνήθως εμφανίζονται 1-2 “μεγάλες” βροχές κάθε έτος, με συνολικό ύψος βροχής πάνω από 40 - 50 mm η κάθε μία, ενώ ο αριθμός των σημαντικών βροχοπτώσεων, με συνολικό ύψος βροχής πάνω από 10 mm περίπου είναι 5-6 και πάρα πολύ σπάνια ξεπερνά τις 10. Από τις βροχές αυτές, οι μεγάλες είναι εκείνες που δημιουργούν πλημμυρικές απορροές και σημαντική στερεοαπορροή (βλέπε Κεφάλαιο 4).

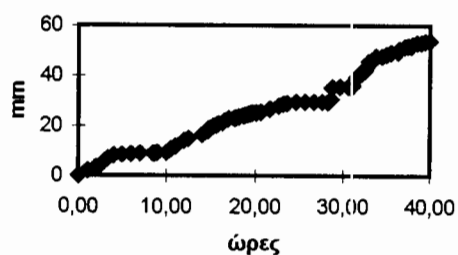
Στον **Πίνακα 2-4** παρουσιάζονται ενδεικτικά τα συγκεντρωτικά στοιχεία (διάρκεια, ύψος βροχής, μέση ένταση) όλων των σημαντικών βροχοπτώσεων του έτους 1995 και των ετών 1970-1981. Η τελευταία αυτή δεκαετία περιλαμβάνει αρκετά “υγρά” έτη, με σημαντικά επεισόδια βροχής.



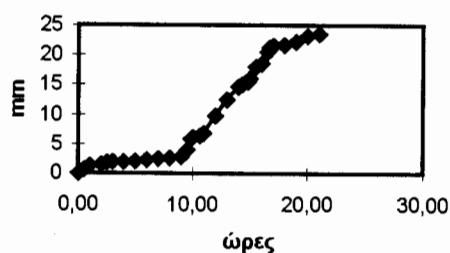
3-4/1/1995



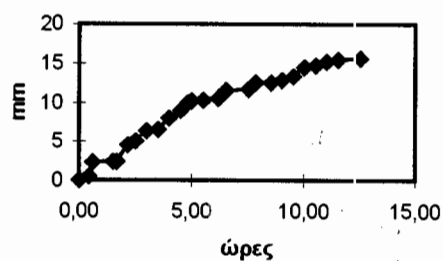
5-6/1/1995



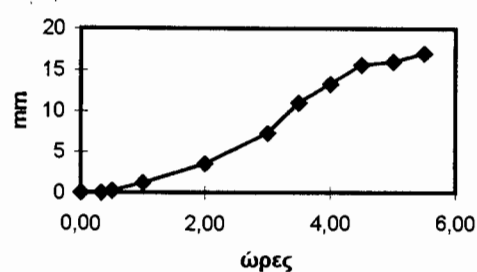
13-15/1/1995



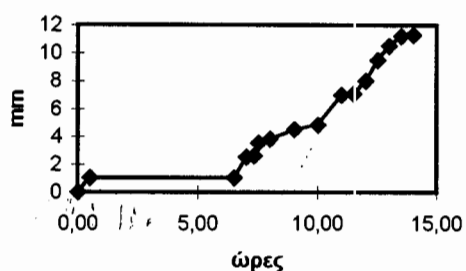
13-15/3/1995



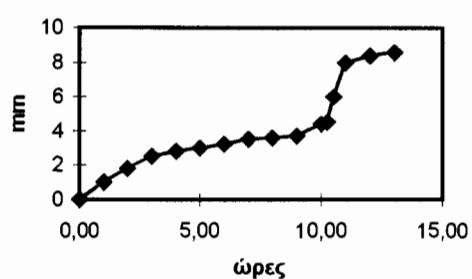
3-4/11/1995



14-15/11/1995

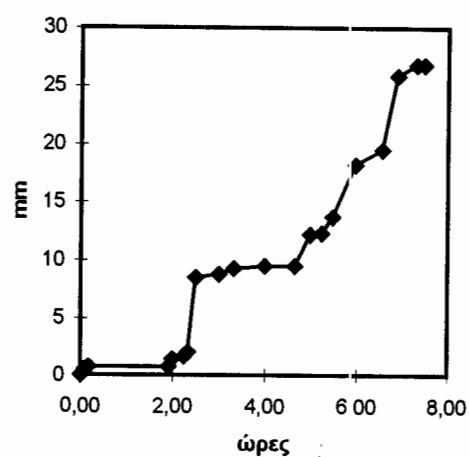


4-5/12/1995

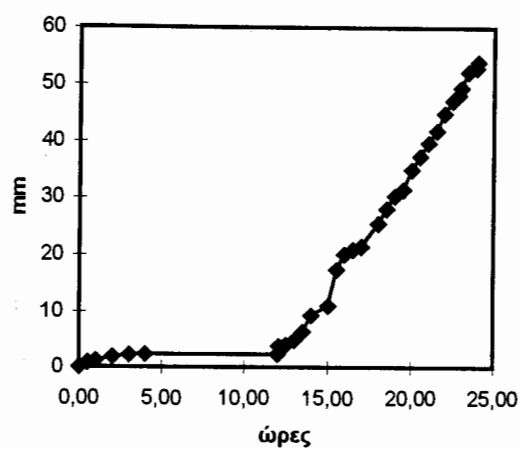


19/12/1995

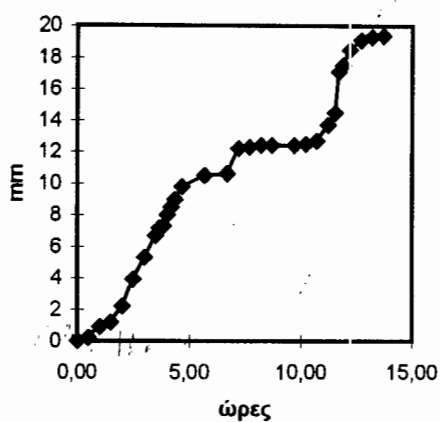
Σχήμα 3: Επεισόδια σημαντικών βροχοπτώσεων έτους 1995



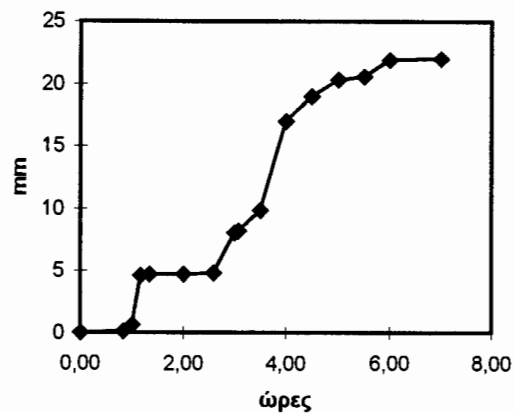
27/1/1996



31/1/1996



4-5/2/1996



8/2/1996

Σχήμα 4: Επεισόδια σημαντικών βροχοπτώσεων πρώτων μηνών 1996

Πίνακας 2-4: Σημαντικές βροχές 1995 και δεκαετίας 1971-1981

Ετος, α/α	Διάρκεια (ώρες)	Υψος (χλ.)	Ενταση (χλ/ώρα)	Ετος, α/α	Διάρκεια (ώρες)	Υψος (χλ.)	Ενταση (χλ/ώρα)
1995				1977			
1	13	13,4	1,0	1	0,25	3,2	12,8
2	14	14	1,0	2	1	10,1	10,1
3	40	53,9	1,3	3	1,25	10,6	8,5
4	21	23,5	1,1	4	1,5	14,5	9,7
5	12,5	15,6	1,2	5	3	45,1	15,0
6	5,5	17	3,1	6	10,5	75,5	7,2
7	14	11,3	0,8	7	13,5	70,2	5,2
8	13	8,6	0,7		6,88	229,2	9
	13	157,3	0,85				
1981				1974			
1	2	20,6	10,3	1	1	6,2	6,2
2	4	20,1	5,0	2	2	28,1	14,1
3	4	19,5	4,9	3	2,5	17,8	7,1
4	4,25	37,2	8,8	4	6	25,4	4,2
5	15	45,5	3,0	5	14,5	92,1	6,4
	8,5	142,9	6,67		7,75	169,6	6,28
1980				1973			
1	1	11,5	11,5	1	0,25	4,2	16,8
2	1	10,2	10,2	2	0,75	13,8	18,4
3	1,25	24,1	19,3	3	2,5	22,3	8,9
4	1,75	50,2	28,7	4	3,5	21,5	6,1
5	2	16,7	8,4	5	4,5	22,5	5,0
6	1,25	28,1	22,5	6	4,5	20,6	4,6
7	2,5	22,8	9,1	7	7,5	32,6	4,3
8	3,5	30,1	8,6		3,88	137,5	10,57
9	6	27,2	4,5	1972			
	3,5	220,9	8,02	1	0,75	7,8	10,4
1979				2	0,75	7,5	10,0
1	1	9,6	9,6	3	1	7,2	7,2
2	1,66	16,4	9,9	4	1,5	13,6	9,1
3	2,25	38,2	17,0	5	5	27,1	5,4
4	4,5	25,5	5,7	6	9	86,5	9,6
5	8	52,2	6,5	7	10	74,1	7,4
6	12,5	59,6	4,8	8	13	42,3	3,3
	6,75	201,5	7,18		6,88	266,1	6,83
1978				1971			
1	0,5	4,6	9,2	1	0,5	14,1	28,2
2	0,75	11,6	15,5	2	0,5	7,4	14,8
3	1,08	8,7	8,1	3	1	12,5	12,5
4	2	38	19,0	4	4	20,5	5,1
5	2	13,6	6,8	5	6,5	25,1	3,9
6	2	13,5	6,8		3,5	79,6	16,03
7	2,75	18,6	6,8				
8	3	27,7	9,2				
9	3,25	19,3	5,9				
10	6	28,5	4,8				
11	11,5	130,4	11,3				
	6	314,5	10,27				

2.2.2 Θερμοκρασία

Το κλίμα της περιοχής είναι γενικά ήπιο και οι θερμοκρασίες σχετικά ψηλές. Οι ελάχιστες θερμοκρασίες, που εμφανίζονται συνήθως κατά τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο, δεν ξεπερνούν τους λίγους βαθμούς κάτω από το μηδέν, ενώ οι μέγιστες, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ορισμένες φορές ξεπερνούν και τους 40 °C.

Στον Πίνακα 2-5 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες που παρατηρήθηκαν κατά την διάρκεια του 1995.

Πίνακας 2-5

Μέγιστες και ελάχιστες μηνιαίες θερμοκρασίες έτους 1995 (ΕΜΥ, 1996)

Μήνας	Μέγιστη θερμοκρασία (°C)	Ελάχιστη θερμοκρασία (°C)
Ιανουάριος	20,2	-2,4
Φεβρουάριος	23,6	-1,0
Μάρτιος	19,0	0,4
Απρίλιος	23,6	0,4
Μαΐος	29,6	2,0
Ιούνιος	38,0	13,0
Ιούλιος	35,0	15,0
Αύγουστος	35,0	13,0
Σεπτέμβριος	33,4	11,8
Οκτώβριος	24,4	3,0
Νοέμβριος	22,4	-0,8
Δεκέμβριος	19,6	-2,8
Ετήσια	38,0	-2,8

2.3 Υδρολογικά χαρακτηριστικά

Το Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας διασχίζει την περιοχή μελέτης από τα δυτικά προς τα ανατολικά σε μήκος 19 χιλιομέτρων περίπου, πριν από την εκβολή του νότια του σημερινού λιμένα της Ραφήνας (βλέπε Χάρτη 1). Το Ρέμα διέρχεται μέσα από πεδινές εκτάσεις και η μέση κλίση του είναι 1,5%.

Στο Ρέμα Ραφήνας συμβάλλουν διάφορα μικρότερα ρέματα, που διασχίζουν τις ορεινές και λοφώδεις εκτάσεις, που βρίσκονται στο βόρειο κυρίως τμήμα της λεκάνης. Τα περισσότερα και μεγαλύτερα από τα συμβάλλοντα ρέματα απορρέουν από τις πλαγιές της Πεντέλης (στα βόρεια και βορειοανατολικά της λεκάνης), ενώ μικρός αριθμός ρεμάτων απορρέει από τις ανατολικές πλαγιές του Υμηττού (στα νοτιοδυτικά της λεκάνης). Το συνολικό μήκος των ρεμάτων που συμβάλλουν στο Ρέμα Ραφήνας είναι περίπου 51 χιλιόμετρα, ενώ η μέση κλίση τους κυμαίνεται από 1 μέχρι 7%. Τα κυριότερα ρέματα παρουσιάζονται στον **Πίνακα 2-6**, όπου δίνονται για κάθε ένα η έκταση της υπολεκάνης απορροής του, η μέση κλίση και το μήκος του (συνολικά και ανά κατηγορία χρήσης γης).

Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής είναι +170 m, ενώ η υψηλότερη θέση της βρίσκεται στο βόρειο άκρο της λεκάνης και έχει υψόμετρο +920 m.

Το μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης απορροής είναι πεδινό (περίπου 60% της συνολικής έκτασης). Το ανάγλυφο του υπόλοιπου μέρους μπορεί να θεωρηθεί ότι κατανέμεται εξ ίσου σε ορεινό και λοφώδες (το καθένα αντιπροσωπεύει το 20% περίπου της συνολικής έκτασης) (βλέπε **Φωτογραφία 3**).

Ο χρόνος συρροής της λεκάνης, δηλαδή, ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει μία ποσότητα νερού από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης στο σημείο εκβολής του Ρέματος Ραφήνας, είναι περίπου 3,5 ώρες (με βάση στοιχεία της λεκάνης που παρουσιάζονται στον Πίνακα 2-6, υπολογίζεται σε 3,49 ώρες από τον τύπο του Giandotti).

Πίνακας 2-6
Συγκεντρωτική παρουσίαση στοιχείων λεκάνης απορροής
Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας*

Ρέμα/Υπολεκάνη	Εκταση (km ²)				Σύνολο
	Δάσος	Αρ. δάσος+θάμνοι	Γεωργ. γη+αραιοκατ.	Οικισμοί	
Παναγίτσα			5,15	1	6,15
Αγ. Ιωάννης	0,35			1	1,35
Ραντάρ	0,25			1,5	1,75
Γέρακας	1,25		4	3	8,25
Κάντζα	1	1,1	2,5	2	6,6
Κρυονέρι	1,1		8		9,1
Σπάτα	1		9	4,9	14,9
Πικέρμι-Αεροδρόμιο			24,65	4	28,65
Βαλανάρης	22	5	0	3	30
Αγ. Παρασκευή	3	1,5	0,65		5,15
Νταού Πεντέλης	3	1,5	2,05		6,55
Ραφήνα	0	3,4	9,66	2,8	15,86
Συνολική έκταση	32,95	12,5	65,66	23,2	134,31
Ρέμα/Υπολεκάνη	Κλίση (m/m)				Σύνολο
	Δάσος	Αρ. δάσος+θάμνοι	Γεωργ. γη+αραιοκατ.	Οικισμοί	
Παναγίτσα			0,0365	0,015	0,0315
Αγ. Ιωάννης	0,066			0,032	0,0408
Ραντάρ	0,02			0,03	0,0267
Γέρακας	0,019		0,014	0,014	0,0158
Κάντζα	0,028	0,024	0,014	0,017	0,0232
Κρυονέρι	0,029		0,023		0,0250
Σπάτα	0,02		0,014	0,015	0,0147
Πικέρμι-Αεροδρόμιο			0,014	0,015	0,0143
Βαλανάρης	0,03	0,02		0,01	0,0250
Αγ. Παρασκευή	0,025	0,02	0,019		0,0230
Νταού Πεντέλης	0,03	0,03	0,024		0,0291
Ραφήνα		0,012	0,008	0,044	0,0166
Μέση κλίση Ρέματος	0,0272	0,0185	0,0158	0,0268	0,0214
Ρέμα/Υπολεκάνη	Μήκος (m)				Σύνολο
	Δάσος	Αρ. δάσος+θάμνοι	Γεωργ. γη+αραιοκατ.	Οικισμοί	
Παναγίτσα			3300	1000	4300
Αγ. Ιωάννης	350			1000	1350
Ραντάρ	250			500	750
Γέρακας	3000		3250	2000	8250
Κάντζα	3000	1000	1000	1000	6000
Κρυονέρι	1000		2000		3000
Σπάτα	500		4000	500	5000
Πικέρμι-Αεροδρόμιο			1000	500	1500
Βαλανάρης	4000	1000		1000	6000
Αγ. Παρασκευή	5000	2000	1000		8000
Νταού Πεντέλης	4000	2000	1000		7000
Ραφήνα		5000	10000	4000	19000
Σύνολο	21100	11000	26550	11500	70150
Μέση κλίση περιοχής	0,2	0,2	0,02	0,02	
Μέσο μήκος πλαγιάς	70	50	30	100	
SL	5,05	4,56	0,20	0,29	

* Πηγές: Μαχαίρας 1983 και 1984, τοπογραφικοί χάρτες και χάρτης χρήσης γης Υπ. Γεωργίας.

2.4 Γεωλογικά χαρακτηριστικά

Η γεωλογικοί σχηματισμοί της περιοχής φαίνονται στον **Χάρτη 3** και παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον **Πίνακα 2-7**.

Όπως προκύπτει από τον Χάρτη αλλά και περιγράφεται και στην “Οριστική Μελέτη Διευθετήσεως Ρέματος Ραφήνας” (Γραφείο Μαχαίρα ΕΠΕ, 1984), η περιοχή της λεκάνης απορροής είναι πρακτικά καλυμμένη από στεγανούς σχηματισμούς, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και τριτογενείς (μάργες, κλπ.). Μικρό μόνο μέρος της λεκάνης καλύπτεται από προσχώσεις. Στις περιοχές αυτές, καθώς και σε κάποιες περιοχές νεογεννών σχηματισμών, η κατείδυση δεν υπερβαίνει το 5-8% της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης. Η επίδραση των σχηματισμών αυτών σε περιπτώσεις πλημμυρών είναι αμελητέα.

Ασβεστόλιθοι (στα τριτογενή ιζήματα) και μάρμαρα υπάρχουν σε μικρά μόνο αναπτύγματα, που βρίσκονται πάνω από στεγανούς σχηματισμούς. Έτσι, το νερό που διηθείται μέσα στους σχηματισμούς αυτούς τελικά επανεμφανίζεται επιφανειακά σε κατάντη θέσεις της λεκάνης και τελικά καταλήγει στον θαλάσσιο αποδέκτη. Πάντως, και οι σχηματισμοί αυτοί δεν προκαλούν αξιόλογη ανάσχεση της πλημμύρας, λόγω της μικρής τους έκτασης και της μέσης διαπερατότητας που παρουσιάζουν.

Μάρμαρα, τα οποία ενδεχομένως δεν επαναποδίδουν την κατείδυση που δέχονται (κατακράτηση, π.χ., του 35% της ποσότητας της βροχόπτωσης που δέχονται), βρίσκονται σε 3 θέσεις της λεκάνης, αλλά και σε αυτήν την περίπτωση, η επίδραση τους στην ανάσχεση της πλημμύρας δεν είναι σημαντική. Οι θέσεις που παρουσιάζονται είναι:

- στον Σταυρό (2,5-3 km²), που ίσως αποστραγγίζονται υπόγεια προς τον Υμηττό,
- στην περιοχή βόρεια της Παλλήνης (περίπου 3 km²), που μεταγγίζονται μερικά υπόγεια στις προσχώσεις και
- στον υδροκρίτη της Πεντέλης (περίπου 1 km²), που αποστραγγίζονται προς τις γειτονικές λεκάνες.

Πίνακας 2-7

Συγκεντρωτική παρουσίαση γεωλογικών σχηματισμών
λεκάνης απορροής Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας

	Εκταση (km ²)	Ποσοστό (%)
Σκληροί ασβεστόλιθοι	21,589	16
Σχιστόλιθοι	21,425	16
Τριτογενείς αποθέσεις	61,243	46
Αλλούβια	29,743	22
Σύνολο:	134	100

Πηγή: Γεωλογικός χάρτης ΙΓΜΕ.

2.5 Καμένη περιοχή

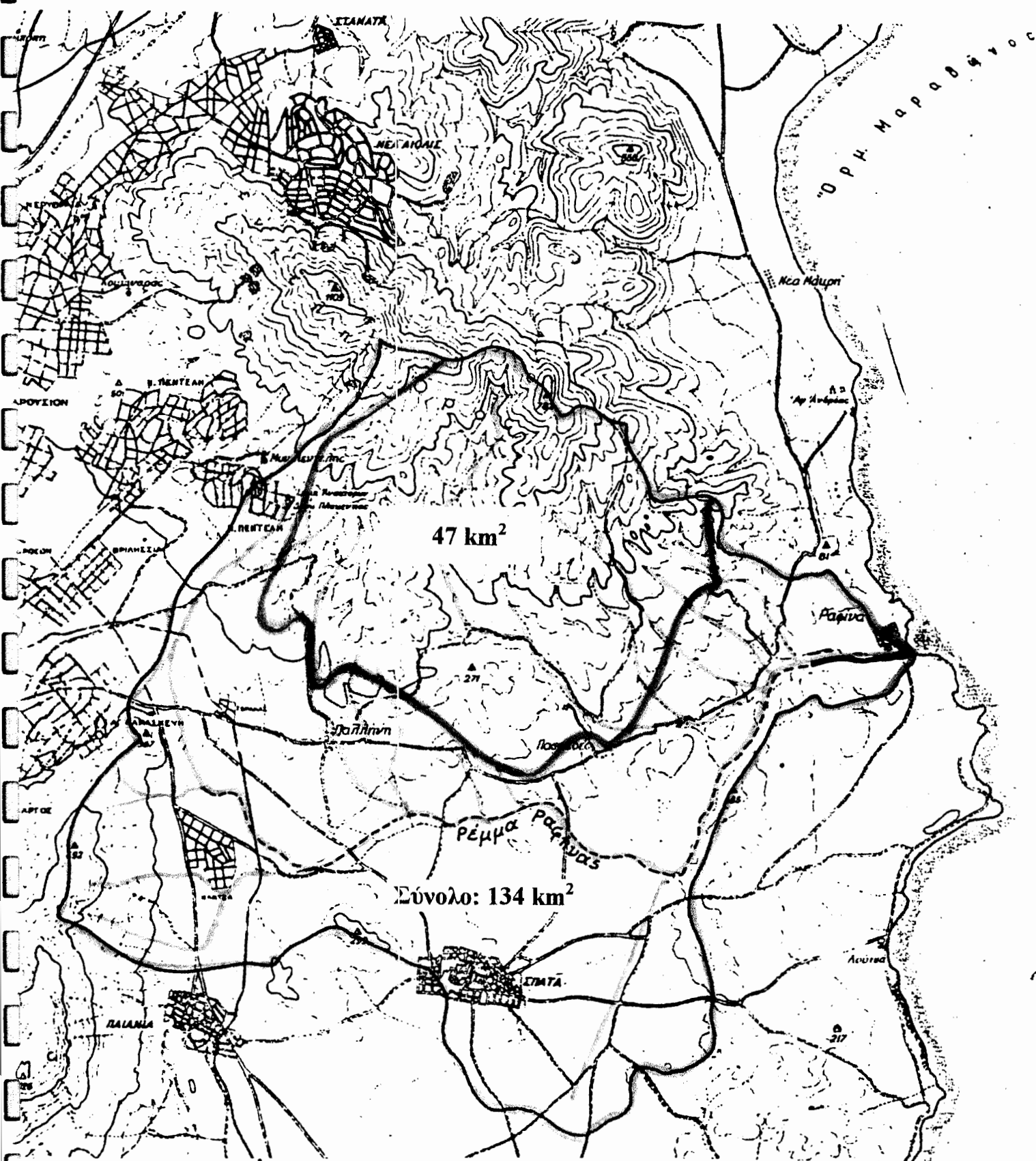
2.5.1 Έκταση περιοχής που επηρεάστηκε από την πυρκαϊά της 21-23/7/95

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Δασικής Υπηρεσίας, η πυρκαϊά του Πεντελικού όρους στις 21-23/7/95 διέσχισε συνολική έκταση 65.000 στρεμμάτων. Το είδος της πυρκαϊάς χαρακτηρίστηκε ως μικτό, ήταν δηλαδή πυρκαϊά της κόμης των δένδρων και της θαμνώδους και ποώδους βλάστησης. Από την έκταση που κάηκε, 47.000 στρέμματα, βρίσκονται στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής του Ρέματος, μεγάλο μέρος του οποίου καλύπτονταν από δάσος Χαλεπίου πεύκης και θάμνους.

Τονίζεται ότι η προαναφερόμενη έκταση, η οποία απεικονίζεται και στο **Σχήμα 5** και στον Χάρτη 1, δεν κάηκε ολοσχερώς από την φωτιά. Δηλαδή, η έκταση η οποία χαρακτηρίζεται επίσημα ως “καμένη” θα πρέπει ακριβέστερα να χαρακτηρίζεται ως “έκταση από όπου πέρασε η φωτιά”, χωρίς όμως αναγκαστικά να προκαλέσει καταστροφές και να απογυμνώσει το έδαφος από την βλάστησή του.

Ετσι, σε πολλές θέσεις ή και ολόκληρες περιοχές η βλάστηση παρέμεινε ανέπαφη, με αποτέλεσμα την σημαντική προστασία του εδάφους κατά τόπους. Οι θέσεις και οι περιοχές αυτές παρέμειναν ανέπαφες είτε λόγω της τοπογραφίας του εδάφους, είτε λόγω των ανθρώπινων παρεμβάσεων για την προστασία της ιδιοκτησίας τους (βλέπε **Φωτογραφίες 4 και 5**).

Ενδεικτικά σημειώνεται ότι ενώ μέσα στο περίγραμμα της έκτασης που χαρακτηρίζεται ως καμένη βρίσκονται ολόκληροι οικισμοί, π.χ. Ανθούσα, Γαλήνη, βόρειο Πικέρμι, Ντράφι, Νέος Βουτζάς, αλλά και μεγάλος αριθμός διάσπαρτων κατοικιών, ο αριθμός των κτισμάτων που κάηκαν το 1995, ήταν συγκριτικά ελάχιστος. Όπως δε φαίνεται και στις **Φωτογραφίες 4, 5 και 6**, στις περισσότερες περιπτώσεις, με τα μέτρα πυροπροστασίας και τις προσωπικές προσπάθειες των κατοίκων δεν διασώθηκαν απλώς οι οικισμοί και οι μεμονωμένες κατοικίες αλλά και σημαντικές περιμετρικές ζώνες δάσους, θάμνων και καλλιεργειών.



Σχήμα 5: Κύριο υδρογραφικό δίκτυο λεκάνης απορροής Μεγάλου Ρέματος Ραφίνας και όρια περιοχής την οποία διέσχισε η πυρκαϊά του 1995. Κλίμακα 1:100.000. Πηγές: Μελέτη Διευθέτησεως Ρέματος Ραφίνας (Γραφείο Μαχαίρα ΕΠΕ, 1984) και Υπ. Γεωργίας.

Εν κατακλείδι, και με βάση τις επιτόπιες παρατηρήσεις της ομάδας μελέτης, από τις περιοχές που βρίσκονται μέσα στην έκταση από όπου πέρασε το μέτωπο της φωτιάς τις σημαντικότερη καταστροφή υπέστησαν αυτές που παρουσιάζουν ορεινό ανάγλυφο και παντελή έλλειψη δόμησης. Η έκταση των περιοχών αυτών δεν ξεπερνάει το ήμισυ της “καμένης” περιοχής, δηλαδή τα 23.000 στρέματα και αντιπροσωπεύει το 17% περίπου της έκτασης της συνολικής λεκάνης απορροής.

Στον Πίνακα 2-8, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι εκτάσεις της λεκάνης που επηρεάστηκαν από την πυρκαϊά. Όπως φαίνεται από τα στοιχεία του Πίνακα, η περιοχή από όπου πέρασε η φωτιά:

- αντιπροσωπεύει το 35% της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής,
- περιλαμβάνει το 70% περίπου της συνολικής δασικής έκτασης της λεκάνης (δάσος και θάμνοι)
- είναι δομημένη σε ποσοστό μεγαλύτερο από το 30% (οικισμοί, γεωργική γη με διάσπαρτες κατοικίες), αφού στο ποσοστό αυτό πρέπει να προστεθεί και η δόμηση μέσα σε δασικές ή θαμνώδεις εκτάσεις (βλέπε και παράγραφο 2.1).

Πίνακας 2-8

**Συγκεντρωτική παρουσίαση εκτάσεων της λεκάνης απορροής
που επηρεάστηκαν από την πυρκαϊά της 21-23/7/95 (σε στρέματα)**

	Συνολική έκταση	Έκταση από όπου πέρασε η φωτιά	Ποσοστό (%) επί της έκτασης από όπου πέρασε η φωτιά	Ποσοστό (%) της αντίστοιχης χρήσης γης	Ποσοστό (%) της συνολικής έκτασης
Δάσος	32.655	24.555	52	75	18
Αραιό δάσος και θαμνώνες	12.540	8.840	19	70	7
Γεωργικές καλλιέργειες και αραιοκατοικημέ- νες περιοχές	65.657	7.000	15	11	5
Οικισμοί	23.148	6.605	14	29	5
<i>Σύνολο</i>	134.000	47.000	100		35

2.5.2 Δραστηριότητες στη λεκάνη μετά την πυρκαϊά - Σημερινή κατάσταση καμένης έκτασης

Οι καιρικές συνθήκες ευνόησαν την διάβρωση του εδάφους αμέσως μετά την πυρκαϊά, αφού η περιοχή δέχθηκε τους πρώτους μήνες σημαντική ποσότητα βροχής και μάλιστα υπο μορφή καταιγίδων (π.χ Ιανουάριος 1996, βλέπε Κεφάλαιο 4).

Το γεγονός αυτό όμως, πέραν των όποιων προβλημάτων δημιούργησε στην περιοχή τον χειμώνα του 1995, συντέλεσε στην σημερινή σταθεροποίηση της λεκάνης. Συγκεκριμένα, το ευαίσθητο εδαφικό υλικό, που δημιουργήθηκε μετά την πυρκαϊά, διαβρώθηκε μέσα σε σύντομο διάστημα και η λεκάνη σήμερα, μετά την παρέλευση 14 μηνών και την αναγέννηση, σε μεγάλο βαθμό, της βλάστησης, βρίσκεται σε αρκετά σταθεροποιημένη κατάσταση, όπως προέκυψε από επιτόπιες επισκέψεις που έγιναν στην περιοχή.

Τονίζεται ακόμα πως οι βροχοπτώσεις μετά την πυρκαϊά συνέβαλλαν σημαντικά στην επανεμφάνιση της ποώδους βλάστησης καθώς και στην εμφάνιση καινούργιων βλαστών και ξυλωδών φυτών στη περιοχή. Επομένως, δημιουργήθηκε το πρώτο φυτοκάλυμα, που βαθμιαία αναπτύσσεται συνεχώς και προστατεύει το έδαφος από τη διάβρωση. Το έδαφος προστατεύεται επιπλέον και από την φύτευση μεγάλου αριθμού πεύκων, που παρατηρήθηκαν στην περιοχή.

Ενδεικτικά στοιχεία των παραπάνω επιτόπιων παρατηρήσεων φαίνονται στις **Φωτογραφίες 7 και 8**.

Κατά συνέπεια, η λεκάνη έχει ήδη ξεπεράσει τη μεγάλη ευαισθησία που συνήθως παρατηρείται τους πρώτους μήνες μετά την πυρκαϊά και σήμερα βρίσκεται σε πολύ ικανοποιητικό στάδιο σταθεροποίησης.

Στο στάδιο σταθεροποίησης της λεκάνης, συνέβαλαν σημαντικά και τα έργα που κατασκευάστηκαν από τους διάφορους φορείς.

Όπως περιγράφεται και αναλυτικότερα στα τεύχη της υδραυλικής μελέτης των “επειγόντων έργων αντιπλημμυρικής προστασίας των χειμάρρων της Ανατολικής Αττικής που επλήγησαν από πυρκαϊές” (ΕΥΔΑΠ, 1995), σε σειρά συσκέψεων που έγιναν σε διάφορα επίπεδα, αποφασίστηκε η συνδυασμένη δράση της Γ.Γ. Δασών του Υπ. Γεωργίας και της ΕΥΔΑΠ για την πραγματοποίηση επείγουσών επεμβάσεων μέχρι το φθινόπωρο του 1996 και τον προγραμματισμό των απαιτούμενων περαιτέρω έργων που απαιτούνται για την αντιπλημμυρική θωράκιση του πληγέντος από τις πυρκαϊές τμήματος της Ανατολικής Αττικής (μεσομακροπρόθεσμο σχεδιασμό).

Οι ειδικοί στόχοι των επείγουσών επεμβάσεων είναι:

- i. μείωση της εδαφικής διάβρωσης στις βουνοπλαγιές (κλιτείς) μετά την απώλεια της δασοκάλυψης,
- ii. μείωση-ανάσχεση του μεταφερόμενου με τις ρεματιές όγκου φερτών που προέρχεται είτε από την διάβρωση της κοίτης τους είτε από φερτά που καταλήγουν σε αυτές από την διάβρωση των βουνοπλαγιών,
- iii. μείωση του συντελεστή απορροής (ποσότητας νερού βροχόπτωσης που απορρέει),
- iv. αύξηση του χρόνου συρροής, ώστε να μειωθούν οι αιχμές των πλημμυρικών παροχών,
- v. αύξηση, όπου το επιτρέπουν οι υδρογεωλογικές συνθήκες, της κατείσδυσης του νερού στο έδαφος και ενίσχυση των υπόγειων υδροφορέων,
- vi. προστασία, κατά προτεραιότητα, των κατοικημένων περιοχών και ζωτικής σημασίας ζωτικών αξόνων, που αναμένεται να επηρεαστούν περισσότερο από την απώλεια της δασοκάλυψης και
- vii. συνεισφορά (ένταξη) στον γενικό και μεσομακροπρόθεσμο σχεδιασμό της αντιπλημμυρικής θωράκισης της περιοχής.

Συγκεκριμένες επείγουσες επεμβάσεις, οι οποίες έχουν ήδη πραγματοποιηθεί, είναι οι ακόλουθες:

1. Υπ. Γεωργίας

- ° Δημιουργία αναβαθμίδων κατά ισοϋψείς στις καμένες πλαγιές, με κορμούς από καμένα δέντρα, οι οποίοι υλοτομήθηκαν και διατάχθηκαν κατάλληλα επί τόπου (βλέπε **Φωτογραφία 9**). Με το μέτρο αυτό επιτυγχάνεται, μεταξύ άλλων, η μείωση της εδαφικής διάβρωσης στις πλαγιές.
- ° Δημιουργία μικρών αναβαθμών (κορμοφραγμάτων) στις κοίτες των μικρορεμάτων (Α και Β τάξης χειμαρρικών κλάδων), σε ύψος μέχρι 80 εκατοστών (βλέπε **Φωτογραφία 10**). Με το μέτρο αυτό επιτυγχάνεται, μεταξύ άλλων, η μείωση - ανάσχεση του μεταφερόμενου με τις ρεματιές όγκου φερτών.

Οι παραπάνω επεμβάσεις έχουν γίνει στο μεγαλύτερο τμήμα των ορεινών καμένων δασικών εκτάσεων και επικεντρώνονται κυρίως στην λεκάνη απορροής του χειμάρρου Βαλανάρη (στο βόρειο και κεντρικό τμήμα της λεκάνης), η οποία καταλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα των εν λόγω εκτάσεων (η λεκάνη αυτή αντιπροσωπεύει το 70% περίπου της έκτασης που καταλαμβάνεται από δάση, βλέπε Πίνακα 3). Τα έργα αυτά, όπως διαπιστώθηκε απο επισκέψεις στην περιοχή, λειτούργησαν αποδοτικά και συγκράτησαν επιτόπου μεγάλη ποσότητα εδάφους, που μεταφέρθηκε απο τις πρώτες βροχές μετά την πυρκαϊά.

Άλλες ενέργειες για την σταθεροποίηση και αποκατάσταση του εδάφους της περιοχής, που έγιναν απο τη ίδια Υπηρεσία, είναι η κήρυξη της περιοχής ως αναδασωτέας (Απόφαση 3002/21-9-95 Περ. Δ/σης Ανατ. Αττικής-Δ/ση Δασών), η απαγόρευση της βοσκής και ο προγραμματισμός αναδάσωσης των τμημάτων όπου η βλάστηση δεν θα εγκατασταθεί με φυσικό τρόπο.

2. Εταιρεία Υδρευσης και Αποχέτευσης Πρωτεύουσας (Ε.ΥΔ.Α.Π.)

Στην σταθεροποίηση της λεκάνης συνέβαλλε και η ΕΥΔΑΠ με την κατασκευή σημαντικού αριθμού φραγμάτων ανάσχεσης της πλημμυρικής απορροής και συγκράτησης των φερτών υλών. Τα φράγματα αυτά είναι απο σκυρόδεμα και κατασκευάστηκαν χαμηλότερα στις κοίτες των μεγαλύτερων ρεμάτων (βλέπε Φωτογραφίες 11 και 12).

Μέχρι σήμερα έχουν κατασκευαστεί 56 αναβαθμοί, στους κύριους χειμάρρους (χειμαρρικοί κλάδοι Γ' τάξης) που συμβάλλουν στο Ρέμα Ραφήνας και βρίσκονται στην καμένη περιοχή. Οι θέσεις των τεχνικών αυτών έργων φαίνονται στο Σχήμα 6, ενώ παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 2-9.

Πίνακας 2-9

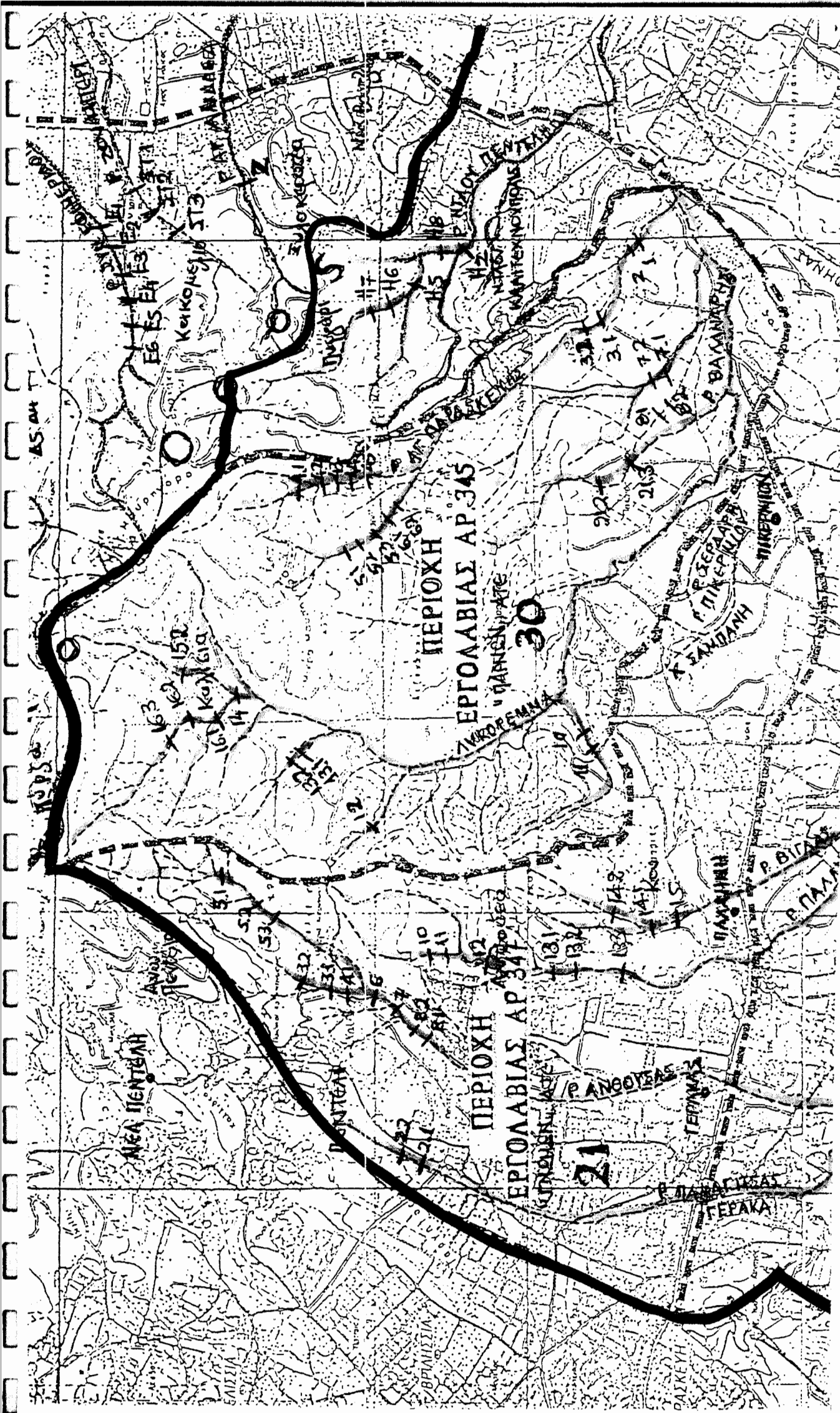
**Συγκεντρωτική παρουσίαση αναβαθμών από σκυρόδεμα
που κατασκευάστηκαν από την ΕΥΔΑΠ μέχρι τον Μάρτιο του 1996**

Ρέμα (που συμβάλλει στο Ρέμα Ραφήνας)	Αριθμός αναβαθμών
Γέρακα	2
Ανθούσας	10
Παλλήνης	6
Βίγλας	3
Βαλανάρης	6
Λυκόρεμα (συνέχεια Βαλανάρη)	10
Αγ. Παρασκευής	14
Νταού Πεντέλης	5
<i>Σύνολο</i>	<i>56</i>

Κατά τις επιτόπιες επισκέψεις της ομάδας μελέτης διαπιστώθηκε ότι πολλά από τα μικρά αυτά φράγματα, κυρίως αυτά που έχουν κατασκευαστεί στα Ρέματα των υπολεκανών Νταού Πεντέλης, Αγίας Παρασκευής και Βαλανάρη, έχουν συγκρατήσει σημαντικές ποσότητες ιλύος (βλέπε **Φωτογραφίες 13 και 14**).

Στις επείγουσες επεμβάσεις περιλαμβάνονται και ορισμένοι καθαρισμοί - διανοίξεις ρεμάτων ή τεχνικών έργων, που έχουν ήδη πραγματοποιηθεί από την ίδια την ΕΥΔΑΠ (Υπηρεσία Εποπτείας Χειμάρρων) ή για λογαριασμό της.

Σήμερα βρίσκεται υπό εκπόνηση ειδική υδραυλική μελέτη για την ποσοτική εκτίμηση της αντιπλημμυρικής λειτουργίας των έργων (επείγουσών παρεμβάσεων) που έχουν ήδη κατασκευαστεί. Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, προβλέπεται η μελλοντική κατασκευή και άλλων, μεγαλύτερων έργων, όπου αυτά κριθούν απαραίτητα, στο πλαίσιο του γενικού μεσομακροπρόθεσμου σχεδιασμού της αντιπλημμυρικής θωράκισης της ευρύτερης περιοχής.



Σχήμα 6: Θέσεις αναβαθμών από σκυρόδεμα που κατασκευάστηκαν από την ΕΥΔΑΠ. Στο Σχέδιο διακρίνονται τα όρια της λεκάνης απορροής, το κύριο υδρογραφικό δίκτυο και οι θέσεις και ονομασίες των αναβαθμών. Πηγή: ΕΥΔΑΠ, 1996.

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΟ-ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ - ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΥΡΚΑΪΑΣ

3.1 Το φαινόμενο της διάβρωσης εδαφών

Διάβρωση του εδάφους είναι η απόσπαση και μετακίνηση εδαφικού υλικού από το νερό, τον άνεμο ή την βαρύτητα. Το υλικό αυτό, μετά την απόσπασή του μπορεί να μετακινηθεί και είτε να αποτεθεί σε θέσεις της πλαγιάς χαμηλότερες από εκείνη που αποσπάστηκε, είτε να φτάσει μέχρι την κοίτη του πλησιέστερου υδατορεύματος και να παρασυρθεί από την ροή προς τα κατάντη.

Το παραπάνω φαινόμενο στην πρώτη περίπτωση χαρακτηρίζεται ως “απώλεια εδάφους” (soil loss), σε σχέση με την πλαγιά από όπου αποσπάστηκε και στην δεύτερη ως “παραγωγή φερτών υλών” ή “στερεοαπορροή” (sediment yield) της λεκάνης απορροής, που έχει ως σημείο εξόδου τη διατομή του υδατορεύματος, όπου εκτιμούνται οι φερτές ύλες. Στην παρούσα παράγραφο γίνεται αναφορά στις έννοιες της διάβρωσης και απώλειας εδάφους, ενώ στην στερεοαπορροή αναφέρεται η παράγραφος που ακολουθεί.

Η διάβρωση του εδάφους είναι ένα φυσικό φαινόμενο που πάντοτε συνέβαινε και θα συμβαίνει στο μέλλον. Έτσι, η επιφάνεια της γης βρίσκεται σε μία συνεχή αλλαγή, με το ύψος των βουνών να μειώνεται, τις κοιλάδες να πλαταίνουν και την ξηρά να εισχωρεί σε μεγαλύτερο βάθος μέσα στην θάλασσα ή αντίστροφα. Οι φυσικοί παράγοντες στους οποίους οφείλεται η διάβρωση είναι το νερό, ο άνεμος και η αυξομείωση της θερμοκρασίας. Η διάβρωση που οφείλεται στους παράγοντες αυτούς και μόνο καλείται γεωλογική (ή φυσική ή φυσιολογική). Η γεωλογική διάβρωση δεν είναι δυσμενές ή επικίνδυνο φαινόμενο, αφού το υλικό που αποσπάται αντικαθίσταται από την αποσάθρωση πετρωμάτων από ίδιο υλικό με αυτά από τα οποία προήλθε.

Σήμερα όμως, η ένταση της διάβρωσης αυξάνεται σημαντικά από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Σε αυτές περιλαμβάνεται η υποβάθμιση ή καταστροφή των δασών και της φυσικής βλάστησης γενικότερα από πυρκαϊές, η υλοτόμηση, οι εκχερσώσεις και η υπερβόσκηση, η καλλιέργεια των εδαφών χωρίς την λήψη κατάλληλων μέτρων

συγκράτησης του εδάφους, η διάνοιξη δρόμων και γενικά η κατασκευή διάφορων τεχνικών έργων χωρίς κατάλληλες προδιαγραφές, κ.λ.π. Το είδος αυτό διάβρωσης καλείται επιταχυνόμενη ή ανθρωπογενής και είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη, αφού μειώνει το πάχος του εδάφους και ελαττώνει την παραγωγικότητά του. Βέβαια, τα όρια μεταξύ γεωλογικής και επιταχυνόμενης διάβρωσης είναι δύσκολο να προσδιοριστούν. Έτσι, γίνεται λόγος για επιταχυνόμενη διάβρωση όταν η ένταση της διάβρωσης είναι μεγαλύτερη από την αναμενόμενη ένταση αποσάρθρωσης των πετρωμάτων.

Επισημαίνεται ακόμα ότι ο ρυθμός διάβρωσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως τη δομή και υφή του εδάφους, το μήκος και τη κλίση της πλαγιάς, τις κλιματικές συνθήκες και το είδος της φυτοκάλυψης. Η τελευταία αυτή παράμετρος είναι ιδιαίτερα σημαντική, αφού προσφέρει σημαντική προστασία στο έδαφος κατά της διάβρωσης. Η προστασία αυτή οφείλεται στους ακόλουθους λόγους:

- στο ότι η παρουσία του φυτοκαλύμματος αυξάνει το μέγεθος της διήθησης της βροχής και του νερού γενικότερα στο έδαφος με αποτέλεσμα την μείωση του μεγέθους επιφανειακής απορροής, η οποία αποσπά και μεταφέρει φερτές ύλες,
- στο ότι αυξάνει την τραχύτητα της εδαφικής επιφάνειας και κατά συνέπεια μικραίνει την ταχύτητα της επιφανειακής απορροής,
- στο ότι η φυτοκάλυψη, κυρίως με την μορφή του δάσους, μειώνει την ταχύτητα πτώσης των σταγόνων της βροχής και συνεπώς και την κινητική τους ενέργεια, η οποία συμβάλλει στην απόσπαση των υλικών και
- στο ότι η φυτοκάλυψη, με τις ρίζες των φυτών οπλίζει το έδαφος δημιουργώντας ένα συνεκτικό ιστό που το προστατεύει από την διάβρωση.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό πως η καταστροφή της βλάστησης μιάς περιοχής από πυρκαϊά, μπορεί να μειώσει σημαντικά την αντοχή των εδαφών της σε διάβρωση από σταγόνες της βροχής, κυρίως, κατά το πρώτο χρονικό διάστημα μετά την φωτιά. Επισημαίνεται ότι έχει διαπιστωθεί πως, σε Μεσογειακές περιοχές, ένα ποσοστό φυτοκάλυψης γύρω στο 40% σε μία πλαγιά είναι αρκετό για να κρατήσει την απορροή, αλλά κυρίως τον ρυθμό ροής φερτών υλών από την πλαγιά σε χαμηλά επίπεδα (Thornes, 1995).

3.2 Το φαινόμενο της στερεομεταφοράς

Όπως προαναφέρθηκε, από το εδαφικό υλικό που αποσπάται από τις σταγόνες της βροχής και την εδαφική απορροή ένα μέρος καταλήγει στο πλησιέστερο υδατόρευμα. Εκεί, μαζί με το υλικό που αποσπάται από τα πρηνή και τον πυθμένα της κοίτης του υδατορεύματος, παρασύρεται από τη ροή και αποτελεί τις φερτές ύλες (ή φερτά υλικά ή απλώς φερτά) του υδατορεύματος.

Από τα φερτά υλικά ένα μέρος μετακινείται αιωρούμενο μέσα στην ροή του υδατορεύματος (υλικά σε αιώρηση) και το υπόλοιπο μετακινείται προς τα κατάντη, συρόμενο, κυλιόμενο ή αναπηδώντας στον πυθμένα (υλικά πυθμένα). Στην πραγματικότητα, δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ υλικών σε αιώρηση και υλικών πυθμένα, αφού με την αύξηση της παροχής είναι δυνατόν, μέρος των φερτών πυθμένα να μετατραπούν σε αιωρούμενα ή και το αντίστροφο, όταν υπάρξει μείωση της παροχής.

Η συγκέντρωση των φερτών υλικών στα υδατορέυματα εκφράζεται σε μονάδες μάζας (στερεών) ανά όγκο (νερού), με συνήθως χρησιμοποιούμενες μονάδες το mg/l και g/m^3 . Οι συνολικές δε ποσότητες μεταφερόμενων φερτών, που εκφράζονται σε μονάδες μάζας ή όγκου (φερτών) ανά χρόνο, αντιπροσωπεύουν την ποσότητα του υλικού που πραγματικά χάνεται από τη λεκάνη απορροής, που έχει ως σημείο εξόδου τη θέση εξέτασης του φαινομένου της στερεοαπορροής.

Τα φερτά υλικά αποτίθενται στα κατάντη, με τις γνωστές δυσμενείς επιπτώσεις στις γεωργικές καλλιέργειες, τις οικιστικές περιοχές, τους πυθμένες ταμιευτήρων, λιμνών και θαλασσών, κ.λ.π. Η ποσότητά τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη χρήση γης του ορεινού τμήματος της λεκάνης απορροής. Έτσι, η ύπαρξη επαρκούς φυτοκαλύμματος και κυρίως υγιούς δάσους προστατεύει το έδαφος από τη διάβρωση και, κατά συνέπεια, μειώνει σημαντικά την ποσότητα των φερτών υλών. Αντίθετα, η καταστροφή του φυτοκαλύμματος, κυρίως σε περιπτώσεις πυρκαϊάς, συντελεί σε σημαντική αύξηση των φερτών υλών, ιδιαίτερα το πρώτο χρονικό διάστημα από την εκδήλωση της πυρκαϊάς, μέχρι την, μερική τουλάχιστον, αποκατάσταση της βλάστησης (βλέπε σχετικά παρ. 3.3.4).

3.3 Η επίδραση των πυρκαϊών στη διάβρωση του εδάφους

3.3.1 Γενικά

Η καταστροφή της δασικής βλάστησης μιάς λεκάνης απορροής από πυρκαϊά συντελεί, εκτός των άλλων και στην αύξηση του ρυθμού διάβρωσης του εδάφους στις πλαγιές της και κατά συνέπεια, στην αύξηση της ποσότητας των φερτών υλών στο στόμιο της, για ορισμένο χρονικό διάστημα μετά την πυρκαϊά.

Η μεταβολή αυτή οφείλεται:

- ° Στο μεγαλύτερο ύψος βροχής που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους μετά την καταστροφή της βλάστησης, το οποίο έχει σαν επακόλουθο τη δημιουργία μεγαλύτερης επιφανειακής απορροής, αφού η κατακράτηση της κόμης των δένδρων δεν υπάρχει. Η αυξημένη εδαφική απορροή συντελεί με την σειρά της στην αυξημένη διάβρωση του ακάλυπτου από βλάστηση εδάφους.
- ° Στην μείωση της ταχύτητας διήθησης της βροχής μέσα στο έδαφος, επειδή το πορώδες του ελαττώνεται από την εισχώρηση σε αυτό καμμένων υλικών, καθώς και από την δημιουργία υδρόφοβου στρώματος, λίγα εκατοστά κάτω από την επιφάνειά του, που μπορεί να φτάσει σε βάθος μέχρι και 20 εκατοστών (Rubio et al, 1995). Και το γεγονός αυτό συντελεί στην αύξηση της επιφανειακής απορροής και τελικά της διάβρωσης.

Σημειώνεται ότι η αυξημένη επιφανειακή απορροή στις πλαγιές της λεκάνης συνεπάγεται και αύξηση των μεγίστων παροχών (πλημμυρικών παροχών) στα υδατορεύματα (χειμάρρους, ποταμούς), με αποτέλεσμα αυξημένη διάβρωση και στην ίδια την κοίτη τους.

3.3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την διάβρωση μετά την πυρκαϊά

Πόσο όμως διαβρώνεται το έδαφος μιάς λεκάνης απορροής μετά την πυρκαϊά; Αμεση απάντηση στο ερώτημα αυτό δεν μπορεί δυστυχώς να δοθεί χωρίς συνεχείς μετρήσεις στην συγκεκριμένη λεκάνη, αφού η διεργασία διάβρωσης του εδάφους είναι πολύπλοκη και εξαρτάται από ένα σύνολο παραγόντων. Όμως, από την εξέταση και

αξιολόγηση των κρίσιμων αυτών παραγόντων, μπορεί εμμέσως να εκτιμηθεί η σοβαρότητα του προβλήματος για την συγκεκριμένη περιοχή. Οι σπουδαιότεροι παράγοντες είναι:

1. Το είδος της πυρκαϊάς (επικόρυφη, εδάφους ή μικτή)

Ο παράγοντας αυτός παίζει σημαντικό ρόλο στον βαθμό διάβρωσης του εδάφους, γιατί αν πρόκειται για μικτή πυρκαϊά (επικόρυφη και εδάφους) καταστρέφεται ολόκληρη η βλάστηση. Έτσι, το καμένο έδαφος παραμένει τελείως ακάλυπτο και διαβρώνεται σημαντικά από τις βροχοπτώσεις που ακολουθούν. Εξάλλου, όπως προαναφέρθηκε, η δημιουργία υψηλών θερμοκρασιών πάνω στο έδαφος δεν έχει μόνο ως αποτέλεσμα την καταστροφή της βλάστησης, αλλά και την δημιουργία υδρόφοβων στρώσεων στην επιφάνεια και το εσωτερικό του εδάφους, που ευνοούν την αύξηση της διάβρωσης.

2. Η συχνότητα εμφάνισης πυρκαϊάς

Η επίδραση του παράγοντα αυτού είναι προφανής, αφού όσο συχνότερα καίγεται η βλάστηση μιάς λεκάνης απορροής, τόσο ευκολότερα και περισσότερο διαβρώνεται το έδαφος. Σημειώνεται εξάλλου ότι, ενώ υπάρχουν επιστήμονες που υποστηρίζουν ότι οι φωτιές έχουν θετική επίδραση στο έδαφος και στην δυναμική των οικοσυστημάτων (π.χ., Giannini et al, 1988), κυρίως λόγω της επίδρασής τους στη δομή του εδάφους, κανείς δεν αμφισβητεί ότι αυξημένη συχνότητα εμφάνισης πυρκαϊών, που δεν επιτρέπει την ύπαρξη ικανών περιόδων “ανάρρωσης” του συστήματος, είναι επιζήμια και μπορεί να οδηγήσει σε δραστική υποβάθμιση ή και εξαφάνιση της βλάστησης.

3. Η τοπογραφία της λεκάνης και οι τύποι του εδάφους της

Λεκάνες απορροής με πλαγιές μεγάλου μήκους και κλίσεων διαβρώνονται μετά από πυρκαϊά, σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι λεκάνες όπου κυριαρχούν πλαγιές μικρού μήκους και κλίσεων. Επίσης, αμμώδη, ασβεστολιθικά και οριζόντια εδάφη παρουσιάζουν αυξημένη αντοχή στη διάβρωση.

4. Η γεωλογία της λεκάνης

Η ύπαρξη αδιαπέρατων πετρωμάτων, όπως, π.χ., φλύσχη, σχίστη, κ.λ.π., σε αντίθεση με τον ασβεστόλιθο, εμποδίζει την διήθηση της βροχής. Έτσι, σε περίπτωση αβαθούς

εδάφους δημιουργείται εύκολα κορεσμένη επιφανειακή απορροή, που στη συνέχεια συμβάλλει στη διάβρωση του εδάφους.

5. Οι καιρικές συνθήκες μετά την πυρκαϊά

Η επικράτηση ισχυρών βροχοπτώσεων μετά από πυρκαϊά προκαλεί προφανώς σημαντική διάβρωση του εδάφους αφού αυτό στερείται της προστασίας του φυτοκαλύμματος. Αντίθετα η επικράτηση μικρών βροχοπτώσεων συμβάλλει στη βαθμιαία επανεμφάνιση της βλάστησης.

6. Οι δραστηριότητες στη λεκάνη μετά την πυρκαϊά

Κάθε λεκάνη απορροής παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία σε κάθε είδος παρεμβάσεων, μετά την πυρκαϊά. Έτσι, διατάραξη της λεκάνης από βοσκή, κοπή και μεταφορά των καμένων δένδρων, παράνομες καταλήψεις εδαφών και οικοδόμηση σ'αυτές, καλλιέργεια, κλπ., συντελεί στην αναμόχλευση του εδάφους και στην διάβρωση του από τις βροχοπτώσεις που ακολουθούν, ενώ βέβαια μπορεί και να συντελέσει στην καθυστέρηση ή και ματαίωση της φυσικής επανεμφάνισης της βλάστησης.

Μεγαλύτερη διάβρωση μετά την πυρκαϊά παρατηρείται όταν όλοι οι παραπάνω παράγοντες είναι δυσμενείς. Η περίπτωση όμως αυτή είναι προφανώς η εξαίρεση και όχι ο κανόνας, αφού σε σπάνιες περιπτώσεις συμβαίνει όλοι οι παράγοντες να συντελούν στην αύξηση της διάβρωσης.

3.3.3 Μετρήσεις διάβρωσης μετά από πυρκαϊά, σε διάφορες χώρες

Μετά την παρουσίαση των παραγόντων που καθορίζουν το μέγεθος της διάβρωσης των εδαφών μετά την πυρκαϊά και τη συνεισφορά καθενός από αυτούς στη συγκεκριμένη λεκάνη, θεωρείται αναγκαία η αναφορά σε μετρήσεις διάβρωσης εδαφών και φερτών υλών σε υδατορεύματα που έγιναν σε καμένες περιοχές, όπως αυτές αναφέρονται στην βιβλιογραφία.

Τα αποτελέσματα εκτεταμένης βιβλιογραφικής ανασκόπησης, που έγινε στο πλαίσιο της παρούσης, παρουσιάζονται συνοπτικά και συγκεντρωτικά στον **Πίνακα 3-1**.

Πίνακας 3-1

Συνοπτική Παρουσίαση Παρατηρήσεων Διάβρωσης Καμένων Περιοχών

α/α	Ερευνητής (συγγραφέας)	Έτος	Χώρα και περιοχή μελέτης	Περιγραφή πειραματικών εργασιών	Διάρκεια μετρήσεων	Απώλεια εδάφους (t/ha/έτος)	Αύξηση της διάβρωσης μετά την φωτιά
1	Meginnis	1935	Αμερική- περιοχή Holly Springs του Μισισσιππή	Εγκατάσταση πειραματικών επιφανειών σε δάσος δρυός και θαμνώνων και στη συνέχεια καταστροφή της βλάστησης-δια φωτιάς	2 έτη	0,825	
2	Haig	1938	Αμερική περιοχή Σιέρας	Η βλάστηση σε αντίστοιχες πειραματικές επιφάνειες χρησιμοποιήθηκε ως μάρτυρας (δηλ., για σύγκριση) Εκτάσεις που ήταν καλυμμένες με πεύκα εκάησαν	2 έτη	0,625	1,32 φορές
3	Ewell et al	1941	Αμερική περιοχή Οκλαχόμας	Παρόμοιες εκτάσεις καλυμμένες με πεύκα χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες			καμμία μεταβολή στην διάβρωση
				Χρησιμοποιήθηκαν δασικές και λειβαδικές εκτάσεις και στη συνέχεια κάηκαν	9 έτη		31 φορές
				Παρόμοιες εκτάσεις που παρέμειναν ανέπαφες, χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες			καμμία μεταβολή στην διάβρωση

Πίνακας 3-1 (συνέχεια)
Συνοπτική Παρουσίαση Παρατηρήσεων Διάβρωσης Καμένων Περιοχών

α/α	Ερευνητής (συγγραφέας)	Ετος	Χώρα και περιοχή μελέτης	Περιήγηση πειραματικών εργασιών	Διάρκεια μετρήσεων	Απώλεια εδάφους (t/ha/έτος)	Αύξηση της διάβρωσης μετά την φωτιά
4	Daniel et al	1943	Αμερική περιοχή Οκλαχομας	Χρησιμοποιήθηκαν δασικές εκτάσεις που καίγονταν κάθε χρόνο Παρόμοιες ανέπαφες απο τη φωτιά εκτάσεις χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες	10 έτη	0,275	11 φορές
5	Pope et al	1946	Αμερική περιοχή Τέξας	Χρησιμοποιήθηκε τμήμα δάσους πλατύφυλλων ειδών που καίγονταν ετησίως Παρόμοιες αλλά ανέπαφες από τη φωτιά εκτάσεις χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες Μελετήθηκε περιοχή που η βλάστηση καταστράφηκε απο τη φωτιά Παρόμοιες αλλά ανέπαφες από τη φωτιά εκτάσεις χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες	9 έτη	0,900	7,2 φορές
6	Ferguson	1957	Αμερική περιοχή Ανατ. Τέξας		1,5 έτη	0,525	2,1 φορές
7	Duvall and Linnartz	1967	Αμερική	Μελετήθηκαν περιοχές καλυμμένες με πεύκα που καταστράφηκαν από φωτιά Παρόμοιες αλλά ανέπαφες εκτάσεις χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες	1,5 έτη	0,250	Καμία μεταβολή Καμία μεταβολή

Πίνακας 3-1 (συνέχεια)
Συνοπτική Παρουσίαση Παρατηρήσεων Διάβρωσης Καμένων Περιοχών

α/α	Ερευνητής (συγγραφέας)	Ετος	Χώρα και περιοχή μελέτης	Περιήγηση πειραματικών εργασιών	Διάρκεια μετρήσεων	Απώλεια εδάφους (t/ha/έτος)	Αύξηση της διάβρωσης μετά την φωτιά
8	Ursic	1970	Αμερική περιοχή Bor. Μισισσιππή	Μελετήθηκαν εκτάσεις με θαμνώδη δρυ που καταστράφηκαν με φωτιά Παρόμοιες αλλά ανέπαφες εκτάσεις χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες	1ο έτος 2ο έτος 3ο έτος	1,275 0,500 0,125	2,4 φορές 2,2 “ 1,7 “
9	Buckhouse and Gifford	1976	Αμερική	Μελετήθηκαν θαμνώδεις και λειβαδικές εκτάσεις των οποίων η βλάστηση καταστράφηκε από φωτιά	1ο έτος 2ο έτος 3ο έτος	0,525 0,225 0,075	Καμία μεταβολή
10	Campell et al	1974	Αμερική περιοχή Βόρειας Καρολίνας	Μελετήθηκε η απόθεση φερτών υλών σε 48 ταμειυτήρες, οι λεκανες απορροής των οποίων είχαν έκταση μεγαλύτερη από 5 km ² και η βλάστηση καταστράφηκε από φωτιά. Μελετήθηκαν πρόσφατες και παλαιότερες πυρκαϊές. Κατέληξαν ότι τα περισσότερα υλικά προέρχονταν από τους χωματόδρομους της περιοχής και όχι από τις καμένες περιοχές.		1,5 - 2	Οι πρόσφατες πυρκαϊές αύξησαν τα φερτά υλικά κατά 100% και οι παλαιότερες κατά 50%
11	Campell et al	1977		Μετρήθηκαν τα φερτά υλικά στο στόμιο λεκάνης απορροής 24,5 ha, της οποίας η βλάστηση καταστράφηκε από φωτιά για διάστημα 6 μηνών	6 μήνες	31 t/ha/δμήνες	Δεν είχαν γίνει μετρήσεις πριν την φωτιά

Πίνακας 3-1 (συνέχεια)
Συνοπτική Παρουσίαση Παρατηρήσεων Διάβρωσης Καμένων Περιοχών

α/α	Ερευνητής (συγγραφέας)	Ετος	Χώρα και περιοχή μελέτης	Περιγραφή πειραματικών εργασιών	Διάρκεια μετρήσεων	Απώλεια εδάφους (t/ha/έτος)	Αύξηση της διάβρωσης μετά την φωτιά
12	French, Harrell et al	1994	Αμερική, Αλάσκα	Παρακολούθηση καμένων δασών της Αλάσκας με τηλεπισκόπηση (εικόνα από δορυφόρο ERS-1).		Τα αποτελέσματα δείχνουν επαναφορά της βλάστησης μέσα σε 3 χρόνια	
13	Rubio et al	1995	Ισπανία περιοχή Alicante	Μελετήθηκε η διάβρωση του εδάφους σε 6 πειραματικές επιφάνειες μετά την καταστροφή της βλάστησης από φωτιά (σε περιοχή 95.000 στρεμμάτων πευκοδάσους και θάμνων). Η διάβρωση διέφερε στις 6 επιφάνειες και κυμάνθηκε από 0,21 μέχρι 11,1 t/ha κατά τους 16 μήνες, με μέση τιμή 2,47 t/ha/16 μήνες. Η τιμή αυτή είναι μεγαλύτερη από άλλες που παρατηρήθηκαν σε ανάλογα καμένα εδάφη στην Ισπανία, λόγω της συνεισφοράς στην μέση τιμή μίας από τις 6 θέσεις, όπου η φωτιά ήταν μεγάλης έντασης και παρουσιάστηκε σημαντική αύξηση της διάβρωσης. Στις υπόλοιπες θέσεις, η απώλεια εδάφους ήταν πολύ μικρότερη.	16 μήνες	1,85 (μέσος όρος 6 θέσεων: 0,16 0,17 0,17 0,18 2,1 8,3)	Δεν έγιναν μετρήσεις πριν την πυρκαϊά. Σημαντική αύξηση της διάβρωσης μόνο 4 μήνες μετά την φωτιά. Μετά ανάκαμψη και σταθεροποίηση.

Πίνακας 3-1 (συνέχεια)
Συνοπτική Παρουσίαση Παρατηρήσεων Διάβρωσης Καμένων Περιοχών

α/α	Ερευνητής (συγγραφέας)	Ετος	Χώρα και περιοχή μελέτης	Περίληψη πειραματικών εργασιών	Διάρκεια μετρήσεων	Απώλεια εδάφους (t/ha/έτος)	Αύξηση της διάβρωσης μετά την φωτιά
14	Concalves and Coelho	1995	Πορτογαλία	Μελετήθηκε η διάβρωση του εδάφους σε πειραματικές επιφάνειες πεύκης και ευκαλύπτου, μετά την καταστροφή της βλάστησης από φωτιά. Οι μετρήσεις έγιναν δύο χρόνια μετά τη φωτιά (Ιούλιος 1991 η φωτιά, Ιούλιος 1993 οι μετρήσεις).	7 μήνες	Πεύκη: 0,46 t/ha/7 μήνες Ευκαλ. 0,34 t/ha/7 μήνες	25 φορές 24 φορές
15	Cerda A.	1995	Ισπανία	Αντίστοιχες επιφάνειες πεύκης και ευκαλύπτου, που δεν είχαν καεί χρησιμοποιήθηκαν ως μάρτυρες. Μελετήθηκε η διάβρωση σε πέντε θέσεις δασικής έκτασης (πεύκης) που κάηκε. Μετρήσεις άρχισαν αμέσως μετά την πυρκαϊά (την επόμενη μέρα)	12 μήνες	Πεύκη: 0,013 Ευκαλ. 0,014 t/ha/7 μήνες	Αμέσως μετά την φωτιά (το καλοκαίρι) μικρή διάβρωση (αποδόθηκε στην παρουσία της στάχτης). Το φθινόπωρο και τον χειμώνα (4 μήνες) αυξημένη διάβρωση. Ενα χρόνο μετά, επαναφορά στην προτέρα κατάσταση (αποδόθηκε στην επανεμφάνιση της βλάστησης)

Όπως φαίνεται από τα στοιχεία του Πίνακα 2-10:

- Στις περισσότερες περιπτώσεις παρατηρήθηκε αύξηση της διάβρωσης μετά την πυρκαϊά σε σχέση με τις μ.ή καμένες περιοχές που χρησιμοποιήθηκαν για σύγκριση (ως μάρτυρες). Η αύξηση που καταγράφηκε για τις διάφορες περιπτώσεις κυμάνθηκε από 1 μέχρι 31 φορές. Σημειώνεται ότι μεγάλη αύξηση της διάβρωσης (π.χ 31 φορές) παρατηρήθηκε σε ερευνητικό επίπεδο κάτω από πειραματικές συνθήκες και σε περιπτώσεις όπου η βλάστηση καιγόταν ετησίως επί 9 ή περισσότερα συνεχή έτη. Θα μπορούσε επομένως με ασφάλεια να υποστηριχθεί ότι, όπως τουλάχιστον προκύπτει από τα βιβλιογραφικά δεδομένα, η μέση αύξηση της διαβρωσιμότητας της λεκάνης αμέσως μετά την πυρκαϊά κυμαίνεται από 2 έως 10 φορές και ο ρυθμός αύξησης μειώνεται σημαντικά με την πάροδο του χρόνου.
- Σε όλες τις περιπτώσεις η διάβρωση μετρήθηκε στις καμένες πλαγιές των λεκανών και, επομένως, ένα μικρό ποσοστό από την διαβρωθείσα επιφάνεια των πλαγιών μετατράπηκε σε φερτά υλικά στα υδατορεύματα. Συνεπώς, η αύξηση της στερεοπαροχής των υδατορευμάτων κυμάνθηκε σε χαμηλότερα από τα προαναφερθέντα επίπεδα.

Σε σχέση με τα παραπάνω παρατηρούνται τα ακόλουθα:

- Η μεγάλη διασπορά των τιμών της διάβρωσης που παρατηρήθηκαν στις διάφορες περιοχές οφείλεται προφανώς στην επικράτηση διαφορετικών κρίσιμων παραγόντων, που καθορίζουν το μέγεθος της διάβρωσης, από το σύνολο των παραγόντων που επηρεάζουν την διάβρωση (που προαναφέρθηκαν). Έτσι μεγαλύτερες τιμές διάβρωσης παρατηρούνται στις περιπτώσεις που οι διάφοροι κρίσιμοι παράγοντες είναι δυσμενείς (με αποτέλεσμα αθροιστικά δυσμενές αποτέλεσμα).
- Η μέτρηση της διάβρωσης του εδάφους μετά από πυρκαϊά και κυρίως των φερτών υλικών των υδατορευμάτων είναι ιδιαίτερα δύσκολο πρόβλημα, πράγμα που εξηγεί την παντελή έλλειψη μετρήσεων στα σημεία εξόδου των λεκανών και τον περιορισμό των μετρήσεων σε πειραματικές επιφάνειες στις πλαγιές των βουνών.

Όσον αφορά στον Μεσογειακό χώρο, από πρόσφατες εργασίες σχετικά με την απερήμωση της Μεσογείου, όπως αυτές που εκπονούνται στο πλαίσιο του προγράμματος MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use), προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Η υπάρχουσα εύθραυστη ισορροπία του εδαφικού συστήματος σε ορεινές πλαγιές με μεγάλες κλίσεις μπορεί να διαταραχθεί σημαντικά από ανθρωπογενείς επιδράσεις, όπως οι πυρκαϊές. Υποστηρίζεται όμως και ότι το θέμα της επίδρασης των πυρκαϊών στην διάβρωση του εδάφους έχει υπερεκτιμηθεί, αφού παρ'όλο το πλήθος των πυρκαϊών που εμφανίζονται στην περιοχή, δεν παρατηρούνται συχνά περιπτώσεις υπερβολικής αύξησης της στερεοαπορροής ιδιαίτερα στα επίπεδα που εκτιμώνται με βάση την συνήθως χρησιμοποιούμενη Παγκόσμια Εξίσωση της Εδαφικής Απώλειας (USLE) (Thornes, 1995).
- Σε συστηματικές έρευνες κατά τις οποίες παρακολούθηθηκε η διαχρονική εξέλιξη της διάβρωσης καμένων εδαφών, δασικών κυρίως εκτάσεων, παρατηρήθηκε ότι μεγαλύτερες εδαφικές απώλειες παρουσιάζονται το πρώτο διάστημα μετά την φωτιά (τους 3 - 4 φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες μετά από καλοκαιρινές πυρκαϊές), ενώ στην συνέχεια παρουσιάζεται σταδιακή μείωση της διάβρωσης και σταθεροποίηση λόγω επαναφοράς της βλάστησης (Rubio et al, 1995 και σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές στην δημοσίευση αυτή).
- Οι επιπτώσεις της φωτιάς στην αύξηση της διάβρωσης εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ένταση της φωτιάς (θερμοκρασία που αναπτύσσεται). Σε περίπτωση πολύ μεγάλης έντασης (ανεξέλεγκτες μεγάλες φωτιές, υψηλές θερμοκρασίες κοντά στο έδαφος), παρουσιάζεται σημαντική αύξηση της διάβρωσης αμέσως μετά την φωτιά λόγω της μεταβολής των ιδιοτήτων του εδάφους (θρυμματίζεται/αποσπάται ευκολότερα).

3.3.4 Αποκατάσταση ισορροπίας της διάβρωσης του εδάφους μιάς λεκάνης απορροής μετά από πυρκαϊά

Γενικά

Είναι ελάχιστες ίσως οι περιοχές της γης όπου η φυσική βλάστηση δεν καταστράφηκε κάποτε στο παρελθόν από πυρκαϊά, που προήλθε από φυσική ή ανθρωπογενή αιτία. Ομως, το σύνολο σχεδόν των περιοχών αυτών είναι και πάλι καλυμμένες από φυσική βλάστηση και αυτό καταδεικνύει τη δυνατότητα της φύσης να ανανεώνει τη φυτοκάλυψη μετά την καταστροφή της από πυρκαϊά. Βέβαια, υπάρχουν και περιοχές όπου η βλάστηση υποβαθμίζεται σημαντικά ή εξαφανίζεται τελείως μετά την καταστροφή της από πυρκαϊά. Οι τελευταίες αυτές περιπτώσεις οφείλονται είτε σε μεγάλη συχνότητα εμφάνισης των πυρκαϊών, είτε σε ανθρώπινες παρεμβάσεις μετά την καταστροφή της βλάστησης.

Στις Μεσογειακές χώρες, η βλάστηση και κυρίως η ποώδης, αρχίζει συνήθως την επανεμφάνισή της μετά τις πρώτες βροχοπτώσεις του φθινοπώρου που ακολουθούν τις πυρκαϊές του καλοκαιριού, με αποτέλεσμα την μείωση του ρυθμού διάβρωσης του εδάφους, που παρατηρείται κατά τις πρώτες αυτές φθινοπωρινές και χειμερινές βροχοπτώσεις.

Παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο αποκατάστασης

Το χρονικό διάστημα που απαιτείται μέχρι πλήρους αποκατάστασης της βλάστησης ποικίλλει από χώρα σε χώρα αλλά και από περιοχή σε περιοχή. Κατά συνέπεια και ο χρόνος επαγωγής του ρυθμού διάβρωσης του εδάφους σε εκείνον πριν από την φωτιά ποικίλλει και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, οι σπουδαιότεροι από τους οποίους είναι:

1. Η ένταση της φωτιάς: Αν η ένταση είναι μεγάλη, τότε η βλάστηση, η δασική φυλλάδα, οι σπόροι των δέντρων και η οργανική ουσία στην επιφάνεια του εδάφους καταστρέφονται τελείως. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επιβράδυνση της επανεμφάνισης βλάστησης και προφανώς και του χρόνου που απαιτείται για να μειωθεί ο ρυθμός διάβρωσης του εδάφους.

2. Οι κλιματικές συνθήκες στην περιοχή: Η αποκατάσταση της βλάστησης γίνεται πίο σύντομα σε υγρά παρά σε ξηρά κλίματα. Ετσι, π.χ., ο Wood και οι συνεργάτες του (1969) παρατήρησαν σε λεκάνη απορροής της Χαβάης ότι, 6 μήνες μετά από πυρκαϊά, στο 94% της περιοχής η βλάστηση είχε πυκνότητα 50% εκείνης πριν από την πυρκαϊά, με αποτέλεσμα την επαναφορά του ρυθμού διάβρωσης στα προ της πυρκαϊάς επίπεδα. Αντίθετα με την παραπάνω περίπτωση, οι DeByle & Packer (1972) διαπίστωσαν στην Βόρεια Καρολίνα των ΗΠΑ ότι ο ρυθμός διάβρωσης επανήλθε στο προ της πυρκαϊάς επίπεδο την τρίτη χρονιά από την πυρκαϊά. Ο χρόνος αυτός επιμηκύνεται, όπως αναφέρθηκε με την ξηρότητα του κλίματος και σαν παράδειγμα αναφέρεται περίπτωση στην Νέα Νότια Ουαλλία της Αυστραλίας, όπου διαπιστώθηκε ότι τα αυξημένα φερτά υλικά του ρέματος μιάς λεκάνης απορροής επανήλθαν στην πριν από την πυρκαϊά ποσότητα κατά το 4ο έως 5ο έτος μετά από αυτήν.
3. Οι ανθρώπινες παρεμβάσεις μετά την πυρκαϊά: Ο παράγοντας αυτός μπορεί να επιβραδύνει ή να επιταχύνει την επανεμφάνιση της βλάστησης ανάλογα με το είδος της παρέμβασης. Ετσι, π.χ., η λήψη μέτρων απαγόρευσης της βοσκής στις καμένες περιοχές και η κατασκευή ουτοτεχνικών και τεχνικών έργων δημιουργούν συνθήκες ευκολότερης αποκατάστασης της βλάστησης και ταχύτερης, προφανώς, μείωσης του ρυθμού διάβρωσης του εδάφους. Αντίθετα, η βόσκηση στην λεκάνη απορροής μετά την πυρκαϊά, καθώς και κάθε είδος άλλων ενεργειών που διαταράσσουν την περιοχή, συντελούν στην επιμήκυνση του χρόνου αποκατάστασης της βλάστησης με την συνακόλουθη προστασία του εδάφους.

Επανεμφάνιση της βλάστησης στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στην Αττική

Γενικά, ο ρυθμός επανεμφάνισης της βλάστησης μετά από πυρκαϊά είναι μεγαλύτερος στις ξηροθερμικές και χαμηλού υψομέτρου περιοχές της νότιας Ελλάδας, που καλύπτονται από αείφυλλα πλατύφυλλα (maquis) και Χαλέπιο ή Τραχεία πεύκη, παρά στις αντίστοιχες περιοχές της κεντρικής και βόρειας Ελλάδας.

Ειδικότερα στην περιοχή της Αττικής, τα φυτικά είδη έχουν την ικανότητα να αναγεννώνται εύκολα μετά από πυρκαϊά, είτε με σπόρους, όπως, π.χ., η Χαλέπια

πεύκη, είτε με πρεμνοβλαστήματα, όπως τα διάφορα αείφυλλα πλατύφυλλα (π.χ., πρίνος, κουμαριά, αργιά, κουτσουπιά, σπάρτο, ρείκι, κ.λ.π.). Ετσι, από τους πρώτους μήνες του φθινοπώρου, μετά την πυρκαϊές, που εμφανίζονται τους θερινούς μήνες, εκπτώσσονται τα πρεμνοβλαστήματα των ειδών που προαναφέρθηκαν και παρέχουν την πρώτη προστασία στο έδαφος έναντι της διάβρωσης. Προς την κατεύθυνση αυτή συμβάλλουν σημαντικά και τα είδη της μονοετούς βλάστησης, που μαζί με την φύτευση των σπόρων της Χαλεπίου πεύκης, την πρώτη άνοιξη μετά την πυρκαϊά, προσφέρουν σημαντική προστασία κατά της διάβρωσης του εδάφους. Βέβαια, η παραπάνω διαδικασία ανάπτυξης και εξάπλωσης της βλάστησης προϋποθέτει την απαγόρευση της βοσκής στις καμένες περιοχές και την προστασία τους από παράνομες καταλήψεις και ανεγέρσεις κτισμάτων.

Επισημαίνεται όμως ότι η προστασία του εδάφους μίας καμένης περιοχής κατά της διάβρωσης με την επανεμφάνιση της βλάστησης αυξάνει βαθμιαία με το πέρασμα του χρόνου. Επομένως, η περιοχή είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις πρώτες βροχοπτώσεις μετά την πυρκαϊά οι οποίες όταν εμφανίζονται προκαλούν οπωσδήποτε σημαντική διάβρωση του εδάφους. Στην συνέχεια όμως, η προστασία αυξάνεται με την πρόοδο της αποκατάστασης της βλάστησης και φτάνει σε πολύ ικανοποιητικό επίπεδο (πάνω από 50% της προστασίας πριν από την πυρκαϊά) μέσα σε 3 ή 4 χρόνια από την εκδήλωση της πυρκαϊάς, ακόμα και όταν δεν λαμβάνονται ιδιαίτερα μέτρα για την περιοχή. Το χρονικό αυτό διάστημα, που απαιτείται για την σταθεροποίηση της λεκάνης απορροής, μειώνεται αισθητά με την κατασκευή φυτοτεχνικών και τεχνικών έργων, όπως είναι τα κορμοδέματα και κορμοφράγματα που κατασκευάστηκαν στην Πεντέλη από τη Δασική Υπηρεσία και τα φράγματα ανάσχεσης της πλημμυρικής απορροής και φερτών υλών, που κατασκευάστηκαν από την ΕΥΔΑΠ στους περισσότερους κύριους κλάδους των ρεμάτων που συμβάλλουν στο Ρέμμα Ραφήνας (βλέπε παρ. 2.5.2).

Ειδικά στις καμένες περιοχές της λεκάνης απορροής του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας, η αποκατάσταση της βλάστησης προχωράει με πολύ ενθαρρυντικούς ρυθμούς. Όπως αναφέρεται και στην παρ.2.5.2, κάποιο είδος φυτοκάλυψης έχει αναπτυχθεί στο σύνολο σχεδόν της καμένης έκτασης (βλέπε **Φωτογραφίες 15 και 16**).

4. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΟΣΟΤΗΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΩΝ ΦΕΡΤΩΝ (ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΑΠΩΛΕΙΑΣ) ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΟΑΠΟΡΡΟΗΣ

4.1 Γενικά

Στην λεκάνη απορροής του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας, οι κρίσιμοι παράγοντες που επηρεάζουν την διάβρωση μετά την πυρκαϊά, οι οποίοι αναλύθηκαν στην παράγραφο 3.3.2, δεν είναι ιδιαίτερα δυσμενείς και η συνεκτίμησή τους, λαμβάνοντας υπόψη και την τοπογραφία και υδρογραφία της λεκάνης, τεκμηριώνει την ποιοτική εκτίμηση ότι οι ποσότητες φερτών υλών που θα μεταφερθούν στις εκβολές του ρέματος, ακόμα και κατά το τρέχον έτος, δεν πρόκειται να είναι πολύ μεγαλύτερες από εκείνες που θα μεταφερόταν αν δεν είχε συμβεί η πυρκαϊά.

Συγκεκριμένα:

1. Καιρικές συνθήκες των πρώτων μηνών στην περιοχή μετά την πυρκαϊά

Όπως περιγράφεται αναλυτικά στην παράγραφο 2.5.2, το ευαίσθητο εδαφικό υλικό, που δημιουργήθηκε μετά την πυρκαϊά, διαβρώθηκε ήδη από τις καταιγίδες του χειμώνα 1995-96, και η λεκάνη σήμερα, μετά την παρέλευση 14 μηνών, βρίσκεται σε αρκετά σταθεροποιημένη κατάσταση.

Ακόμα, οι βροχοπτώσεις μετά την πυρκαϊά συνέβαλαν σημαντικά στην επανεμφάνιση της ποώδους βλάστησης καθώς και στην εμφάνιση καινούργιων βλαστών και ξυλωδών φυτών στη περιοχή. Επομένως, δημιουργήθηκε το πρώτο φυτοκάλυμα, που βαθμιαία αναπτύσσεται συνεχώς και προστατεύει το έδαφος από τη διάβρωση. Το έδαφος προστατεύεται επιπλέον και από την φύτρωση μεγάλου αριθμού πεύκων, που παρατηρήθηκε στην περιοχή.

Κατά συνέπεια, η λεκάνη έχει ήδη ξεπεράσει τη μεγάλη ευαισθησία που συνήθως παρατηρείται τους πρώτους μήνες μετά την πυρκαϊά και σήμερα βρίσκεται σε πολύ ικανοποιητικό στάδιο σταθεροποίησης.

2. Δραστηριότητες στη λεκάνη μετά την πυρκαϊά

Στο στάδιο σταθεροποίησης της λεκάνης, συνέβαλλαν σημαντικά και τα έργα που κατασκευάστηκαν από το Υπουργείο Γεωργίας και την ΕΥΔΑΠ, τα οποία περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 2 (βλέπε παράγραφο 2.4.2).

Τα έργα αυτά, όπως διαπιστώθηκε απο επισκέψεις στην περιοχή, λειτούργησαν αποδοτικά και συγκράτησαν επιτόπου μεγάλη ποσότητα εδάφους, που μεταφέρθηκε απο τις πρώτες βροχές μετά την πυρκαϊά, κυρίως στην λεκάνη του χειμάρρου Βαλανάρη.

Στην σταθεροποίηση και αποκατάσταση του εδάφους της περιοχής έχουν συμβάλλει και συμβάλλουν και άλλες ενέργειες, που έγιναν απο το Υπ. Γεωργίας, όπως η κήρυξη της περιοχής ως αναδασωτέας (Διαταγή 3002/21-9-95, Δ/νση Δασών Ανατολικής Αττικής), η απαγόρευση της βοσκής στην Πεντέλη (Αρ. Διαταγής 6242/23-10-1995, Δασαρχείο Πεντέλης) και ο προγραμματισμός αναδάσωσης των τμημάτων όπου η βλάστηση δεν θα εγκατασταθεί με φυσικό τρόπο.

3. Είδος πυρκαϊάς

Παρά το γεγονός ότι το είδος της πυρκαϊάς χαρακτηρίστηκε ως μικτό, ήταν δηλαδή πυρκαϊά της κόμης των δένδρων και της θαμνώδους και ποώδους βλάστησης, δεν απογύμνωσε όλη την περιοχή από την βλάστησή της, στην έκταση των 47 τετρ. χιλιομέτρων που διέσχισε.

Ετσι, σε πολλές μεμονωμένες θέσεις, αλλά και ολόκληρες περιοχές, η βλάστηση παρέμεινε ανέπαφη, με αποτέλεσμα την σημαντική προστασία του εδάφους κατά τόπους. Οι θέσεις και περιοχές αυτές παρέμειναν ανέπαφες είτε λόγω της τοπογραφίας του εδάφους, είτε λόγω των ανθρώπινων παρεμβάσεων για την προστασία της ιδιοκτησίας τους. Όπως δε τεκμηριώνεται στην παραγρ. 2.4.1, η έκταση των περιοχών που όντως κάηκαν δεν ξεπερνάει το ήμισυ της “καμένης” περιοχής, δηλαδή τα 13.000 στρέμματα και αντιπροσωπεύει λιγότερο από το ένα δέκατο (10%) της συνολικής έκτασης της λεκάνης απορροής.

4. Τοπογραφία, τύποι εδάφους και γεωλογία λεκάνης

Σημειώνεται ότι, ενώ η τοπογραφία της καμένης περιοχής (σχετικά μεγάλες κλίσεις) και η γεωλογία της (σχιστόλιθοι και τριτογενείς αποθέσεις) ευνοούν τη διάβρωση των εδαφών μετά την πυρκαϊά, το πρόβλημα εξομαλύνεται σημαντικά με την κατασκευή των φυτοτεχνικών και τεχνικών έργων και την λήψη μέτρων διοικητικού χαρακτήρα που προαναφέρθηκε.

Πάντως, αμέσως μετά την πυρκαϊά, δηλαδή τον χειμώνα του 1995-96, αναμφισβήτητα αυξήθηκε η ποσότητα των φερτών υλών του ρέματος. Η αύξηση αυτή έγινε αισθητή κατα τη διάρκεια μεγάλων καταιγίδων των πρώτων μηνών μετά την φωτιά. Όπως προαναφέρθηκε, η μεταβολή αυτή οφείλεται:

- ° στην αύξηση της διάβρωσης της λεκάνης απο επιφανειακή απορροή, που δημιουργείται εξαιτίας της απόθεσης μεγαλύτερης ποσότητας βροχής στο έδαφος μετά την καταστροφή της βλάστησης, καθώς και
- ° στην αδυναμία διήθησης της βροχής, αφού μετά την πυρκαϊά μειώνεται και η ταχύτητα διήθησής της στο έδαφος λόγω μεταβολής των φυσικών του ιδιοτήτων.

Πέραν λοιπόν των ποιοτικών εκτιμήσεων που γίνονται στην αρχή της παρούσας παραγράφου, παραμένει η ανάγκη της, όσο το δυνατόν ακριβέστερης, ποσοτικής εκτίμησης της στερεοαπορροής του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας πριν από την πυρκαϊά και κάτω από τις σημερινές συνθήκες, έτσι ώστε να καταστεί δυνατή:

- i. η ποσοτικοποίηση της επίδρασης της πυρκαϊάς στην ποσότητα των φερτών υλών που μεταφέρονται στην θέση της εκβολής του Ρέματος και
- ii. η αναγνώριση των κύριων παραμέτρων που καθορίζουν το μέγεθος της στερεοαπορροής στην εκβολή της συγκεκριμένης λεκάνης, έτσι ώστε να γίνει τεκμηριωμένη εκτίμηση του χρονικού διαστήματος για το οποίο η επίδραση της πυρκαϊάς μπορεί να χαρακτηριστεί ως σημαντική.

Όπως αναλύθηκε και στην παράγραφο 2.1, άμεση ποσοτικοποίηση της στερεοαπορροής δεν μπορεί να δοθεί χωρίς συστηματικές και αξιόπιστες μετρήσεις, αφού ο μηχανισμός διάβρωσης του εδάφους είναι ιδιαίτερα πολύπλοκος. Εμμεσα το ερώτημα είναι δυνατόν να απαντηθεί με σχετική ακρίβεια με την χρήση κατάλληλων μαθηματικών ομοιωμάτων (μοντέλων) και εμπειρικών σχέσεων, που έχουν προκύψει από μετρήσεις που έγιναν σε άλλες λεκάνες της Ελλάδας.

Στις παραγράφους που ακολουθούν παρουσιάζεται:

- Η μαθηματική προσομοίωση της στερεοπαροχής με χρήση μοντέλου, ειδικού για την εκτίμηση στερεοαπορροής από διαταραγμένες εδαφικές επιφάνειες, που βασίζεται στις πλέον αναγνωρισμένες διεθνώς μεθοδολογίες για την προσομοίωση υδρολογίας και φερτών. Εξετάζεται η στερεοαπορροή πριν την πυρκαϊά και για τις σημερινές συνθήκες και εξάγονται συμπεράσματα για την αύξηση των μεταφερόμενων ποσοτήτων φερτών υλών.
- Η εκτίμηση της στερεοαπορροής με βάση εμπειρικές σχέσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα σε υδρολογικές λεκάνες της Ελλάδας. Επειδή μέχρι σήμερα, σε αντίθεση με άλλες Μεσογειακές χώρες, δεν υπάρχουν ουσιαστικά δεδομένα μετρήσεων στερεοαπορροής από καμένες εκτάσεις, δεν έχουν προταθεί μέχρι σήμερα εμπειρικές σχέσεις για την εκτίμηση της στερεοαπορροής σε Ελληνικές λεκάνες που βρίσκονται στο στάδιο αποκατάστασης από πυρκαϊά. Έτσι, για την εκτίμηση της στερεοαπορροής στην σημερινή κατάσταση, επιχειρείται στην παρούσα μία προσεγγιστική αντιμετώπιση του θέματος, δηλαδή η χρήση των προταθέντων εμπειρικών σχέσεων με κατάλληλες παραδοχές.
- Η συγκεντρωτική παρουσίαση και σύγκριση όλων των παραπάνω και η συνεκτίμησή τους για την εξαγωγή τελικών συμπερασμάτων.

4.2 Εκτίμηση στερεοαπορροής με χρήση μαθηματικού μοντέλου

4.2.1 Μοντέλο *SEDIMOT-II*

Η προσομοίωση της στερεοαπορροής έγινε με την χρήση του μαθηματικού μοντέλου *SEDIMOT-II* (*SEdimentology by DIstributed MOdel Treatment*), το οποίο είναι ειδικό για την εκτίμηση της στερεοαπορροής από επιφάνειες που έχουν διαταραχθεί, αφού πρωτοδημιουργήθηκε σαν εργαλείο για τον υπολογισμό της στερεοαπορροής από περιοχές με μεταλλεία, τον σχεδιασμό έργων παρέμβασης για την μείωση της εδαφικής διάβρωσης και της στερεοαπορροής και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας σχετικών τεχνικών έργων. Το μοντέλο δημιουργήθηκε από το Γεωργικό Τμήμα του Πανεπιστημίου του Κεντάκυ (Department of Agricultural Engineering, University of Kentucky) για λογαριασμό της Υπηρεσίας Προστασίας Περιβάλλοντος των ΗΠΑ (EPA) και είναι μοντέλο δεύτερης γενιάς, δηλαδή αποτελεί εξέλιξη ενός προηγούμενου μοντέλου (του *SEDIMOT-I*) και συνδυασμό του με ένα δοκιμασμένο υδρολογικό μοντέλο.

Το μοντέλο προσομοιώνει τα μεμονωμένα επεισόδια βροχής (event simulation model), όπως όλα τα σύγχρονα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της στερεοαπορροής. Η προσέγγιση αυτή είναι ενδεδειγμένη, αφού στην ετήσια στερεοαπορροή συνεισφέρουν μόνο οι έντονες βροχοπτώσεις και έτσι, δεν είναι σκόπιμη η χρήση μοντέλων συνεχούς προσομοίωσης ολόκληρου του υδρολογικού έτους, τα οποία αναγκαστικά είναι πολύπλοκα και απαιτούν την εισαγωγή μεγάλου αριθμού δεδομένων ή την χρησιμοποίηση πολλών παραμέτρων και παραδοχών.

Οι δύο κύριες συνιστώσες του μοντέλου είναι η υδρολογική υπορουτίνα και η υπορουτίνα των φερτών. Η προσομοίωση της υδρολογίας βασίζεται στην μεθοδολογία της SCS (Soil Conservation Service) του μοντέλου των αριθμημένων καμπυλών (Curve Number model), που είναι και η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη για τον υπολογισμό των παροχών στα μοντέλα της EPA και του Υπουργείου Γεωργίας των ΗΠΑ (USDA) και γενικά σε υδρολογικές και υδραυλικές μελέτες. Η προσομοίωση των φερτών βασίζεται στην Τροποποιημένη Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικών Απωλειών (MUSLE), η οποία επίσης είναι η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη μεθοδολογία για την εκτίμηση της απώλειας εδαφών, ενώ υπάρχει και η δυνατότητα της εναλλακτικής

χρησιμοποίησης υπορουτίνας που συνδυάζει τις αρχές απόσπασης και μεταφοράς του εδάφους, όπως αυτές έχουν παλαιότερα εφαρμοστεί και καταξιωθεί σε άλλα μοντέλα (π.χ., CREAMS).

4.2.2 Εφαρμογή μοντέλου στην λεκάνη απορροής Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας

Προσομοιώθηκαν οι τέσσερις χρήσεις γης της λεκάνης, με βάση τα ισοσταθμισμένα υδρολογικά, γεωλογικά και τοπογραφικά χαρακτηριστικά που προκύπτουν από τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά κάθε υπολεκάνης, όπως αυτά παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 2.

Οι συντελεστές που χρησιμοποιούνται στην MUSLE (διαβρωσιμότητας εδάφους, κλίσης-μήκους και χρήσης γης/πρακτικής) υπολογίστηκαν με βάση τους τύπους, νομογραφήματα και πίνακες της USDA, για τα χαρακτηριστικά (π.χ., εδαφολογικά, τοπογραφικά και άλλα) των συγκεκριμένων υπολεκανών.

Ως στοιχεία βροχοπτώσεων χρησιμοποιήθηκαν τα επεξεργασμένα στοιχεία του βροχογράφου της EMY στα Σπάτα για τα έτη 1995 και 1996 και τα διαθέσιμα στοιχεία παρελθόντων ετών, που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 2 και στο Παράρτημα III.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται με την μορφή συγκεντρωτικών Πινάκων και σχημάτων στην συνέχεια του παρόντος Κεφαλαίου. Στο Παράρτημα III παρουσιάζεται ενδεικτικά τυπικό αρχείο αποτελεσμάτων του μοντέλου.

Η προσομοίωση της στερεοαπορροής γίνεται για την περίοδο πριν από την πυρκαϊά και για την σημερινή κατάσταση, όπως αυτή έχει ήδη διαμορφωθεί και περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2. Δεν έγινε προσπάθεια προσομοίωσης των συνθηκών αμέσως μετά την πυρκαϊά, αφού δεν υπάρχει σκοπιμότητα για κάτι τέτοιο, ενώ, αντίθετα, υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα ως προς τις ακριβείς συνθήκες που επικρατούσαν εκείνη την περίοδο και τον βέλτιστο τρόπο προσομοίωσής τους.

4.2.3 Στερεοαπορροή πριν από την πυρκαϊά

Στον Πίνακα 4-1 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της εκτίμησης της επιφανειακής στερεοαπορροής για κάθε μία από τις σημαντικές βροχοπτώσεις του 1995 και των πρώτων μηνών του 1996, για την κατάσταση που επικρατούσε στην λεκάνη απορροής πριν από την πυρκαϊά. Δηλαδή, στον Πίνακα παρουσιάζονται τα υδρολογικά μεγέθη (συνολικός όγκος επιφανειακής απορροής, μέγιστη παροχή) και τα μεγεθη στερεοαπορροής στην εκβολή της λεκάνης απορροής (συνολική ποσότητα φερτών σε αιώρηση που έφτασαν στην εκβολή για κάθε επεισόδιο βροχής, μέγιστη συγκέντρωση φερτών στο νερό της απορροής, χρονικό διάστημα κατά το οποίο υπήρχε σημαντική συγκέντρωση φερτών υλικών στην ροή προς την θάλασσα), τα οποία αντιστοιχούν σε κάθε επεισόδιο βροχής, εφόσον αυτό συνέβαινε πριν την πυρκαϊά του Ιουλίου του 1995.

Ετσι, για παράδειγμα, από τον Πίνακα προκύπτει ότι:

- ° Κατά το διάστημα 13-15 Ιανουαρίου του 1995, οπότε εμφανίστηκε η μεγαλύτερη βροχή του έτους, η οποία διήρκεσε 40 ώρες και είχε ένα συνολικό ύψος βροχής 53,9 χιλιοστά (δηλαδή, σε μία επιφάνεια 1 km^2 “έπεσαν” $0,0539 \text{ m} \times 1.000.000 \text{ m}^2 = 0,0539 \text{ εκ. m}^3$ και σε ολόκληρη την έκταση της λεκάνης απορροής έπεσαν $0,0539 \times 134 = 7,22 \text{ εκ. m}^3$), η επιφανειακή απορροή (δηλαδή η συνολική ποσότητα νερού που έφτασε τελικά στην θάλασσα από το Ρέμμα Ραφήνας, στο οποίο συγκεντρώθηκε η ροή όλων των μικρορεμμάτων και χειμάρρων της λεκάνης) ήταν $3,4 \text{ εκ. m}^3$ (δηλαδή, το μισό περίπου του συνολικού όγκου της ατμοσφαιρικής κατακρήμνισης κατέληξε στην θάλασσα ενώ το υπόλοιπο κατακρατήθηκε στην λεκάνη), η μέγιστη παροχή ήταν $62,7 \text{ m}^3/\text{s}$, η συνολική μάζα των φερτών υλικών που έφτασαν στην εκβολή αιωρούμενα στην ροή του ρέματος ήταν 3.983 τόνοι, που αντιστοιχούν σε όγκο φερτών ίσο με 2.845 m^3 , η μέγιστη συγκέντρωση φερτών στο νερό ήταν 1.600 mg/l περίπου και η μεταφορά αξιόλογων ποσοτήτων φερτών στην θάλασσα διήρκεσε για χρονικό διάστημα 45 περίπου ωρών. Τέλος, από τον Πίνακα προκύπτει ότι η ποσότητα φερτών που μεταφέρθηκε στην εκβολή του Ρέματος λόγω της συγκεκριμένης βροχόπτωσης, αντιπροσωπεύει το 60% περίπου της συνολικής ποσότητας φερτών που θα κατέληγε στην θάλασσα το ημερολογιακό έτος 1995, αν δεν είχε συμβεί η πυρκαϊά του 7/1995.

Πίνακας 4-1

Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μαθηματικής προσομοίωσης στερεοαπορροής
πριν από την πυρκαϊά

Α. ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΦΩΤΙΑ		K=0.4, 0.4, 0.35, 0.05, C=0.003, 0.006, 0.135, 0.003										
α/α	Ημερομηνία	ΒΡΟΧΗ		ΑΠΟΡΡΟΗ				ΦΕΡΤΑ (σε αιωρ)				
		Διάρ- κεια	Υψος	Ογκος	Μεγ. παροχή			Μάζα	Ογκος (ρ=1,4 τον/μ3)	Μεγ. συγκ.	Διάρκεια σημαντι- κής συγκέν- τρωσης	Ποσοστό % επί ετήσιου φορτίου φερτών
		(ώρες)	(χιλ.)	(acre- ft)	(εκ.μ3)	(cfs)	(κυβ. μ./δλ.)	(τόνοι)	(κυβ. μ.)	(mg/l)	(ώρες)	
Ετος: 1995												
1	3-4/1/95	13	13,4	138,12	0,17	207,90	5,89	229,1	163,64	1833,7	30,4	3
2	5-6/1/95	14	14	153,7	0,19	264,40	7,49	277,2	198	1902,2	27,1	4
3	13-15/1/95	40	53,9	2764	3,4	2214,0	62,69	3982,6	2844,71	1606,2	45,3	59
4	13-15/3/95	21,3	23,5	575,6	0,71	863,90	24,46	1041,8	744,14	1937,8	38,4	16
5	3-4/11/95	12	15,6	204,4	0,25	304,00	8,61	344,9	246,36	1762,9	38,6	5
6	14-15/11/95	5,5	17	261,6	0,32	654,10	18,52	609	435	2534,6	32,8	9
7	4-5/12/95	14	11,3	82,9	0,10	201,90	5,72	173	123,57	2264,4	15	3
8	19/12/95	13	8,6	27,3	0,03	76,20	2,16	57	40,71	2094,7	15,9	1
9	30/12/95	10	2,8	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	0
							<i>Σύνολο</i>	<i>6715</i>	<i>4796</i>			<i>100</i>
Ετος: 1996												
10	27/1/96	7,5	26,8	765	0,94	1745,2	49,42	1860,2	1328,71	2892,3	35,2	21
11	31/1/96	24	54	2785,3	3,44	3732,2	105,68	5165,7	3689,79	1946,8	35	58
12	4-5/2/96	13,7	19,4	359,1	0,443	686,20	19,43	730,7	521,93	2485,6	40	8
13	8/2/96	7	22	495	0,61	1212,1	34,32	1176,6	840,43	2448,4	34,3	13
								<i>8933</i>	<i>6381</i>			<i>100</i>

- Αν δεν είχε συμβεί η πυρκαϊά, το συνολικό φορτίο φερτών υλικών που θα έφτανε στην εκβολή του Ρέματος κατά την διάρκεια του 1995 με την επιφανειακή απορροή θα ήταν 4.800 m^3 περίπου (6.715 τόνοι). Το μεγαλύτερο μέρος δε της ποσότητας αυτής θα οφείλετο στις τρεις πιό έντονες βροχοπτώσεις (της 13-15/1/95 που συνεισφέρει το 59%, της 13-15/3/95 που συνεισφέρει το 16% και της 14-15/11/95 που συνεισφέρει το 9%), που συνολικά θα προκαλούσαν το 84% της συνολικής στερεοαπορροής της λεκάνης του Ρέματος Ραφήνας.
- Αντίστοιχα, αν δεν είχε συμβεί η πυρκαϊά, το επιφανειακό φορτίο φερτών υλικών που θα έφτανε στην εκβολή του Ρέματος κατά την διάρκεια των πρώτων 2 μηνών του 1996 θα ήταν 6.380 m^3 , το 58% του οποίου θα οφείλετο σε μία μόνο βροχόπτωση, αυτήν της 31/1/1996.

Στον Πίνακα 4-2 παρουσιάζονται αναλυτικότερα στοιχεία, που προκύπτουν από την προσομοίωση των βροχοπτώσεων που φαίνονται στον Πίνακα 4-1. Ετσι, για παράδειγμα, από τον Πίνακα αυτό προκύπτει ότι:

- Από τους 3.983 τόνους φερτών που έφτασαν στην θάλασσα κατά την βροχή της 13-15/1/95, οι 71,4 τόνοι προήλθαν από τις δασικές εκτάσεις που δεν κάηκαν αργότερα (τον Ιούλιο του ίδιου έτους), οι 72,8 τόνοι προήλθαν από τις εκτάσεις θάμνων και αραιού δάσους που δεν κάηκαν αργότερα, οι 3.082,5 τόνοι (δηλαδή το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής ποσότητας φερτών και συγκεκριμένα το 77,39% αυτής, όπως φαίνεται στον Πίνακα) προήλθαν από αγροτικές (καλλιεργούμενες) εκτάσεις που δεν κάηκαν αργότερα, οι 3,8 τόνοι προήλθαν από οικιστικές ζώνες από όπου δεν πέρασε αργότερα η φωτιά, οι 246 τόνοι προήλθαν από εκτάσεις που καλύπτονταν από δάση που κάηκαν αργότερα, οι 193 τόνοι προήλθαν από τις εκτάσεις θάμνων και αραιού δάσους που κάηκαν αργότερα, οι 312,4 τόνοι προήλθαν από αγροτικές (καλλιεργούμενες) εκτάσεις που κάηκαν αργότερα και, τέλος, 1,4 τόνοι προήλθαν από οικιστικές ζώνες τις οποίες αργότερα διέσχισε η φωτιά.

Πίνακας 4-2

Ανάλυση μεταφερομένων φερτών ανά περιοχή (χρήση γης) πριν από την πυρκαϊά

ΒΡΟΧΗ		Φερτά (τόνοι)								
α/α	Ημερομηνία	Δάσος1	Θάμνοι1	Αγροτ1	Οικιστ1	Δάσος2	Θάμνοι2	Αγροτ2	Οικιστ2	Σύνολο
1	3-4/1/95	0,00	0,00	207,36	0,17	0,00	0,10	21,41	0,09	229,13
	% τμήματος	0,00	0,00	90,50	0,08	0,00	0,04	9,34	0,04	
2	5-6/1/95	0,00	0,10	250,09	0,28	0,00	0,30	26,36	0,09	277,22
	% τμήματος	0,00	0,04	90,21	0,10	0,00	0,11	9,51	0,03	
3	13-15/1/95	71,4	72,8	3082,5	3,8	246	193	312,4	1,4	3983,3
	% τμήματος	1,79	1,33	77,39	0,10	6,18	4,85	7,84	0,04	
4	13-15/3/95	4,20	7,30	901,00	1,00	14,40	19,40	93,71	0,40	1041,40
	% τμήματος	0,40	0,70	86,52	0,10	1,38	1,86	9,00	0,04	
5	3-4/11/95	0,00	0,50	311,20	0,30	0,00	1,30	31,67	0,10	345,07
	% τμήματος	0,00	0,14	90,19	0,09	0,00	0,38	9,18	0,03	
6	14-15/11/95	0,20	1,30	545,67	0,58	0,70	3,49	56,90	0,19	609,03
	% τμήματος	0,03	0,21	89,60	0,10	0,11	0,57	9,34	0,03	
7	4-5/12/95	0,00	0,00	156,44	0,09	0,00	0,00	16,27	0,09	172,91
	% τμήματος	0,00	0,00	90,48	0,05	0,00	0,00	9,41	0,05	
8	19/12/95	0,00	0,00	51,33	0,00	0,00	0,00	5,63	0,00	56,96
	% τμήματος	0,00	0,00	90,12	0,00	0,00	0,00	9,88	0,00	
	Σύνολο 1995	75,80	82,00	5505,6	6,23	261,10	217,59	564,34	2,37	6715,02
	% τμήματος	1,13	1,22	81,99	0,09	3,89	3,24	8,40	0,04	100,00
	% βροχής #3	94,20	88,78	55,99	61,04	94,22	88,70	55,36	59,16	
10	27/1/96	10,63	16,42	1583,5	1,87	36,74	43,61	167,46	0,66	1860,85
	% τμήματος	0,57	0,38	85,09	0,10	1,97	2,34	9,00	0,04	
11	31/1/96	93,4	95,3	4008,8	4,5	323,5	252,8	387,5	1,6	5167,4
	% τμήματος	1,81	1,34	77,58	0,09	6,26	4,89	7,50	0,03	
12	4-5/2/96	1,08	3,13	645,02	0,74	3,72	8,40	68,26	0,28	730,63
	% τμήματος	0,15	0,43	88,28	0,10	0,51	1,15	9,34	0,04	
13	8/2/96	3,3	6,3	1026,3	1,2	11,3	16,8	111,1	0,4	1176,7
	% τμήματος	0,28	0,54	87,22	0,10	0,96	1,43	9,44	0,03	
	Σύνολο 1996	108,40	121,1	7263,6	8,31	375,27	321,62	734,31	2,93	8935,57
	% τμήματος	1,21	1,36	81,29	0,09	4,20	3,60	8,22	0,03	100,00
	% βροχής #2	86,16	78,67	55,19	54,13	86,21	78,60	52,77	54,54	

Σημείωση:

Κάθε χρήση γης έχει χωριστεί σε δύο τμήματα. Το πρώτο αντιπροσωπεύει την έκταση που δεν κάηκε και το δεύτερο αυτήν που κάηκε (δηλαδή ανήκει στην περιοχή που πέρασε η φωτιά). Για παράδειγμα, το τμήμα Δάσος1 είναι το τμήμα της έκτασης που καλύπτεται από δάσος, που δεν επηρεάστηκε από την φωτιά, ενώ το Δάσος2 είναι το υπόλοιπο τμήμα της συνολικής έκτασης δάσους, δηλαδή, αυτό από όπου πέρασε η φωτιά.

Για την μελετώμενη κατάσταση, δηλαδή, πριν την φωτιά, ο διαχωρισμός δεν έχει σημασία, αφού και τα δύο τμήματα κάθε χρήσης γης έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά. Γίνεται όμως για να διευκολύνει την μελέτη της επίδρασης της φωτιάς στις μεταφερόμενες ποσότητες φερτών ανά περιοχή, σε συνδυασμό με τον Πίνακα 4-7, όπου φαίνονται οι ποσότητες μεταφερομένων φερτών ανά περιοχή μετά την φωτιά.

- Από τους 6.715 τόνους που θα έφταναν στην θάλασσα όλη την διάρκεια του 1995, αν δεν είχε συμβεί η πυρκαϊά του καλοκαιριού, οι 6.070 τόνοι ($=5.505,6+564,34$), δηλαδή ποσοστό 90% ($=81,99+8,4$) θα προέρχονταν από τις καλλιεργούμενες εκτάσεις, ενώ το υπόλοιπο είναι ισομοιρασμένο περίπου μεταξύ των εκτάσεων που καλύπτονται από δάση και των εκτάσεων που καλύπτονται από θάμνους και αραιά δάση. Σημειώνεται εξάλλου ότι η συνεισφορά των εκτάσεων των δύο αυτών κατηγοριών (δασών και θάμνων και αραιών δασών) οφείλεται κυρίως (κατά 94% και 89% αντίστοιχα) σε μία μόνο βροχή, δηλαδή την εντονότερη βροχή του έτους (αυτή της 13-15/1/95).
- Ανάλογα αποτελέσματα προκύπτουν και για τις βροχές των πρώτων μηνών του 1996, τα αποτελέσματα των οποίων προσομοιώνονται, για την περίπτωση που δεν είχε συμβεί η πυρκαϊά (βλέπε Πίνακα 4-2).

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των αποτελεσμάτων των μεγάλων βροχών του 1995 και 1996 προκύπτει ότι:

- Όπως συμβαίνει συνήθως (ιδιαίτερα σε λεκάνες σαν αυτή του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας, όπου υπάρχουν μόνο ρέματα και χείμαρροι μη συνεχούς ροής), το μεγαλύτερο μέρος της στερεοαπορροής οφείλεται σε μικρό μόνο αριθμό έντονων βροχοπτώσεων.
- Όπως ήταν αναμενόμενο, πριν από την πυρκαϊά, οι μεγαλύτερες ποσότητες φερτών υλών που έφταναν στην εκβολή του Ρέματος Ραφήνας προέρχονταν από τις πεδινές καλλιεργούμενες εκτάσεις, οι οποίες βρίσκονται πιο κοντά στην εκβολή και, κυρίως, διαβρώνονται ευκολότερα από το νερό της επιφανειακής απορροής και τις σταγόνες της βροχής. Οι δασικές εκτάσεις, αν και βρίσκονται σε ορεινές και λοφώδεις περιοχές με σημαντικές κλίσεις, είχαν μικρή μόνο συνεισφορά στην συνολική στερεοαπορροή, αφού λόγω της πυκνής βλάστησης διαβρώνονται δυσκολότερα και παρουσιάζουν μικρότερη επιφανειακή απορροή, ενώ εξάλλου βρίσκονται σε πιο απομακρυσμένα σημεία της λεκάνης, σε σχέση με την εκβολή.

Στον Πίνακα 4-3, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά όλες οι σημαντικές βροχοπτώσεις του έτους 1995 καθώς και των ετών 1971-1981 (δεκαετία κατά την οποία παρατηρήθηκαν πολλές βροχοπτώσεις, που ήταν πολύ πιο έντονες από αυτές που εμφανίστηκαν τα τελευταία χρόνια). Για κάθε επεισόδιο βροχής δίνεται το συνολικό ύψος της βροχόπτωσης και η μέση έντασή της (που είναι ίση με το πηλίκον του ύψους βροχόπτωσης διά της συνολικής διάρκειας βροχόπτωσης), καθώς και η ποσότητα επιφανειακής στερεοαπορροής, για τις συνθήκες πριν από την πυρκαϊά του 1995.

Από τα στοιχεία του Πίνακα επιβεβαιώνεται ότι οι μεγαλύτερες ποσότητες φερτών μεταφέρονται συνήθως από 1-2 πολύ έντονες βροχοπτώσεις κάθε έτος. Φαίνεται επίσης ότι, σε περιπτώσεις κάποιου πολύ έντονου επεισοδίου βροχής (όπως π.χ., της πολύ έντονης βροχόπτωσης του 1978, η οποία είχε συνολικό ύψος βροχής 130,4 mm και προκάλεσε μεγάλες καταστροφές, ενώ είχε και ανθρώπινα θύματα), η επιφανειακή στερεοαπορροή για το ένα και μόνο αυτό επεισόδιο βροχής μπορεί να είναι πολλαπλάσια του μέσου ετήσιου φορτίου φερτών.

Στον Πίνακα 4-4 γίνεται ανάλυση της στερεοαπορροής των 7 μεγαλύτερων βροχοπτώσεων των ετών 1972-1980, και παρουσιάζεται η συνεισφορά κάθε κατηγορίας χρήσης γης στην συνολική στερεοαπορροή για κάθε επεισόδιο βροχής, καθώς και το ποσοστό της συνολικής ετήσιας στερεοαπορροής το οποίο αντιπροσωπεύει η συγκεκριμένη βροχόπτωση.

Από τα στοιχεία του Πίνακα προκύπτει ότι:

- ° Και στις περιπτώσεις των πολύ έντονων βροχοπτώσεων, το μεγαλύτερο μέρος των μεταφερόμενων φερτών (83% κατά μέσο όρο) προέρχεται από τις καλλιεργούμενες εκτάσεις, ενώ μόνο το 10% περίπου προέρχεται από εκτάσεις που καλύπτονται από δάση και το 7,5% από εκτάσεις που καλύπτονται από θάμνους και αραιά δάση.
- ° Κάθε μία από τις έντονες βροχοπτώσεις προκαλεί ένα σημαντικό μέρος της συνολικής επιφανειακής στερεοαπορροής του αντίστοιχου έτους. Συγκεκριμένα, η συνεισφορά κάθε μιάς από τις βροχοπτώσεις αυτές στην ετήσια στερεοαπορροή κυμαίνεται από 30 % μέχρι 70%, με μέση τιμή το 46%.

**Πίνακας 4-3 : Στερεοαπορροή πριν από την φωτιά για όλες τις σημαντικές βροχές
1995 και δεκαετίας 1971-1981**

Ετος, α/α	Υψος (χιλ)	Ενταση (χιλ/ώρα)	αιωρ. Φερτά (τόνοι)	Ετος, α/α	Υψος (χιλ)	Ενταση (χιλ/ώρα)	αιωρ.Φερτά (τόνοι)
1995				1977			
1	13,4	1,0	164	1	3,2	12,8	0
2	14	1,0	198	2	10,1	10,1	88
3	53,9	1,3	2845	3	10,6	8,5	105
4	23,5	1,1	744	4	14,5	9,7	289
5	15,6	1,2	246	5	45,1	15,0	3953
6	17	3,1	435	6	75,5	7,2	6420
7	11,3	0,8	124	7	70,2	5,2	5163
8	8,6	0,7	41		229,2	9	16019
	157,3	0,85	4797				
1981				1974			
1	20,6	10,3	747	1	6,2	6,2	3
2	20,1	5,0	674	2	28,1	14,1	1572
3	19,5	4,9	632	3	17,8	7,1	525
4	37,2	8,8	2564	4	25,4	4,2	1068
5	45,5	3,0	2409	5	92,1	6,4	7549
	142,9	6,67	7026		169,6	6,28	10718
1980				1973			
1	11,5	11,5	136	1	4,2	16,8	0
2	10,2	10,2	88	2	13,8	18,4	264
3	24,1	19,3	1121	3	22,3	8,9	902
4	50,2	28,7	4999	4	21,5	6,1	808
5	16,7	8,4	436	5	22,5	5,0	882
6	28,1	22,5	1601	6	20,6	4,6	705
7	22,8	9,1	952	7	32,6	4,3	1682
8	30,1	8,6	1762		137,5	10,57	5242
9	27,2	4,5	1240	1972			
	220,9	8,02	12335	1	7,8	10,4	31
1979				2	7,5	10,0	26
1	9,6	9,6	71	3	7,2	7,2	14
2	16,4	9,9	420	4	13,6	9,1	25
3	38,2	17,0	2912	5	27,1	5,4	1297
4	25,5	5,7	1151	6	86,5	9,6	8413
5	52,2	6,5	3936	7	74,1	7,4	6379
6	59,6	4,8	4132	8	42,3	3,3	2266
	201,5	7,18	12621		266,1	6,83	18451
1978				1971			
1	4,6	9,2	0	1	14,1	28,2	293
2	11,6	15,5	159	2	7,4	14,8	21
3	8,7	8,1	43	3	12,5	12,5	182
4	38	19,0	2925	4	20,5	5,1	719
5	13,6	6,8	243	5	25,1	3,9	1019
6	13,5	6,8	229		79,6	16,03	2234
7	18,6	6,8	562				
8	27,7	9,2	1469				
9	19,3	5,9	611				
10	28,5	4,8	1363				
11	130,4	11,3	13663				
	314,5	10,27	21267				

Πίνακας 4-4

Μεγαλύτερες βροχές ετών 1972-1980

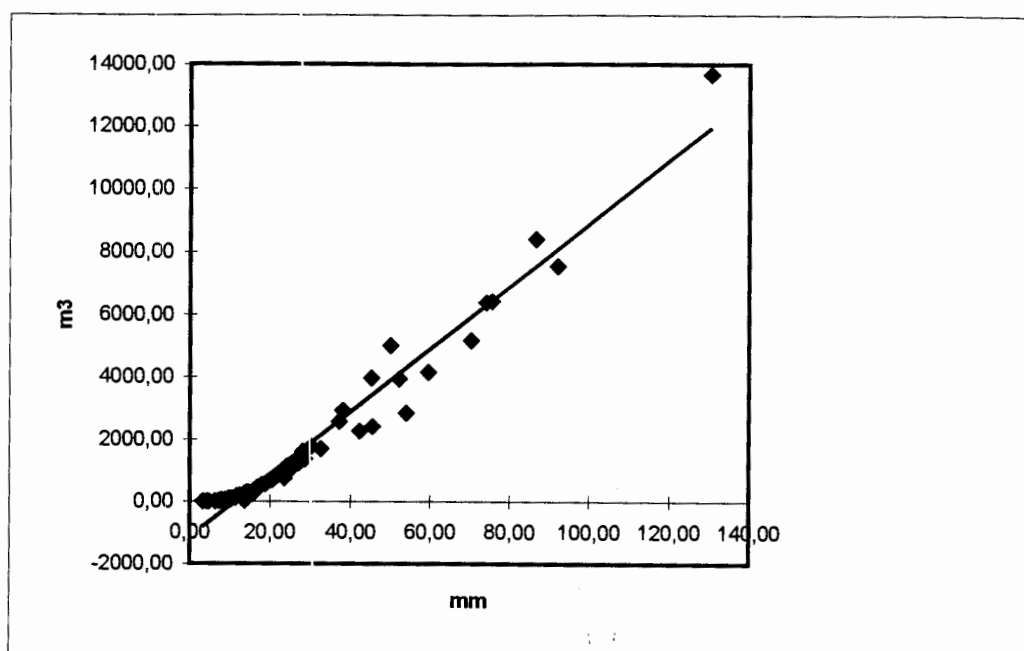
και συνεισφορά τους στην συνολική ετήσια στερεοαπορροή

α/α	Ετος	Δάσος		Θάμνοι		Αγροί		Οικισμοί		αωρ	Ποσοστό ετήσιου φορτίου φερτών
		m3	%	m3	%	m3	%	m3	%	Φερτά m3	
1	1972	883	10	679	8	6841	81	10	2,4	8414	45,6
2	1974	861	11	648	9	6032	80	8	0,1	7548	70,4
3	1977	638	10	498	8	5274	82	7	0,1	6417	40,1
4	1978	1723	13	1252	9	10671	78	15	0,1	13661	64,2
5	1979	363	9	294	7	3470	84	5	0,1	4132	32,7
6	1979	296	8	254	6	3381	86	5	0,1	3935	31,2
7	1980	302	6	285	6	4403	88	7	0,1	4997	38,8
	Μέσος όρος	9,5		7,5		82,8			0,4	7015	46,2

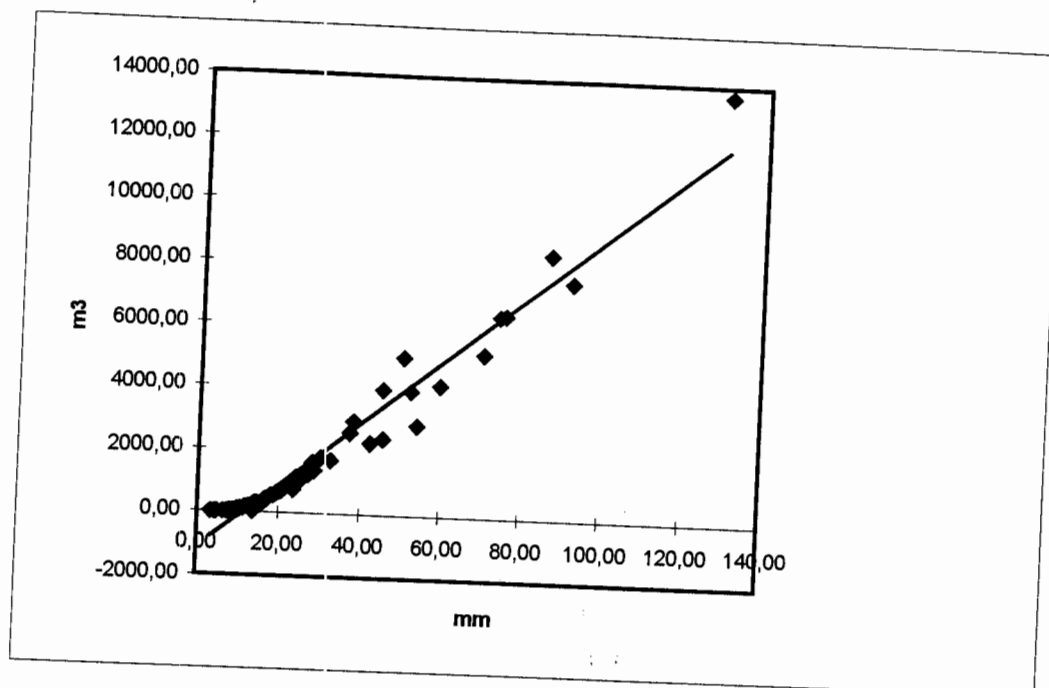
Σημειώνεται επίσης ότι από τα στοιχεία των Πινάκων 4-1 έως 4-4 προκύπτει ότι:

- ° Για δύο βροχές ίδιου ή παραπλήσιου συνολικού ύψους, μεγαλύτερη στερεοαπορροή παρατηρείται από την βροχή που έχει, σε κάποιο χρονικό διάστημα, μεγαλύτερη ένταση, καθώς και από αυτήν που έχει μικρότερη διάρκεια.
- ° Πέρα όμως από την προαναφερόμενη παρατήρηση, μπορεί να λεχθεί ότι γενικά βροχές με μεγαλύτερο ύψος βροχοπτώσης συνδέονται με μεγαλύτερη στερεοαπορροή. Το φαινόμενο αυτό απεικονίζεται παραστατικά στο **Σχήμα 7**.
- ° Ετσι, και σε ετήσια βάση, υπάρχει γενικά καλή συσχέτιση του συνολικού ύψους βροχής των έντονων βροχοπτώσεων (δηλαδή, αυτών που προκαλούν κάποια, έστω και μικρή, στερεοαπορροή), που μπορεί να λεχθεί ότι είναι αυτές το ύψος βροχής των οποίων ξεπερνά τα 10 περίπου χιλιοστά, και της ετήσιας στερεοαπορροής. Το φαινόμενο αυτό επιβεβαιώνεται από τα στοιχεία του **Πίνακα 4-5**, όπου παρουσιάζεται συγκεντρωτικά ο αριθμός των έντονων βροχοπτώσεων κάθε έτους, από αυτά που προσομοιώθηκαν, το συνολικό ύψος βροχής των βροχοπτώσεων αυτών και η στερεοαπορροή του αντίστοιχου έτους. Η γραμμική πρακτικά σχέση μεταξύ των δύο τελευταίων παραμέτρων (δηλαδή της στερεοαπορροής και του συνολικού ύψους βροχής των έντονων βροχοπτώσεων) φαίνεται εποπτικά στο **Σχήμα 8**, όπου απεικονίζονται τα στοιχεία του Πίνακα 4-5.

Σημειώνεται τέλος ότι όλα τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται αφορούν στο αιωρούμενο φορτίο. Κατά κοινή παραδοχή, το φορτίο πυθμένα μπορεί να προσεγγιστεί ως το 10 - 15% του αιωρούμενου φορτίου. Στην συγκεκριμένη λεκάνη εκτιμάται ότι το φορτίο πυθμένα ίσως είναι και μικρότερο από το ποσοστό αυτό, λόγω της λεπτόκκοκης σύνθεσης των φερτών, η οποία επιβεβαιώθηκε από επί τόπου παρατηρήσεις. Ωστόσο, για να είναι οι εκτιμήσεις μας πιο συντηρητικές, οι τιμές της στερεοαπορροής σε αιώρησι πολλαπλασιάστηκαν επί 1,15 για τον υπολογισμό της συνολικής στερεοαπορροής.



Σχήμα 7: Συσχέτιση στερεοαπορροής με ύψος βροχής πριν από την πυρκαϊά
(για μεμονωμένες βροχές)

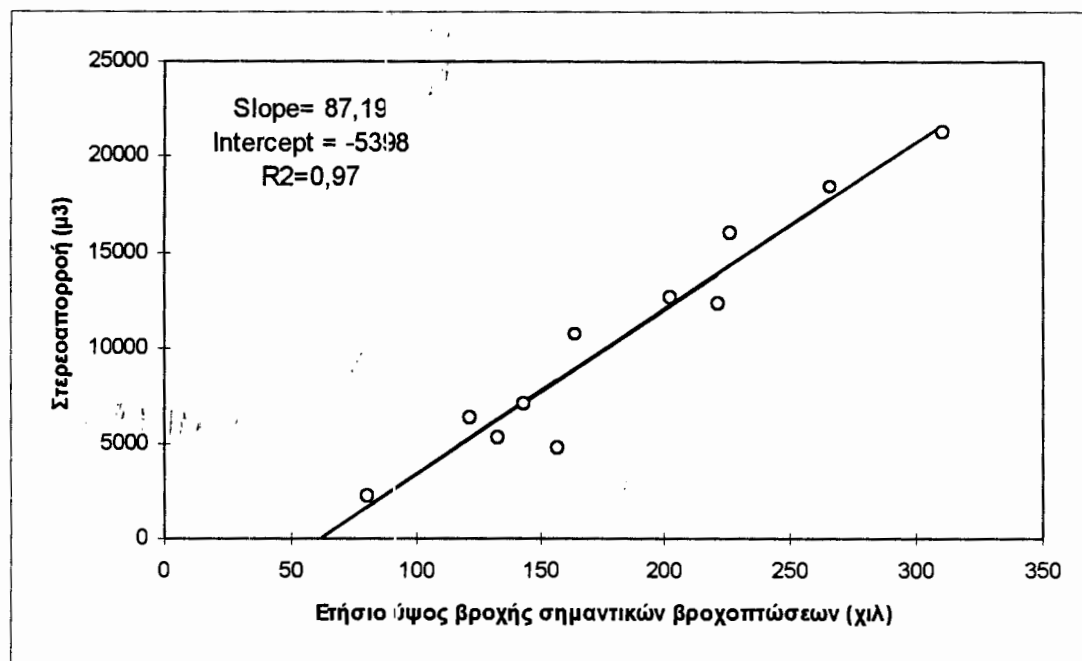


Σχήμα 7: Συσχέτιση στερεοαπορροής με ύψος βροχής πριν από την πυρκαϊά (για μεμονωμένες βροχές)

Πίνακας 4-5

Συγκεντρωτική παρουσίαση στερεοαπορροής πριν από την πυρκαϊά

Ετος	Αριθμός σημαντικών βροχών	Συνολικό ύψος βροχής (χιλ)	Στερεοαπορροή σε αιώρηση (μ3)
1996	4	122	6381
1995	8	157	4797
1981	5	143	7026
1980	9	221	12335
1979	6	202	12621
1978	10	310	21267
1977	6	226	16019
1974	4	164	10715
1973	6	133	5242
1972	8	266	18451
1971	5	80	2234
M.O.	6,45	184	10644
M.O. χωρίς 1978	6	171	9582



Σχήμα 8 : Συσχέτιση στερεοαπορροής με συνολικό ύψος σημαντικών βροχοπτώσεων

4.2.4 Στερεοαπορροή ένα χρόνο μετά την πυρκαϊά

Στον Πίνακα 4-6 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της προσομοίωσης της στερεοαπορροής για τις σημερινές συνθήκες της λεκάνης απορροής, δηλαδή ένα έτος μετά από την πυρκαϊά.

Σημειώνεται ότι οι παραδοχές που έγιναν για τις διάφορες παραμέτρους (βασικά υδρολογικές παραμέτρους και παραμέτρους που επηρεάζουν την απώλεια εδάφους) θεωρούνται μάλλον δυσμενείς, έτσι ώστε οι εκτιμώμενες τιμές της στερεοαπορροής να είναι αρκετά συντηρητικές (δηλαδή, η τιμές της επιφανειακής απορροής και της στερεοαπορροής που φαίνονται στον Πίνακα 4-6 είναι μάλλον μεγαλύτερες από αυτές που αναμενονται στην πραγματικότητα).

Συγκεκριμένα, όσον αφορά στους συντελεστές της εξίσωσης MUSLE (που φαίνονται στον Πίνακα 4-6, και για τις καμένες εκτάσεις και για τις περιοχές που δεν επηρεάστηκαν από την φωτιά, για κάθε χρήση γης), η επιλογή τους για τις εκτάσεις δασών και θάμνων και αραιών δασών, που βρίσκονται μέσα στην ζώνη την οποία διέσχισε η φωτιά, βασίστηκε στην παραδοχή ότι η διαβρωσιμότητα του εδάφους για το σύνολο των εκτάσεων αυτών είναι σήμερα 11 φορές μεγαλύτερη από ότι πριν από την πυρκαϊά. Η παραδοχή αυτή εκτιμάται σαν σαφώς δυσμενής, με βάση τα δεδομένα που παρουσιάζονται στις παραγράφους 2.5.2 και 3.3.

Για τα στοιχεία που παρουσιάζονται στον Πίνακα ισχύουν τα ανάλογα με αυτά που εξηγούνται στην παρ. 4.2.3. Τονίζεται ότι στον Πίνακα 4-6 παρουσιάζονται οι πλημμυρικές παροχές και οι ποσότητες φερτών, που εκτιμάται ότι θα ήταν το αποτέλεσμα των βροχοπτώσεων που εμφανίστηκαν κατά την διάρκεια του έτους 1995 και των πρώτων μηνών του 1996, αν αυτές οι βροχοπτώσεις εμφανίζονταν σήμερα, δηλαδή, 15 μήνες μετά την πυρκαϊά.

Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων των Πινάκων 4-1 και 4-6 προκύπτει ότι:

- ° Λόγω της πυρκαϊάς, παρουσιάζεται αύξηση της επιφανειακής απορροής και των πλημμυρικών παροχών σε σχέση με τα πρό του 1995 επίπεδα. Η αύξηση αυτή δεν

είναι πολύ μεγάλη και είναι μεγαλύτερη για τις μικρότερες βροχές (οι οποίες όμως δεν έχουν την δυνατότητα να προκαλέσουν μεγάλες πλημμύρες και καταστροφές).

- ° Ετσι, η αύξηση του συνολικού όγκου της επιφανειακής απορροής για τις βροχοπτώσεις του 1995 κυμαίνεται από 24% (για την εντονότερη βροχή, δηλαδή αυτή της 13-15/1/95) μέχρι 167% (για την βροχή με την μικρότερη ένταση, δηλαδή αυτήν της 19/12/1995, η οποία ακόμα και με την αύξηση αυτή εξακολουθεί να χαρακτηρίζεται ως βροχή μικρής σημασίας, από πλευράς απόλυτης τιμής απορροής και στερεοαπορροής). Η συνολική αύξηση της ποσότητας του ετήσιου όγκου είναι 37%. Για τις βροχοπτώσεις του 1996, η αντίστοιχη αύξηση είναι από 24% μέχρι 58%, με συνολική αύξηση κατά 24%.
- ° Ανάλογα, οι τιμές της μέγιστης παροχής αυξάνονται για τις βροχοπτώσεις του 1995 από 15% μέχρι 78%, με μέση αύξηση 29%, ενώ για τις βροχοπτώσεις του 1996 αυξάνονται από 15% μέχρι 34%, με μέση αύξηση 22%.
- ° Οι ποσότητες στερεοαπορροής αυξάνονται επίσης και, όπως και στην περίπτωση της επιφανειακής απορροής, η ποσοστιαία αύξηση είναι μεγαλύτερη για τις μικρότερες βροχές. Ετσι, για τις βροχοπτώσεις του 1995, υπολογίζεται συνολικός πενταπλασιασμός της συνολικής στερεοαπορροής σε ετήσια βάση, ενώ για τις βροχοπτώσεις του 1996, η συνολική στερεοαπορροή αυξάνεται κατά 4,5 φορές.

Στον **Πίνακα 4-7** παρουσιάζεται η ανάλυση των μεταφερομένων φερτών ανά περιοχή (χρήση γης) για την υφιστάμενη κατάσταση (επεξεργασία αποτελεσμάτων προσομοιώσεων που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-6). Όπως φαίνεται από τον Πίνακα, το βασικό αποτέλεσμα της πυρκαϊάς είναι ότι τώρα υπάρχει πολύ μεγαλύτερη συνεισφορά των δασικών εκτάσεων και των εκτάσεων που καλύπτονται από θάμνους και αραιά βλάστηση.

Ετσι από τον Πίνακα προκύπτει ότι αν οι βροχές του 1995 ή του 1996 εμφανιστούν και φέτος, το μισό περίπου της συνολικής στερεοαπορροής θα προέλθει από τις εκτάσεις που καλύπτονται από, τα καμένα βασικά, δάση (ποσοστό $49,65 = 49,42 + 0,23$ για το 1995 και $48,4 = 48,13 + 0,27$ για το 1996), ενώ η συνεισφορά των καλλιεργούμενων

εκτάσεων στην στερεοαπορροή θα περιοριστεί στο 20 % περίπου (ποσοστό $18,94 = 16,75 + 2,19$ για το 1995 και $20,37 = 18,04 + 2,33$ για το 1996) και οι θαμνώδεις εκτάσεις με αραιά δάση θα αποτελούν την πηγή του 30% περίπου της συνολικής στερεοαπορροής (ποσοστό $31,38 = 31,13 + 0,25$ για το 1995 και $31,2 = 30,90 + 0,3$ για το 1996).

Πίνακας 4-6

Συγκεντρωτικά αποτελέσματα μαθηματικής προσομοίωσης στερεοαπορροής
ένα έτος μετά από την πυρκαϊά

B. ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΦΩΤΙΑ				όχι καμένα:K=0.4, 0.4, 0.35, 0.05, C=0.003, 0.006, 0.135, 0.003 καμένα: K=0.44, 0.44, 0.4, 0.1, C=0.03, 0.06, 0.15, 0.003									
		ΒΡΟΧΗ		ΑΠΟΡΡΟΗ		ΦΕΡΤΑ (σε αωρ)							Ποσοστό %
α/α	Ημερομηνία	Διάρ- κεια	Υψος	Ογκος	Μεγ. παροχή	Μάζα	Ογκος (ρ=1,4 τον/μ3)	Μεγ. Συγκ. Φερτών	Διάρκεια σημαντι- κής συγκέν- τρωσης (ώρες)	επί ετήσιου φορτίου φερτών			
		(ώρες)	(χιλ.)	(acre- ft)	(εκ μ3)	(cfs)	(μ.3/δλ)	(τόνοι)	(μ3)	(mg/l)			
Ετος: 1995													
1	3-4/1/95	13	13,4	245	0,30	311,62	8,82	1593,7	1138,4	5363,8	40,8	5	
2	5-6/1/95	14	14	269,2	0,33	399,80	11,32	1937,4	1383,9	6570,6	37,2	6	
3	13-15/1/95	40	53,9	3425,7	4,2	2540,4	71,94	16323	11659	4440	45,7	49	
4	13-15/3/95	21,3	23,5	854,6	1,05	1145,8	32,45	5524,6	3946,1	6162,8	38,7	17	
5	3-4/11/95	12	15,6	346,3	0,42	436,90	12,37	2144,1	1531,5	5645	40,2	6	
6	14-15/11/95	5,5	17	430,12	0,53	915,30	25,92	3611,3	2579,5	7876,5	33,1	11	
7	4-5/12/95	14	11,3	157,3	0,19	311,20	8,81	1315,6	939,71	7157,8	26,7	4	
8	19/12/95	13	8,6	63,7	0,08	135,40	3,83	599,5	428,21	8535	35,9	2	
9	30/12/95	10	2,8	0	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0	0	0	
						Σύνολο		33049	23607			100	
Ετος: 1996													
10	27/1/96	7,5	26,8	1095,4	1,35	2209,1	62,55	9146	6532,9	8690,7	35,1	23	
11	31/1/96	24	54	3449,6	4,26	4280,5	121,21	21371	15265	6838	36,7	53	
12	4-5/2/96	13,7	19,4	566,8	0,7	920,30	26,06	4024,6	2874,7	7044,4	40,8	10	
13	8/2/96	7	22	749,2	0,92	1598,9	45,28	6103,1	4359,4	7566,7	35,6	15	
						Σύνολο		40645	29032			100	

Πίνακας 4-7

Ανάλυση μεταφερομένων φερτών ανά περιοχή (χρήση γης) μετά από την πυρκαϊά

ΒΡΟΧΗ		Φερτά (τόνοι)								Σύνολο
α/α	Ημερομηνία	Δάσος1	Θάμνοι1	Αγροτ1	Οικιστ1	Δάσος2	Θάμνοι2	Αγροτ2	Οικιστ2	
1	3-4/1/95	0,0	0,0	219,2	0,2	818,0	526,5	29,9	0,2	1594,0
	% τμήματος	0,00	0,00	13,75	0,01	51,32	33,03	1,88	0,01	
2	5-6/1/95	0,0	0,1	259,7	0,3	985,4	656,5	35,6	0,2	1937,8
	% τμήματος	0,00	0,01	13,40	0,02	50,85	33,88	1,84	0,01	
3	13-15/1/95	71,4	72,8	3082,5	3,8	7874,9	4819,5	396,8	2,70	16324,4
	% τμήματος	0,44	0,45	18,88	0,02	48,24	29,52	2,43	0,02	
4	13-15/3/95	4,2	7,3	901,0	1,0	2754,3	1738,3	119,0	0,70	5525,8
	% τμήματος	0,08	0,13	16,31	0,02	49,84	31,46	2,15	0,01	
5	3-4/11/95	0	0,5	311,2	0,3	1099,9	692,3	40,3	0,20	2144,7
	% τμήματος	0,00	0,02	14,51	0,01	51,29	32,28	1,88	0,01	
6	14-15/11/95	0,2	1,3	552,3	0,6	1794,9	1188,7	73,7	0,40	3612,1
	% τμήματος	0,01	0,04	15,29	0,02	49,69	32,91	2,04	0,01	
7	4-5/12/95	0	0	159,8	0,1	685,6	448,9	21,5	0,10	1316
	% τμήματος	0	0	12,13	0,007	52,10	34,11	1,63	0,01	
8	19/12/95	0	0	51,8	0	322,2	218,3	7,3	0,00	599,6
	% τμήματος	0,00	0,00	8,64	0,00	53,74	36,41	1,22	0,00	
	Σύνολο 1995	75,8	82,0	5537,3	6,3	16335	10289	724	4,5	33054
	% τμήματος	0,23	0,25	16,75	0,02	49,42	31,13	2,19	0,01	100,00
	% βροχής #3	94,20	83,78	55,67	60,34	48,21	46,84	54,81	60,02	
10	27/1/96	10,7	16,6	1627,4	2	4364,1	2902,8	222	1,50	9147,1
	% τμήματος	0,12	0,18	17,79	0,02	47,71	31,73	2,43	0,02	
11	31/1/96	93,4	95,3	4008,8	4,5	10282,3	6396,8	492	3,21	21376,7
	% τμήματος	0,44	0,45	18,75	0,02	48,10	29,92	2,30	0,02	
12	4-5/2/96	1,1	3,2	670,5	0,8	1954,8	1302,4	91,5	0,60	4024,9
	% τμήματος	0,03	0,08	16,66	0,02	48,57	32,36	2,27	0,01	
13	8/2/96	3,3	6,3	1026,3	1,2	2964,3	1960,3	141,1	0,90	6103,7
	% τμήματος	0,05	0,10	16,81	0,02	48,57	32,12	2,31	0,01	
	Σύνολο 1996	108,50	121,40	7333,0	8,50	19566	12562,3	946,6	6,2	40652
	% τμήματος	0,27	0,30	18,04	0,02	48,13	30,90	2,33	0,02	100,00
	% βροχής #2	86,08	73,50	54,67	52,94	52,55	50,92	51,98	51,69	

4.3 Εκτίμηση στερεοαπορροής με χρήση εμπειρικών σχέσεων

4.3.1 Εκτίμηση στερεοαπορροής με βάση την Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (USLE), χωρίς την χρήση υδρολογικού μοντέλου

Στην απλή της μορφή, η Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικής Απώλειας (USLE) είναι (Water Resources Publications, US Department of Agriculture handbook 537, 1978):

$$A = R * K * LS * C * P$$

όπου:

A = εδαφική απώλεια από επιφανειακή διάβρωση (tn/acre/year)

R = παράγοντας έντασης βροχής (ft-tn/acre)

K = παράγοντας διαβρωσιμότητας εδάφους

(για μοναδιαία χέρσα επιφάνεια μήκους 22 m και κλίσης 9%)

LS = συντελεστής μήκους/κλίσης, υπολογίζεται από τον τύπο

$$= (Li/72,6)^M (430Si^2 + 30Si + 0,43) / 6,613,$$

όπου M=0,3 αν Si <4%, 0,4 αν Si =4%, 0,5 αν 4% < Si <10% και 0,6 αν Si >10%,

Li και Si είναι το μήκος και η κλίση, αντίστοιχα, της πλαγιάς i

C = παράγοντας χρήσης γης

P = παράγοντας μέτρων μείωσης της διάβρωσης (ελλείψει τέτοιων μέτρων P = 1)

Ο παράγοντας έντασης βροχής υπολογίζεται από τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία των επεισοδίων βροχής με ύψος άνω των 12,5 χιλιοστών. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν απλές σχέσεις, που συσχετίζουν το μέσο ύψος βροχής με την ετήσια τιμή του R. Μία τέτοια σχέση είναι αυτή που προτάθηκε από τους Kirby & Morgan (1980):

$$R = \alpha * P$$

όπου P είναι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής σε χιλιοστά και α συντελεστής, που για τα εύκρατα κλίματα λαμβάνεται από 0,095 έως 0,15.

Στον Πίνακα 4-8 παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της εκτίμησης του R για τα επεισόδια βροχής του 1995 και του 1996. Αν γίνει αναγωγή των στοιχείων σε μέσο ύψος βροχής 450 χιλιοστά, προκύπτει $R = 43,33$ ft-ton/acre. Η τιμή αυτή είναι σε πολύ καλή συμφωνία με αυτή που προκύπτει από τον προαναφερόμενο τύπο των Kirby & Morgan

για $\alpha = 0,095$ (42,75). Επομένως, ο παράγοντας έντασης βροχής για την λεκάνη απορροής του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας εκτιμάται σε *0,43 ft-ton/acre*.

Στον Πίνακα 4-9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του υπολογισμού της εδαφικής απώλειας (ανά χρήση γης) για την λεκάνη απορροής μελέτης. Οι τιμές των διαφόρων παραγόντων (ανά περιοχή) εκτιμήθηκαν με βάση τις μεθοδολογίες υπολογισμού που δίνονται από την USDA και τα στοιχεία της συγκεκριμένης λεκάνης και παρουσιάζονται στο Πίνακα.

Όπως φαίνεται στον Πίνακα, η ποσότητα εδαφικού υλικού που διαβρώνεται κατά τα επεισόδια των σημαντικών βροχοπτώσεων, εκτιμάται σε 10.124 τόνους/έτος για τις συνθήκες πριν από την πυρκαϊά και σε 36.180 τόνους/έτος για τις σημερινές συνθήκες, δηλαδή ένα χρόνο μετά την πυρκαϊά και λαμβάνοντας υπόψη όλους τους παράγοντες που αναφέρονται στην παράγραφο 4.1.

Από την ποσότητα αυτή όμως, ένα μόνο μέρος καταλήγει στα υδατορεύματα και ένα μικρότερο μέρος μεταφέρεται μέχρι την εκβολή του Ρέματος Ραφήνας. Αν θεωρηθεί ότι το 20% του υλικού που διαβρώθηκε από την εδαφική επιφάνεια καταλήγει στα υδατορεύματα (Ψιλοβίκος, 1995), η στερεοαπορροή εκτιμάται σε 2.025 και 7.236 τόνους/έτος πριν την πυρκαϊά και σήμερα αντίστοιχα. Οι παραπάνω ποσότητες πρέπει να αυξηθούν κατά 15% για να συμπεριληφθεί και το υλικό που διαβρώνεται από την κοίτη των υδατορευμάτων. Επίσης, για την μετατροπή της μάζας των φερτών υλικών (τόνων) σε όγκο (m^3), θεωρείται ότι η πυκνότητά τους είναι $1,4 \text{ tn}/m^3$.

Με βάση τις παραπάνω παραδοχές, η στερεοαπορροή του Ρέματος Ραφήνας εκτιμάται τελικά σε **1.663 μ^3 /έτος πριν από την πυρκαϊά και 5.944 μ^3 /έτος για την σημερινή κατάσταση**. Δηλαδή, εκτιμάται ότι η συνολική στερεοαπορροή είναι σήμερα 3,5 φορές περίπου μεγαλύτερη από ότι πριν από την πυρκαϊά. Η στερεοαπορροή μόνο από τις εκτάσεις που καλύπτονται από δάση ή θαμνούς έχει αυξηθεί αντίστοιχα περίπου 8 φορές (είναι δηλαδή οκταπλάσια από αυτήν πριν την πυρκαϊά).

Πίνακας 4-8

Συγκεντρωτική παρουσίαση επεισοδίων βροχής 1995 και 1996

Ετος: 1995			
Ημερομηνία	Υψος βροχής (mm)	EI ft-ton/acre	
3-4/1	13,4	0,3	
5-6/1	14	0,5	
13-15/1	53,9	5,1	
20/1	3,8	0,1	*
6-7/3	8	0,4	*
13-15/3	23,5	1	
16/4	8,4	0,4	*
22/8	3,9	0,1	*
24/10	9,7	0,5	*
27/10	6,4	0,3	*
3-4/11	15,6	0,6	
14-15/11	17	1,3	
22/11	3,9	0,1	*
30/11-1/12	11,3	0,3	*
4-5/12	11,3	0,3	
19/12	8,6	0,4	
30/12	2,8	0	
Σύνολο	215,5		
* κατ' εκτίμηση			
Ετος: 1996			
27/1	26,8	4,7	
31/1	54	7,3	
4-5/2	19,4	1,2	
8/2	22	3,7	
Σύνολο	122,2		
ΕΚΤΙΜΗΣΗ R			
Τυπικό έτος	450 mm	R=	43,33 ft-ton/acre
Εκτίμηση με τύπο (0,1-0,05)*H		R=	42,75 "

Πίνακας 4-9

Εκτίμηση ποσότητας παραγόμενων φερτών με χρήση της USLE

						Απώλεια εδάφους από USLE			τόννοι φερτών στο ρέμμα (20%)	m3 φερτών στο ρέμμα (ρ=1,4 tn/m3)
A (km2)	R (ft- ton/acre)	K	LS	C	P	t/ac/year	tn/km2	tn		
<u>Κατάσταση πριν την φωτιά</u>										
32,655	43	0,4	5	0,003	1	0,258	63,75	2081,9	416	297
12,54	43	0,4	4,5	0,006	1	0,4644	114,75	1439,0	288	206
65,657	43	0,35	0,2	0,135	1	0,40635	100,41	6592,7	1319	442
23,148	43	0,05	0,3	0,003	1	0,00193	0,48	11,07	2	2
							Σύνολο	10124	2025	1446
<u>Δεύτερο χρόνο μετά την φωτιά</u>										
8,1	43	0,4	5	0,003	1	0,258	63,75	516,40	103	74
3,7	43	0,4	4,5	0,006	1	0,4644	114,76	424,59	85	61
58,657	43	0,35	0,2	0,135	1	0,40635	100,41	5889,8	1178	841
24,555	43	0,44	5	0,03	1	2,838	701,29	17220	3444	2460
8,884	43	0,44	4,5	0,06	1	5,1084	1262,3	11214	2243	1602
7	43	0,4	0,2	0,15	1	0,516	127,51	892,54	179	128
23,148	43	0,1	0,3	0,003	1	0,00387	0,96	22,14	4	3
							Σύνολο	36180	7236	5169

4.3.2 *Εκτίμηση στερεοαπορροής με βάση την εμπειρική σχέση Κουτσογιάννη - Ταρλά*

Γενικά

Ο Δ. Κουτσογιάννης και η Κ. Ταρλά δημοσίευσαν το 1987 την παρακάτω εμπειρική σχέση για την εκτίμηση της μέσης ετήσιας στερεοαπορροής σε αιώρηση, με βάση στοιχεία υδρολογίας και γεωλογίας της λεκάνης απορροής:

$$G = 15\gamma e^{3P} \quad (4.1)$$

όπου:

G = στερεοαπορροή σε αιώρηση, σε τόνους/km²/έτος

P = μέση ετήσια βροχόπτωση, σε μέτρα

γ = γεωλογικός συντελεστής

Ο γεωλογικός συντελεστής υπολογίζεται από την σχέση:

$$\gamma = k_1 p_1 + k_2 p_2 + k_3 p_3 \quad (4.2)$$

όπου:

p_1 , p_2 και p_3 = ποσοστά εμφάνισης στην λεκάνη απορροής πετρωμάτων με υψηλή, μέτρια και χαμηλή διαβρωσιμότητα αντίστοιχα και

k_1 , k_2 και k_3 = συντελεστές, που για έχουν τις τιμές 1, 0,5 και 0,1 για πετρώματα με υψηλή, μέτρια και χαμηλή διαβρωσιμότητα αντίστοιχα

Ο παραπάνω τύπος προέκυψε με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα μετρήσεων σε ποταμούς της βορειοδυτικής Ελλάδας.

Σημειώνεται, ότι ο παραπάνω εμπειρικός τύπος δίνει μόνο το φορτίο σε αιώρηση. Συνήθως θεωρείται ότι το φορτίο με σύρση αντιστοιχεί στο 15% της ποσότητας του φορτίου σε αιώρηση. Έτσι, για την εκτίμηση της συνολικής στερεομεταφοράς, οι τιμές που προκύπτουν από την σχέση (4.1) πρέπει να πολλαπλασιαστούν με ένα συντελεστή 1,15. Επίσης, για τον υπολογισμό του όγκου του φορτίου φερτών, το φορτίο που προκύπτει από την (4.1) και είναι εκφρασμένο σε μονάδες μάζας πρέπει να διαιρεθεί με την πυκνότητα των φερτών, που θεωρείται ίσο με $1,4 \text{ gr/cm}^3 = 1,4 \text{ tn/m}^3$.

Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας - πριν από την πυρκαϊά

Οι εδαφικοί τύποι της λεκάνης απορροής του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας κατατάσσονται από πλευράς διαβρωσιμότητας, στις παρακάτω κατηγορίες:

- ° *υψηλής διαβρωσιμότητας*: το σύνολο των αλλούβιων και το ήμισυ των τριτογενών αποθέσεων
- ° *μέσης διαβρωσιμότητας*: το σύνολο των σχιστολίθων και το ήμισυ των τριτογενών αποθέσεων
- ° *χαμηλής διαβρωσιμότητας*: το σύνολο των ασβεστόλιθων

Ετσι, οι τιμές των ποσοστών p_1 , p_2 και p_3 είναι αυτές που παρουσιάζονται στον Πίνακα 4-10 (βλέπε και παραγρ. 2.3, Πίνακα 2-7) και η τιμή του συντελεστή γ προκύπτει ίση με 0,661.

Το μέσο ύψος βροχόπτωσης στην περιοχή είναι 0,45 μέτρα, με βάση τις μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού του Ελληνικού (εκτός λεκάνης αλλά με μεγαλύτερη χρονοσειρά μετρήσεων) και 0,4 μέτρα, με βάση τις μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού των Σπάτων (ίσως πιο αντιπροσωπευτικός, αλλά με μικρότερη χρονοσειρά μετρήσεων μικρότερης αξιοπιστίας).

Επομένως, η μέση ετήσια στερεοαπορροή σε αιώρηση εκτιμάται σε:

- ° $15 * 0,661 * e^{3*0,45} = 38,25$ τόνους/ km^2 /έτος, δηλαδή $38,25 * 134 = 5125$ τόνους/έτος = **3.660 m3/έτος**, για μέση ετήσια βροχόπτωση = 450 χιλιοστά, ή
- ° $32,92$ τόνους/ km^2 /έτος, δηλαδή $32,92 * 134 = 4.411$ τόνους/έτος = **3.151 m3/έτος**, για μέση ετήσια βροχόπτωση 400 χιλιοστά.

Προσαυξάνοντας κατά 15% για να ληφθεί υπόψη και το φορτίο με σύρση και διαιρώντας με το ειδικό βάρος, η συνολική στερεοαπορροή εκτιμάται τελικά σε **4.209** και **3.623 m3/έτος** για ύψος βροχής 450 ή 400 χιλιοστά, αντίστοιχα.

Η εκτίμηση της στερεοαπορροής με βάση τον τύπο των Κουτσογιάννη - Ταρλά παρουσιάζεται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 4-10. Στον Πίνακα αυτό

συπεριλαμβάνεται και η εκτίμηση της στερεοαπορροής για ύψος βροχής 300 χιλ., που είναι πίο αντιπροσωπευτικό για τα τελευταία ξηρά έτη.

Μεγάλο Ρέμα Ραφήνας - σήμερα (1 χρόνο μετά την πυρκαϊά)

Για την εξαγωγή της εμπειρικής σχέσης των Κουτσογιάννη - Ταρλά δεν έχουν ληφθεί υπόψη δεδομένα μετρήσεων σε λεκάνες που βρίσκονται στο στάδιο αποκατάστασης μετά από πυρκαϊά (τα οποία δυστυχώς δεν υπάρχουν για τον Ελληνικό χώρο).

Ομως, δεδομένης της σχετικής σταθεροποίησης της λεκάνης λόγω του σημαντικού βαθμού επανεμφάνισης, της ποώδους τουλάχιστον, βλάστησης και πρεμνοβλαστημάτων ξυλωδών φυτών, που παρατηρείται σήμερα στις καμένες περιοχές της λεκάνης απορροής του Ρέματος Ραφήνας (βλέπε παρ. 2.5 και 3.3), μία προσέγγιση της σημερινής κατάστασης θα μπορούσε να γίνει με εφαρμογή της εμπειρικής σχέσης (4.1) και την παραδοχή ότι όλα τα εδάφη που βρίσκονται μέσα στην ζώνη από όπου πέρασε η φωτιά κατατάσσονται στην κατηγορία υψηλής διαβρωσιμότητας., ανεξαρτήτως του τύπου των πετρωμάτων.

Ετσι, για την σημερινή κατάσταση, τα εδάφη της λεκάνης απορροής κατατάσσονται από πλευράς διαβρωσιμότητας, ως ακολούθως:

- ° *υψηλής διαβρωσιμότητας*: το σύνολο των αλλούβιων, το σύνολο των σχιστολίθων και τα τρία τέταρτα των τριτογενών αποθέσεων
- ° *μέσης διαβρωσιμότητας*: το ένα τέταρτο των τριτογενών αποθέσεων
- ° *χαμηλής διαβρωσιμότητας*: το σύνολο των ασβεστόλιθων

Οι νέες τιμές των συντελεστών p_1 , p_2 και p_3 και γ φαίνονται στον Πίνακα 4-10, όπου γίνεται η εκτίμηση της στερεοαπορροής για την σημερινή κατάσταση με βάση την παραδοχή αυτή. Όπως φαίνεται από τις τιμές του Πίνακα, με βάση την προσέγγιση αυτή εκτιμάται ότι η στερεοαπορροή είναι σήμερα αυξημένη κατά 20% περίπου σε σχέση με τα επίπεδα πριν από την πυρκαϊά.

Πίνακας 4-10

**Εκτίμηση στερεοαπορροής Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας
με βάση την εμπειρική σχέση Κουτσογιάννη - Ταρλά**

			γ	P (m)	G (tn/km ² /year)	Επιφανειακή στερεοαπορ- ροή (tn/year)	Επιφανειακή στερεοαπορ- ροή (m ³ /year)	Συνολική ποσότητα φερτών (m ³ /year)
ΠΡΙΝ από την φωτιά	p1	0,45	0,661	0,45	38,25	5125,00	3661,07	4210,20
	p2	0,39		0,40	32,92	4411,14	3150,81	3623,44
	p3	0,16		0,30	24,39	3267,85	2334,18	2684,31
ΣΗΜΕΡΑ μετά την φωτιά*	p1	0,725	0,799	0,45	46,20	6191,11	4422,22	5085,55
	p2	0,225		0,40	39,77	5328,74	3806,24	4377,18
	p3	0,16		0,30	29,46	3947,63	2819,73	3242,69

* Γίνεται η παραδοχή ότι η εμπειρική σχέση ισχύει και τα εδάφη που βρίσκονται μέσα στην ζώνη από όπου πέρασε η φωτιά χαρακτηρίζονται όλα ως υψηλής διαβρωσιμότητας, ανεξαρτήτως εδαφικού τύπου.

4.3.3 Εκτίμηση στερεοαπορροής με βάση την εμπειρική σχέση Ψιλοβίκου

Σύμφωνα με τους Walling & Webb (1987), οι οποίοι μελέτησαν την ιζηματομεταφορά των ποταμών σε παγκόσμια κλίμακα και κατέταξαν τους ποταμούς των διαφόρων περιοχών σε κατηγορίες ανάλογα με την μεταφορική τους ικανότητα, οι ποταμοί της Νότιας Βαλκανικής ανήκουν στην κατηγορία των ποταμών μεγάλης μεταφορικής ικανότητας, με τιμές διάβρωσης στην λεκάνη τους μεγαλύτερες από 500 τόνους/km²/έτος.

Ο καθηγητής Α. Ψιλοβίκος και οι συνεργάτες του χρησιμοποίησαν την τιμή αυτή για την λεκάνη του Αξιού (Ψιλοβίκος και συνεργάτες, 1995) και σε συνδυασμό με άλλα διαθέσιμα στοιχεία για την λεκάνη, κατέληξαν στο ότι η σχέση είναι ικανοποιητική αλλά μόνο το 20% από τα παραγόμενα φερτά φτάνει τελικά στο ποτάμι. Επομένως, η σχέση που χρησιμοποιήθηκε για την στερεοαπορροή του Αξιού είναι $500 \times 0,2 / 1,4 = 71 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{έτος}$. Ανάλογη τιμή προέκυψε και για την λεκάνη του Στρυμόνα, από έρευνα των ίδιων επιστημόνων. Συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι η στερεοαπορροή στην λεκάνη αυτή είναι **88 m³/ km²/έτος**.

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω τιμές, η στερεοαπορροή της λεκάνης απορροής του Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας ($A = 134 \text{ km}^2$) εκτιμάται σε: $71 \times 134 = 9.514 \text{ m}^3/\text{έτος}$ ή $88 \times 134 = 11.792 \text{ m}^3/\text{έτος}$

Όπως και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις, οι τύποι αυτοί δίνουν μόνο το φορτίο φερτών σε αιώρηση. Για τον υπολογισμό της συνολικής στερεοαπορροής, οι παραπάνω τιμές πρέπει να αυξηθούν κατά 15%, για να συμπεριληφθεί και το φορτίο με σύρση και κύληση.

Σημειώνεται όμως ότι οι τιμές αυτές είναι μάλλον υπερεκτιμημένες, αφού η στερεοαπορροή ενός χειμάρρου της Αττικής αναμένεται να είναι μικρότερη από αυτή των μεγάλων ποταμών της Μακεδονίας, οι οποίοι βρίσκονται σε περιοχή με μεγαλύτερο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης και διασχίζουν περιοχές με καλλιεργούμενες κυρίως εκτάσεις (που παρουσιάζουν μεγαλύτερες εδαφικές απώλειες από τις ορεινές και δασικές εκτάσεις).

Εξάλλου η θεώρηση αυτής της μεθόδου βασίζεται στη μεταφορική ικανότητα των υδατορευμάτων, και όχι στην παραγωγή φερτών υλικών. Κατά κανόνα όμως, ο ρυθμός παραγωγής είναι αυτός που ρυθμίζει τελικά την στερεοαπορροή, ενώ η μεταφορική ικανότητα του υδατορεύματος είναι πολύ συχνά μεγαλύτερη από την πραγματικά εισρέουσα ποσότητα φερτών υλικών. Για τους λόγους αυτούς, τα αποτελέσματα της μεθόδου αναμένεται να υπερεκτιμούν την πραγματική ποσότητα φερτών υλικών.

4.4 Συγκεντρωτική παρουσίαση

Τα αποτελέσματα της εκτίμησης της στερεοαπορροής της λεκάνης απορροής του Ρέματος Ραφήνας με την χρήση του μαθηματικού μοντέλου και των κύριων διαθέσιμων εμπειρικών σχέσεων παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον **Πίνακα 4-11**.

Από τα στοιχεία του Πίνακα προκύπτει ότι, αν και οπωσδήποτε παρουσιάζονται αποκλίσεις στις εκτιμήσεις που γίνονται με βάση τις διάφορες μεθοδολογίες και προσεγγίσεις, μπορεί να ειπωθεί ότι υπάρχει γενική συμφωνία στην τάξη μεγέθους της στερεοαπορροής πριν από την φωτιά (μερικές χιλιάδες κυβικά), αλλά και στην τάξη μεγέθους της αύξησης της στερεοαπορροής σήμερα, σε σχέση με τα πριν από την φωτιά επίπεδα (μικρότερη ή ίση από 5πλασιασμό).

Πίνακας 4-11

Συγκεντρωτική παρουσίαση αποτελεσμάτων εκτίμησης στερεοαπορροής λεκάνης
απορροής Μεγάλου Ρέματος Ραφήνας

Μέθοδος/ Σχέση	Στερεοαπορροή (m ³ /year)		
		Πριν την φωτιά	Σήμερα
Μαθηματική προσομοίωση με μοντέλο	Βροχοπτώσεις 1995:	5.515	23.607
	Μέσος όρος δυσμενούς 10ετίας (περιλαμβάνει πλημμύρες 1974 και 1978):	11.000	(Αύξηση 4 - 5 φορές)
Παγκόσμια Εξίσωση Εδαφικών Απωλειών (USLE)		1.663	5.944 (αύξηση 3,5 φορές)
Εμπειρική σχέση Κουτσογιάννη - Ταρλά	Για P = 450 mm./year	4.210	5.086 * (αύξηση 20%)
Εμπειρικές σχέσεις/παραδοχές Α. Ψιλοβίλικου	Μέση τιμή με βάση στερεοπαροχή Στρυμώνα και Αξιού	12.250	

* Προσέγγιση. Η σχέση δεν προβλέπει χρήση για εκτίμηση στερεοαπορροής μετά από φωτιά.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση όσα παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, προκύπτει ότι:

- Η αύξηση της διαβρωσιμότητας του εδάφους σε περίπτωση πυρκαϊάς εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες και δεν είναι πάντα ιδιαίτερα μεγάλη, μετά την πάροδο του πρώτου διαστήματος από την πυρκαϊά και την έναρξη επανεμφάνισης της βλάστησης. Στην Αττική έχει παρατηρηθεί ότι, χωρίς παρεμβάσεις στις καμένες λεκάνες απορροής, η προστασία του εδάφους αρχίζει από το πρώτο φθινόπωρο μετά την φωτιά, όταν εμφανίζεται η ποώδης βλάστηση και τα πρεμνοβλαστήματα των ξυλωδών φυτών και φτάνει σε ικανοποιητικό επίπεδο μέχρι τον 3ο με 4ο χρόνο μετά την φωτιά. Η ανάκαμψη αυτή επιταχύνεται αισθητά με τη λήψη κατάλληλων μέτρων και την κατασκευή φυτοτεχνικών και τεχνικών έργων, όπως συνέβη στη συγκεκριμένη περίπτωση.
- Στη συγκεκριμένη λεκάνη, και μετά την πάροδο 15 μηνών, η κατάσταση έχει εξομαλυνθεί σημαντικά, λόγω της εγκατάστασης της βλάστησης στην περιοχή, της διατήρησης θυλάκων, αλλά και ολόκληρων περιοχών, που δεν κάηκαν και των διοικητικών και τεχνικών μέτρων και δραστηριοτήτων που έλαβαν χώρα στην περιοχή.
- Η στερεοαπορροή της λεκάνης απορροής εκτιμήθηκε με τη χρήση μαθηματικού μοντέλου αλλά και εμπειρικών τύπων. Όλες οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν συμφωνούν ότι η στερεοαπορροή πριν από την φωτιά ήταν μερικές χιλιάδες κυβικά μέτρα (με μέση τιμή περί τα 5.000 m³ για ένα κανονικό από υδρολογικής άποψης έτος, π.χ., το 1995).
- Μετά την πυρκαϊά του 1995, η στερεοαπορροή παρουσίασε σημαντική αύξηση κατά τις πρώτες έντονες βροχοπτώσεις του αμέσως επόμενου χειμώνα, αλλά εκτιμάται ότι σήμερα έχει επανέλθει σε σχετικά χαμηλά επίπεδα (υπολογίζεται σε μερικές δεκάδες χιλιάδες κυβικά μέτρα, με βάση δυσμενή σχετικά σενάρια). Από τη μαθηματική προσομοίωση του συστήματος, με βάση δυσμενείς παραδοχές και ιδιαίτερα με

παραδοχή υπερδεκαπλασιασμού της διαβρωσιμότητας όλων των δασικών και θαμνωδών εκτάσεων που βρίσκονται μέσα στην ζώνη από όπου πέρασε η φωτιά (χωρίς αναγκαστικά να έχουν καεί), προκύπτει ότι οι ετήσιες ποσότητες φερτών που μεταφέρονταν στην εκβολή του Ρέματος έχουν αυξηθεί λιγότερο από 5 φορές σε σχέση με τα πριν από την φωτιά επίπεδα (με μέση τιμή περί τα 23.500 m^3 για ένα κανονικό από υδρολογικής άποψης έτος, π.χ., το 1995).

Από τις επιτόπου παρατηρήσεις στις εκτάσεις που κάηκαν, και την εμπειρία από παρόμοιες περιπτώσεις, προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο ρυθμός αναγέννησης της βλάστησης είναι πολύ ικανοποιητικός, και έτσι σε 1 - 2 χρόνια από σήμερα το σύστημα θα επανέλθει, από πλευράς διαβρωσιμότητας των εδαφών, στα φυσικά του χαμηλά επίπεδα.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Albaladejo, J. (1995). Estimating erosion rates - field experiments, in "Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards Course", held in Alicante, Spain, 6-13 October 1993, Fantechi, R., Petre, D., Balabanis, P., Rubio, J. L., eds, EC DGXII, pp. 279-292.
2. Anderson, M. G., Burt, T. P. (1990). Process studies in hillslope hydrology, John Wiley & Sons.
3. Anderson, H. W., Hoover M. D., Reinhart, K. G. (1976). Forests and Water: effects of forest management on floods, sedimentation and water supply, Pacific Southwest Experiment Station, U.S.D.A. Forest Service, General Technical Report PSW-18/1976.
4. Anderson, H. W. (1974). Sediment deposition in reservoirs associated with rural roads, forest fires and catchment attributes, in Proceedings of the Symposium "Effects of man on the interface of the hydrological cycle with the physical environment", Paris, Sept. 1974, IAHS-UNESCO-WMO, IAHS-AISH Publication No 113, p. 87-95.
5. BeByle (1972). Forests & Waters
6. Brown, J. A. H (1972). Hydrologic effects of bushfire in a catchment in Southeast New South Wales. Hydrology, 15:77-96.
7. Cerda A. (1995). Surface hydrology of three burned soils, South East Spain, in "Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards Course", held in Alicante, Spain, 6-13 October 1993, Fantechi, R., Petre, D., Balabanis, P., Rubio, J. L., eds, EC DGXII, pp. 437-445.
8. Concalves, B. and Coelho, C. O. A. (1995). Wildfire impacts on soil loss and runoff in dry Mediterranean forests, Tejo basin, Portugal; preliminary results, in "Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards Course",

- held in Alicante, Spain, 6-13 October 1993, Fantechi, R., Petre, D., Balabanis, P., Rubio, J. L. , eds, EC DGXII, pp. 361-369.
9. Copley, T.L., Forrest, L.A., McCall, A.G. and Bell, F.G. (1944). Investigations in erosion control and reclamation of eroded land at the Central Piedmont Conservation Experiment Station, Statesville, N. C., 1930-1940. U.S.D.A., Soil Conservation Service., Tech. Bull. 873, 66p.
 10. Daniel, H.A., Elwell, H.M. and Cox M.B. (1943). Investigations in erosion control and the reclamation of eroded land at the Red Plains Conservation Experiment Station, Guthrie, Oklahoma, 1930-1940. U.S.D.A., Tech. Bull. 837.
 11. Ε.ΥΔ.ΑΠ. (1995). Μελέτη αποχέτευσης ομβρίων: Επείγοντα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας των χειμάρρων της ανατολικής Αττικής που επλήγησαν από τις πυρκαϊές (Μελετητές: ΥΔΡΟΤΕΚ Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ, Εξάρχου Νικολόπουλος - Μπενσασσών Σύμβουλοι Μηχανικοί ΕΠΕ, ΑΔΚ ΑΕ, Συνεργάτης μελετητής: Δ. Σωτηρόπουλος και Συνεργάτες ΕΕ).
 12. Hamilton, L. S., King P. N. Burning Forestland, in Tropical forested watersheds: Hydrologic and Soils Response to Major Uses or Conversions.
 13. Imerson, A. C. (1995). The physical, chemical and biological degradation of the soil, in "Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards Course", held in Alicante, Spain, 6-13 October 1993, Fantechi, R., Petre, D., Balabanis, P., Rubio, J. L. , eds, EC DGXII, pp. 153-167.
 14. Καϊλίδης Δ. (1990). Δασικές πυρκαγιές, εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσ/κη.
 15. Karaushev, A. V., Booliubova, I. V., Botrovitskaya, N. N. (1974) Water erosion and sediment discharge, in Proceedings of the Symposium "Effects of man on the interface of the hydrological cycle with the physical environment", Paris, Sept. 1974, IAHS-UNESCO-WMO, IAHS-AISH Publication No 113, p. 73-77.

16. Κουτσογιάννης Δ., Κ. Τάρλα (1987). Εκτιμήσεις στερεοπαροχής στην Ελλάδα. Τεχνικά Χρονικά, Α, 1987, Τόμος 7, Τεύχος 3.
17. Lull H. W., Reinhart, K. G. (1972). Forests and floods in the Eastern United States, U.S>D>A. Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station.
18. Meginnis, H.G. (1935). Effect of cover on surface runoff and erosion in the loessial uplands of Mississippi. U.S.D.A., Circ. 347, 15p.
19. Poesen, J (1995). Soil erosion in Mediterranean Environments, in "Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards Course", held in Alicante, Spain, 6-13 October 1993, Fantechi, R., Petre, D., Balabanis, P., Rubio, J. L. , eds, EC DGXII, pp. 123-152.
20. Pope, J. B., Archer, J. C., Johnson, P. R. et al (1946).). Investigations in erosion control and reclamation of eroded sandy clay lands of Texas, Arkansas, and Louisiana. Conservation Experiment Station, Tyler, Texas, 1931-1940. U.S.D.A., Soil Conservation Service, Tech. Bull. 916, 76 p.
21. Rubio, J. L., Fonteza, J. at al (1995). Soil erosion effects on burned areas. Desertification in a European context: Physical and Socio-economic aspects, in "Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards Course", held in Alicante, Spain, 6-13 October 1993, Fantechi, R., Petre, D., Balabanis, P., Rubio, J. L. , eds, EC DGXII, pp. 307-319.
22. Stocking M (1988). Quantifying the on-site impact of soil erosion, FAO, Overseas development group, University of East Anglia.
23. Thornes, J.B. (1995). Mediterranean desertification and the vegetation cover, in "Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards Course", held in Alicante, Spain, 6-13 October 1993, Fantechi, R., Petre, D., Balabanis, P., Rubio, J. L. , eds, EC DGXII, pp. 169-194.
24. Water Resources Publications (1980). Prediction of the concentration of fine sediment in channels from single storm events, Geology Note 2.

25. Water Resources Publications. Procedure for computing sheet and rill erosion of project areas, Technical Release No. 51, SCS National Engineering Publications.
26. Water Resources Publications (1978). Predicting rainfall erosion losses, US Department of Agriculture handbook 537.
27. Wells, C. G. et al (1979). Effects of Fire on Soil: A state-of-knowledge review. U.S.D.A. Forest Service General Technical Report WO-7, 1978.
28. Wood, H. B., Merrian R. A. and Schubert, I. H. (1969). Vegetation recovering little erosion on Hanalei watershed after fire. U.S.D.A., Forest Service Pacific Southwest Forest Exp. Station. Research Note PSW-191, Berkeley, USA.
29. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, Δ/νση Δ3 (1984). Οριστική μελέτη διευθετήσεως ρέματος Ραφήνας, Γραφείο Μαχαίρα ΕΠΕ.
30. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ, Δ/νση Δ3 (1984). Προμελέτη διευθετήσεως ρέματος Ραφήνας, Γραφείο Μαχαίρα ΕΠΕ.
31. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.(1994). : Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων νέου λιμένα Ραφήνας, ΑΔΚ Σύμβουλοι Μηχανικοί, Ανάλυση Οικοσυστημάτων ΕΠΕ.
32. French, N.H.F., Harrell, P.A. (1994). Relating soil water measurements at fire disturbed sites in Alaska to ESR-1 SAR image signature, *IGARSS '94*, Paper No 940869.
33. Ψιλοβίκος και συνεργάτες (1995). Έρευνα - Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων από την κατασκευή και λειτουργία του μικρού υδροηλεκτρικού έργου στην περιοχή Ελεούσας Αξιού ποταμού, Ερευνητικό Πρόγραμμα Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

I. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ



Φωτ. 1 Περιοχή Πικερμίου με θέα προς Ανθούσα. Αποψη της καμένης αγροτικής και δασικής έκτασης.



Φωτ. 2. Τυπική χρήση γής περιοχής μελέτης.
Καλλιεργούμενες και δασικές εκτάσεις με διάσπαρτες κατοικίες.