

**Α.Τ.Ε.Ι. ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΤΙΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ :
ΤΑΤΣΗΣ ΓΙΩΡΓΟΣ
ΖΑΧΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΜΑΡΙΑ Π.ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΥ

ΠΑΤΡΑ 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ανατέθηκε από την Καθηγήτρια Μαρία Π. Θεοδωρακοπούλου και εκπονήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος Χημική Τεχνολογία της σχολής Πολιτικών Έργων Υποδομής Πάτρας κατά το διάστημα 2009-2011.

Στην εργασία αυτή αναζητήθηκαν βιβλιογραφικά και καταγράφηκαν οι επιδράσεις των δασικών πυρκαγιών στις υδραυλικές ιδιότητες των εδαφών. Προηγήθηκε μια αναλυτική συζήτηση για τα δασικά οικοσυστήματα, στατιστικά, αίτια και αποτελέσματα των δασικών πυρκαγιών και τρόποι αντιμετώπισής τους. Επίσης, μελετήθηκε το έδαφος όσον αφορά τις φάσεις του-στερεή, υγρή και αέρια-, τη δομή του και τις υδραυλικές του ιδιότητες. Έπειτα αναφέρθηκαν κάποια στοιχεία για την κίνηση του νερού μέσα στο έδαφος και την μεταφορά θερμότητας μέσα σε αυτό.

Το κύριο μέρος της εργασίας αποτελεί η αναλυτική περιγραφή των επιπτώσεων των δασικών πυρκαγιών πάνω στις υδραυλικές ιδιότητες των εδαφών, στη δομή του, στο πορώδες, στη θερμική αγωγιμότητα και στη θερμοχωρητικότητα, στη συγκράτηση και απωθητικότητα του νερού.

Η εργασία ολοκληρώθηκε με τις επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών στις χημικές εδαφικές ιδιότητες και τις επιπτώσεις των πυρκαγιών στην υδρολογία των λεκανών απορροής.

Από τη θέση αυτή θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε:

Την Καθηγήτρια κα. Μαρία Π. Θεοδωρακοπούλου για την ανάθεση του θέματος, την βοήθειά της κατά την εκπόνηση της εργασίας, αλλά και για την κατανόηση, την καθοδήγηση και τη στήριξή της, σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μας.

Πάτρα, Ιανουάριος 2011
Τάσης Γιώργιος
Ζάχος Ιωάννης

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μεγάλη έκταση που έχει λάβει το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών τα τελευταία χρόνια, καθώς και η ανάγκη για μια μελέτη των επιπτώσεων των δασικών πυρκαγιών στα οικοσυστήματα, ειδικά για τα Ελληνικά δεδομένα, αποτέλεσαν το κίνητρο για την εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών είναι ένα σύνθετο χημικό, οικολογικό, κοινωνικό και οικονομικοπολιτικό πρόβλημα με σοβαρότατες και πολύπλευρες συνέπειες. Διάβρωση εδαφών, πλημμύρες, διαταραχή οικολογικών αλυσίδων χλωρίδας και πανίδας, μόλυνση περιβάλλοντος είτε από την έκλυση CO₂ είτε από τις χημικές ουσίες επιβράδυνσης ή κατάσβεσης, καταστροφή πολυτιμότερης πρώτης ύλης βιομηχανιών χάρτου, ειδικών και γενικών χημικών ουσιών, αποτελούν τις κυριότερες συνέπειες των δασικών πυρκαγιών. Οι οικονομικές επιπτώσεις, ακόμα και σε οικονομίες κρατών είναι τεράστιες. Το οικονομικό κόστος αφορά απώλειες πρώτων υλών, εδαφών, ανθρωποωρών εργασίας, χημικών κατάσβεσης, ειδικών αυτοκινήτων και αεροπλάνων.

Από τα παραπάνω συνάγεται ότι η έρευνα γύρω από τις δασικές πυρκαγιές δεν έχει μόνο ακαδημαϊκό ενδιαφέρον αλλά αποτελεί μία οικονομική και οικολογική αναγκαιότητα, που αφορά όχι μόνο στην πρόληψη, πρόβλεψη, έγκαιρη επισήμανση και κατάσβεσή τους αλλά και στην γνώση του φαινομένου και των επιπτώσεων του στο περιβάλλον.

Στην κατεύθυνση αυτή κινείται και η παρούσα πτυχιακή εργασία εστιάζοντας στη μελέτη της επίδρασης των δασικών πυρκαγιών στην υδρολογία, τις ιδιότητες του εδάφους και τη διάβρωση που συντελείται μεταπυρικά σε μια λεκάνη απορροής. Η μεταβολή των υδραυλικών ιδιοτήτων του εδάφους έστω και προσωρινά, αυξάνουν την απορροή και διάβρωση του εδάφους με συνέπεια την υποβάθμιση του εδάφους και καταστροφές σε κατώτερες περιοχές.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έχει ως θέμα τις δασικές πυρκαγιές και τις επιπτώσεις τους στο έδαφος. Αρχικά γίνεται αναφορά στα ελληνικά δάση και στη διαίρεσή τους και μια γενική περιγραφή του φαινομένου των δασικών πυρκαγιών(είδη δασικών πυρκαγιών) με τις αιτίες, στατιστικά στοιχεία, τις ζημιές που προκαλούν, τους παράγοντες από τους οποίους επηρεάζονται και τους τρόπους που αντιμετωπίζονται.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται διεξοδική αναφορά στο έδαφος, την προέλευσή του, τη δομή του και τις φάσεις του-στερεή, υγρή και αέρια. Κάθε φάση αναλύεται χωριστά. Σημαντικό μέρος του κεφαλαίου αυτού ασχολείται με την υγρή φάση του εδάφους και τις υδραυλικές του ιδιότητες.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στην κίνηση του εδαφικού νερού και πώς αυτή επηρεάζεται από τις μεταβολές του θερμοκρασιακού προφίλ που επικρατεί στο έδαφος. Από αυτό το κεφάλαιο δε θα μπορούσε να εξαιρεθεί ο νόμος του Darcy.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται οι μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας στο έδαφος και το θερμοκρασιακό καθεστώς σε διάφορα εδάφη.

Το πέμπτο κεφάλαιο είναι αυτό που ουσιαστικά διαπραγματεύεται την επίδραση των δασικών πυρκαγιών πάνω στις ιδιότητες του εδάφους, τη δομή του, το πορώδες του, την θερμική αγωγιμότητα και την θερμοχωρητικότητά του, την ικανότητά του να συγκρατεί και να απωθεί το νερό.

Στο επόμενο κεφάλαιο αναφέρονται οι επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών στις χημικές εδαφικές ιδιότητες, στο οργανικό του υλικό και στην ικανότητα συγκράτησης και ανακύκλωσης θρεπτικών.

Στο τελευταίο κεφάλαιο αναφέρονται οι επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών στην υδρολογία των λεκανών απορροής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ.....	1
1.2 ΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΔΑΣΗ.....	1
1.2.1 Διαίρεση της ελληνικής βλάστησης.....	1
1.2.2. Ζώνες βλάστησης.....	2
1.3 ΟΙ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ.....	2
1.3.1. Εισαγωγή και στατιστικά στοιχεία δασικών πυρκαγιών.....	2
1.3.2. Αίτια δασικών πυρκαγιών.....	5
1.3.3. Ζημιές από τις δασικές πυρκαγιές.....	6
1.3.4. Είδη δασικών πυρκαγιών.....	6
1.3.4.1. Ένταση της πυρκαγιάς.....	6
1.3.4.2. Διάκριση δασικών πυρκαγιών ανάλογα με την καύσιμη ύλη.....	7
1.3.5. Παράγοντες που επηρεάζουν τις δασικές πυρκαγιές.....	8
1.3.6. Αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών.....	10
2. ΕΔΑΦΟΣ.....	11
2.1.ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	11
2.2.ΣΤΕΡΕΗ ΦΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	12
2.2.1. Ανόργανη ύλη – Εδαφικά τεμαχίδια.....	13
2.2.2. Διαμερισμός.....	13
2.2.3. Μηχανική Σύσταση Εδάφους.....	14
2.2.4.Φυσικές σταθερές εδάφους.....	16
2.3.Υγρή Φάση Εδάφους.....	17
2.3.1. Εδαφική Υγρασία.....	17
2.3.2.Αλληλεπίδραση Νερού και Αργιλικών Ορυκτών.....	19
2.3.3.Δυνάμεις Συγκράτησης Εδαφικού Νερού.....	20
2.3.4.Μύζηση Εδαφικού Νερού.....	21
2.3.5.Χαρακτηριστική Καμπύλη Συγκράτησης Εδαφικού Νερού.....	22
2.3.6.Υστέρηση Εδαφικού Νερού.....	24
2.3.7.Δυναμικό Εδαφικού Νερού.....	26
3.3.7.1.Ορισμοί.....	27
2.4.Δομή Εδάφους.....	28
2.4.1. Δομή Αμμωδών Εδαφών.....	29
2.4.2. Δομή Εδαφών με Συσσωματώματα.....	30
2.4.2.1. Σταθεροποίηση Εδαφικών Συσσωματωμάτων.....	31
2.4.2.2. Επίδραση Δασικών Πυρκαγιών στα Συσσωματώματα.....	32
3. Κίνηση Εδαφικού Νερού.....	35
3.1. Νόμος του Darcy.....	36
3.2. Η κίνηση του εδαφικού νερού που οφείλεται σε μεταβολές της θερμοκρασίας.....	39
4. Μεταφορά Θερμότητας.....	41

4.1. Μηχανισμοί Μεταφοράς Θερμότητας.....	41
4.1.1. Αγωγή.....	41
4.1.2. Συναγωγή.....	42
4.1.3. Ακτινοβολία.....	43
4.2.Μεταφορά Θερμότητας στο Έδαφος.....	43
4.3. Θερμοκρασιακό Καθεστώς στο Έδαφος.....	45
4.3.1.Δασώδες οικοσύστημα.....	46
4.3.2.Θαμνώδες οικοσύστημα.....	48
4.3.3.Χορτολιβαδικό οικοσύστημα.....	50
5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	51
5.1.Δομή Εδάφους.....	51
5.2.Πορώδες.....	52
5.3.Θερμική Αγωγιμότητα και Θερμοχωρητικότητα.....	53
5.4. Συγκράτηση Νερού.....	54
5.5.Απωθητικότητα Νερού.....	55
6.ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΤΙΣ ΧΗΜΙΚΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	62
6.1. Γενικά.....	62
6.2. Το Οργανικό Υλικό.....	62
6.3. Ικανότητα Συγκράτησης και Ανακύκλωσης Θρεπτικών.....	64
7.Επιπτώσεις Πυρκαγιών στην Υδρολογία Λεκανών Απορροής.....	70
7.1.Κατάσταση Λεκάνης Απορροής.....	70
7.2 Υδρολογικός Κύκλος	71
7.2.1 Γενικά.....	71
7.2.2 Συνιστώσες Υδρολογικού Κύκλου.....	72
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	81

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΣΤΙΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

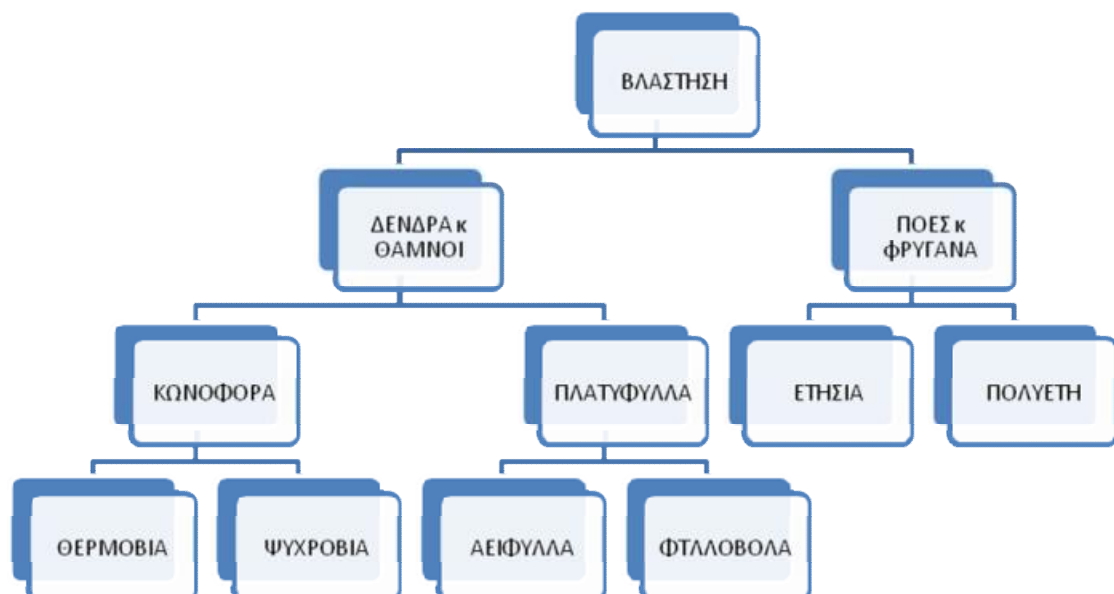
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν μόνιμη πηγή καταστροφής δασών, γεωργικών καλλιεργειών, κατοικημένων περιοχών, στρατιωτικών ή βιομηχανικών εγκαταστάσεων κλπ, με πολλά θύματα και τραυματίες τα τελευταία χρόνια. Ως δάσος ή δασικό οικοσύστημα ορίζεται το οργανικό σύνολο άγριων φυτών με ξυλώδη κορμό πάνω στην αναγκαία επιφάνεια του εδάφους, τα οποία μαζί με την συνυπάρχουσα χλωρίδα και πανίδα αποτελούν, μέσω της αμοιβαίας αλληλεξάρτησης και αλληλεπίδρασής τους, ιδιαίτερη βιοκοινότητα (δασοβιοκοινότητα) και ιδιαίτερο φυσικό περιβάλλον (δασογενές). *Δασική έκταση* υπάρχει όταν στο παραπάνω σύνολο, η άγρια ξυλώδης βλάστηση, υψηλή ή θαμνώδης, είναι αραιή [1].

1.2. ΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΔΑΣΗ

1.2.1. Διαίρεση της ελληνικής βλάστησης

Η ελληνική βλάστηση διαιρείται στις κατηγορίες που φαίνονται στο ακόλουθο Σχήμα 1.1. Έχουν προταθεί κι άλλες κατηγοριοποιήσεις [2-4], αλλά η συγκεκριμένη εξυπηρετεί καλύτερα στη θεώρηση της ελληνικής βλάστησης, λόγω παρόμοιας πυρολογικής συμπεριφοράς.



Σχήμα 1.1. Γενική διαίρεση των δασικών ειδών της Ελλάδας [5α].

Η βλάστηση χωρίζεται σε δένδρα και θάμνους, πόες και φρύγανα. Τα δένδρα, οι θάμνοι και τα φρύγανα έχουν ξυλώδη κορμό, σε αντίθεση με τις πόες. Τα φρύγανα είναι ακανθώδεις θάμνοι χαμηλού ύψους, οι οποίοι έχουν προσαρμοστεί σε φτωχά εδάφη χαμηλής υγρασίας. Οι πόες στερούνται ξυλώδους κορμού και χωρίζονται σε ετήσιες, που ζουν λιγότερο από 1 έτος και είναι τα ξερά χόρτα που συναντώνται το καλοκαίρι και πολυετείς, που είναι πράσινες (ζώσες). Τα δένδρα και οι θάμνοι χωρίζονται σε κωνοφόρα (γυμνόσπερμα) και πλατύφυλλα (αγγειόσπερμα) [2,5α].

1.2.2. Ζώνες βλάστησης

Οι κύριες ζώνες βλάστησης είναι: ευμεσογειακή (*Quercetalia ilicis*), παραμεσογειακή (*Quercetalia pubescentis*), ζώνη δασών οξιάς-ελάτης και ορεινών παραμεσόγειων κωνοφόρων (*Fagetalia*), ζώνη ψυχροβίων κωνοφόρων (*Vaccino picetalia*) και εξωδασική ζώνη υψηλών ορέων (*Astragalo acantholimonetalia*) [6].

1.3. ΟΙ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ

1.3.1. Εισαγωγή και στατιστικά στοιχεία δασικών πυρκαγιών

Ο άνθρωπος είτε από κακή διαχείριση των δασών είτε από απροσεξία ή άγνοια επιφέρει καταστροφή στα δασικά οικοσυστήματα. Ως κακή διαχείριση θα μπορούσαμε να αναφέρουμε τη ληστρική υλοτομία, την απόρριψη σκουπιδιών, τις κακές κατασκευές έργων υποδομής, το διαμελισμό των δασικών εκτάσεων κ.α. Μια από τις χειρότερες ανθρωπογενείς επιδράσεις στα δασικά οικοσυστήματα είναι η πρόκληση πυρκαγιάς [7].



Εικ.1.1. Δασική Πυρκαγιά σε πευκοδάσος.

Δασικές πυρκαγιές συνέβαιναν τακτικά, ακόμη και πριν εμφανισθεί ο άνθρωπος ως εκούσιος ή ακούσιος εμπρηστής. Πιο συγκεκριμένα, οι δασικές πυρκαγιές όταν προκαλούνται από φυσικά αίτια αποτελούν έναν τρόπο φυσικής αναγέννησης του δάσους και η φωτιά διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στη δημιουργία και τη διατήρηση των μεσογειακών οικοσυστημάτων [7,8]. Το μεσογειακό δάσος που επικρατεί στις περισσότερες περιοχές της Ελλάδας προέρχεται από τις δασικές πυρκαγιές, αναγεννιέται με αυτές και χωρίς αυτές θα πάψει να υπάρχει [7,9].

Στο Σχήμα 1.2 αναφέρονται στατιστικά στοιχεία για τις δασικές πυρκαγιές στην Ελλάδα κατά τα έτη 1980–2007.

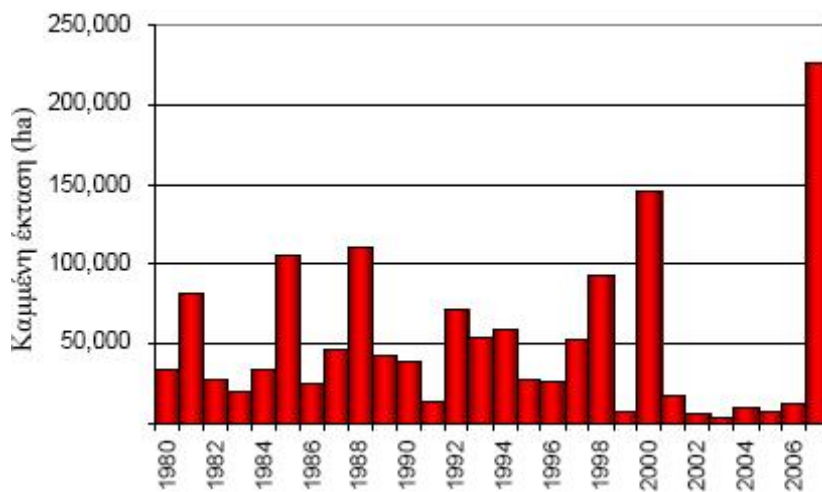
Πρέπει να αναφερθεί ότι το καλοκαίρι του 2007 ήταν η καταστροφικότερη περίοδος που έχει καταγραφεί για την Ελλάδα (Εικ.1.2.)

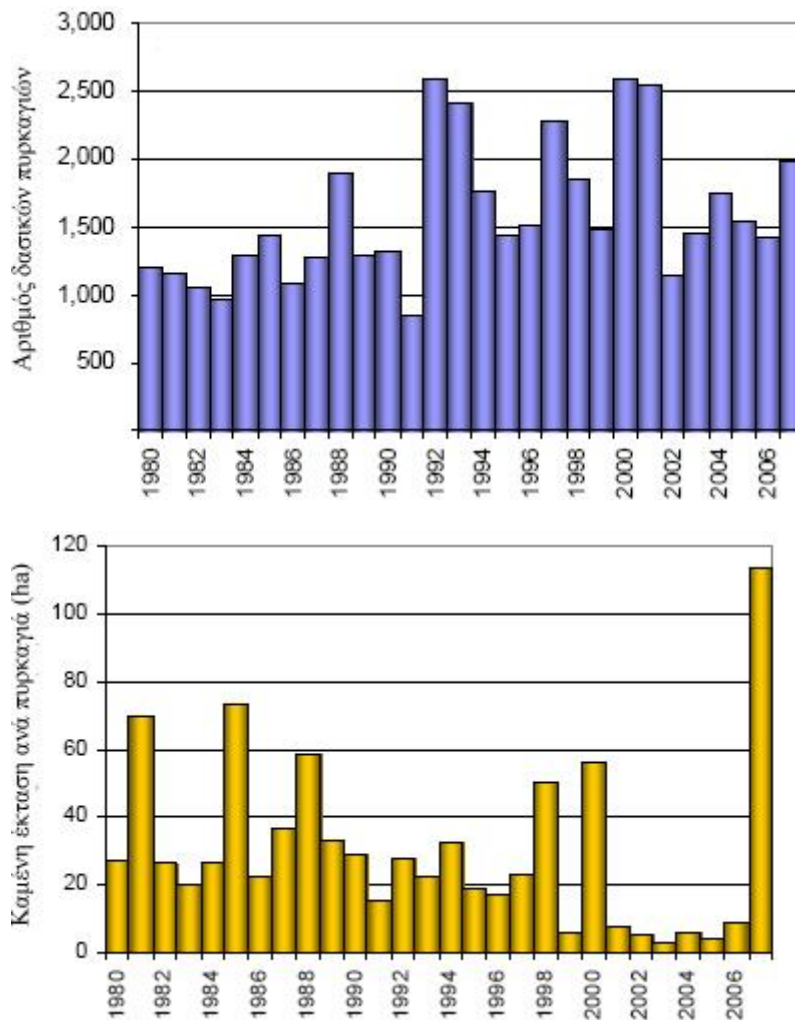


Εικ. 1.2. Δορυφορική φωτογραφία εξέλιξης πυρκαγιών σε Πελοπόννησο, Αττική, Εύβοια και Στερεά Ελλάδα τον Αύγουστο του 2007.

Η συνολική καμένη έκταση για το 2007 εκτιμάται σε 225733,9 ha, από την οποία έκταση το 70% καταστράφηκε αποκλειστικά στα τέλη Αυγούστου από 5 μεγάλες πυρκαγιές στην Πελοπόννησο (που έκαψαν 170.000 ha) και 3 ακόμη στην Εύβοια (που έκαψαν 25.000 ha). Ορισμένες παράμετροι που συνέβαλαν στην καταστροφή αυτή ήταν [10]:

- Παρατεταμένη ξηρασία κατά τους προηγούμενους μήνες.
- Τρεις ασυνήθιστα μακρόχρονες περίοδοι υπερβολικά υψηλών θερμοκρασιών, οι οποίες προκάλεσαν παρατεταμένα κύματα θερμότητας με υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλή υγρασία.
- Ισχυροί άνεμοι στις περιοχές όπου ξεκινούσαν οι πυρκαγιές.





Σχήμα 1.2. Ετήσια στατιστικά στοιχεία για τις δασικές πυρκαγιές την περίοδο 1980– 2007 που συνέβησαν στην Ελλάδα: (α) συνολική καμένη έκταση (σε ha), (β) αριθμός δασικών πυρκαγιών και (γ) καμένη έκταση (σε ha) ανά πυρκαγιά [10].

1.3.2. Αίτια δασικών πυρκαγιών

Τα αίτια των δασικών πυρκαγιών κατατάσσονται σε φυσικά, ανθρωπογενή καθώς και άγνωστα [7]:

Φυσικά αίτια: Το πιο σύνηθες φυσικό αίτιο πυρκαγιάς είναι οι κεραυνοί. Η πτώση κεραυνού μπορεί να προκαλέσει φωτιά σε πτητικές ουσίες και λεπτά τεμαχίδια ξύλου και φλοιού βελόνων μεγαλύτερα των 3 mm, με αποτέλεσμα την έναρξη φωτιάς στην κόμη ή τον φυλλοτάπητα. Οι κεραυνοί και τα ηφαίστεια είναι τα μέσα με τα οποία η φύση προκαλεί καύση των δασικών εκτάσεων της. Σε κανονικές συνθήκες, τα μεσογειακά δάση καίγονται από κεραυνό κάθε 100 με 150 χρόνια. Αυτή η περιοδική τους καύση είναι ουσιαστικά μια φυσική μέθοδος αναγέννησης του δάσους.

Ανθρωπογενή αίτια: Τα ανθρωπογενή αίτια περιλαμβάνουν συμβάντα που σχετίζονται με την ανθρώπινη δραστηριότητα και από αμέλεια ή ατύχημα μπορούν να προκαλέσουν πυρκαγιά, καθώς και την εκ προθέσεως καύση δασικών εκτάσεων (εμπρησμός). Το ποσοστό των πυρκαγιών αυτών ανέρχεται περίπου στο 97% στην χώρα μας.

(α) Εμπρησμοί από αμέλεια: Σαν ανθρωπογενή αίτια που προκύπτουν από ανθρώπινη αμέλεια αναφέρονται τα τσιγάρα και τα σπύρτα (17,8%), ατυχήματα που προκύπτουν κατά την καύση αγροτικών υπολειμμάτων και σκουπιδιών (12,8%), βολές από στρατιωτικές ασκήσεις (0,7%), καθώς και από εργαζόμενους στην ύπαιθρο ή εκδρομείς και κυνηγούς (4,2%). Στη χώρα μας, το ποσοστό των πυρκαγιών που οφείλεται σε σπινθήρες από διάφορες μηχανές και κυρίως αυτοκινήτων, φορτηγών, τρένων και λοιπών μηχανών ανέρχεται στο 2,1% του συνολικού αριθμού πυρκαγιών.

(β) Εμπρησμοί από πρόθεση: Το ποσοστό των εμπρησμών από πρόθεση φτάνει το 29,3% και μάλιστα παρουσιάζει τάση αύξησης, η οποία είναι συνιστώσα πολλών παραγόντων και παραμέτρων που είναι άμεσα συνυφασμένες με την εποχή μας.

Άγνωστα αίτια: Υπάρχει κι ένα ποσοστό πυρκαγιών (25,4% ετησίως), των οποίων τα αίτια σχετίζονται με την ανθρώπινη δραστηριότητα, αλλά δεν μπορούν να εξηγηθούν λογικά ή δεν μπορούν να αποδοθούν σε κάποιο γνωστό αίτιο.

1.3.3. Ζημιές από τις δασικές πυρκαγιές

Οι ζημιές από τις δασικές πυρκαγιές διακρίνονται σε άμεσες, δηλαδή εκείνες που προκαλούνται από μερική ή ολική καταστροφή του ξυλώδους κεφαλαίου ή της βλάστησης των βοσκότοπων και έμμεσες, δηλαδή εκείνες που προκαλούνται στις έμμεσες ωφέλειες του δάσους και είναι οικολογικές, υδρολογικές, απώλεια θέσεων εργασίας, υπερβόσκηση, καταστροφή αισθητικών, τουριστικών και πολιτιστικών αξιών των δασών, υγειονομικές, αύξηση του κοινωνικοοικονομικού κόστους [5β,7].

1.3.4. Είδη δασικών πυρκαγιών

1.3.4.1. Ένταση της πυρκαγιάς

Η ένταση της πυρκαγιάς δίνεται από τον τύπο [5γ,11]:

$$I = H \cdot W \cdot T$$

όπου:

I: είναι η ένταση του μετώπου της πυρκαγιάς σε kcal m⁻¹ s⁻¹,

H: η αποδιδόμενη θερμότητα από το καύσιμο σε kcal m⁻¹,

T: η τιμή της εξάπλωσης της πυρκαγιάς σε m s⁻¹ και

W: το βάρος του διαθέσιμου καυσίμου σε kg m⁻².

1.3.4.2. Διάκριση δασικών πυρκαγιών ανάλογα με την καύσιμη ύλη

Η καύσιμη δασική ύλη διακρίνεται σε: (α) *υπεδάφια καύσιμη ύλη* (οργανική ύλη σε αποσύνθεση, π.χ. χούμος(Εικ.1.3.), τύρφη, νεκρές ρίζες κ.α.), (β) *καύσιμη ύλη επί του εδάφους και μέχρι ύψους 2 m από το έδαφος* (ξηροτάπητας, πλώδης βλάστηση, θάμνοι, πεσμένα δένδρα, υπολείμματα των υλοτομιών, φρύγανα, κ.α. και (γ) *εναέρια καύσιμη ύλη* (καύσιμα υλικά πάνω από τα 2 m από το έδαφος) [5δ,12].



Εικ.1.3. Σχηματική απεικόνιση του σχηματισμού του χούμου.

Ανάλογα με την κατηγορία της καύσιμης ύλης διακρίνονται τα ακόλουθα είδη δασικών πυρκαγιών [5δ,7]:

- **Πυρκαγιές εδάφους.** Σε αυτές καίγεται η οργανική ύλη κάτω από την επιφάνεια του φυλλοστρώματος του δάσους. Χαρακτηρίζονται από βραδεία καύση, ενώ είναι δυνατόν να μην έχουμε αντιληπτή παραγωγή καπνού, οπότε γίνονται πολύ δύσκολα αντιληπτές. Οι πυρκαγιές εδάφους στην Ελλάδα μπορεί να διεισδύουν σε βάθος μέχρι και 2 m. Εξαπλώνονται αργά και σβήνονται δύσκολα.
- **Πυρκαγιές επιφάνειας.** Καίνε τον ξηροτάπητα και τη χαμηλή βλάστηση ύψους έως 2 m και αποτελούν το συνηθέστερο είδος δασικών πυρκαγιών. Χαρακτηριστικά τους είναι η μεγάλη ταχύτητα διάδοσης (ιδίως με ανέμους) με φλόγα και θερμότητα. Ο καπνός τους εξαπλώνεται σε μικρό σχετικά ύψος, συνήθως μέχρι το ύψος των δένδρων και έχει ανοικτό χρώμα.
- **Πυρκαγιές κόμης.** Καίνε την εναέρια καύσιμη ύλη που βρίσκεται σε ύψος μεγαλύτερο των 2 m από την επιφάνεια του εδάφους και καταστρέφουν την κόμη των δένδρων. Συνήθως, οι επικόρυφες πυρκαγιές προέρχονται από τις επιφανειακές, όπου μέσω χαμηλών κλαδιών, λειχήνων του κορμού, τομών για τη συλλογή ρητίνης κλπ., η φωτιά μεταφέρεται στην κόμη των δένδρων. Χαρακτηριστικά τους είναι η πολύ μεγάλη ταχύτητα διάδοσης και η εξακόντιση από τον άνεμο και τα ανοδικά ρεύματα της πυρκαγιάς αναμμένων τεμαχιδίων καύσιμης ύλης. Ο καπνός υψώνεται σε αρκετό ύψος πάνω από το έδαφος και έχει συνήθως το σχήμα μανιταριού, ιδίως όταν δεν φυσά ισχυρός άνεμος. Το χρώμα του είναι πιο σκούρο από τις επιφανειακές πυρκαγιές.

• **Σαρωτικές πυρκαγιές.** Τα τρία παραπάνω είδη των δασικών πυρκαγιών είναι δυνατόν να συνυπάρχουν γιατί το καθένα καίει διαφορετικό είδος καυσίμου. Όταν συνυπάρχει επικόρυφη και έρπουσα πυρκαγιά, τότε συχνά δημιουργείται μέτωπο φλογών που επεκτείνεται από το έδαφος έως μερικά μέτρα πάνω από τις κορυφές των δένδρων που κινείται σαρώνοντας την υπάρχουσα βλάστηση.

1.3.5. Παράγοντες που επηρεάζουν τις δασικές πυρκαγιές

Οι κυριότεροι παράγοντες που επιδρούν στην έναρξη και εξάπλωση των δασικών πυρκαγιών περιλαμβάνουν [5δ,7]:

(α) Μετεωρολογικοί παράγοντες.

• Ηλιακή ακτινοβολία: όσο μεγαλύτερο είναι το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται η βλάστηση, τόσο μεγαλύτερη είναι η ξήρανση που υφίσταται και συνεπώς, τόσο ευκολότερα αναφλέγεται.

- Βροχή
- Εξάτμιση της υγρασίας
- Θερμοκρασία και σχετική υγρασία του αέρα
- Θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους
- Ατμοσφαιρική πίεση και σταθερότητα της ατμόσφαιρας
- Άνεμος
- Σχετική υγρασία του αέρα: δίνεται από τη σχέση :

Σχετική Υγρασία Αέρα = $F/f \cdot 100$

όπου:

f : οι υπάρχοντες στον αέρα υδρατμοί (σε $g\ m^{-3}$) και

F : η μάζα των απαιτούμενων για να γίνει ο αέρας κορεσμένος στη συγκεκριμένη θερμοκρασία (σε $g\ m^{-3}$).

(β) Τοπογραφικοί παράγοντες.

- Υψόμετρο
- Προσανατολισμός
- Τοπογραφική διαμόρφωση

(γ) Βλάστηση.

- Συνθήκες βλάστησης
- Τύπος βλάστησης

Οι τύποι της καύσιμης ύλης στα ελληνικά δάση παίζουν σημαντικό ρόλο γιατί κατά κύριο λόγο καθορίζουν τον τύπο συμπεριφοράς μιας δασικής πυρκαγιάς. Η καύσιμη ύλη διακρίνεται σε τρεις ομάδες :

- στο αναφλέξιμο καύσιμο υλικό
- στο βαρύ καύσιμο υλικό
- στο πράσινο καύσιμο υλικό.

Αναφλέξιμη καύσιμη ύλη .Η αναφλέξιμη καύσιμη ύλη συναντάται στον υπόροφο των δασών μας. Η σύνθεσή της συνίσταται από βελόνες πεύκης, φύλλα, φλοιό απφλοίωσης, ξερούς κλάδους, ξερά πρέμνα κτλ. Τυπικά δάση στον ελλαδικό χώρο με αυτό το είδος της καύσιμης ύλης είναι τα αείφυλλα, τα πλατύφυλλα και τα διφυή δάση με ανόροφο από πεύκα (χαλέπιο, τραχεία, μαύρη) και υπόροφο με αείφυλλα πλατύφυλλα. Αυτό το υλικό αναφλέγεται αμέσως γιατί περιέχει ρητίνη και είναι ξερό όλο το καλοκαίρι. Η κρίσιμη αυτή ύλη μετά την ανάφλεξή της εξαπλώνεται ταχύτατα και μεταδίδει τη θερμότητά της στη βαρειά και στην πράσινη καύσιμη ύλη που με τη σειρά της αναφλέγεται. Όταν οι φωτιές καίνε τον υπόροφο τότε συνήθως ελέγχονται αλλά όταν μεταπηδήσουν στην κοσμοστέγη τους δάσους τότε η ταχύτητά τους και η εξάπλωσή τους είναι μεγάλη. Το ίδιο αναφλέξιμο υλικό το συναντάμε σε δάση Δρυός-Πεύκης, Καστανιάς-Ερυθρελάτης-Οξυάς.

Βαρειά καύσιμη ύλη. Η ύλη αυτή καίει αργά και το κάψιμό της διαρκεί πολύ χρόνο. Η σύνθεσή της συνίσταται από κατακείμενους κορμούς, χοντρά κλαδιά, πρέμνα, ανεμορρίματα ή ακόμα και από βαριά υπολείμματα υλοτομιών. Αυτό το υλικό συνήθως παραμένει υγρό και σπάνια αναφλέγεται μόνο του, αλλά χρειάζεται και αναφλέξιμη καύσιμη ύλη για να καεί. Μόλις το υλικό αυτό αναφλεγεί συνεχίζει να καίει για μέρες και είναι δύσκολο να σβηστεί. Όταν η φωτιά αυτή συνεχίζει να καίει για πολύ χρόνο οι καιόμενοι κορμοί σπάνε και πέφτουν στο έδαφος ακόμα και όταν σβηστούν.

Πράσινη καύσιμη ύλη. Αυτές οι συνθέσεις της καύσιμης ύλης συνίστανται από ζωντανό πράσινο υλικό δέντρων, κλαδιών, θάμνων κ.τ.λ. και καίγεται μόνο όταν ξεραθεί ή στεγνώσει γρήγορα και όταν έλθει σε επαφή με φλόγες άλλου καιόμενου υλικού. Εν τούτοις οι πράσινες βελόνες του πεύκου καίγονται γρήγορα γιατί περιέχουν ρητίνη.

Η Συνθήκη Καύσης του Καύσιμου Υλικού.

Η συνθήκη καύσης ενός δασικού υλικού αναφέρεται στην περιεχόμενη υγρασία του, η οποία καθορίζεται από τις καιρικές συνθήκες. Φυσικό ξερό ξύλο με ποσοστό υγρασίας μικρότερο του 13% καίγεται γρηγορότερα από ένα υγρό ξύλο. Η αναφλέξιμη καύσιμη ύλη χάνει την υγρασία της γρηγορότερα

από την βαριά καύσιμη ύλη. Η πράσινη καύσιμη ύλη έχει υψηλότερο περιεχόμενο υγρασίας την άνοιξη και το καλοκαίρι (αυξητική περίοδος) από ότι το φθινόπωρο και τον χειμώνα. Είναι σημαντικό οι συνθήκες καύσης της καύσιμης ύλης να είναι γνωστές σε μια φωτιά γιατί αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της. [13]

- Περιεχόμενη υγρασία καύσιμης ύλης: αποδίδεται από τον τύπο [14]:

$$Y\% = (M_x - M_o) / M_o * 100$$

όπου:

Y%: η περιεχόμενη επί τοις % υγρασία,

M_x: η αρχική μάζα (σε g) και

M_o: η απόλυτα ξερή μάζα (σε g).

Το M_o υπολογίζεται είτε με ξήρανση στους 102-105°C για 24 h, είτε με ξήρανση στους 60°C και πίεση 10 Torr για 48 h.

(δ) Λοιποί παράγοντες.

- Υπεδάφια στάθμη του νερού
- Ανοδικά ρεύματα πυρκαγιάς

1.3.6. Αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών

Τα μέτρα πρόληψης και αντιμετώπισης των δασικών πυρκαγιών περιλαμβάνουν χειρισμούς που βοηθούν στην ελάττωση, τόσο του κινδύνου έναρξης μιας πυρκαγιάς, όσο και της γρήγορης και μεγάλης εξάπλωσής της και είναι κυρίως τα ακόλουθα: αντιπυρικές ζώνες, δρόμοι, διαχείριση της καύσιμης δασικής ύλης, προκατασταλτικά μέτρα και μέσα (όπως παρατηρητήρια, επιτήρηση, σημεία υδροληψίας), εργαλεία, υλικά και διάφορα άλλα μέσα, γνώση του είδους του καιγόμενου δάσους και της καιγόμενης βλάστησης, κατασβεστικά υλικά και εργαλεία, μηχανήματα και το προσωπικό που χρησιμοποιούνται στη διάρκεια της κατάσβεσης [5δ].



Εικ.1.4. Αντιπυρική Ζώνη

2. ΕΔΑΦΟΣ

2.1.ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

Τα εδαφικά υλικά προέρχονται από μηχανική ή/και χημική αποσάθρωση των πετρωμάτων. Η μηχανική αποσάθρωση οφείλεται σε παράγοντες, όπως ο παγετός, οι συνεχείς θερμοκρασιακές μεταβολές, η διάβρωση από το νερό και τον αέρα, οι λειτουργίες φυτών, ζώων και ανθρώπων και οδηγεί σε κατατεμαχισμό και θρυμματισμό των βράχων. Η χημική αποσάθρωση προκαλεί την αποσύνθεση των πετρωμάτων λόγω οξειδωσης, ενανθράκωσης, αναγωγής και άλλων χημικών διεργασιών. Γενικά η χημική αποσάθρωση είναι ο κυριότερος παράγοντας δημιουργίας λεπτόκοκκων εδαφικών σχηματισμών (ιλών και αργίλων), ενώ η μηχανική αποσάθρωση συντελεί κυρίως στη δημιουργία των χονδροκόκκων εδαφών (χαλίκων και άμμων), χωρίς όμως να αποκλείεται και η μερική συμμετοχή της εναλλακτικής μεθόδου αποσάθρωσης στη γένεση εδαφικών σχηματισμών κάθε τύπου.

Με βάση τον τρόπο μεταφοράς και τελικής απόθεσης των προϊόντων της αποσάθρωσης, τα εδάφη διακρίνονται σε αυτόχθονα και ιζηματογενή. Τα πρώτα προέρχονται από την επιτόπου απόθεση των προϊόντων αποσάθρωσης, χωρίς να μεσολαβήσει μεταφορά τους μακριά από την περιοχή αποσάθρωσης. Αντίθετα τα ιζηματογενή προέρχονται από τη μεταφορά των προϊόντων αποσάθρωσης με τα νερά των ποταμών μακριά από την αρχική τους θέση και την επακόλουθη απόθεσή τους στην περιοχή εκβολών. Υπάρχουν και περιπτώσεις μεταφοράς τους και από τον αέρα. Η

μεταφορά και απόθεση των ιζηματογενών εδαφικών σχηματισμών με το νερό οδηγεί στο διαχωρισμό τους κατά μέγεθος πόρων.

Ανεξάρτητα από τον τρόπο γένεσης, μεταφοράς και απόθεσης των εδαφών, η διάταξη των κόκκων τους δημιουργεί κενά (πόρους) τα οποία κατά την ιζηματογένεση στους πυθμένες των θαλασσών και λιμνών πληρώθηκαν με νερό. Στο μακρό χρονικό διάστημα όμως που μεσολάβησε πολλοί εδαφικοί σχηματισμοί βρέθηκαν τελικά πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα και το νερό των πόρων αντικαταστάθηκε μερικώς από αέρα. Αποτέλεσμα σήμερα τα περισσότερα εδάφη να περιέχουν και νερό και αέρα στους πόρους τους. [15]

2.2.ΣΤΕΡΕΗ ΦΑΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ

Το έδαφος (soil) είναι το αποσαθρωμένο ανώτερο στρώμα της επιφάνειας της ξηράς στο οποίο είναι δυνατόν να αναπτυχθούν φυτά και είναι ετερογενές, τριφασικό σύστημα. Οι τρεις φάσεις του εδάφους είναι η στερεή, η υγρή και η αέρια. Η στερεή αποτελείται από συστατικά οργανικής και ανόργανης προέλευσης. Η υγρή είναι το εδαφικό νερό ή εδαφικό διάλυμα. Η αέρια φάση αποτελεί την εδαφική ατμόσφαιρα.

ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ
ΩΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΡΙΩΝ ΦΑΣΕΩΝ



Εικ. 2.1. Σχηματική απεικόνιση των τριών φάσεων του εδάφους.

Τα δυο συστατικά της στερεής φάσης, οργανικά και ανόργανα, δεν είναι διακριτά, αλλά αναμιγνύονται μεταξύ τους και οι διαστάσεις των τεμαχιδίων τους κυμαίνονται από μερικές δεκάδες cm μέχρι και $< \text{cm}^7$. Η δομή του εδάφους, το συνολικό πορώδες, η γεωμετρία των πόρων καθώς και η φαινομενική πυκνότητα καθορίζονται από τον τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα στο χώρο τα στερεά τεμαχίδια του εδάφους.

2.2.1. Ανόργανη ύλη – Εδαφικά τεμαχίδια

Τα ανόργανα εδαφικά τεμαχίδια κατατάσσονται σε δυο κατηγορίες ανάλογα με το αν είναι μικρότερα ή μεγαλύτερα σε μέγεθος από 2 μm. Το κλάσμα άργιλος (clay), με τεμαχίδια διαμέτρου μικρότερη από 2 μm περιλαμβάνει ορυκτά που είναι ενεργά από φυσικοχημική άποψη και έχουν σχηματισθεί σαν δευτερογενή προϊόντα της αποσάθρωσης πρωτογενών ορυκτών. Στο κλάσμα άργιλος κυριαρχούν τα δευτερογενή αργιλοπυριτικά ορυκτά, ο χαλαζίας, ο αιματίτης, ο υδραργιλίτης καθώς και ένυδρα οξειδία και υδροξειδία του Fe και του Al.

Το κλάσμα του εδάφους με τεμαχίδια διαμέτρου μεγαλύτερης από 2 μm, αποτελείται από αδρανή από φυσικοχημική άποψη, ορυκτά και θραύσματα πετρωμάτων και μπορεί να υποδιαιρεθεί σε μικρότερες κατηγορίες όπως ιλύς, άμμος και λίθοι.

Το μέγεθος των τεμαχιδίων εκφράζεται με τη διάμετρό τους, αλλά τις περισσότερες φορές λόγω του ακανόνιστου σχήματος κυρίως των κόκκων άμμου, ιλύος και αργίλου, ο όρος διάμετρος δεν είναι εύλογος. Στην περίπτωση της άμμου ο καθορισμός του μεγέθους, βασίζεται στην διάμετρο των ανοιγμάτων ενός κόσκινου μέσα από τα οποία μπορούν να περάσουν. Όσον αφορά τα τεμαχίδια της ιλύος και της αργίλου, η διάμετρος ορίζεται με βάση την ταχύτητα καταβύθισής τους όταν βρεθούν εν αιωρήσει σε νερό.

Η έκφραση της κατανομής των κλασμάτων της άμμου, ιλύος και αργίλου σε ποσοστά επί τοις εκατό ονομάζεται *μηχανική σύσταση του εδάφους* ή *κατανομή μεγέθους των εδαφικών τεμαχιδίων* ενώ η εργαστηριακή διεργασία που ακολουθείται για τον προσδιορισμό της ονομάζεται *μηχανική ανάλυση*.

Στη φύση τα επιμέρους εδαφικά τεμαχίδια δεν βρίσκονται διάκριτα αλλά είναι σε συσσωματώματα. Οι παράγοντες που προκαλούν, διατηρούν και προάγουν την συσσωμάτωση των εδαφικών τεμαχιδίων είναι κυρίως τα ένυδρα κολλοειδή οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου και αργιλίου, τα ανθρακικά άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου και η οργανική ύλη του εδάφους.

2.2.2. Διαμερισμός

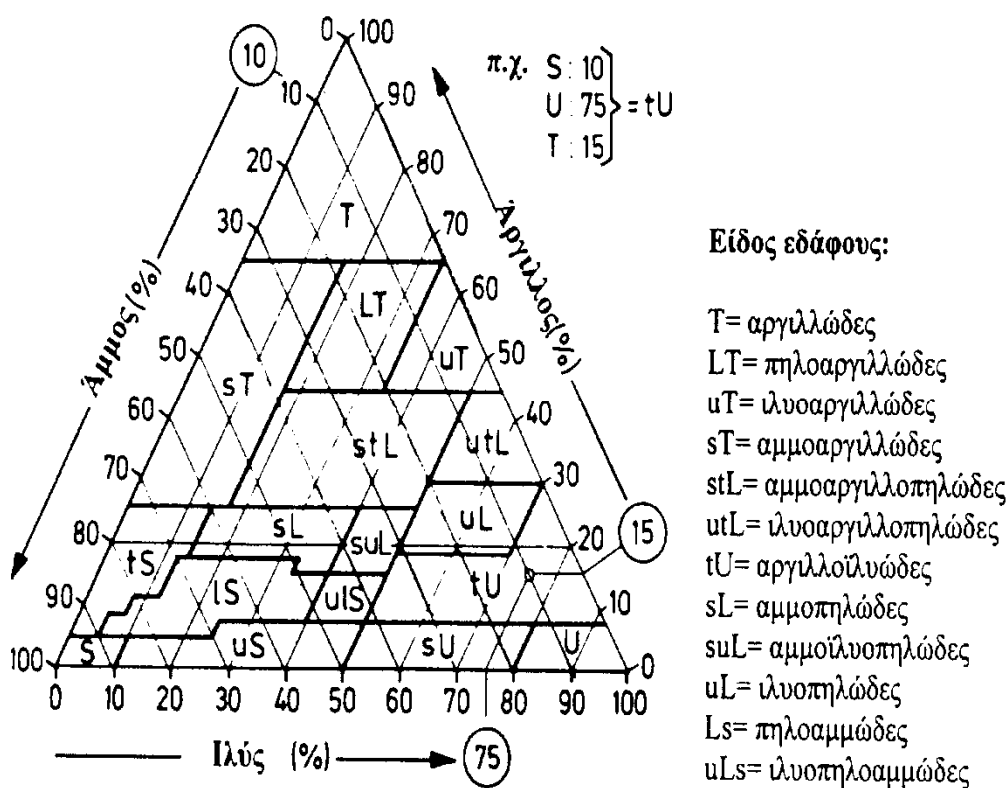
Ο διαχωρισμός ενός εδαφικού δείγματος σε απλά και διάκριτα τεμαχίδια, ο *διαμερισμός* όπως ονομάζεται, μπορεί να γίνει με φυσικές, χημικές ή συνδυασμό φυσικών και χημικών μεθόδων.

Οι φυσικές μέθοδοι περιλαμβάνουν ανακίνηση του εδαφικού δείγματος μέσα σε νερό, βράσιμο σε νερό, περιστροφική ανάμιξη νερού-εδάφους καθώς και χρήση υπερήχων. Η οργανική ουσία μπορεί να διασπαστεί με θέρμανση σε 375°C για 16 ώρες ή σε 850°C για 30 λεπτά. Η μέθοδος αυτή δε θα πρέπει να χρησιμοποιείται για εδάφη που περιέχουν ανθρακικό ασβέστιο επειδή αυτό διασπάται κατά την θέρμανση.

Οι χημικές μέθοδοι περιλαμβάνουν την χρησιμοποίηση τέτοιων χημικών ενώσεων που να προκαλούν την απομάκρυνση των συγκολλητικών ενώσεων αλλά και να αυξάνουν τις μεταξύ των τεμαχιδίων απωστικές δυνάμεις έτσι ώστε τα κολλοειδή να παραμένουν διαμερισμένα.

2.2.3. Μηχανική Σύσταση Εδάφους

Τα αποτελέσματα της μηχανικής ανάλυσης, δηλαδή τα ποσοστά άμμου, ιλύος και αργίλλου, ποικίλουν πάρα πολύ στα διάφορα εδάφη και έτσι μπορεί να βρεθούν άπειροι συνδυασμοί ποσοστών των τριών κλασμάτων. Αυτό οδηγεί στην ανάγκη κατάταξης των εδαφών σε ένα συγκεκριμένο αριθμό κατηγοριών μηχανικής σύστασης. Στην κάθε κατηγορία τα ποσοστά κλάσματος ποικίλουν μέσα σε συγκεκριμένα όρια. Η κατάταξη γίνεται με το τρίγωνο μηχανικής σύστασης (Σχ. 2.1).



Σχήμα 2.1. Σύστημα τριγωνικών συντεταγμένων για την κατάταξη των εδαφικών σε κατηγορίες μηχανικής σύστασης.

Με αυτό τον τρόπο κατάταξης, ο οποίος είναι αυθαίρετος και χρησιμοποιείται σε παγκόσμια κλίμακα, οποιοδήποτε έδαφος ανήκει σε μια από τις δώδεκα κατηγορίες μηχανικής σύστασης. Αυτές με τη σειρά τους μπορούν να καταταγούν σε τρεις ομάδες:

- 1) Αμμώδη, που περιλαμβάνει τις κατηγορίες α) αμμώδη και β) πηλοαμμώδη.
- 2) Πηλώδη, που περιλαμβάνει τις κατηγορίες α) αμμοπηλώδη, β) πηλώδη, γ) ίλοπηλώδη, δ) ίλωδη, ε) αργιλοπηλώδη, στ) αμμοαργιλοπηλώδη και ζ) ίλοαργιλοπηλώδη.

- 3) Αργιλώδη, που περιλαμβάνει τις κατηγορίες α) αμμοαργιλώδη, β) ιλυοαργιλώδη και γ) αργιλώδη.

Η κατάταξη αυτή σε δώδεκα κατηγορίες μπορεί να δώσει ικανοποιητικές πληροφορίες για τη συμπεριφορά και τις ιδιότητες των εδαφών που ανήκουν στις ομάδες των αμμωδών και πηλωδών εδαφών. Για την ομάδα των αργιλωδών εδαφών, χρειάζονται πρόσθετες πληροφορίες και ιδιαίτερα σχετικές με το είδος των ορυκτών που κυριαρχούν στο κλάμα άργιλος.

Μια πολύ γενική περιγραφή των ιδιοτήτων των εδαφών των τριών ομάδων μηχανικής σύστασης δίνεται παρακάτω:

- 1) **Αμμώδη εδάφη:** στα εδάφη αυτά κυριαρχεί το κλάσμα άμμος και έτσι αυτά είναι χαλαρά, δεν συμπιέζονται εύκολα και το νερό και ο αέρας μπορούν να κινούνται ελεύθερα μέσα στη μάζα τους. Οι ρίζες των αναπτυσσόμενων σε αυτά φυτών μπορούν να αυξάνονται ανεμπόδιστα επειδή δεν συναντούν μεγάλη μηχανική αντίσταση τόσο στην επιμήκυνση όσο και στην αύξηση της διαμέτρου τους. Έχουν μικρή ικανότητα συγκράτησης νερού και θρεπτικών για τα φυτά στοιχείων και μικρή ρυθμιστική ικανότητα. Ο όγκος τους είναι πρακτικά αμετάβλητος όταν μεταβάλλεται η υγρασία και δεν παρουσιάζουν τα φαινόμενα της πλαστικότητας και της συγκολλητικότητας. Έτσι μπορούν εύκολα να κατεργαστούν με καλλιεργητικά εργαλεία κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες και σε αυτό οφείλουν τον χαρακτηρισμό ελαφρά εδάφη.
- 2) **Αργιλώδη εδάφη:** αυτά σε αντίθεση με τα αμμώδη, έχουν μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού και προσρόφησης θρεπτικών στοιχείων, μεγάλη ρυθμιστική ικανότητα και παρουσιάζουν το φαινόμενο της διόγκωσης-συρρίκνωσης, κατά τη διαβροχή και ξήρανση, σε έντονο βαθμό. Το νερό και ο αέρας κινούνται δύσκολα μέσα στη μάζα τους και συχνά παρατηρούνται φαινόμενα κακής στράγγισης καθώς και όχι ικανοποιητικού αερισμού του ριζικού συστήματος των καλλιεργούμενων φυτών. Λόγω της συνεκτικότητας που παρουσιάζουν, η μηχανική κατεργασία τους μπορεί να γίνει μόνο όταν η υγρασία τους βρίσκεται σε καθορισμένα και στενά όρια. Η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος επιβραδύνεται τόσο λόγω κακού αερισμού όσο και λόγω της αυξημένης μηχανικής αντίστασης που εμφανίζουν τα εδάφη αυτά. Η μηχανική τους αντίσταση γίνεται πιο έντονα φανερή με τη δυσκολία μηχανικής κατεργασίας τους και την ανάγκη χρησιμοποίησης καλλιεργητικών μηχανημάτων με μεγάλη ισχύ. Σε αυτό οφείλεται και ο χαρακτηρισμός τους σαν βαριά εδάφη. Ο βαθμός όμως στον οποίο θα εκδηλωθούν οι παραπάνω ανεπιθύμητες ιδιότητες των αργιλωδών εδαφών εξαρτάται κυρίως από τα ορυκτά που κυριαρχούν στο κλάσμα άργιλος των εδαφών αυτών.
- 3) **Πηλώδη εδάφη ή εδάφη μέσης μηχανικής σύστασης:** στα εδάφη αυτά τα τρία κλάσματα μηχανικής σύστασης βρίσκονται σε ίσες περίπου αναλογίες. Έτσι επειδή η παρουσία της άμμου εξουδετερώνει τις δυσμενείς ιδιότητες της αργίλου και αντίθετα, τα εδάφη αυτής της ομάδας εκδηλώνουν μόνο τις επιθυμητές ιδιότητες της άμμου και της αργίλου.

Η μηχανική σύσταση ενός εδάφους είναι πρακτικά αδύνατο να μεταβληθεί και είναι η κύρια ιδιότητα που επηρεάζει την παραγωγικότητά του. Σε γενικές γραμμές, μια μέση μηχανική σύσταση, θεωρείται η πιο επιθυμητή αν και πολλές καλλιέργειες θα μπορούσαν να αναπτυχθούν και να αποδώσουν και σε αμμώδη εδάφη όταν υπάρχει η δυνατότητα παροχής της αναγκαίας ποσότητας νερού και θρεπτικών συστατικών.

Τα προβλήματα που παρουσιάζουν τα αργιλώδη εδάφη μπορούν να αντιμετωπιστούν μόνο με πρακτικούς αγρονομικούς χειρισμούς που έχουν σαν σκοπό την δημιουργία και διατήρηση ικανοποιητικής δομής. Ο πιο κατάλληλος πρακτικός τρόπος είναι η εναλλαγή των καλλιεργειών (αμειψισπορά) που θα περιλαμβάνει πολυετή βαθύριζα φυτά (μίγματα αγροστωδών-ψυχανθών) καθώς και η κατά το δυνατόν επιστροφή στο έδαφος όλων των υπολειμμάτων των καλλιεργειών.

2.2.4. Φυσικές σταθερές εδάφους

Όπως ήδη αναφέρθηκε στο έδαφος υπάρχουν και οι τρεις φάσεις της ύλης, στερεή, υγρή και αέρια. Τη στερεή φάση αποτελούν τα ανόργανα και οργανικά συστατικά του εδάφους, ενώ η υγρή φάση συνίσταται από νερό που περιέχει διαλυμένα τόσο στερεά όσο και αέρια. Έτσι το εδαφικό νερό δεν είναι καθαρό νερό αλλά υδατικό διάλυμα που ονομάζεται και εδαφικό διάλυμα. Η αέρια φάση του εδάφους (εδαφική ατμόσφαιρα) δεν έχει πάντα την σύσταση του ατμοσφαιρικού αέρα, κυρίως λόγω του εμπλουτισμού της σε διοξείδιο του άνθρακα σε βάρος του οξυγόνου.

Παρακάτω αναλύονται οι κυριότερες φυσικές σταθερές του εδάφους.

Η **πυκνότητα των εδαφικών κόκκων** (density of solids) είναι η μάζα ξηρού εδάφους ανά μονάδα όγκου στερεών τεμαχιδίων ενώ ως **φαινομενική πυκνότητα** (bulk density) του εδάφους ορίζεται η μάζα ξηρού εδάφους ανά μονάδα συνολικού όγκου (όγκος στερεών + όγκος πόρων). **Πορώδες** (porosity) είναι το κλάσμα ή το ποσοστό του συνολικού όγκου του εδάφους που καταλαμβάνεται από αέρα ή νερό. Επειδή όμως ο συνολικός όγκος για τα περισσότερα εδάφη δεν είναι σταθερός, αλλά μεταβάλλεται ανάλογα με την περιεχόμενη υγρασία (διόγκωση- συρρίκνωση), το πορώδες στις περιπτώσεις αυτές, δεν έχει κάποια φυσική σημασία. Για αυτό το λόγο και ειδικά για τα εδάφη που παρουσιάζουν το φαινόμενο της διόγκωσης- συρρίκνωσης σε έντονο βαθμό χρησιμοποιείται ο όρος αναλογία πόρων. Ως **αναλογία πόρων** (void ratio) ορίζεται το κλάσμα του όγκου των πόρων ανά μονάδα όγκου στερεών τεμαχιδίων.

Ως **υγρασία εδάφους** (water content ή moisture content) ορίζεται η ποσότητα του εδαφικού νερού ανά μονάδα ποσότητας ξηρού εδάφους. Έτσι η υγρασία εκφράζεται είτε κατά βάρος είτε κατ'όγκο. Πολλές φορές η υγρασία αναφέρεται και σαν ποσοστό επί τοις εκατό. Βαθμός κορεσμού (degree of saturation) είναι το κλάσμα (ή ποσοστό) του συνολικού όγκου των πόρων που καταλαμβάνεται από νερό. **Αεροπορώδες** (air porosity) είναι το κλάσμα ή ποσοστό του συνολικού όγκου του εδάφους που καταλαμβάνεται από αέρα. [16]

2.3.Υγρή Φάση Εδάφους

Κάτω από φυσικές συνθήκες το έδαφος περιέχει πάντα μια ποσότητα νερού που αν εκφραστεί στη μονάδα βάρους ή όγκου του εδάφους ή σαν ποσοστό επί τοις εκατό ονομάζεται **εδαφική υγρασία**.

Το εδαφικό νερό συγκρατείται στο έδαφος από δυνάμεις των οποίων η σπουδαιότητα και η σχετική συνεισφορά τους στην συγκράτηση νερού εξαρτάται τόσο από την ποσότητα του νερού όσο και από τις ιδιότητες της στερεής φάσης του εδάφους. Το αποτέλεσμα της δράσης των παραπάνω δυνάμεων καθώς και του πεδίου βαρύτητας, είναι η ενέργεια που έχει το εδαφικό νερό ή όπως ονομάζεται το δυναμικό του εδαφικού νερού.

2.3.1. Εδαφική Υγρασία

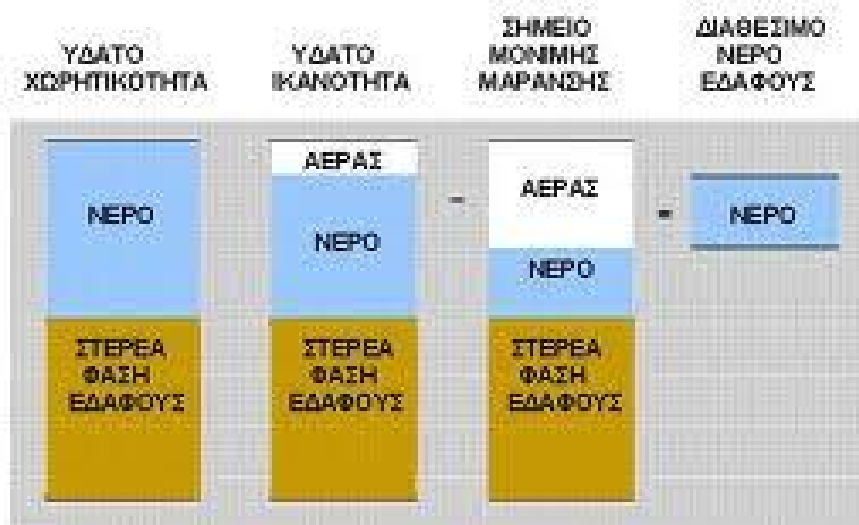
Το έδαφος αποτελείται από στερεά τεμαχίδια, με διαφορετικό μέγεθος και σχήμα, τα οποία λόγω των διαφορετικών τρόπων διάταξής τους στο χώρο, αφήνουν μεταξύ τους κενά (πόρους), που έχουν ποικιλία διαστάσεων αλλά και σχημάτων. Οι πόροι καταλαμβάνονται από εδαφικό νερό και αέρα σε αναλογίες που ποικίλουν και εξαρτώνται κυρίως από την υγρασιακή κατάσταση του εδάφους.

Το εδαφικό νερό δεν είναι χημικά καθαρό νερό αλλά ένα υδατικό διάλυμα στερεών και αερίων που για αυτό το λόγο αναφέρεται σωστότερα **εδαφικό διάλυμα**. Η σύσταση και η συγκέντρωση του εδαφικού διαλύματος εξαρτάται από τις αυξομειώσεις του διαλύτη (νερού), την προέλευση και σύσταση της στερεής φάσης του εδάφους καθώς και από τον ρυθμό ανάπτυξης αλλά και την πυκνότητα των φυτικών οργανισμών που ζουν και αναπτύσσονται στο έδαφος.

Η εδαφική υγρασία ποικίλει πάρα πολύ στα διάφορα σημεία του εδάφους κάτι που οφείλεται τόσο σε εδαφικά χαρακτηριστικά όσο και στα φυτά που αναπτύσσονται σε αυτό. Τα εδαφικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την τιμή της εδαφικής υγρασίας είναι κυρίως η μηχανική σύσταση και η δομή, τα οποία με τη σειρά τους επηρεάζουν την φαινομενική πυκνότητα, το πορώδες, τις διαστάσεις, την κατανομή μεγέθους και την γεωμετρία των πόρων καθώς και την υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους. Άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεάζει την τιμή της εδαφικής υγρασίας είναι η τοπογραφία της επιφάνειας του εδάφους. Τα φυτά καλλιεργούμενα και μη, δεν κατανέμονται ομοιόμορφα, στην επιφάνεια του εδάφους, αλλά και το ριζικό τους σύστημα παρουσιάζει ανομοιόμορφη ανάπτυξη. Έτσι, τα φυτά δεν εκμεταλλεύονται όλα ίσο όγκο εδάφους και κατά συνέπεια απομακρύνουν διαφορετικά σημεία του εδάφους.

Η εδαφική υγρασία εκφρασμένη κατ'όγκο, μπορεί να μεταβάλλεται από μηδέν, όταν το εδαφικό δείγμα θερμανθεί για 24 ώρες σε 105°C, μέχρι μια τιμή ίση με το πορώδες του εδάφους, όταν το έδαφος είναι **κορεσμένο** με νερό. Πολλές

φορές όμως βρίσκουν εφαρμογή, κυρίως για αγρονομικούς λόγους, και δυο ενδιάμεσα στάδια εδαφικής υγρασίας. Το πρώτο ονομάζεται **υδατοχωρητικότητα** (field capacity) του εδάφους και είναι το εδαφικό νερό που μπορεί να συγκρατηθεί από το έδαφος ενάντια στις δυνάμεις της βαρύτητας. Ο χρόνος που χρειάζεται ένα κορεσμένο έδαφος για να έρθει στην υδατοχωρητικότητά του είναι συνάρτηση κυρίως της μηχανικής σύστασης και της δομής του και χοντρικά κυμαίνεται από δυο μέχρι επτά μέρες. Το δεύτερο ενδιάμεσο στάδιο εδαφικής υγρασίας ονομάζεται **ποσοστό μόνιμης μάρανσης** (permanent wilting percentage) και είναι εκείνη η υγρασία στην οποία τα φυτά μαραίνονται και δεν επανέρχονται στη ζωή.



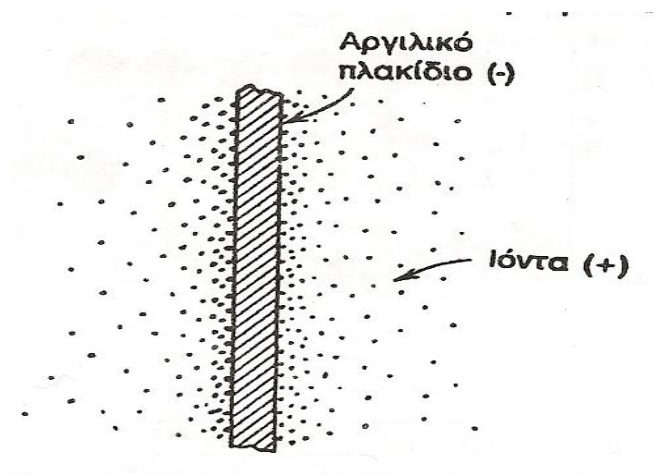
Εικ.2.1. Σχηματική απεικόνιση της σχέσης της εδαφικής υγρασίας στη μόνιμη μάρανση και στην υδατοχωρητικότητα και στο διαθέσιμο νερό.

Οι έννοιες τόσο της υδατοχωρητικότητας όσο και του ποσοστού μόνιμης μάρανσης στερούνται φυσικής σημασίας, χρησιμοποιούνται όμως γιατί δίνουν έστω και ασαφή, εικόνα της ικανότητας του εδάφους να προμηθεύει με νερό τα φυτά. Αφού η υδατοχωρητικότητα και το ποσοστό μόνιμης μάρανσης είναι τα δυο όρια, από πλευράς εδαφικής υγρασίας, μέσα στα οποία τα φυτά μπορούν να επιζήσουν, η περιοχή ανάμεσα στα δυο αυτά όρια εκφράζει το διαθέσιμο για την ανάπτυξη των φυτών νερό. Το **διαθέσιμο νερό** (available water) βρίσκεται με απλή αφαίρεση της εδαφικής υγρασίας στο ποσοστό μόνιμης μάρανσης από την εδαφική υγρασία που αντιστοιχεί στην υδατοχωρητικότητα.

Η μεταβολή της εδαφικής υγρασίας έχει σαν αποτέλεσμα την σε διαφορετικό βαθμό εκδήλωση ορισμένων φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους όπως είναι η δομή, η διόγκωση και συρρίκνωση, η υδραυλική αγωγιμότητα, η συνεκτικότητα, η συμπιεστότητα και η μηχανική αντοχή. [16]

2.3.2.Αλληλεπίδραση Νερού και Αργιλικών Ορυκτών

Η επιρροή του νερού στη μηχανική συμπεριφορά των χονδροκόκκων εδαφών είναι πρακτικά μηδενική. Αντίθετα, η συμπεριφορά των αργιλικών εδαφών επηρεάζεται σημαντικά από την παρουσία και την ποσότητα του νερού στους πόρους. Η επιρροή αυτή οφείλεται κυρίως στην ηλεκτρική αλληλεπίδραση του νερού με τις φορτισμένες επιφάνειες των αργιλικών πλακιδίων. Το μόριο του νερού, αν και ηλεκτρικά ουδέτερο έχει τις ιδιότητες ηλεκτρικού διπόλου, με κέντρα θετικού και αρνητικού φορτίου που δεν ταυτίζονται. Τα ηλεκτρικά δίπολα έλκονται προς την ηλεκτρικά φορτισμένη επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων (Σχήμα 2.2.) και αποτελούν ενιαίο σώμα. Η έλξη των διπόλων του νερού προς τα αργιλικά πλακίδια είναι πολύ ισχυρή κοντά στην επιφάνεια και μειώνεται ραγδαία με την απόσταση από την επιφάνεια. Έτσι δημιουργείται μια ζώνη γύρω από το αργιλικό πλακίδιο, στην οποία το προσροφημένο νερό έχει ιδιότητες πολύ διαφορετικές από το ελεύθερο νερό που βρίσκεται έξω από τη ζώνη αυτή. Η ζώνη αυτή ονομάζεται διπλή στρώση, διότι αναπτύσσεται και στις δυο επιφάνειες του πλακιδίου.



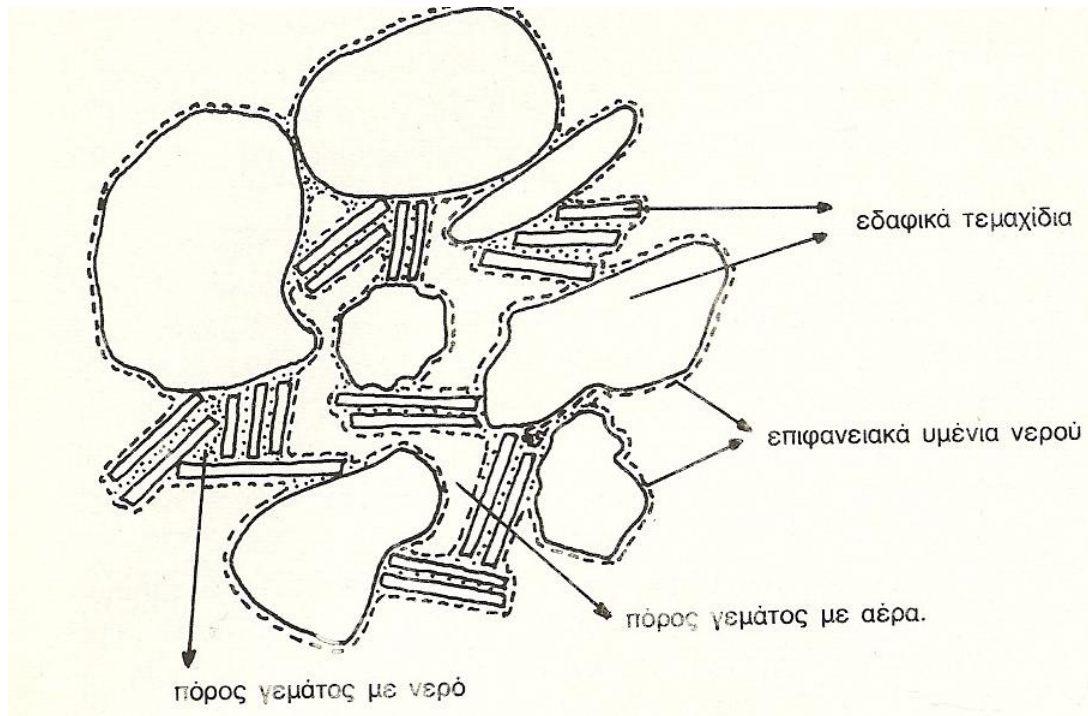
Σχήμα 2.2. Προσροφημένα δίπολα νερού σε αργιλικό πλακίδιο

Η ύπαρξη και το μέγεθος της διπλής στρώσης παίζουν καθοριστικό ρόλο στις μηχανικές ιδιότητες των αργιλικών εδαφών. Έτσι με την αύξηση της υγρασίας, δηλαδή με την αύξηση της ποσότητας του νερού στους πόρους των αργιλικών εδαφών, αυξάνει αρχικά και το πάχος της διπλής στρώσης, επειδή ένα μέρος του διαθέσιμου νερού προσροφάται στην επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων. Εάν το ποσοστό της υγρασίας αυξηθεί πέρα από κάποιο όριο, το πάχος της διπλής στρώσης γίνεται πολύ μεγάλο, οπότε τα μόρια του νερού που βρίσκονται στο απομακρυσμένο από το πλακίδιο όριο της διπλής στρώσης και είναι ασθενώς συνδεδεμένα με τη διπλή στρώση αποκτούν ιδιότητες ελεύθερου νερού. Κατά, οι επαφές μεταξύ των πλακιδίων, μέσω των μορίων του νερού που είναι ασθενώς συνδεδεμένα με τις διπλές στρώσεις, οδηγεί στην βαθμιαία μείωση της διατμητικής αντοχής της αργίλου και την μετάπτωσή της από τη στερεά μορφή στην υδαρή κατάσταση. Αντίθετα, η μείωση της υγρασίας έχει σαν συνέπεια τη μείωση του πάχους των διπλών

στρώσεων, την ισχυρότερη ηλεκτρική αλληλεπίδραση μεταξύ των αργιλικών πλακιδίων (έλξη της θετικά φορτισμένης περιφέρειας ενός πλακιδίου προς τις αρνητικά φορτισμένες παρειές του γειτονικού πλακιδίου) και την αύξηση της διατμητικής αντοχής του εδάφους. Εάν το σύνολο του προσροφημένου νερού απομακρυνθεί (π.χ. σε πυρκαγιά) τότε οι ηλεκτρικές δράσεις μεταξύ των πλακιδίων είναι ισχυρότατες λόγω της μικρής απόστασης και η διατμητική αντοχή μέγιστη. Στην περίπτωση αυτή η αλληλεπίδραση μεταξύ των πλακιδίων είναι τόσο ισχυρή που ακόμη και αν η άργιλος βραχεί, τα πλακίδια δεν απομακρύνονται και δεν επιτρέπουν την είσοδο νερού στους πόρους και το σχηματισμό διπλών στρώσεων προσροφημένου νερού. [17]

2.3.3. Δυνάμεις Συγκράτησης Εδαφικού Νερού

Το εδαφικό νερό δεν βρίσκεται συγκεντρωμένο και απομονωμένο σε διάφορες θέσεις μέσα στους πόρους του εδάφους αλλά αποτελεί κατά κάποιο τρόπο ένα συνεχόμενο σύστημα (δίκτυο) (Σχ. 2.3). Η συνέχεια του δικτύου αυτού γίνεται δυνατή, ακόμη και όταν η τιμή της εδαφικής υγρασίας βρίσκεται κοντά στο μηδέν, επειδή κάθε εδαφικό τεμαχίδιο καλύπτεται από ένα πολύ λεπτό υμένιο νερού. Στα σημεία επαφής δυο εδαφικών τεμαχιδίων προκαλείται συνένωση των επιφανειακών υμενίων νερού. Επειδή μέσα στους πόρους του εδάφους όπου δεν υπάρχει εδαφικό νερό υπάρχει αέρας, στις περιοχές που τα υδάτινα υμένια συνενώνονται, δημιουργούνται καμπύλες διαχωριστικές επιφάνειες υγρού-αερίου. Οι δυνάμεις με τις οποίες συγκρατείται το νερό στο έδαφος οφείλονται κατά κύριο λόγο στην ύπαρξη των παραπάνω διαχωριστικών υγρού-στερεού και υγρού-αερίου. Το εδαφικό νερό δεν είναι χημικά καθαρό αλλά ένα υδατικό διάλυμα οπότε εμφανίζει οσμωτική πίεση. Η οσμωτική πίεση αποτελεί έναν ακόμα παράγοντα συγκράτησης του εδαφικού νερού από το έδαφος.



Σχήμα.2.3. Διαγραμματική απεικόνιση της κατανομής του εδαφικού νερού σε ένα ακόρεστο έδαφος

Στην περίπτωση των δυνάμεων που οφείλονται στην διαχωριστική επιφάνεια υγρού- στερεού οι πιθανοί μηχανισμοί απορρόφησης και συγκράτησης του νερού από το έδαφος είναι οι παρακάτω:

1. Δεσμοί υδρογόνου
2. Εφυδάτωση των προσροφημένων κατιόντων
3. Έλξη λόγω διαφοράς οσμωτικής πίεσης
4. Έλξη μεταξύ αρνητικά φορτισμένης επιφάνειας και διπόλων μορίων νερού
5. Έλξη που οφείλεται σε δυνάμεις London-van der Waals που αναπτύσσονται μεταξύ στερεών τεμαχιδίων και μορίων νερού.

2.3.4. Μύζηση Εδαφικού Νερού

Λόγω των δυνάμεων των διαχωριστικών επιφανειών στερεού- υγρού και υγρού- αερίου που αναπτύσσονται στο έδαφος και της οσμωτικής πίεσης του εδαφικού νερού, το εδαφικό νερό βρίσκεται κάτω από μια υποπίεση (αρνητική πίεση) ή με άλλα λόγια το νερό μωζάται από το έδαφος. Έτσι αντί να αναφέρονται περιφραστικά όλες οι δυνάμεις συγκράτησης του νερού είναι προτιμότερο η χρήση να μιλάμε για μύζηση (suction) του εδαφικού νερού. Η **μύζηση** εκφράζει την δύναμη συγκράτησης του εδαφικού νερού από το έδαφος ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους ή αντίθετα τη δύναμη ανά μονάδα

επιφάνειας που πρέπει να εφαρμοστεί στο εδαφικό νερό για να απομακρυνθεί αυτό από το έδαφος. Η μύζηση εξαρτάται από δυο παράγοντες. Ο πρώτος οφείλεται στην στερεή φάση του εδάφους (matric suction) ενώ ο δεύτερος οφείλεται στην οσμωτική πίεση του εδαφικού διαλύματος (osmotic suction). Αφού η μύζηση είναι στην πραγματικότητα αρνητική πίεση, έχει πάντα τιμές μικρότερες από την ατμοσφαιρική, κατά συνθήκη όμως λαμβάνεται να έχει θετική τιμή, με εξαίρεση την περίπτωση κορεσμένου εδάφους όπου είναι ίση με μηδέν. Η τιμή της μύζησης αυξάνει όσο αυξάνουν οι δυνάμεις συγκράτησης του εδαφικού νερού. Κάτω από φυσικές συνθήκες η μύζηση του εδαφικού νερού μπορεί να μεταβάλλεται από μηδέν μέχρι μερικές χιλιάδες bar.

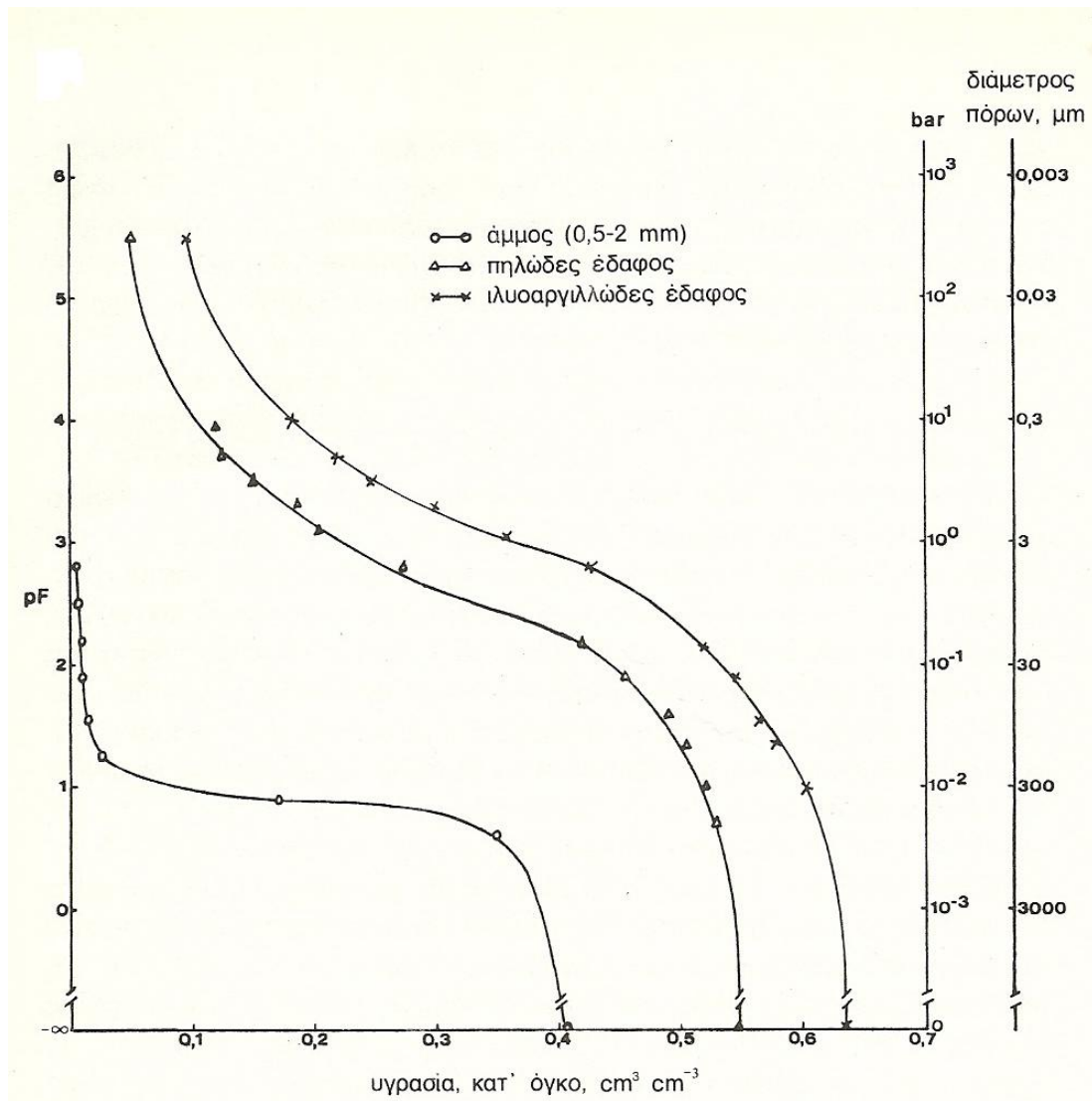
Ο εδαφικός παράγοντας που επηρεάζει περισσότερο από κάθε άλλον τις δυνάμεις με τις οποίες το εδαφικό νερό συγκρατείται από το έδαφος είναι η μηχανική σύσταση του εδάφους. Αυτό συμβαίνει γιατί η μηχανική σύσταση επηρεάζει το πορώδες, την κατανομή μεγέθους, το σχήμα και την γεωμετρία των πόρων και την τιμή της ειδικής επιφάνειας των στερεών τεμαχιδίων του εδάφους, που με την σειρά τους καθορίζουν την ένταση των δυνάμεων συγκράτησης του νερού στο έδαφος. Αυτή η διαπίστωση οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η απλή πληροφορία του ποσοστού της υγρασίας, εδαφών με διαφορετική μηχανική σύσταση, είναι ανεπαρκής για την εξαγωγή συγκριτικών συμπερασμάτων σχετικά με την ικανότητα των εδαφών να προμηθεύουν με νερό τα φυτά. Διαφορετική μηχανική σύσταση σημαίνει διαφορετική δύναμη συγκράτησης του νερού από το έδαφος, δηλαδή διαφορετική μύζηση που είναι και ο καθοριστικός παράγοντας εφοδιασμού των φυτών με νερό. Για παράδειγμα στην περίπτωση ενός αμμώδους και ενός αργιλώδους εδάφους με την ίδια υγρασία, το αμμώδες έδαφος θα είναι σε θέση να εφοδιάσει τα φυτά με νερό ενώ το αργιλώδες όχι, γιατί οι δυνάμεις με τις οποίες συγκρατείται το νερό από αυτό είναι πολύ μεγάλες για να υπερνικηθούν από τα φυτά και να το απορροφήσουν.

2.3.5.Χαρακτηριστική Καμπύλη Συγκράτησης Εδαφικού Νερού

Αφού για ένα συγκεκριμένο έδαφος η μύζηση του εδαφικού νερού μεταβάλλεται με την εδαφική υγρασία, σε κάθε τιμή υγρασίας αντιστοιχεί και μια τιμή μύζησης. Αν τέτοια ζεύγη τιμών, μύζησης-υγρασίας, τοποθετηθούν σε ένα σύστημα ορθογωνίων συντεταγμένων, δίνουν μια ομαλή και συνεχή καμπύλη. Μια τέτοια καμπύλη ονομάζεται χαρακτηριστική καμπύλη συγκράτησης του εδαφικού νερού (soil water retention characteristic curve) και επιτρέπει την μελέτη της σχέσης που υπάρχει ανάμεσα στην ποσότητα της υγρασίας και την μύζηση, σε όλο το εύρος της εδαφικής υγρασίας.

Επειδή για μεταβολή της υγρασίας από μηδέν μέχρι τον κορεσμό, η μεταβολή της μύζησης είναι τεράστια, πράγμα που εμποδίζει την ακριβή γραφική κατασκευή της χαρακτηριστικής καμπύλης, ο άξονας των μυζήσεων βαθμολογείται λογαριθμικά. Ο λόγος αυτός οδήγησε τον Schofield να εισαγάγει μια καινούρια μορφή έκφρασης της μύζησης του εδαφικού νερού, το pF . Ως pF ορίζεται ο δεκαδικός λογάριθμος της μύζησης του εδαφικού νερού όταν αυτή εκφράζεται σε εκατοστόμετρα στήλης νερού. Έτσι, αν η μύζηση σε ένα έδαφος είναι 1,2 bar, αυτό αντιστοιχεί σε μια τιμή $pF=3,079$, επειδή $1,2\text{bar}=1,2 \times 10^3 \text{ cm στήλης νερού και } \log 1,2 \times 10^3 = 3,079$.

Στο Σχ. 2.4. δίνονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες συγκράτησης του νερού τριών δειγμάτων. Το πρώτο δείγμα είναι καθαρή άμμος με διάμετρο τεμαχιδίων που κυμαίνεται από 0,5 μέχρι 2 mm. Τα άλλα δύο είναι εδαφικά δείγματα, ένα πηλώδες και ένα ιλυοαργιλώδες. Από την σύγκριση των τριών χαρακτηριστικών καμπυλών γίνεται φανερό ότι για κάθε τιμή μύζησης ένα βαρύ έδαφος συγκρατεί περισσότερο νερό από ένα ελαφρότερο. Ή με άλλα λόγια, η ίδια ποσότητα εδαφικού νερού συγκρατείται με μεγαλύτερη μύζηση σε ένα βαρύ από ότι σε ένα ελαφρύ έδαφος. Η διαπίστωση αυτή μπορεί εύκολα να εξηγηθεί αν ανατρέξει κανείς στους παράγοντες που καθορίζουν την ένταση των δυνάμεων συγκράτησης του νερού στο έδαφος, που καθορίζουν δηλαδή την τιμή της μύζησης του εδαφικού νερού. Σε ένα βαρύ για παράδειγμα έδαφος, λόγω του μικρού μεγέθους των τεμαχιδίων η ειδική επιφάνεια των εδαφικών τεμαχιδίων έχει πολύ μεγάλη τιμή και έτσι οι δυνάμεις συγκράτησης του εδαφικού νερού που οφείλονται στην ύπαρξη της διαχωριστικής επιφάνειας υγρού- στερεού, θα έχουν υψηλή τιμή. Επιπλέον ένα βαρύ έδαφος, μια και σε αυτό κυριαρχεί το κλάσμα άργιλλος, έχει περισσότερα προσροφημένα κατιόντα αλλά και το εδαφικό του νερό έχει μεγαλύτερη συγκέντρωση διαλυτών αλάτων. Κατά συνέπεια, το νερό που συγκρατείται με τη μορφή εφυδατώματος των προσροφημένων κατιόντων ή και λόγω μεγαλύτερη οσμωτικής πίεσης του εδαφικού διαλύματος, είναι περισσότερο σε ένα βαρύ από ότι σε ένα ελαφρότερης μηχανικής σύστασης.



Σχήμα.2.4. Χαρακτηριστικές καμπύλες συγκράτησης του νερού από ένα δείγμα άμμου και από δυο εδαφικά δείγματα, ένα πηλώδες και ένα ιλυοαργιλλώδες

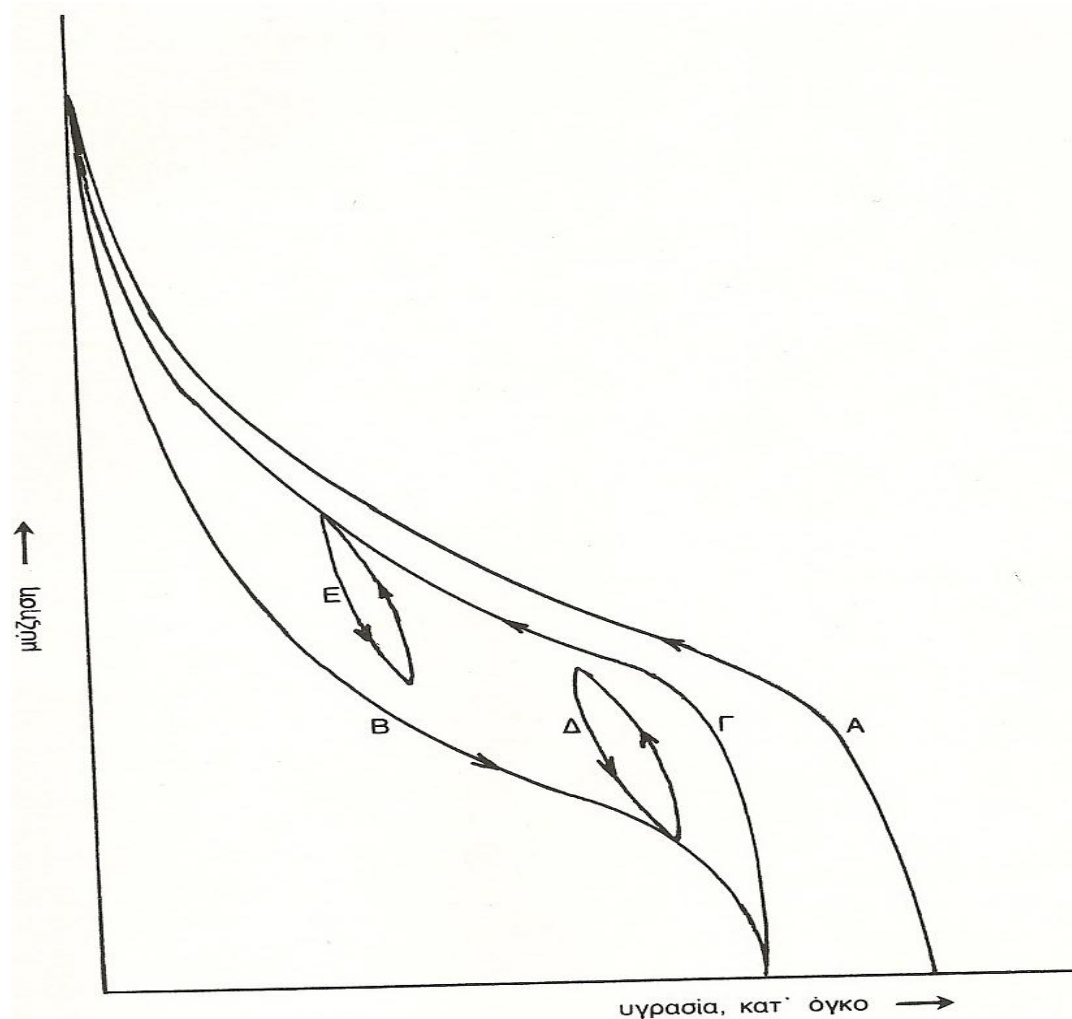
Το γεγονός ότι η καμπύλη συγκράτησης του εδαφικού νερού είναι συνεχής και ομαλή, επιβεβαιώνει την άποψη ότι οι δυνάμεις συγκράτησης του νερού στο έδαφος έχουν συνεχή δράση και εφαρμογή και δεν αρχίζουν ή σταματούν να εμφανίζονται σε κάποια συγκεκριμένη περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό.

2.3.6.Υστέρηση Εδαφικού Νερού

Η σχέση μύζησης και εδαφικού νερού δεν είναι μοναδική και αμετάβλητη αλλά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση του εδάφους. Μπορεί να μελετηθεί η σχέση μύζησης – εδαφικού νερού στην περίπτωση κορεσμένου εδάφους που έχει υποβληθεί σε προοδευτική αφαίρεση (εκρόφηση) του νερού. Αν όμως ακολουθηθεί η αντίθετη διαδικασία, αν δηλαδή ξηρό έδαφος υποβληθεί σε προοδευτική διύγρυνση

(προσρόφηση), τότε το αποτέλεσμα θα είναι διαφορετικό και θα έχει σαν συνέπεια μια διαφορετική χαρακτηριστική καμπύλη συγκράτησης του εδαφικού νερού. Το φαινόμενο της μη σύμπτωσης των δυο χαρακτηριστικών καμπυλών του ίδιου εδάφους, που οφείλεται στη διαφορετική διαδικασία που ακολουθήθηκε για την κατασκευή τους, ονομάζεται **υστέρηση του εδαφικού νερού** (hysteresis of soil water). Η υστέρηση του εδαφικού νερού κάνει φανερό ότι η διεργασία προοδευτικής διύγνωσης- προοδευτικής αφαίρεσης νερού σε ένα έδαφος είναι φαινόμενο μη αντιστρεπτό.

Στο σχήμα 2.5 παρουσιάζεται διαγραμματικά η υστέρηση του εδαφικού νερού. Η καμπύλη Α παριστάνει τη σχέση μύζησης –εδαφικό νερό κατά την προοδευτική αφαίρεση νερού από ένα αρχικά κορεσμένο εδαφικό δείγμα, ενώ η καμπύλη Β παρουσιάζει την αντίστοιχη σχέση κατά την προοδευτική διύγνωση του ίδιου εδαφικού δείγματος που ήταν όμως αρχικά ξηρό. Για κάθε τιμή μύζησης, η διαφορά υγρασίας του δείγματος που εκφράζεται από τη μη σύμπτωση των δυο καμπυλών, αντιπροσωπεύει τον όγκο του αέρα που παγιδεύτηκε κατά τον κύκλο προοδευτική αφαίρεση νερού-προοδευτική διύγνωση. Αν μετά το τέλος της διύγνωσης του δείγματος επαναληφθεί η προοδευτική αφαίρεση νερού, η σχέση μύζησης και εδαφικού νερού δίνεται από την καμπύλη Γ.



Σχήμα. 2.5. Διαγραμματική παράσταση της υστέρησης του εδαφικού νερού (η φορά

των βελών, σε σχέση με τον άξονα της υγρασίας, παριστάνει την προοδευτική προσθήκη ή αφαίρεση νερού από το εδαφικό δείγμα)

Οι καμπύλες Β και Γ αποτελούν τους σταθερούς και οριακούς κλάδους του βρόχου υστέρησης που είναι η επιφάνεια που ορίζεται από τις καμπύλες Β και Γ. Αν η προοδευτική αφαίρεση νερού ή η προοδευτική προσθήκη νερού δεν είναι πλήρεις, οι σχέσεις μύζησης-εδαφικό νερό δίνονται από καμπύλες της μορφής των καμπυλών Δ και Ε. Έτσι η επιφάνεια που ορίζεται από τους δυο κλάδους του βρόχου υστέρησης (καμπύλες Β και Γ) μπορεί να θεωρηθεί ως ο γεωμετρικός τόπος όλων των χαρακτηριστικών καμπυλών που κατασκευάστηκαν μετά από διαφορετική διεργασία (προοδευτική διύγρυνση-προοδευτική αφαίρεση νερού) και όταν το εδαφικό δείγμα έχει διαφορετική αρχική υγρασία.

2.3.7. Δυναμικό Εδαφικού Νερού

Η μελέτη της συγκράτησης του νερού από το έδαφος δεν γίνεται μόνο με βάση την έννοια της μύζησης. Μύζηση σημαίνει ότι το έδαφος έλκει το νερό έτσι ώστε να χρειάζεται να εφαρμοστεί μια συγκεκριμένη δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας για να παρεμποδίσει το νερό να προσροφηθεί στα εδαφικά τεμαχίδια. Αυτή η έλξη συνήθως οφείλεται στη διαφορά δυναμικής ενέργειας μεταξύ προσροφημένου και ελεύθερου νερού, παρά στην ύπαρξη μιας πραγματικής μύζησης. Η μύζηση είναι στην πραγματικότητα μια αρνητική πίεση και κατά συνέπεια αν πράγματι υπήρχε, θα γινόταν αισθητή και στις τρεις φάσεις του εδάφους. Στην πραγματικότητα όμως μόνο η στερεή και υγρή φάση επηρεάζονται από την έλξη που ασκεί το έδαφος στο νερό. Έτσι δεν ενδείκνυται πάντοτε η χρήση της έννοιας της μύζησης για να περιγράψει την τάση του νερού να κινηθεί μέσα στο έδαφος.

Στο εδαφικό νερό επενεργεί ένας αριθμός δυνάμεων με τις οποίες αυτό συγκρατείται από το έδαφος. Ταυτόχρονα το νερό βρίσκεται και υπό την επίδραση ορισμένων δυναμικών πεδίων, με κυριότερο το πεδίο βαρύτητας. Οι δυνάμεις αυτές και τα δυναμικά πεδία οφείλονται: α) στο βάρος του νερού που βρίσκεται πάνω από ένα σημείο του εδάφους, όταν το σημείο αυτό βρίσκεται κάτω από την υπεδάφεια στάθμη του νερού, β) στην αλληλεπίδραση του νερού με την στερεή φάση του εδάφους σε ένα ακόρεστο έδαφος, γ) στην παρουσία διαλυτών αλάτων και δ) στην υψομετρική διαφορά από ένα αυθαίρετο σημείο αναφοράς. Οι δυνάμεις συγκράτησης του εδαφικού νερού και η επίδραση των δυναμικών πεδίων συνεισφέρουν στην ολική ενέργεια του εδαφικού νερού. Η ενέργεια σύμφωνα με την κλασική φυσική διακρίνεται σε δυο μορφές, την κινητική και την δυναμική. Η κινητική θεωρείται αμελητέα επειδή το νερό κινείται μέσα στο έδαφος πάρα πολύ αργά. Η δυναμική ενέργεια όμως του εδαφικού νερού (soil water potential energy) που οφείλεται στην ειδική θέση που κατέχει και στην εσωτερική του κατάσταση είναι μεγάλης σημασίας για την μελέτη της κατάστασης και της κίνησης του νερού μέσα στο έδαφος.

Η δυναμική ενέργεια του εδαφικού νερού ποικίλει πάρα πολύ. Διαφορές της δυναμικής ενέργειας του νερού μεταξύ δυο σημείων του εδάφους αυξάνουν την τάση του νερού να κινηθεί υπακούοντας στη γενική θερμοδυναμική αρχή ότι αυθόρμητες μεταβολές της ύλης συμβαίνουν προς την κατεύθυνση της χαμηλότερης ενέργειας. Το εδαφικό νερό τείνει να κινηθεί από σημεία με μεγάλη δυναμική ενέργεια προς σημεία με μικρότερη δυναμική ενέργεια.

3.3.7.1.Ορισμοί

Αντί της δυναμικής ενέργειας του εδαφικού νερού έχει επικρατήσει ο συντομότερος όρος **δυναμικό του εδαφικού νερού** (soil water potential). Το δυναμικό του εδαφικού νερού αποτελεί την συνισταμένη των επιμέρους δυναμικών που το καθένα από αυτά είναι το αποτέλεσμα της δράσης των δυνάμεων και των δυναμικών πεδίων που επενεργούν στο εδαφικό νερό. για αυτό το λόγο το δυναμικό πολλές φορές ονομάζεται και ολικό δυναμικό.

Ολικό δυναμικό του εδαφικού νερού (total soil water potential), Ψ_t , είναι το ποσό του έργου που πρέπει να καταναλωθεί ανά μονάδα ποσότητας καθαρού νερού, για να μεταφερθεί, αντιστρεπτά και ισόθερμα, μια απειροελάχιστη ποσότητα νερού από μια δεξαμενή με καθαρό νερό, που βρίσκεται σε καθορισμένο ύψος και κάτω από ατμοσφαιρική πίεση, στο εδαφικό νερό που βρίσκεται στο υπό εξέταση σημείο του εδάφους. Ο όρος αντιστρεπτή σημαίνει ότι δεν συμβαίνει καμιά απώλεια ενέργειας λόγω τριβών. Η άλλη προϋπόθεση σημαίνει ότι δεν επέρχεται στο σύστημα καμιά μεταβολή θερμοκρασίας. Τέλος η μεταφερόμενη μάζα πρέπει να είναι απειροελάχιστη έτσι ώστε η μάζα του νερού τόσο στη δεξαμενή όσο και στο έδαφος να παραμένει αμετάβλητη.

Οι συνιστώσες του ολικού δυναμικού που μπορούν να μετρηθούν ορίζονται κατά τον ίδιο τρόπο. **Δυναμικό πίεσης** (pressure potential) Ψ_p , είναι το ποσό του έργου που πρέπει να καταναλωθεί ανά μονάδα ποσότητας καθαρού νερού για να μεταφερθεί μια απειροελάχιστη ποσότητα νερού, αντιστρεπτά και ισόθερμα, στο υπό εξέταση σημείο του εδάφους, από μια δεξαμενή που βρίσκεται κάτω από ατμοσφαιρική πίεση, περιέχει ένα διάλυμα της ίδιας σύστασης με το εδαφικό νερό και βρίσκεται στο ίδιο ύψος με το υπ'όψη σημείο του εδάφους.

Το **δυναμικό της στερεής φάσης του εδάφους** (matric potential), Ψ_m , είναι ένα δυναμικό πίεσης που οφείλεται στην αλληλεπίδραση του νερού με την στερεή φάση του εδάφους. Επειδή οι δυνάμεις που αναπτύσσονται λόγω αυτής της αλληλεπίδρασης είναι ελκτικές, το δυναμικό της στερεής φάσης έχει αρνητική τιμή. Το δυναμικό αυτό ορίζεται ως το ποσό του έργου που πρέπει να καταναλωθεί, ανά μονάδα ποσότητας καθαρού νερού, για να μεταφερθεί, αντιστρεπτά και ισόθερμα, στο εδαφικό νερό μια απειροελάχιστη ποσότητα νερού από μια δεξαμενή που περιέχει ένα διάλυμα της ίδιας σύστασης με το εδαφικό νερό, βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο και κάτω από την ίδια εξωτερική πίεση με το υπ'όψιν σημείο του εδάφους.

Το **δυναμικό οσμωτικής πίεσης** (osmotic potential), Ψ_π , οφείλεται στην ύπαρξη διαλυτών αλάτων στο εδαφικό νερό και είναι ίσο με την οσμωτική πίεση του εδαφικού νερού. Το δυναμικό οσμωτικής πίεσης ορίζεται ως το ποσό του έργου που πρέπει να καταναλωθεί ανά μονάδα ποσότητας καθαρού

νερού για να μεταφερθεί αντιστρεπτά και ισόθερμα, μια απειροελάχιστη ποσότητα νερού από μια υποθετική δεξαμενή καθαρού νερού, που βρίσκεται σε συγκεκριμένο επίπεδο και κάτω από ατμοσφαιρική πίεση σε μια άλλη δεξαμενή που περιέχει ένα διάλυμα της ίδιας σύστασης με το εδαφικό νερό στο υπόψιν σημείο του εδάφους, και κατά τα άλλα παρόμοια με την υποθετική δεξαμενή.

Το **δυναμικό βαρύτητας** (gravitational potential), Ψ_g , ορίζεται ως το ποσό του έργου που πρέπει να καταναλωθεί ανά μονάδα ποσότητας καθαρού νερού για να μεταφερθεί, αντιστρεπτά και ισόθερμα, μια απειροελάχιστη ποσότητα νερού από μια υποθετική δεξαμενή που περιέχει ένα διάλυμα της ίδιας σύστασης με το εδαφικό νερό, βρίσκεται σε ένα καθορισμένο ύψος και κάτω από ατμοσφαιρική πίεση, σε μια παρόμοια δεξαμενή που βρίσκεται στο ίδιο ύψος με το υπόψη σημείο του εδάφους. Το δυναμικό βαρύτητας αντιπροσωπεύει το έργο που πρέπει να καταναλωθεί για να υπερνικηθεί η επίδραση του πεδίου βαρύτητας και κατά συνέπεια θα έχει θετική τιμή αν το υπόψη σημείο του εδαφικού νερού βρίσκεται ψηλότερα από ένα καθορισμένο επίπεδο αναφοράς και αρνητική τιμή αν βρίσκεται χαμηλότερα από αυτό. Στην πράξη σαν επίπεδο αναφορά λαμβάνεται η επιφάνεια του εδάφους ή καλύτερα η επιφάνεια της στάθμης του υπεδάφειου νερού.

Τα δυναμικά πίεσης, οσμωτικής πίεσης και βαρύτητας χρησιμοποιούνται με τους παρακάτω συνδυασμούς:

Για σημεία του εδάφους που βρίσκονται ψηλότερα από την επιφάνεια της υπόγειας στάθμης του νερού, το δυναμικό πίεσης, Ψ_p , αντικαθίσταται από το δυναμικό της στερεής φάσης του εδάφους, Ψ_m και οι παραπάνω εξισώσεις γίνονται:

$$\text{Ολικό δυναμικό } \Psi_t = \Psi_m + \Psi_\pi + \Psi_g$$

$$\text{Υδραυλικό δυναμικό } \Psi_h = \Psi_m + \Psi_g$$

Το εδαφικό νερό μετακινείται από μι αδύναμη που καθορίζεται, κατά μέγεθος και διεύθυνση, από την μεταβολή του δυναμικού. Για το νερό που μετακινείται με την υγρή μορφή δια μέσου του εδάφους, η δύναμη αυτή είναι ίση με την μεταβολή του υδραυλικό δυναμικού. Το άθροισμα των δυναμικών της στερεής φάσης και της οσμωτικής πίεσης του εδαφικού νερού ($\Psi_m + \Psi_\pi$) καθορίζει την πρόσληψη του νερού από τα φυτά δια μέσου των ημιπερατών μεμβρανών του ριζικού τους συστήματος και την απελευθέρωση του νερού από το έδαφος προς την ατμόσφαιρα με την εξάτμιση. [16]

2.4.Δομή Εδάφους

Ανάλογα με το αν τα εδαφικά τεμαχίδια είναι συνενωμένα ή όχι προς συσσωματώματα και ανάλογα με την κατανομή μεγέθους των στερεών τεμαχιδίων, η δομή των εδαφών μπορεί πολύ γενικά να θεωρηθεί ότι

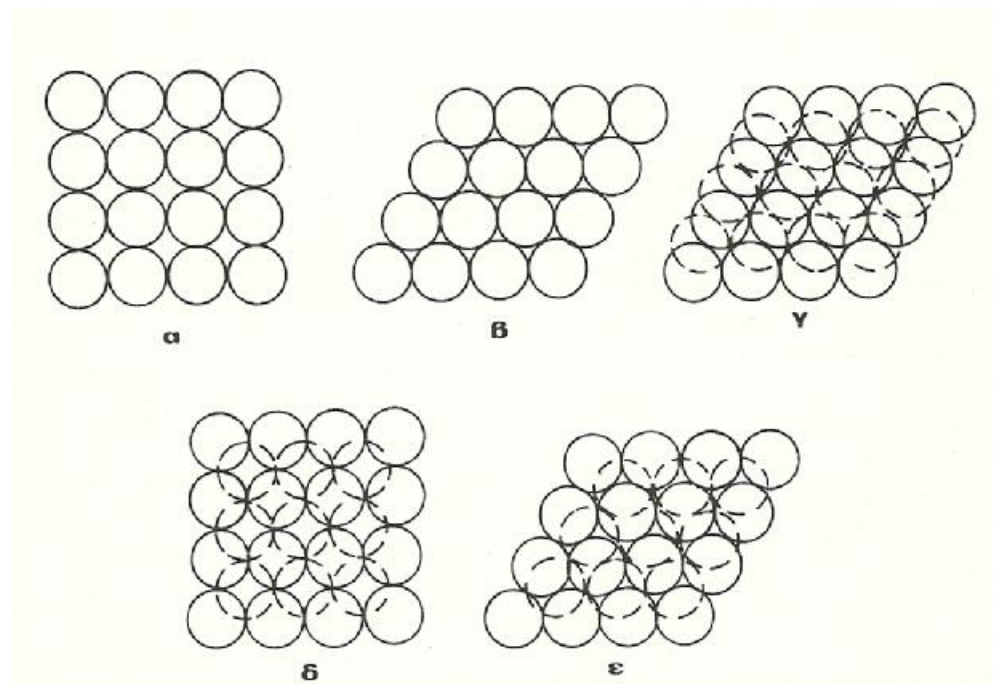
περιλαμβάνει τρεις κύριους τύπους: α) **δομή των αμμωδών εδαφών ή κοκκώδης δομή**, β) **ογκώδης δομή** και γ) **δομή των εδαφών με συσσωματώματα**. Ο πρώτος τύπος περιλαμβάνει (χονδρόκοκκα) αμμώδη εδάφη, στα οποία, λόγω έλλειψης οποιουδήποτε συνδετικού υλικού, οι κόκκοι της άμμου βρίσκονται μεμονωμένοι και αποτελούν έτσι μια χαλαρή μάζα. Ο δεύτερος τύπος αφορά εκείνα τα πολύ αργιλώδη εδάφη στα οποία από τη μια λόγω έλλειψης οποιουδήποτε άλλου εκτός της αργίλλου, συνδετικού υλικού και από την άλλη λόγω διασποράς, τα επιμέρους τεμαχίδια της αργίλλου είναι μεμονωμένα και ασύνδετα μεταξύ τους. Τα εδάφη αυτά σε ξηρή κατάσταση μπορεί να έχουν μια αλευρώδη υφή ή μπορεί λόγω συρρίκνωσης να αποτελούνται από συμπαγείς και συνεκτικούς διάκριτους όγκους. Τα εδάφη που ανήκουν στους δυο αυτούς τύπους χαρακτηρίζονταν παλαιότερα σαν εδάφη χωρίς δομή. Ο όρος αυτός δεν είναι κατάλληλος και δεν χρησιμοποιείται πια επειδή στον όρο δομή περιλαμβάνεται και το πορώδες διάστημα ανεξάρτητα από το αν υπάρχουν ή όχι συσσωματώματα. Μεταξύ των δυο ακραίων τύπων δομής περιλαμβάνεται η δομή των εδαφών με συσσωματώματα που καλύπτει και την πλειονότητα των εδαφών.

2.4.1. Δομή Αμμωδών Εδαφών

Στα αμμώδη εδάφη τα τεμαχίδια της άμμου βρίσκονται μεμονωμένα καθώς δεν υπάρχει καμία τάση που να τα αναγκάζει να ενωθούν μεταξύ τους και να σχηματίσουν συσσωματώματα. Ο τρόπος διάταξης στο χώρο των κόκκων της άμμου, το ολικό πορώδες, το σχήμα, το μέγεθος και η κατανομή μεγέθους των πόρων που σχηματίζονται μεταξύ των τεμαχιδίων της άμμου είναι συνάρτηση της κατανομής μεγέθους των τεμαχιδίων, του σχήματος των τεμαχιδίων και των ακμών τους, της τραχύτητας της επιφάνειας των τεμαχιδίων και της ιστορίας των αμμωδών εδαφών. Η ιστορία των εδαφών περιλαμβάνει τον τρόπο εναπόθεσης των αμμωδών υλικών, το αν έχουν προηγούμενα κατά οποιοδήποτε τρόπο συμπιεστεί και την προηγούμενη υγρασιακή τους κατάσταση.

Είναι πολλές φορές χρήσιμο να θεωρείται ότι τα τεμαχίδια της άμμου έχουν σφαιρικό σχήμα. Μια τέτοια παραδοχή είναι απαραίτητη για τη θεωρητική μελέτη του πορώδους διαστήματος των αμμωδών εδαφών ή την μελέτη της κίνησης του νερού και του αέρα μέσα σε αυτά. Αν επίσης θεωρηθεί ότι τα τεμαχίδια της άμμου είναι ίσου μεγέθους τότε υπάρχουν πέντε διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους τα σφαιρικά και ίσα αυτά τεμαχίδια μπορούν να διαταχθούν στο χώρο. Οι τύποι αυτοί κανονικής διάταξης είναι:

1. Κυβικός
2. Κυβικός – τετραεδρικός
3. Τετραγωνικός-σφηνοειδής
4. Πυραμοειδής
5. Τετραεδρικός



Σχήμα.2.6. Οι πέντε τύποι κανονικής διάταξης σφαιρικών τεμαχιδίων ίσου μεγέθους: α) κυβικός, β) κυβικός- τετραεδρικός, γ) τετραγωνικός-σφηνοειδής, δ) πυραμιδοειδής, ε) τετραεδρικός

Λόγω της κανονικότητας των παραπάνω τύπων διάταξης των σφαιρικών τεμαχιδίων μπορεί πολύ εύκολα και με την χρήση απλής γεωμετρίας να προσδιοριστεί το ολικό πορώδες και η αναλογία πόρων, το μέγεθος, το σχήμα και το εύρος μεγέθους των πόρων καθώς και άλλα γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

2.4.2. Δομή Εδαφών με Συσσωματώματα

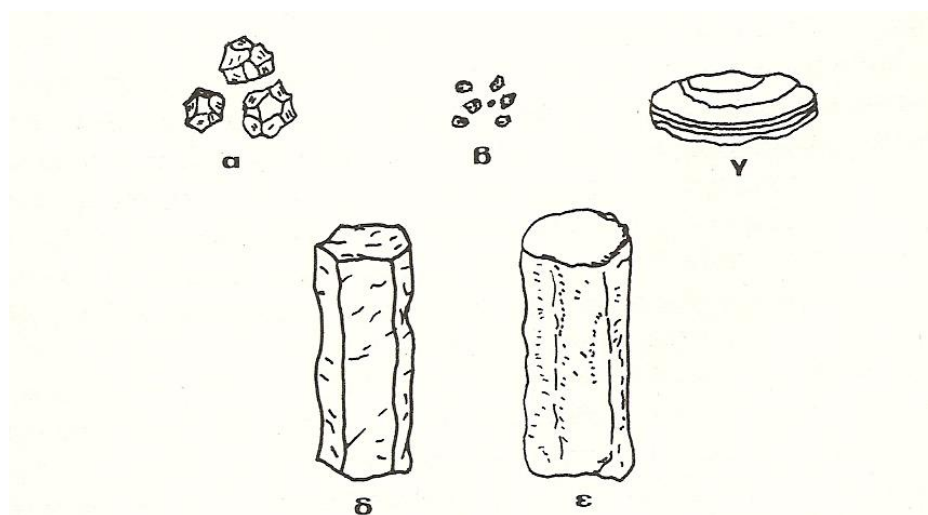
Στα εδάφη που υπάρχουν και τα τρία κλάσματα μηχανικής σύστασης, τα εδαφικά τεμαχίδια τείνουν, κάτω από ευνοϊκές συνθήκες να συνενωθούν μεταξύ τους προς ομάδες τεμαχιδίων, τα συσσωματώματα. Τα συσσωματώματα αυτά δεν χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένο μέγεθος αλλά ούτε και αυτό είναι πάντοτε σταθερό. Οι διαστάσεις τους μπορεί να κυμαίνονται από κλάσματα του 1mm μέχρι και μερικές δεκάδες cm. Τα ορατά με γυμνό συσσωματώματα ονομάζονται πολλές φορές μακροσυσσωματώματα που αποτελούνται από μικρότερα, τα μικροσυσσωματώματα. Τα εδαφικά συσσωματώματα έχουν συνήθως ακανόνιστο σχήμα και η ταξινόμησή τους, από πλευράς σχήματος, γίνεται ανάλογα με τη σχέση που υπάρχει μεταξύ του μήκους των τριών κυρίων αξόνων τους. Έτσι, αν όλοι οι κύριοι άξονες έχουν περίπου το ίδιο μήκος τότε τα συσσωματώματα ονομάζονται κυβοειδή. Όταν ο κατακόρυφος άξονας έχει πολύ μικρότερο μήκος από τους δυο οριζόντιους ονομάζονται πλακοειδή. Όταν ο κατακόρυφος είναι μεγαλύτερος από τους οριζόντιους τα συσσωματώματα ονομάζονται πρισματικά. Οι κατηγορίες που αναφέρθηκαν

υποδιαιρούνται σε άλλες ανάλογα με τις διαστάσεις των συσσωματωμάτων, την ευκρίνεια και την μορφολογία των επιφανειών τους (εδρών) αλλά και την καμπυλότητα ή όχι των ακμών τους. Μια κάπως πιο λεπτομερής περιγραφή δίνεται στο σχήμα 2.7.

Α) Κυβοειδή συσσωματώματα: αυτά έχουν διαστάσεις από 1 έως 10 cm, με ευκρινείς επιφάνειες και ακμές και συναντώνται συνήθως στο υπέδαφος. Μια παραλλαγή τους αλλά με ασαφείς ακμές ονομάζονται συχνά υπογωνιώδη κυβοειδή συσσωματώματα. Όταν οι διαστάσεις των κυβοειδών συσσωματωμάτων είναι μικρότερες από 1 cm, τότε αυτά ονομάζονται κοκκώδη και συναντώνται στο επιφανειακό στρώμα των εδαφών.

Β) πλακοειδή συσσωματώματα: παρουσιάζουν την μορφή παράλληλων πλακών ή φύλλων και συναντώνται σε εδάφη που προέρχονται από παγετωνικές ή αλλουβιακές αποθέσεις.

Γ) πρισματικά συσσωματώματα: έχουν ύψος μεγαλύτερο από 10cm και ύψος και ακμές που διαγράφονται με σαφήνεια. Πολλές φορές και κυρίως στα υποβαθμισμένα αλκαλικά εδάφη η επάνω επιφάνειά τους είναι κυρτή και όχι επίπεδη οπότε αυτά ονομάζονται στυλοειδή συσσωματώματα.



Σχήμα 2.7. Διαγραμματική απεικόνιση των κυριότερων τύπων συσσωματωμάτων: α) κυβοειδή, β) κοκκώδη, γ) πλακοειδή, δ) πρισματικά και ε) στυλοειδή συσσωματώματα

2.4.2.1. Σταθεροποίηση Εδαφικών Συσσωματωμάτων

Οι κυριότεροι παράγοντες που έχουν κάποια συνεισφορά στη συσσωμάτωση αλλά και το είδος της των συσσωματωμάτων που θα προκύψουν είναι η κατανομή μεγέθους των εδαφικών τεμαχιδίων, το είδος των ορυκτών της αργίλου, τα προσροφημένα στην άργιλο κατιόντα, οι διαδοχικού κύκλοι προσθήκης και απομάκρυνσης νερού από το έδαφος, η εναλλαγή πήξης και τήξης του εδαφικού νερού, η μηχανική κατεργασία του εδάφους και βιολογικοί

παράγοντες όπως η οργανική ουσία, οι γεωσκώληκες του εδάφους και τα αναπτυσσόμενα σε αυτό φυτά.

Στο εσωτερικό των συσσωματωμάτων οι δυνάμεις που αναπτύσσονται θα πρέπει να είναι αρκετά ισχυρές ώστε να συγκρατούν τα εδαφικά τεμαχίδια συνενωμένα και το συσσωμάτωμα σταθερό. Η απαίτηση αυτή εκπληρώνεται από την παρουσία συγκολλητικών μικροοργανικής προέλευσης και διαφόρων χουμικών ουσιών μικρού μοριακού βάρους καθώς και από την ύπαρξη ανοργάνων ενώσεων.

Στο εξωτερικό των συσσωματωμάτων οι δυνάμεις είναι επιθυμητό να είναι ασθενέστερες από ότι στο εσωτερικό ώστε να σχηματίζονται μικρά και σταθερά συσσωματώματα και όχι μεγάλοι όγκοι εδάφους. [16]

2.4.2.2 Επίδραση Δασικών Πυρκαγιών στα Συσσωματώματα

Από τους παραπάνω παράγοντες που συνεισφέρουν στη συσσωμάτωση μια δασική πυρκαγιά επηρεάζει άμεσα την οργανική ουσία, τους γεωσκώληκες το ριζικό σύστημα των φυτών.

Οργανική Ουσία

Είναι γενικά αποδεκτό ότι η οργανική ουσία του εδάφους έχει θετική επίδραση στον σχηματισμό και στη σταθεροποίηση των συσσωματωμάτων. Εδώ πρέπει να διευκρινιστεί ότι η επίδραση αυτή δεν οφείλεται στο σύνολο της οργανικής ουσίας, αλλά σε ένα μέρος αυτής. Τα πρόσφατα φυτικά και ζωικά υπολείμματα έχουν ελάχιστη, αν όχι μηδενική, επίδραση στο σχηματισμό και στη σταθεροποίηση των συσσωματωμάτων. Καθώς όμως τα υπολείμματα αυτά διασπώνται, παράγονται διάφορες συγκολλητικές ουσίες μικροοργανικής προέλευσης που έχουν μεγάλη ικανότητα σχηματισμού και σταθεροποίησης των συσσωματωμάτων.

Η σύσταση της μικροχλωρίδας του εδάφους, που συνήθως αποτελείται από μύκητες, ακτινομύκητες και βακτήρια, εξαρτάται από την υγρασιακή και θερμοκρασιακή κατάσταση, το pH, τις οξειδο-αναγωγικές συνθήκες, την ύπαρξη των θρεπτικών στοιχείων καθώς και από το είδος και την ποσότητα της οργανικής ουσίας του εδάφους. Οι μύκητες και οι ακτινομύκητες συνεισφέρουν στον σχηματισμό και στη σταθεροποίηση των συσσωματωμάτων α) με μηχανικό τρόπο, με το μυκήλιό τους και β) με την συγκολλητική δράση οργανικών ενώσεων τις οποίες απεκκρίνουν ή συνθέτουν ή που παράγονται κατά την αποσύνθεση του μυκηλίου τους. Ο πρώτος τρόπος, που ευνοεί κυρίως το σχηματισμό, αποκτά μεγάλη σπουδαιότητα όταν στο έδαφος υπάρχουν μύκητες με επίμηκες μυκήλιο. Τα βακτήρια, μόνα τους φαίνεται να παίζουν μηδαμινό ρόλο στη συσσωμάτωση των εδαφικών τεμαχιδίων με μηχανική σύνδεση αλλά η ευνοϊκή δράση τους οφείλεται στα προϊόντα της αποσύνθεσής τους. Τα προϊόντα της αποσύνθεσης όλων των μικροοργανισμών και οι οργανικές ενώσεις που συντίθενται ή απεκκρίνονται από τους μύκητες και ακτινομύκητες και ευνοούν τον σχηματισμό και σταθεροποίηση των συσσωματωμάτων αποτελούνται κυρίως από πολυσακχαρίτες, χουμικές ενώσεις με μικρό μοριακό βάρος, πολυουρονίδια, ημικυτταρίνες και άλλα οργανικά πολυμερή με αλυσωτό και

εύκαμπτο μόριο. Και τα φυτά παράγουν πολυσακχαρίτες που μπορούν να αυξήσουν την σταθερότητα των συσσωματωμάτων αλλά η σπουδαιότητά τους για τα εδάφη είναι μικρή διότι διασπώνται σχετικά γρήγορα με αποτέλεσμα να έχουν μικρή πιθανότητα να δράσουν ως σταθεροποιητικά.

Η ικανότητα των πολυσακχαριτών και των άλλων οργανικών ενώσεων να συνδέονται με τα στερεά τεμαχίδια του εδάφους οφείλεται στην ύπαρξη καρβοξυλικών, φαινολικών, αμινικών και άλλων ενεργών ομάδων. Οι πολυσακχαρίτες και όσες άλλες οργανικές ενώσεις αποτελούνται από μεγάλα, αλυσωτά και εύκαμπτα μόρια, είναι σε θέση να σχηματίζουν πολλαπλούς δεσμούς με διάφορα τεμαχίδια αργίλου. Σε μερικές περιπτώσεις τα οργανικά πολυμερή που λόγω μεγέθους, δύσκολα μπορούν να διεισδύσουν σε μικροπόρους, σχηματίζουν ένα προστατευτικό στρώμα γύρω από τα συσσωματώματα με αποτέλεσμα την αύξηση της γωνίας επαφής νερού-συσσωματώματος. Η αδιαβραχοποίηση αυτή συνεπάγεται αύξηση της σταθερότητας των συσσωματωμάτων επειδή παρεμποδίζεται η διόγκωση και καταστροφή τους λόγω διαβροχής. Οι πολυσακχαρίτες είναι πολύ ανθεκτικοί στη διάσπαση όταν βρίσκονται μέσα σε μικροπόρους των συσσωματωμάτων ή στο πλέγμα των ορυκτών της αργίλου επειδή σε αυτές τις θέσεις δεν μπορούν να προσβληθούν από μικροοργανισμούς.

Εκτός των μικροοργανικής προέλευσης οργανικών ενώσεων μικρού μοριακού βάρους που αναφέρθηκαν προηγούμενα, στην οργανική ουσία του εδάφους συναντώνται και χουμικά οξέα και άλλες χουμικές ενώσεις μεγάλου μοριακού βάρους. Τα μόρια των ενώσεων αυτών είναι σφαιρικού σχήματος και φέρουν πολύ περιορισμένο αριθμό ενεργών ομάδων. Οι διαλυτές στο νερό ενώσεις της κατηγορίας αυτής έχουν μεγαλύτερη επίδραση στο σχηματισμό και τη σταθεροποίηση των συσσωματωμάτων από ότι οι μη διαλυτές.

Η ποσότητα όλων αυτών των συνδετικών ενώσεων που παράγονται στη μονάδα του χρόνου εξαρτάται από την ποσότητα των φυτικών και ζωικών υπολειμμάτων και την ταχύτητα με την οποία αυτά μπορούν να αποσυντεθούν.

Οι κυριότεροι μηχανισμοί συνδέσεως των οργανικών ενώσεων με τα τεμαχίδια της αργίλου είναι οι παρακάτω:

α) γέφυρα κατιόντος : περιλαμβάνει την αντικατάσταση ενός μορίου νερού από το εφυδάτωμα ενός προσροφημένου στην άργιλο κατιόντος από ένα οξυγόνο μιας ανιονικής ενεργού ομάδας της οργανικής ένωσης

β) δεσμός υδρογόνου : δημιουργείται μεταξύ του υδρογόνου ενός μορίου νερού από το εφυδάτωμα ενός προσροφημένου στην άργιλο κατιόντος και της ανιονικής ομάδας της οργανικής ένωσης

γ) αντιδράσεις ανταλλαγής ανιόντων : τα αρνητικά φορτία των ενεργών ομάδων των οργανικών ενώσεων συνδέονται με ηλεκτροστατική έλξη με τα θετικά φορτία που εμφανίζονται στις ακμές των τεμαχιδίων της αργίλου ή στα υδροξείδια του σιδήρου και αργιλίου που βρίσκονται στην επιφάνεια των τεμαχιδίων της αργίλου

δ) αντιδράσεις ειδικής προσρόφησης : στην περίπτωση αυτή η ενεργός ομάδα του οργανικού ανιόντος διεισδύει βαθύτερα από την επιφάνεια των υδροξειδίων του σιδήρου και αργιλίου έτσι ώστε δεν είναι εύκολο να ανταλλαχθεί από άλλο ιόν

Οι κυριότεροι παράγοντες που καθορίζουν τη φύση των αντιδράσεων μεταξύ της αργίλου και της οργανικής ουσίας είναι οι ιδιότητες των οργανικών πολυμερών, η υγρασία του εδάφους, το είδος των προσροφημένων στην επιφάνεια των τεμαχιδίων της αργίλου κατιόντων καθώς και οι ιδιότητες της αργίλου.

Γεωσκώληκες

Οι γεωσκώληκες κάτω από κατάλληλες συνθήκες είναι ένας σπουδαίος παράγοντας συσσωμάτωσης σε πηλώδη και αργιλώδη εδάφη. Εδαφικές συνθήκες που ευνοούν την ανάπτυξη μεγάλου αριθμού γεωσκωλήκων είναι η επαρκής εδαφική υγρασία, ουδέτερο ή αλκαλικό pH και ύπαρξη ικανοποιητικών ποσοτήτων οργανικών υπολειμμάτων κατάλληλων για τη διατροφή τους.

Η επίδραση των γεωσκωλήκων στην δημιουργία συσσωματωμάτων πραγματοποιείται με δυο τρόπους. Σύμφωνα με τον πρώτο τρόπο προκαλείται μηχανική συμπίεση του εδάφους, έτσι ώστε τα εδαφικά τεμαχίδια να έρχονται σε στενότερη επαφή μεταξύ τους, κατά την μετακίνηση των γεωσκωλήκων, οπότε προκαλούνται οι συχνά απαντώμενες στο έδαφος στοές.

Η μεγαλύτερη όμως συνεισφορά γίνεται με τη δίοδο ανόργανων και οργανικών εδαφικών υλικών μέσα από τον πεπτικό τους σωλήνα οπότε ένα μέρος μόνο των οργανικών υλικών 'χωνεύεται' ενώ τα υπόλοιπα αποβάλλονται. Η δίοδος ανόργανων υλικών μέσα από τον πεπτικό σωλήνα των γεωσκωλήκων έχει σαν αποτέλεσμα την πλήρη ανάμιξή τους με οργανικά υπολείμματα, τον εμπλουτισμό τους σε ασβέστιο καθώς και την αύξηση του pH τους. Κατά την δίοδο αυτή, στα ανόργανα εδαφικά τεμαχίδια επέρχεται μια μείωση του μεγέθους τους ενώ τα οργανικά συστατικά υφίστανται μερική ή ολική διάσπαση όχι μόνο από τα γαστρικά υγρά των γεωσκωλήκων αλλά και από ένα πλήθος μικροοργανισμών, κυρίως βακτηρίων. Έτσι τα αποβαλλόμενα περιττώματα των γεωσκωλήκων που αποτελούνται από αναμειγμένα ανόργανα και οργανικά υλικά, μικροοργανισμούς και συνθετικές οργανικές ενώσεις μικροοργανικής προέλευσης, αποτελούν συγκεκριμένες οντότητες με διαφορετικές φυσικές ιδιότητες από το υπόλοιπο έδαφος, είναι δηλαδή συσσωματώματα. [16]

Ριζικό Σύστημα Φυτών

Τα αναπτυσσόμενα σε ένα έδαφος φυτά ασκούν ευνοϊκή επίδραση στη συσσωμάτωση κατά τους ακόλουθους τρόπους:

- 1) ασκούν πιέσεις με το ριζικό τους σύστημα στο έδαφος,
- 2) απομακρύνουν συνεχώς νερό από το έδαφος προκαλώντας έτσι συρρίκνωση του εδάφους γύρω ή κοντά στις ρίζες και

3) αποτελούν μια ανεξάντλητη πηγή οργανικών υπολειμμάτων

Οι ρίζες των φυτών κατά την ανάπτυξή τους ασκούν πιέσεις στο έδαφος που τις περιβάλλει, αναγκάζοντας έτσι τα εδαφικά τεμαχίδια να προσεγγίσουν μεταξύ τους, ευνοώντας έτσι τη συσσωμάτωσή τους. Οι ρίζες κάποιες φορές διεισδύοντας στα συσσωματώματα μπορεί να τα καταστρέψουν αλλά συνήθως ακολουθούν τα κενά διαστήματα μεταξύ τους. Φυτά με μεγάλη κύρια ρίζα και μικρό αριθμό ριζικών τριχιδίων έχουν μικρότερη ευνοϊκή επίδραση στο σχηματισμό συσσωματωμάτων από ότι τα φυτά με μεγάλο αριθμό δευτερευόντων ριζών και τριχιδίων.

Μεγαλύτερη επίδραση στο σχηματισμό συσσωματωμάτων έχει η συνεχής παραλαβή εδαφικού νερού από τα τριχίδια. Η κατά τόπους ξήρανση του εδάφους (γύρω από τα τριχίδια) συνοδεύεται τις περισσότερες φορές από συρρίκνωση, δηλαδή από προσέγγιση των εδαφικών τεμαχιδίων μεταξύ τους. Οι διαφορές υγρασίας ανάμεσα σε αυτές τις περιοχές έχουν σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση διαφορών στις τιμές του δυναμικού του εδαφικού νερού και η αναπτυσσόμενη κλίση δυναμικού προκαλεί κίνηση του νερού προς τα τριχίδια. Έτσι προκαλείται μια γενικότερη μείωση της υγρασίας του εδάφους με αποτέλεσμα η συρρίκνωση που αναφέρθηκε να αποκτάει γενικότερο χαρακτήρα. Η ξήρανση του εδάφους λόγω πρόσληψης νερού από τα φυτά μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την μη αντιστρεπτή αφυδάτωση ανόργανων και οργανικών κολλοειδών και έτσι να αυξάνεται η σταθερότητα των υπαρχόντων συσσωματωμάτων. Τα φυτά επίσης παίζουν σημαντικό ρόλο, αν και εμμέσως, στο σχηματισμό και σταθεροποίηση των συσσωματωμάτων με τον συνεχή εμπλουτισμό του εδάφους με νεκρά φυτικά υπολείμματα. Αν και τα υπολείμματα από μόνα τους δεν παίζουν σχεδόν κανένα ρόλο στη συσσωμάτωση των εδαφικών τεμαχιδίων, αποτελούν απαραίτητη πηγή θρεπτικών στοιχείων και ενέργειας για τους μικροοργανισμούς και τους γαιοσκώληκες που ο ρόλος τους στη συσσωμάτωση είναι πολύ σπουδαίος. [16,18]

3. Κίνηση Εδαφικού Νερού

Το εδαφικό νερό αναγκάζεται να κινηθεί λόγω των διαφορών δυναμικού σε διάφορα σημεία του εδάφους. Η μεταβολή της υγρασίας από ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, άρδευση, συμπύκνωση ατμών και απώλειες νερού λόγω εξάτμισης, διαπνοής των φυτών και στράγγισης, έχει σαν αποτέλεσμα αυτές ακριβώς τις διαφορές δυναμικού.

Η κίνηση του νερού μπορεί να γίνει μόνο δια μέσου των πόρων του εδάφους που οι διαστάσεις και το σχήμα τους μεταβάλλονται όχι μόνο σε διαφορετικά εδάφη αλλά πολλές φορές και στο ίδιο έδαφος ανάλογα με την υγρασία και άλλους παράγοντες του εδάφους. Έτσι η φύση και οι ιδιότητες της στερεής φάσης παίζουν καθοριστικό ρόλο στην κίνηση του νερού.

Αφού το νερό κινείται μέσα στο έδαφος η εδαφική υγρασία μεταβάλλεται συνεχώς. Επομένως υπάρχει μια συνεχής μεταβολή της κατανομής του νερού σε όλο το βάθος της εδαφικής κατατομής.

3.1. Νόμος του Darcy

Η παλαιότερη ποσοτική περιγραφή της κίνησης του νερού μέσα σε ένα πορώδες μέσο έγινε από τον Darcy (1856) που μελέτησε την κατακόρυφη ροή του νερού μέσα σε μια στήλη άμμου κορεσμένη με νερό, και βρήκε ότι η ποσότητα του νερού Q , που διέρχεται από τη στήλη στη μονάδα του χρόνου δίνεται από τη σχέση:

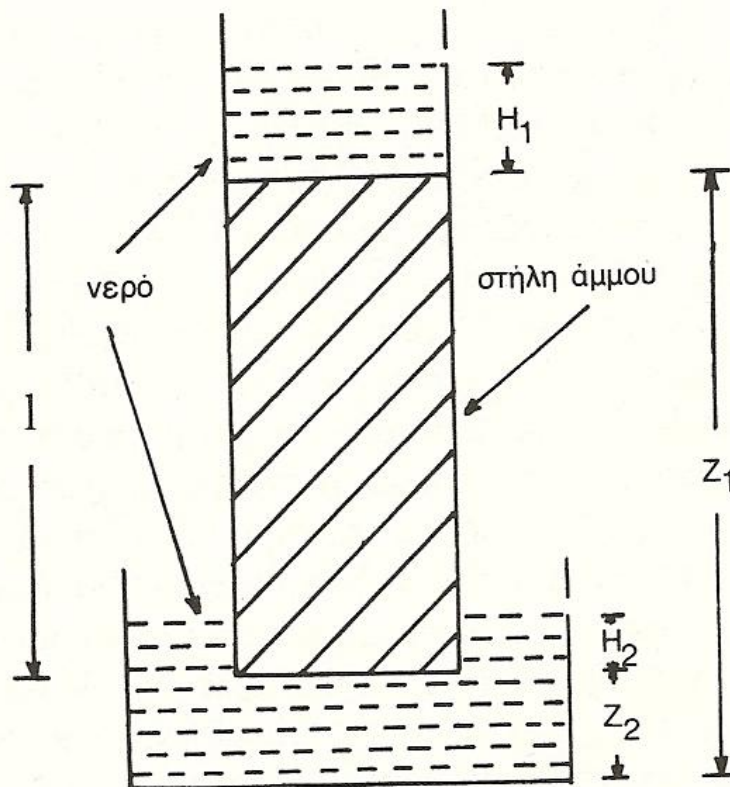
$$Q = K A (H_1 + I - H_2) / I \quad (3.1)$$

όπου A είναι η επιφάνεια της εγκάρσιας διατομής της στήλης που έχει μήκος I και K είναι μια σταθερά αναλογίας. Η διάταξη που χρησιμοποίησε ο Darcy για τα πειράματα του απεικονίζεται στο Σχ. 3.1. Από αυτό το σχήμα γίνεται φανερό ότι η ποσότητα $(H_1 + I)$ είναι το άθροισμα του δυναμικού πίεσης και βαρύτητας, δηλαδή το υδραυλικό δυναμικό, στην επάνω επιφάνεια της στήλης, ενώ η ποσότητα H_2 είναι το δυναμικό πίεσης στην κάτω επιφάνεια της στήλης, όταν σαν επίπεδο αναφοράς λαμβάνεται η κάτω επιφάνεια της στήλης και όταν και στις δυο περιπτώσεις το δυναμικό εκφράζεται ανά μονάδα βάρους νερού. Επειδή $I = z_1 - z_2 = \Delta z$ και $H_1 + I - H_2 = \Delta \Psi$ η εξ. (3.1) μπορεί να πάρει την μορφή:

$$U = \frac{Q}{A} = K \frac{\Delta \Psi}{\Delta z} \quad (3.2)$$

Όπου u είναι η ταχύτητα ροής, δηλαδή ο όγκος του υγρού που εισέρχεται στην στήλη ή εξέρχεται από αυτή ανά μονάδα επιφάνειας της στήλης κάθετης προς τη διεύθυνση ροής και ανά μονάδα χρόνου.

Η ποσότητα $\Delta \Psi / \Delta z$ ονομάζεται **πτώση** ή **κλίση δυναμικού** (potential gradient) και είναι η κινητήρια δύναμη που προκαλεί την κίνηση του νερού. Η κλίση δυναμικού είναι διανυσματική ποσότητα, έχει δηλαδή μέτρο, διεύθυνση και φορά που στην περίπτωση του Σχ. 3.1. είναι κατακόρυφη προς τα πάνω. Αφού το δυναμικό, όταν εκφράζεται ανά μονάδα βάρους νερού, έχει διαστάσεις μήκους, η σταθερά αναλογίας K , έχει διαστάσεις μήκος/χρόνος (LT^{-1}). Η σταθερά αναλογίας ονομάζεται υδραυλική αγωγιμότητα (hydraulic conductivity) και είναι η ποσότητα νερού που εκρέει στη μονάδα του χρόνου ανά μονάδα επιφάνειας όταν η κλίση δυναμικού είναι ίση με τη μονάδα. Η υδραυλική αγωγιμότητα εκφράζει την ευκολία με την οποία το εξεταζόμενο πορώδες υλικό επιτρέπει την διέλευση του νερού και έχει σταθερή τιμή εφόσον η δομή του πορώδους υλικού δεν μεταβάλλεται, εφόσον δηλαδή οι 'δρόμοι' διέλευσης του νερού παραμένουν οι ίδιοι.



Σχήμα 3.1. Διαγραμματική απεικόνιση της διάταξης που χρησιμοποίησε ο Darcy.

Ο νόμος του Darcy πρέπει να διερευνηθεί αν και κατά πόσο ισχύει για κάθε τιμή της ταχύτητας του νερού που κινείται μέσα στο έδαφος. Η παραγωγή του νόμου αυτού από βασικές αρχές της Φυσικής, προϋποθέτει ότι πρέπει να ικανοποιούνται ορισμένες συνθήκες για να μπορεί ο νόμος αυτός να χρησιμοποιηθεί χωρίς κίνδυνο σφάλματος. Η πρώτη προϋπόθεση είναι ότι το πορώδες υλικό, στο οποίο μελετάται η κίνηση ενός υγρού, πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο συγκρινόμενο με τη μικροδομή του, δηλαδή με τις διαστάσεις των πόρων του, έτσι ώστε να μπορεί να θεωρηθεί ως ομοιόμορφο υλικό. Η δεύτερη προϋπόθεση είναι ότι η ταχύτητα κίνησης του υγρού πρέπει να είναι αρκετά μικρή. Έχει αναγνωρισθεί ότι η γραμμική σχέση ανάμεσα στην ταχύτητα ροής και την κλίση δυναμικού δεν ισχύει για μεγάλες τιμές ταχύτητας ροής, όπου οι δυνάμεις αδράνειας συγκρινόμενες με τις δυνάμεις που οφείλονται στο ιξώδες του νερού δεν είναι πια αμελητέες. Ο νόμος του Darcy έχει εφαρμογή μόνο κάτω από εκείνες τις συνθήκες που η κίνηση του υγρού είναι παράλληλη (κατά στρώσεις) και όπου η αλληλεπίδραση μεταξύ πορώδους μέσου και υγρού δεν προκαλεί μεταβολές τόσο στο ιξώδες του υγρού όσο και στην υδραυλική αγωγιμότητα του υλικού όταν μεταβάλλεται η κλίση δυναμικού.

Ο νόμος του Darcy μελετήθηκε έως τώρα για σταθερή ταχύτητα ροής, λόγω σταθερότητας της κλίσης δυναμικού. Στην ασταθή όμως ροή, που αποτελεί και τον κανόνα, η ταχύτητα ροής μπορεί να μεταβάλλεται με τον χρόνο, τόσο από πλευράς μέτρου όσο και από πλευράς διεύθυνσης και φοράς. Οι λόγοι της μεταβολής αυτής είναι οι αυξομειώσεις της κλίσης δυναμικού που είναι αποτέλεσμα των μεταβολών της υγρασίας, σε συγκεκριμένα σημεία του εδάφους, με το χρόνο. Έτσι η αντιμετώπιση του προβλήματος της ασταθούς

ροής απαιτεί συνδυασμένη χρήση του νόμου του Darcy και του **νόμου διατήρησης της ύλης**. Ο νόμος αυτός για την περίπτωση της κίνησης του νερού μέσα στο έδαφος, μπορεί να διατυπωθεί ως εξής: αν η ταχύτητα ροής κατά την είσοδο του νερού σε ένα στοιχειώδη όγκο εδάφους είναι μεγαλύτερη από ότι κατά την έξοδο, τότε η επιπλέον ποσότητα νερού αποθηκεύεται μέσα στον στοιχειώδη αυτό όγκο, αυξάνοντας έτσι την υγρασία του εδάφους. Στην αντίθετη περίπτωση, αν η ταχύτητα ροής είναι μικρότερη στην είσοδο από ότι στην έξοδο του στοιχειώδους εδαφικού όγκου, η υγρασία του εδάφους μειώνεται. Αναφορικά με την κίνηση του εδαφικού νερού, η μαθηματική διατύπωση του νόμου διατήρησης της μάζας παίρνει τη μορφή:

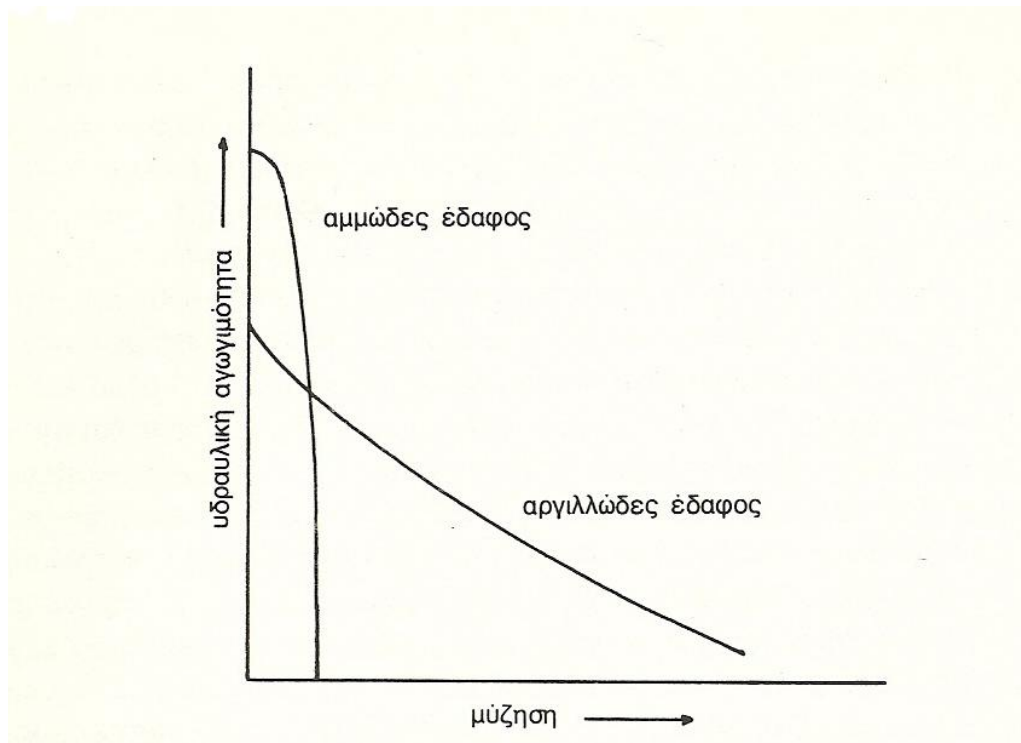
$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\nabla \cdot \mathbf{u} \quad (3.3)$$

όπου θ είναι η εδαφική υγρασία εκφρασμένη κατ'όγκο. Αν το νερό κινείται μόνο κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, πράγμα που συμβαίνει συνήθως τότε η ροή του νερού δίνεται από την εξίσωση:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right) + \frac{\partial K}{\partial z} \quad (3.4)$$

Η εξίσωση (3.4) περιλαμβάνει την εδαφική υγρασία θ , και το δυναμικό του εδαφικού νερού, που οφείλεται στην στερεή φάση του εδάφους, Ψ_m . Και οι δυο αυτές εδαφικές ιδιότητες συνδέονται μεταξύ τους με μια συνάρτηση που γραφικά παριστάνεται από τη χαρακτηριστική καμπύλη συγκράτησης του εδαφικού νερού. Ο λόγος $d\theta/d\Psi$, δηλαδή η κλίση της χαρακτηριστικής καμπύλης, σε κάθε συγκεκριμένη τιμή υγρασίας, ονομάζεται **ειδική ή διαφορική υδατοχωρητικότητα** (specific or differential water capacity).

Οι μελέτες που έχουν γίνει οδηγούν σε ορισμένες διαπιστώσεις: α) προκειμένου για το ίδιο έδαφος, η υδραυλική αγωγιμότητα όταν αυτό είναι κορεσμένο με νερό (saturated hydraulic conductivity) έχει πάντα μεγαλύτερη τιμή από ότι όταν το έδαφος είναι ακόρεστο, β) η υδραυλική αγωγιμότητα ενός ακόρεστου εδάφους (unsaturated hydraulic conductivity) είναι ανάλογη του θ και αντιστρόφως ανάλογη της μύζησης του εδαφικού νερού, γ) αν και στην κατάσταση κορεσμού, ένα χονδρόκοκκο υλικό (π.χ. ένα αμμώδες έδαφος) άγει το νερό ευκολότερα από ότι ένα λεπτόκοκκο υλικό (π.χ. αργιλώδες έδαφος) με το ίδιο πορώδες αλλά μικρότερους και περισσότερους πόρους, δε συμβαίνει το ίδιο όταν τα ίδια υλικά δεν είναι κορεσμένα. Επειδή το χονδρόκοκκο υλικό έχει μεγάλους πόρους αυτοί θα αδειάσουν πολύ γρήγορα (δηλαδή κάτω από την επίδραση μικρών μύζησης ή υψηλού δυναμικού), πράγμα που δε θα συμβεί στο λεπτόκοκκο υλικό. Έτσι στο χονδρόκοκκο υλικό μειώνονται πολύ γρήγορα οι δρόμοι μέσα από τους οποίους μπορεί να κινηθεί το νερό που με άλλα λόγια σημαίνει μικρότερη υδραυλική αγωγιμότητα για το αμμώδες από ότι για αργιλώδες έδαφος. Στο σχ.3.2 παρουσιάζεται διαγραμματικά η μεταβολή της υδραυλικής αγωγιμότητας με τη μύζηση του εδαφικού νερού σε ένα αμμώδες και σε ένα αργιλώδες έδαφος.



Σχήμα. 3.2. Διαγραμματική παράσταση της μεταβολής της υδραυλικής αγωγιμότητας με τη μύζηση, σε ένα αμμώδες και σε ένα αργιλλώδες έδαφος.

Αφού η υδραυλική αγωγιμότητα ενός εδάφους εξαρτάται από την υγρασία και η εδαφική υγρασία από την μύζηση (ή το δυναμικό) του εδαφικού νερού και η υδραυλική αγωγιμότητα θα εξαρτάται από τη μύζηση. Η σχέση όμως μεταξύ υγρασίας και μύζησης εξαρτάται λόγω υστέρησης από την προηγούμενη υγρασιακή κατάσταση του εδάφους, από το αν δηλαδή προστίθεται ή αφαιρείται νερό από το έδαφος και επομένως για κάθε συγκεκριμένη τιμή μύζησης αντιστοιχούν διάφορες τιμές υγρασίας. Κατά συνέπεια και η υδραυλική αγωγιμότητα μπορεί να έχει διάφορες τιμές για την ίδια τιμή μύζησης του εδαφικού νερού, δηλαδή και η υδραυλική αγωγιμότητα χαρακτηρίζεται από υστέρηση.

3.2. Η κίνηση του εδαφικού νερού που οφείλεται σε μεταβολές της θερμοκρασίας

Η κίνηση του νερού μέσα στο έδαφος δεν οφείλεται μόνο στις υπάρχουσες κλίσεις του εδαφικού νερού αλλά πολλές φορές σημαίνουντα ρόλο στην κίνηση αυτή του νερού μπορεί να παίζουν και διαφορές θερμοκρασίας στα διάφορα σημεία του εδάφους. Η θερμοκρασία επηρεάζει την κίνηση του νερού όταν αυτό βρίσκεται είτε στην υγρή είτε στην αέρια κατάσταση. Στην πρώτη περίπτωση η θερμοκρασία επηρεάζει την επιφανειακή τάση του νερού, ενώ στη δεύτερη την (μερική) πίεση των ατμών του νερού. Έτσι η κίνηση του νερού που οφείλεται σε κλίσεις θερμοκρασίας θα πρέπει να εξετάζεται χωριστά για κάθε φάση του εδαφικού νερού (υγρή ή αέρια).

Η σχέση που συνδέει το δυναμικό του εδαφικού νερού (που οφείλεται στη στερεή φάση του εδάφους και εκφράζεται ανά μονάδα όγκου εδαφικού νερού) και την επιφανειακή τάση του εδαφικού νερού δίνεται από τη σχέση:

$$\Psi_m = -2\gamma/r \quad (3.5)$$

όπου γ είναι η επιφανειακή τάση του εδαφικού νερού και r η ακτίνα των πόρων που είναι γεμάτοι με νερό. Επειδή η επιφανειακή τάση μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία το δυναμικό Ψ_m θα αυξάνει (θα παίρνει μικρότερες αρνητικές τιμές) με τη θερμοκρασία όταν η ακτίνα των πόρων r παραμένει σταθερή. Επομένως, μια διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα σε δυο σημεία ενός εδάφους που έχει ομοιόμορφη υγρασία, θα αναπτύξει μια κλίση δυναμικού που θα προκαλέσει μια κίνηση του νερού προς την κατεύθυνση που η θερμοκρασία μειώνεται.

Μια διαφορά θερμοκρασίας (κλίση) ανάμεσα σε δυο σημεία του εδάφους μπορεί να προκαλέσει μετακίνηση του εδαφικού νερού με την μορφή υδρατμών προς την κατεύθυνση που η θερμοκρασία μειώνεται, σαν αποτέλεσμα της κλίσης της μερικής πίεσης των υδρατμών. Η μερική πίεση ατμών επηρεάζεται πάρα πολύ από τη θερμοκρασία και μεγάλες πτώσεις της πίεσης των υδρατμών συμβαίνουν πολύ συχνά κάτω από φυσικές συνθήκες λόγω διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα σε δυο σημεία του εδάφους. Αξίζει να αναφερθεί σαν παράδειγμα ότι η πίεση των υδρατμών σχεδόν διπλασιάζεται όταν η θερμοκρασία αυξηθεί από 20 σε 30°C (οι απόλυτες τιμές της είναι 23,38 και 42,45 Mbar αντίστοιχα). Η επίδραση αυτή της μεταβολής της θερμοκρασίας στην μεταβολή της πίεσης των υδρατμών έχει μεγάλη σημασία ακόμα και σε σχετικά υγρά εδάφη γιατί η μεταβολή της πίεσης ατμών, λόγω μεταβολής της εδαφικής υγρασίας είναι ελάχιστη. Η πίεση των υδρατμών όταν το εδαφικό νερό έχει μύζηση ίση με 15 bar (ποσοστό μόνιμης μάρανσης) είναι μόνο κατά 1% περίπου μικρότερη της πίεσης των υδρατμών όταν το έδαφος είναι κορεσμένο με νερό.

Συνοψίζοντας τα σχετικά με την επίδραση των μεταβολών της υγρασίας στην κίνηση του νερού που βρίσκεται στην υγρή ή αέρια μορφή μπορεί να ειπωθεί ότι το νερό κινείται μέσα στο έδαφος από θερμές προς ψυχρές περιοχές. Κατά την διάρκεια της ημέρας θέρμανση του επιφανειακού εδάφους προκαλεί κίνηση με την μορφή ατμών προς βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Κατά τη διάρκεια της νύχτας ψύξη της επιφάνειας του εδάφους λόγω ακτινοβολίας προκαλεί κίνηση των υδρατμών προς την αντίθετη κατεύθυνση, πράγμα που επισημαίνεται από την συσσώρευση νερού σε ένα λεπτό στρώμα της επιφάνειας του εδάφους κατά τις πρώτες πρωινές ώρες. [16]

4. Μεταφορά Θερμότητας

Θερμότητα είναι η ενέργεια που ανταλλάσσεται μεταξύ ενός συστήματος και του περιβάλλοντος (ή μεταξύ δυο συστημάτων) όταν υπάρχει μεταξύ τους θερμοκρασιακή διαφορά. Σε κάθε περίπτωση που υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δυο συστημάτων, αναπτύσσεται η τάση μεταφοράς θερμικής ενέργειας από τη θερμότερη προς την ψυχρότερη περιοχή. Ως αποτέλεσμα, το σύστημα τείνει στην κατάσταση θερμοκτικής ισορροπίας, με αποκατάσταση μιας ομοιόμορφης θερμοκρασίας σε όλες τις περιοχές του.

Η ειδική θερμότητα εκφράζει το ποσό ενέργειας που απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας της μονάδας της μάζας ενός υλικού κατά ένα βαθμό.

4.1. Μηχανισμοί Μεταφοράς Θερμότητας

Διακρίνονται τρεις βασικοί μηχανισμοί μεταφοράς θερμότητας:

- 1) **Μεταφορά με αγωγή** (conduction), όταν αυτή γίνεται με μεταφορά κινητικής ενέργειας από ένα μόριο της ύλης σε γειτονικό του, χωρίς να παρατηρείται (μακροσκοπικά) μετακίνηση υλικού από τη μια θέση του χώρου σε άλλη. Ο μηχανισμός αυτός είναι κυρίαρχος σε στερεά σώματα ή σε μη-κινούμενα ρευστά, όπως π.χ. στα πρώτα στρώματα ρευστού που βρίσκονται σε επαφή με μια θερμή επιφάνεια.
- 2) **Μεταφορά με συναγωγή** (convection), όταν αυτή οφείλεται σε μετακίνηση μάζας ρευστού. Το ρευστό που μετακινείται από μια θέση του χώρου σε άλλη φέρει μαζί του και την ενέργεια που περιέχει, επηρεάζοντας έτσι το ενεργειακό περιεχόμενο (και τη θερμοκρασία) στο χώρο στον οποίο καταλήγει.
- 3) **Μεταφορά με ακτινοβολία** (radiation), όταν η ενέργεια μεταφέρεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

Στην πράξη σε πάρα πολλές περιπτώσεις οι μηχανισμοί συνυπάρχουν. Για απλούστευση όμως πολλές φορές εξετάζεται μόνο ο κυρίαρχος μηχανισμός.

4.1.1. Αγωγή

Ο όρος αγωγή (ή διάχυση) θερμότητας χρησιμοποιείται όταν η θερμότητα μεταφέρεται σε ένα υλικό λόγω θερμοκρασιακής διαφοράς χωρίς να υπάρχει μακροσκοπικά μετακίνηση της μάζας του υλικού, παρόλο που μικροσκοπικά τα μόρια μετακινούνται.

Αποδεικνύεται πειραματικά ότι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας, δηλαδή το ποσό θερμότητας που μεταφέρεται στη μονάδα του χρόνου, είναι ανάλογος της διαφοράς θερμοκρασίας και αντιστρόφως ανάλογος του πάχους τοιχώματος μέσα από το οποίο πραγματοποιείται η μεταφορά.

Η βασική μαθηματική σχέση που συνδέει το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας με τη βαθμίδα θερμοκρασίας διέπεται από το νόμο του *Fourier* για την αγωγή και έχει την ακόλουθη μορφή:

$$q = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad (4.1)$$

όπου q συμβολίζει το ποσό θερμότητας που μεταφέρεται κατά την διεύθυνση x στη μονάδα του χρόνου και ανά μονάδα επιφάνειας κάθετης προς τη διεύθυνση x . το μέγεθος αυτό είναι γνωστό και ως ανηγμένος (ανά μονάδα επιφάνειας) ρυθμός (ανά μονάδα χρόνου) μεταφοράς θερμότητας. Ο συντελεστής αναλογίας k είναι θερμοφυσική ιδιότητα του υλικού και ονομάζεται συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας.

Το αρνητικό πρόσημο εμφανίζεται στη σχέση (4.1) επειδή η θερμότητα άγεται από την περιοχή των υψηλών θερμοκρασιών στην περιοχή χαμηλών θερμοκρασιών δηλαδή κατά την διεύθυνση της αρνητικής θερμοκρασιακής βαθμίδας $\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)$.

Αγωγή σε μόνιμη κατάσταση

Όταν η θερμοκρασία στα όρια ενός συστήματος δε μεταβάλλεται με το χρόνο, αυτό βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση. Στις συνθήκες αυτές και χωρίς παραγωγή θερμότητας, ο ρυθμός μεταφοράς είναι σταθερός. Αν ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας k , δε μεταβάλλεται με την θερμοκρασία τότε από την (4.1) συνεπάγεται ότι η βαθμίδα θερμοκρασίας είναι σταθερή ποσότητα, που σημαίνει γραμμική κατανομή της θερμοκρασίας σε όλο το πάχος του τοιχώματος. Επομένως για συνολική επιφάνεια A , το σύνολο της θερμότητας που μεταφέρεται ανά μονάδα χρόνου μέσα από τοίχωμα με χαρακτηριστικά L : πάχος τοιχώματος, T_1, T_2 :θερμοκρασίες των δυο επιφανειών του τοιχώματος η παραπάνω εξίσωση γράφεται:

$$q = kA \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (4.2)$$

Αγωγή σε τρεις διαστάσεις

Η σχέση (4.1) συνδέει το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας με τη θερμοκρασιακή βαθμίδα για μονοδιάστατη αγωγή. Σε ένα τρισδιάστατο πεδίο θερμοκρασιών και για ένα ισότροπο μέσο (υλικό που έχει την ίδια αγωγιμότητα προς όλες τις διευθύνσεις του χώρου) η εξίσωση *Fourier* παίρνει τη μορφή:

$$q = -k \nabla T \quad (4.3)$$

όπου με το σύμβολο ∇T συμβολίζεται η κλίση (βαθμίδα) της θερμοκρασίας στο χώρο.

4.1.2. Συναγωγή

Στα ρευστά η μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται πάντοτε με μηχανισμό συναγωγής λόγω της κινητικότητας που αυτά παρουσιάζουν. Έτσι συναγωγή

εμφανίζεται όταν ένα ρευστό ρέει ή αναδεύεται αλλά ακόμη και όταν ένα ρευστό θερμαίνεται ακίνητο στο χώρο.

Το ρευστό που θερμαίνεται εμφανίζει άνοδο της θερμοκρασίας του και διαστέλλεται. Προκαλείται έτσι διαφορά πυκνότητας ανάμεσα σε περιοχές με διαφορετικές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα την κίνηση του ρευστού λόγω παρουσίας δυνάμεων άνωσης. Η κίνηση αυτή ονομάζεται φυσική κυκλοφορία.

Ο ρυθμός μεταφοράς της θερμότητας με συναγωγή είναι προφανές ότι εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά ροής του ρευστού (γεωμετρία, ταχύτητα, ιξώδες, πυκνότητα). Εξαρτάται επίσης από τις ιδιότητες του ρευστού που έχουν σχέση με τη μεταφορά θερμότητας, δηλαδή από το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και από την ειδική θερμότητα.

Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή είναι κατά προσέγγιση ανάλογος με το δυναμικό, δηλαδή με τη διαφορά θερμοκρασίας $T_s - T_\infty$. Η αναλογία αυτή εκφράζεται με τη σχέση:

$$q = h(T_s - T_\infty) \quad (4.4)$$

όπου q είναι ο ανηγμένος ρυθμός μεταφοράς θερμότητας, T_s η θερμοκρασία της επιφάνειας και T_∞ η θερμοκρασία του ρευστού. Ο παράγοντας αναλογίας h ονομάζεται συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή ή για συντομία συντελεστής συναγωγής. Η παραπάνω σχέση είναι γνωστή και ως *νόμος ψύξης του Newton*.

4.1.3. Ακτινοβολία

Θερμική ακτινοβολία εκπέμπεται και απορροφάται από όλα τα στερεά σώματα, σε όποια θερμοκρασία και αν αυτά βρίσκονται. Ακτινοβολία επίσης εκπέμπουν και απορροφούν τα υγρά και ορισμένα αέρια. Η μέγιστη ισχύς που είναι δυνατόν να ακτινοβολεί ένα σώμα, ανά μονάδα επιφάνειας δίνεται από το *νόμο των Stefan-Boltzman*:

$$q_b = \sigma T_s^4 \quad (4.5)$$

και η ολική ισχύς που εκπέμπει μια επιφάνεια με εμβαδόν A :

$$q_b = A \sigma T_s^4$$

όπου T_s είναι η απόλυτη θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας του σώματος και σ είναι συντελεστής γνωστός ως *σταθερά Stefan-Boltzmann*. [19]

4.2. Μεταφορά Θερμότητας στο Έδαφος

Η μεταφορά θερμότητας στο έδαφος εξαρτάται από την αντανakλαστικότητα του εδάφους, την θερμοχωρητικότητά του, την θερμική αγωγιμότητα και την θερμική διαχυτότητά του.

Αντανakλαστικότητα: είναι το ποσοστό της ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος που αντανakλάται από την επιφάνεια του εδάφους. είναι μεγαλύτερη όσο το χρώμα του εδάφους τείνει προς το λευκό και όσο η

υδατοπεριεκτικότητά του είναι μικρότερη.Τραχύτερη επιφάνεια μειώνει την αντανακλαστικότητα του εδάφους.

Θερμοχωρητικότητα (Thermal capacity, C): είναι η μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους ανά μονάδα απορροφώμενης θερμικής ενέργειας

$C = c\rho$, όπου c: ειδική θερμότητα

ρ : πυκνότητα εδάφους

στον παρακάτω πίνακα 4.1. φαίνονται οι τιμές θερμοχωρητικότητας διαφόρων συστατικών του εδάφους.

Πίνακας 4.1.

	cal g⁻¹ deg⁻¹
Ανόργανα συστατικά	0.48
Οργανική ουσία	0.60
Νερό	1.0
Αέρας	0.0003
Τύρφη (υγρή)	0.60-0.80

Θερμική Αγωγιμότητα (Thermal conductivity, k): Η ποσότητα θερμότητας που διέρχεται από μοναδιαίο όγκο εδάφους σε ένα δευτερόλεπτο ώστε η θερμοκρασία του να αυξηθεί κατά 1°C.

$$dQ / dt = - k dT / dz \text{ (cal cm}^{-2} \text{ s}^{-1}\text{)}$$

στον παρακάτω πίνακα 4.2. φαίνονται οι τιμές θερμικής αγωγιμότητας διαφόρων συστατικών του εδάφους.

Πίνακας 4.2.

	cal cm⁻¹ s⁻¹ deg⁻¹
Χαλαζίας	21
Ορυκτά αργίλου	7
Οργανική ουσία	0.6
Νερό	1.4

Αέρας	0.06
Υγρή τύρφη	0.7-1.0

Θερμική διαχυτότητα κ (thermal diffusivity): Περιγράφει την ταχύτητα μεταβίβασης θερμοκρασίας σε μοναδιαίο όγκο εδάφους.

$$\kappa = k / (c \rho) \text{ (cm}^2 \text{ s}^{-1}\text{)}$$

στον παρακάτω πίνακα 4.3. φαίνονται οι τιμές θερμικής αγωγιμότητας διαφόρων συστατικών του εδάφους

Πίνακας 4.3.

	cm² s⁻¹
Χαλαζίας	43.7
Ορυκτά αργίλου	14.5
Οργανική ουσία	1.0
Νερό	1.4
Αέρας	200
Υγρή τύρφη	0.9-1.5

Οι θερμικές ιδιότητες των εδαφών εξαρτώνται κατά κύριο λόγο από τη σχετική περιεκτικότητά τους σε νερό και αέρα.

Δευτερευόντως από τη μηχανική τους σύσταση και την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία.

Γενικά :

- Υγρά εδάφη θερμαίνονται και ψύχονται δυσκολότερα από τα ξηρά
- Υγρά εδάφη μεταφέρουν θερμότητα ευκολότερα από ξηρά
- Αμμώδη εδάφη μεταφέρουν θερμότητα ευκολότερα από αργιλώδη
- Οργανικά εδάφη θερμαίνονται δυσκολότερα και μεταφέρουν θερμότητα δυσκολότερα

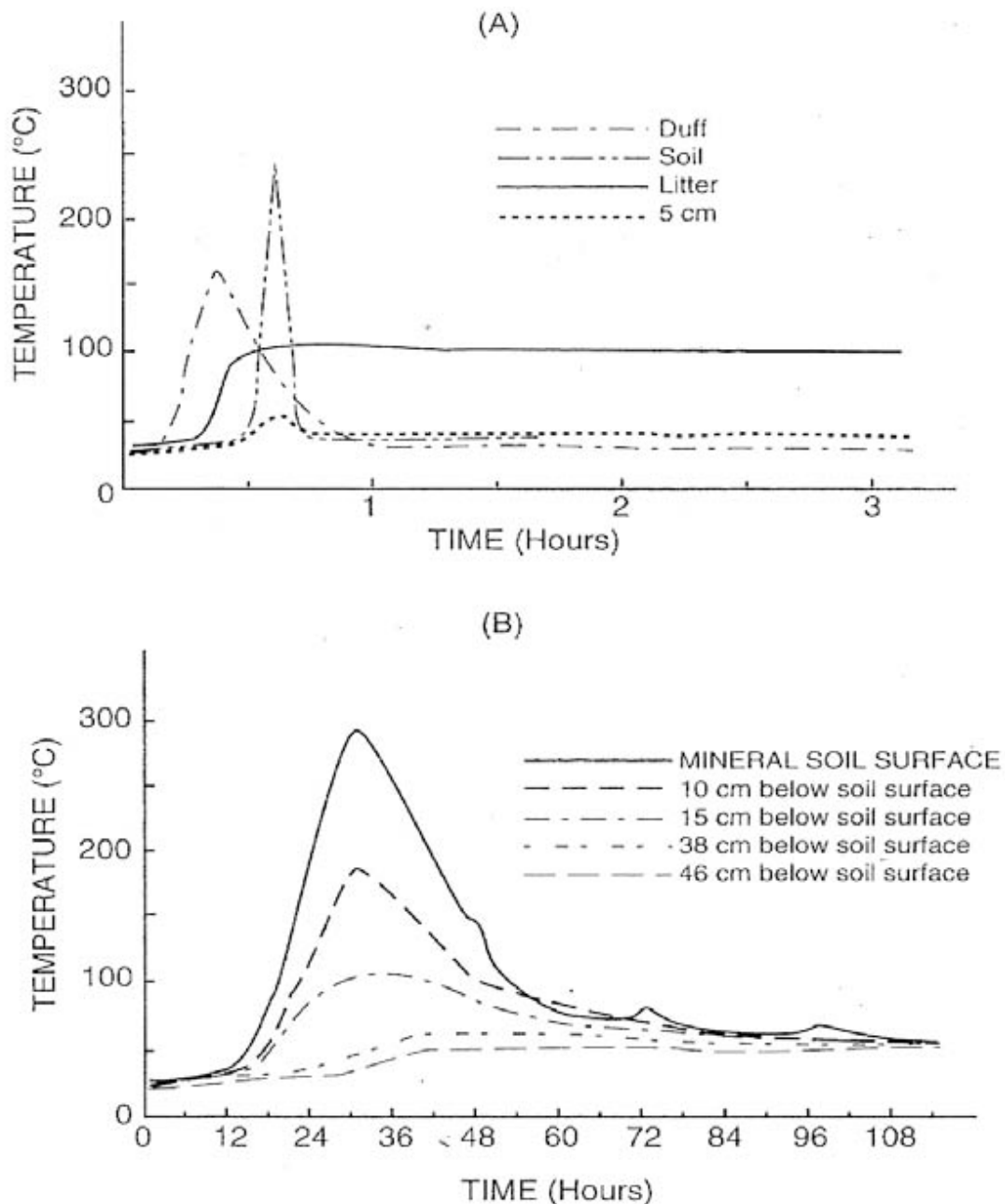
4.3. Θερμοκρασιακό Καθεστώς στο Έδαφος

Το θερμοκρασιακό καθεστώς στο έδαφος, που εξαρτάται από την ένταση και τη διάρκεια της θέρμανσής του, είναι το τελικό προϊόν των διαδικασιών καύσης και μεταφοράς θερμότητας σε αυτό. Η θερμοκρασία στο έδαφος είναι ο μοναδικός τρόπος μέτρησης των επιδράσεων της φωτιάς στο έδαφος.

Δυστυχώς, οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο έδαφος είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν. Στη θέρμανση των εδαφών υπεισέρχονται πολλοί παράγοντες όπως είναι το είδος και η δομή της βλάστησης, οι εδαφικές συνθήκες πριν και κατά τη διάρκεια της φωτιάς και κυρίως η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό (εδαφική υγρασία) και οργανική ύλη, πριν τη φωτιά [20]. Για τους παραπάνω λόγους, εξετάζονται η πορεία θέρμανσης και το καθεστώς των θερμοκρασιών στο έδαφος για κάθε οικοσύστημα, ξεχωριστά.

4.3.1. Δασώδες οικοσύστημα

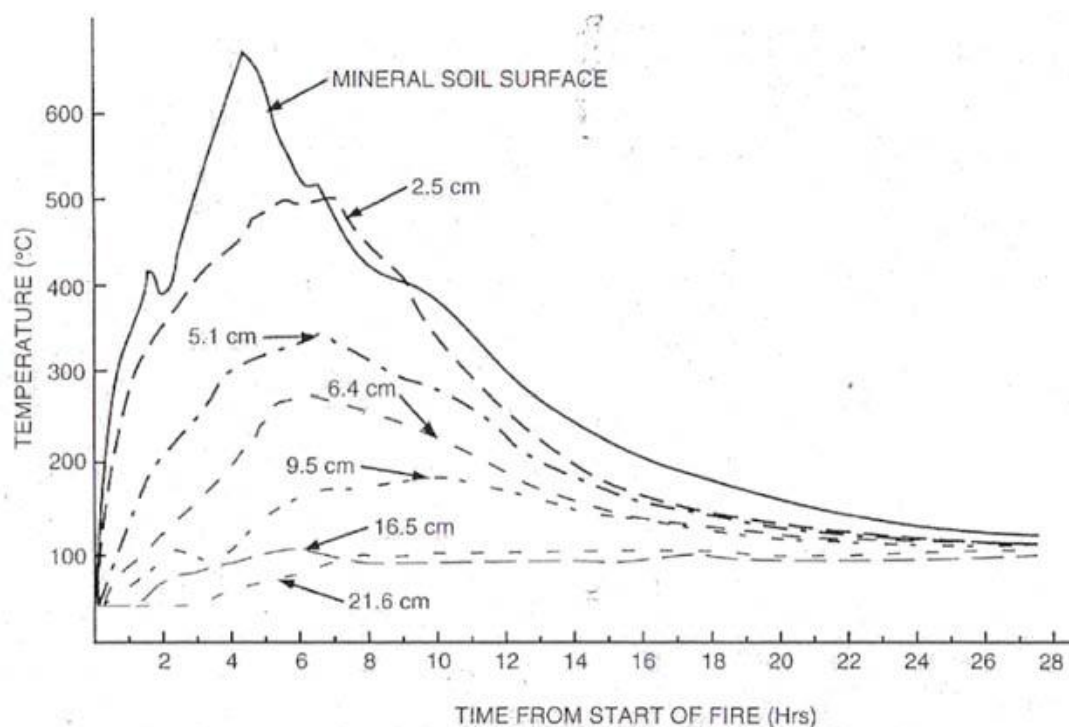
Οι θερμοκρασιακές μεταβολές του εδάφους από δασικές πυρκαγιές σε δασικά (δασώδη) οικοσυστήματα ποικίλλει ανάλογα με το είδος και την ένταση της φωτιάς. Η ένταση και το είδος της φωτιάς (έρπουσα ή επικόρυφη) καθορίζεται από την ένταση και τη διεύθυνση του ανέμου, την υγρασία του εδάφους, καύσιμης ύλης και την ατμοσφαιρική σχετική υγρασία, τον τύπο και την πυκνότητα της καύσιμης ύλης καθώς και την αναλογία ζωντανής–νεκρής καύσιμης ύλης [21]. Χαμηλής έντασης φωτιές καίνε μόνο την επιφάνεια της βαριάς καύσιμης ύλης και θερμαίνουν ελάχιστα το έδαφος. Για παράδειγμα, έρπουσα πυρκαγιά σε δάσος κωνοφόρων του γένους *Pinus Ponderosa* στην Καλιφόρνια θέρμανε το έδαφος μόνο μέχρι 5 cm βάθος και η μεταβολή της θερμοκρασίας διήρκησε πολύ λιγότερο της μίας ώρας. Η θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους μόλις που έφτασε τους 100°C και σε 5cm βάθος δεν ξεπέρασε τους 50°C (σχ. 4.1.(A), [20]. Αντίθετα, όταν καίγεται οργανική ύλη σε μεγάλες συγκεντρώσεις πάνω στην επιφάνεια του εδάφους τότε η διάρκεια της φωτιάς και άρα της θέρμανσης του εδάφους αυξάνεται, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη θερμοκρασιών που είναι καταστρεπτικές για τις ρίζες των φυτών. Το συγκεκριμένο δάσος κωνοφόρων είχε μεγάλη συσσώρευση από ξερά χόρτα και κλαδιά που κάπνιζαν (καύση πυράκτωσης) για μέρες. Έτσι, η μέγιστη θερμοκρασία του εδάφους ξεπέρασε τους 270°C και σε βάθος 10 cm η θερμοκρασία παρέμεινε υψηλότερη από 100°C για πάνω από 24 ώρες (σχ. 4.1.(B),[20].



Σχήμα 4.1. Θερμοκρασίες εδάφους κάτω από (A) χαμηλής έντασης φωτιά σε δάσος κωνοφόρων και (B) φωτιά υψηλής έντασης σε πευκοδάσος του γένους *Pinus Ponderosa* [20]

Έτσι, καθώς έχει παρατηρηθεί πως οι θερμοκρασίες του εδάφους δεν αυξάνονται αξιόλογα μετά από χαμηλής έντασης, έρπουσες και επαναλαμβανόμενες πυρκαγιές, πολλές φορές χρησιμοποιείται η τακτική του ελεγχόμενου καψίματος για την μείωση της καύσιμης ύλης. Μια άλλη τακτική που ακολουθείται είναι η καύση σωρών υπολειμμάτων υλοτομίας που συχνά περιλαμβάνουν και χοντρούς κορμούς δένδρων[20]. Οι σωροί αυτοί καίγονται σε συγκεκριμένες θέσεις και προκαλούν καταστροφή στο έδαφος από την θέρμανσή του σε περιορισμένη έκταση στις μεμονωμένες θέσεις που βρίσκονται οι σωροί. Οι σωροί αποτελούνται από τεμαχισμένα υπολείμματα υλοτομίας και μέρη νεκρής βιομάζας από τον υπόροφο των δασών όπως για παράδειγμα ξερόκλαδα, τεμάχια κορμών από πεσμένα δένδρα κα. Γενικά η

καύσιμη ύλη των σωρών αυτών ανήκει στην κατηγορία της βαριάς καύσιμης ύλης. Συνεπώς, καίγοντας τους σωρούς αυτούς σε συγκεκριμένες θέσεις μειώνεται κατά πολύ η ευφλεκτικότητα των δασών και η καταστροφή του εδάφους περιορίζεται σε πολύ μικρές περιοχές. Φυσικά, η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στην επιφάνεια του εδάφους, κάτω από τους καιγόμενους σωρούς φτάνει σε πολύ μεγάλες τιμές. Στην Αυστραλία σε καύση τέτοιων σωρών από κούτσουρα μεγέθους 4,3x2,5x2 m ύψος και διαμέτρων κορμών από 13-18 cm, η μέγιστη θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους έφτασε τους 660°C και θερμοκρασίες άνω των 100°C σε βάθος 16,5 cm παρέμειναν για 21 ώρες (σχ. 4.2). Εκτιμάται, πως τέτοιες φωτιές κατέστρεψαν πλήρως το έδαφος σε βάθη τουλάχιστον 10-15cm και προκαλούν προβλήματα μακράς διάρκειας στην παραγωγικότητά του.

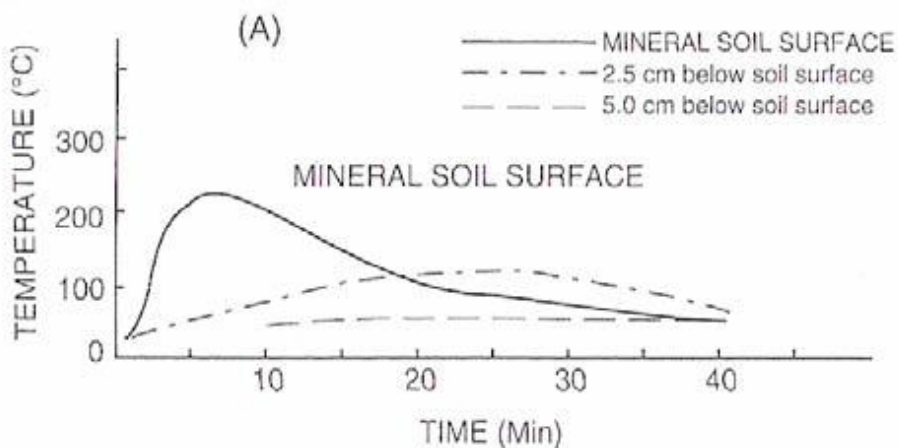


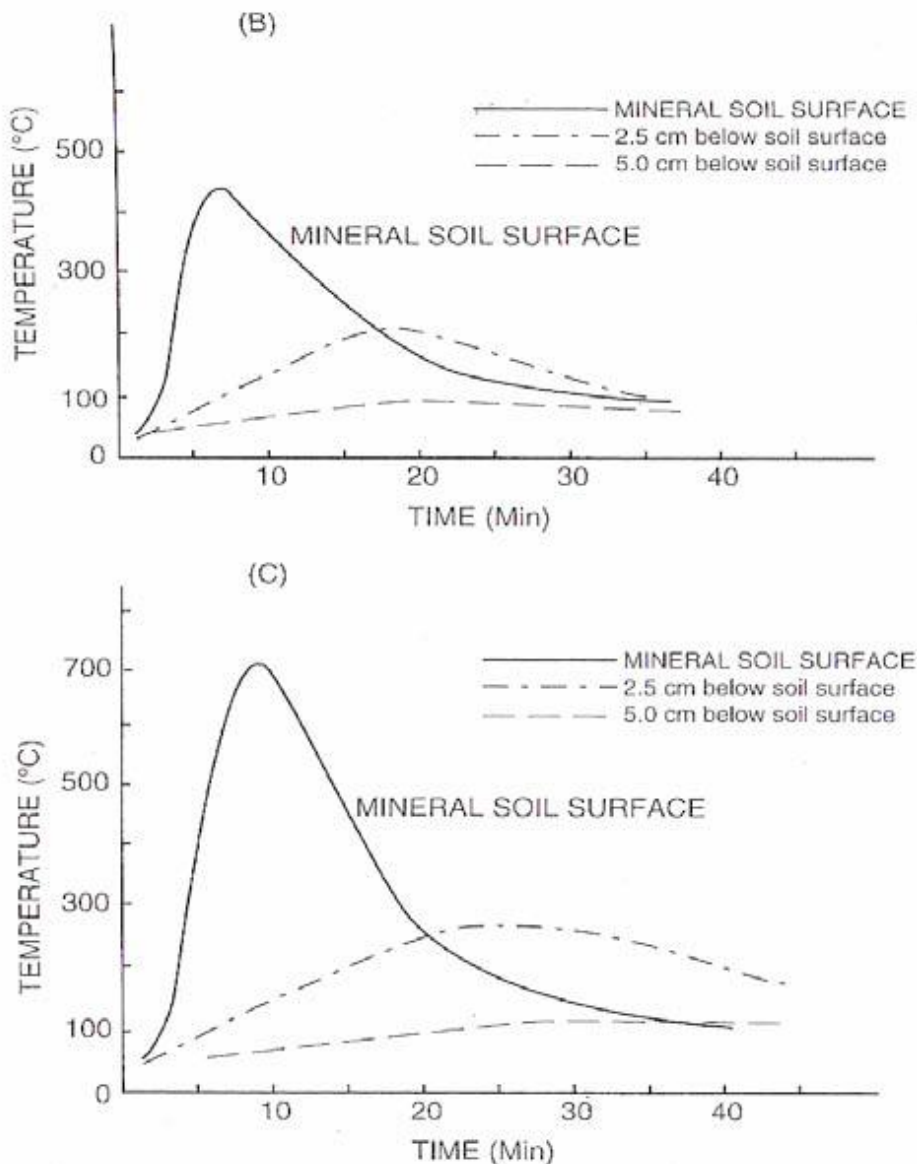
Σχήμα 4.2. Θερμοκρασίες εδάφους κάτω από σωρό από κορμούς ευκαλύπτου [20].

4.3.2.Θαμνώδες οικοσύστημα

Μετρήσεις εδαφικών θερμοκρασιών έχουν γίνει πολλές σε θαμνώδη οικοσυστήματα της Καλιφόρνιας για διαφορετικές εντάσεις φωτιάς. Οι μετρήσεις αυτές έδειξαν πως χαμηλής έντασης φωτιές χαρακτηρίζονται από ένα απανθρακωμένο στρώμα φυτικής βιομάζας στο ανώτερο τμήμα της ποώδους βλάστησης που παράγεται λόγω του φτωχού αερισμού του κατώτερου στρώματος της βλάστησης. Γκριζωπή στάχτη παρατηρείται αμέσως μετά τη φωτιά μα σύντομα γίνεται δυσδιάκριτη. Το κύριο προϊόν αυτών των πυρκαγιών είναι η μαύρη στάχτη. Μέγιστες θερμοκρασίες στην επιφάνεια του εδάφους φτάνουν στους 225°C και τους 125°C σε βάθος 2,5 cm [20].

Μια φωτιά μετρίας εντάσεως δεν καταστρέφει, δεν καίει εντελώς τη βλάστηση και την καύσιμη ύλη γενικότερα. Πλήρως απανθρακωμένα υλικά υπάρχουν αραιά. Αμέσως μετά τη φωτιά παρατηρείται στάχτη αλλά εξαφανίζεται πολύ γρήγορα. Οι μέγιστες θερμοκρασίες στην επιφάνεια του εδάφους και σε βάθος 2,5 cm φτάνουν τους 430°C και 200°C αντίστοιχα. Οι φωτιές υψηλής έντασης χαρακτηρίζονται από ένα παχύ και αφράτο στρώμα λευκής στάχτης. Η καύσιμη ύλη καίγεται ολοσχερώς και η λευκή στάχτη που μένει είναι περισσότερη εκεί που οι θάμνοι ήταν πυκνότεροι. Εδώ οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τις προηγούμενες περιπτώσεις. Στην επιφάνεια του εδάφους είχαμε 700°C και σε 2,5 cm βάθος 250°C. Στο σχήμα 4.3, φαίνεται η πορεία των θερμοκρασιών και για τις τρεις περιπτώσεις.[20]





Σχήμα 4.3. Θερμοκρασίες εδάφους σε θαμνώδες οικοσύστημα της Καλιφόρνιας κατά τη διάρκεια (Α) χαμηλής, (Β) μέτριας, και (C) υψηλής έντασης πυρκαγιάς [20]

4.3.3. Χορτολιβαδικό οικοσύστημα

Η καύσιμη ύλη στα χορτολίβαδα αποτελείται από φύλλα και μίσχους χόρτων και ποών. Η ύλη αυτή καίγεται τελείως. Παρόλα αυτά οι φωτιές σε χορτολιβαδικές εκτάσεις χαρακτηρίζονται από στενές ζώνες φωτιάς κατά μήκος ομογενούς βλάστησης. Η υγρασία της χορτολιβαδικής βλάστησης αλλάζει πολύ γρήγορα και επηρεάζεται πάρα πολύ από τη σχετική υγρασία του αέρα και άλλους μετεωρολογικούς παράγοντες. Όταν τα χορτολίβαδα είναι ξερά τότε καίγονται ταχύτατα καθώς η φλόγα προχωράει συνεχόμενα. Τέτοιες πυρκαγιές μπορούν να φτάσουν σε υψηλές εντάσεις της τάξης των 20000 kW/m. Όμως, η διάρκεια της μεγάλης έντασης είναι πολύ μικρή και το έδαφος εκτίθεται σε μεγάλες θερμοκρασίες για πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια των πυρκαγιών σε χορτολίβαδα ποικίλλουν και εξαρτώνται από την κατανομή και

την πυκνότητα της καύσιμης ύλης και την περιεχόμενη υγρασία που καθορίζεται από την ατμοσφαιρική υγρασία. Έτσι, ενώ οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην επιφάνεια του εδάφους μπορούν να είναι υψηλές, το έδαφος ακόμα και σε μικρό βάθος δεν θερμαίνεται από ελάχιστα έως καθόλου ανάλογα και την ένταση της φωτιάς. Στην επιφάνεια του εδάφους, το εύρος των θερμοκρασιών είναι από 95-720°C και αν και οι θερμοκρασίες αυτές επιτυγχάνονται σχεδόν αμέσως η επιστροφή στις αρχικές, προ φωτιάς θερμοκρασίες είναι εξίσου γρήγορες της τάξης των λίγων λεπτών, μετά το πέρασμα της φωτιάς. Σε βάθος 3-4 cm οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 50-80°C και παραμένουν για ελάχιστα λεπτά. Προφανώς, η θέρμανση του εδάφους είναι πιο έντονη σε περιοχές όπου τα χόρτα είναι πολύ πυκνά σε συνδυασμό με ξερόκλαδα και άλλα υπολείμματα νεκρής βιομάζας. Τα αποτελέσματα των πυρκαγιών σε χορτολιβαδικές εκτάσεις πλήττουν κυρίως τα φυτικά είδη που ευδοκιμούν σε αυτές τις περιοχές παρά το έδαφος και την δομή του [20].

5. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι δασικές πυρκαγιές επηρεάζουν το έδαφος και μεταβάλλουν τις εδαφικές φυσικές ιδιότητες, όπως τη εδαφική δομή, το πορώδες και ειδικότερα το μέγεθος και την κατανομή των πόρων, τη θερμική αγωγιμότητα και θερμοχωρητικότητα, καθώς και την ικανότητα του εδάφους να διατηρεί νερό στους πόρους του. Επίσης, η απωθητικότητα στο νερό των υδρόφοβων εδαφών είναι μια ιδιότητα που εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις φωτιές. Παρακάτω, περιγράφονται οι εδαφικές ιδιότητες και η σχέσεις τους με την φωτιά.

5.1. Δομή Εδάφους

Στοιχεία για την εδαφική δομή δόθηκαν και παραπάνω. Δεν πρέπει να συγχέεται με την εδαφική υφή, η οποία είναι μια ξεχωριστή εδαφική ιδιότητα. Η εδαφική υφή αναφέρεται στο μέγεθος των κόκκων και την αναλογία μεταξύ τους. Προφανώς, η υφή δεν επηρεάζεται από την φωτιά, εκτός και αν αυτή είναι πολύ μεγάλης έντασης. Σε ακραίες περιπτώσεις, με θερμοκρασίες εδάφους γύρω στους 400-800°C, οι δασικές πυρκαγιές μπορούν να μεταβάλλουν την ορυκτή σύνθεση συγκεκριμένων εδαφών, κυρίως αυτών που περιέχουν μεγάλα κλάσματα αργίλου. Έτσι, σε καμένα εδάφη σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, αργιλικά ορυκτά, όπως ο καολινίτης, επανασυντίθενται και ενσωματώνονται σε μεγάλα εδαφικά τεμαχίδια, με αποτέλεσμα το κλάσμα της αργίλου να μειώνεται σημαντικά [22]. Επίσης, η υφή μπορεί να επηρεασθεί έμμεσα και μετά την πυρκαγιά, λόγω διάβρωσης και συμπαρασύρσης εδαφικών υλικών.

Η εδαφική δομή, προκύπτει κατά κύριο λόγο, ως αποτέλεσμα σύνδεσης των πρωτογενών κόκκων του ανόργανου εδάφους μέσω των εδαφικών κολλοειδών, δηλαδή τεμαχιδίων με μέγεθος μικρότερο από 1 μm . Τα εδαφικά κολλοειδή μπορεί να είναι είτε ανόργανα, είτε οργανικά.[23] Πολλές φορές απαντώνται σύνθετα τεμαχίδια από ανόργανα και οργανικά συστατικά (εδαφοσύμπλοκα). Η ύπαρξη λοιπόν οργανικού υλικού και συνεπώς οργανικών εδαφικών κολλοειδών, προκαλεί ένα είδος συσσωμάτωσης επηρεάζοντας έτσι τη δομή, τη συνοχή και το πορώδες [20]. Στο ανώτερο στρώμα του εδάφους η συσσώρευση οργανικού υλικού το καθιστά κυρίαρχο έναντι του ανόργανου υλικού. Φυσικά, βαθύτερα στο εδαφικό προφίλ, η εδαφική δομή δείχνει να εξαρτάται περισσότερο από τα εδαφικά ανόργανα χαρακτηριστικά. Η σύνδεση των κόκκων του ανόργανου εδάφους μέσω οργανικών ουσιών και η δημιουργία συσσωματωμάτων, μεταβάλλει την εδαφική δομή αυξάνοντας το πορώδες και μειώνοντας την πυκνότητα. Έτσι η πυκνότητα καλά δομημένων εδαφών πλούσιων σε οργανικά, είναι γενικά μικρότερη από αυτά που περιέχουν πολύ λίγο οργανικό υλικό. Η φωτιά επηρεάζει και τις δύο παραπάνω συνιστώσες, αλλά με διαφορετικό τρόπο. Τα ορυκτά του εδάφους μπορούν ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες να μην καταστραφούν οριστικά. Η θερμοκρασία πρέπει να είναι 460°C ή και περισσότερο για να προκληθεί απώλεια ριζών OH^- στο έδαφος. Μόνιμη καταστροφή στις ένυδρες φάσεις των ορυκτών προκαλούνται σε θερμοκρασίες άνω των 980°C. Σημειώνεται πως ένα ώριμο έδαφος στα πρώτα εκατοστά τις επιφάνειάς του αποτελείται από ανόργανο υλικό σε ποσοστό λιγότερο του 5%. Αν η ποσοστιαία αναλογία του ανόργανου υλικού είναι πολύ μεγαλύτερη λόγω κάποιων συνθηκών όπως εκτεταμένη επιφανειακή διάβρωση, ανώριμο έδαφος κτλ, τότε το έδαφος αυτό μπορεί να καταστραφεί μόνο μετά από πυρκαγιές υψηλής έντασης. Η επίδραση της φωτιάς στην οργανική συνιστώσα της εδαφικής δομής είναι διαφορετική από την ανόργανη. Η καταστροφή της οργανικής ύλης ξεκινά σε χαμηλές θερμοκρασίες, γύρω στους 200°C και έχει ολοκληρωθεί στους 500°C. Η οργανική ύλη είναι συγκεντρωμένη στο ανώτερο τμήμα του εδαφικού προφίλ και συνεπώς είναι άμεσα εκτεθειμένη στη θερμότητα που μεταφέρεται προς τα κάτω κατά την καύση των υλικών που βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους. Έτσι, λόγω της θέσης και λόγω της ευαισθησίας του οργανικού υλικού, μεταβολές στην εδαφική δομή μπορούν να παρατηρηθούν και σε περιπτώσεις πυρκαγιών χαμηλής έντασης. Είναι προφανές ότι το μέγεθος των μεταβολών αυτών αυξάνεται με την αύξηση της έντασης της φωτιάς. Η διάρκεια των επιδράσεων της φωτιάς στην εδαφική δομή μπορεί να είναι από ένα έτος μέχρι πολλές δεκαετίες και εξαρτάται από την ένταση της φωτιάς, το ρυθμό ανάκαμψης, οποίος εξαρτάται από τις φυσικές συνθήκες, τη μεταπυρική χρήση της γης και τα μέτρα αποκατάστασης που ίσως εφαρμόζονται. Η ανάκαμψη από χαμηλής έντασης φωτιές σε υγρές περιοχές είναι πολύ γρήγορη ενώ σε περιοχές μεγάλου υψομέτρου με έντονες φωτιές, η ανάκαμψη γίνεται με πολύ αργούς ρυθμούς, όπως έδειξαν και μετρήσεις που έγιναν χαρακτηριστικά στη νότιο-δυτική Αμερική [20].

5.2.Πορώδες

Το πορώδες (porosity), δηλαδή το σύνολο των πόρων του εδάφους, είναι το μέσο για την κίνηση του νερού και του αέρα μέσα από το σώμα του εδάφους.

Τα καλά δομημένα εδάφη περιέχουν σε ισορροπία μακροπόρους (>0,6 mm σε διάμετρο) και μικροπόρους (<0,6 mm σε διάμετρο). Αυτή η ισορροπία αφήνει το νερό και τον αέρα να μετακινούνται γρήγορα μέσα στο έδαφος μέσω των μακροπόρων, ενώ παράλληλα συγκρατεί νερό λόγω τριχοειδών φαινομένων στους μικροπόρους (τριχοειδές νερό). Έχει εκτιμηθεί πως τα πιο παραγωγικά εδάφη είναι αυτά που έχουν περίπου ίση κατανομή μεταξύ μάκρο- και μικρο- πόρων, καθώς αυτά εξασφαλίζουν τις καλύτερες συνθήκες υγρασίας και αερισμού [24]. Οι μακροπόροι αποτελούν το ενεργό πορώδες και είναι καθοριστικής σημασίας παράγοντας για την διείσδυση του νερού των κατακρημνισμάτων στο έδαφος. Επίσης, οι μακροπόροι είναι οι κύριοι υπεύθυνοι για τον αερισμό του εδάφους. Τα εδάφη με σημαντικό πορώδες (ενεργό) μπορούν να ανανεώσουν εύκολα τον εδαφικό αέρα, έχουν δηλαδή υψηλή αεροϊκανότητα. Αυτά τα εδάφη εξασφαλίζουν καλές συνθήκες για την ανταλλαγή του εδαφικού αέρα με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Καθώς ο εδαφικός αέρας είναι συνήθως φτωχότερος σε O₂ από τον ατμοσφαιρικό [24], η ανταλλαγή αυτή είναι απαραίτητη τόσο για τον εμπλουτισμό του εδάφους με O₂, όσο και για την απομάκρυνση του CO₂, που παράγεται κυρίως από την αποσύνθεση του οργανικού υλικού και τις μικροβιακές διεργασίες που συμβαίνουν στο έδαφος.

Η φωτιά και η συνεπαγόμενη θέρμανση του εδάφους, καταστρέφει την δομή του εδάφους, επηρεάζοντας το πορώδες και ειδικά το μέγεθος και την κατανομή των πόρων στην επιφάνεια του εδάφους [20]. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση του πορώδους και του μεγέθους του πόρων. Επίσης, η είσοδος της στάχτης στους πόρους, προκαλεί έμφραξη (ειδικά στους πιο μικρούς πόρους) με συνέπεια την περαιτέρω μείωση του πορώδους [21]. Η μείωση και η έμφραξη των επιφανειακών πόρων μειώνουν την διηθητική ικανότητα του εδάφους αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο την επιφανειακή απορροή και την διάβρωση. Επιπρόσθετα, η μεταβολή και η καταστροφή του εδαφικού οργανικού υλικού μπορούν να οδηγήσουν στον σχηματισμό υδροφοβων εδαφών, μειώνοντας ακόμα περισσότερο την διηθητική ικανότητα του εδάφους.

5.3.Θερμική Αγωγιμότητα και Θερμοχωρητικότητα

Οι δύο αυτές ιδιότητες του εδάφους επηρεάζονται από τις δασικές πυρκαγιές έμμεσα (οι πυρκαγιές καταναλώνουν το εδαφικό οργανικό υλικό). Η θερμική αγωγιμότητα επηρεάζεται πολύ από την ύπαρξη οργανική ύλης στο έδαφος. Γενικά, η αγωγιμότητα μειώνεται όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε οργανική ύλη [25]. Έτσι, σε περιοχές πρόσφατα καμένες, οι υψηλές θερμοκρασίες, λόγω ηλιακής ακτινοβολίας, μπορούν να φτάσουν σε αρκετά μεγάλο βάθος σε σχέση με αντίστοιχες δασωμένες, προξενώντας προβλήματα σε εδαφικούς μικροοργανισμούς και φυτικές ρίζες. Αντίστοιχα η θερμοχωρητικότητα, επηρεάζεται έμμεσα από τις δασικές πυρκαγιές, λόγω απώλειας του εδαφικού οργανικού υλικού. Η ύπαρξη οργανικής ύλης στο έδαφος αυξάνει την θερμοχωρητικότητα του εδάφους [26] και γι' αυτό σε πρόσφατα καμένες περιοχές, οι θερμοκρασίες του εδάφους, την περίοδο του καλοκαιριού, μπορούν να φτάσουν τους 70-80°C, αποτελώντας σοβαρό εμπόδιο στην φυσική αναγέννηση [25]. Φυσικά, οι δύο αυτές ιδιότητες του εδάφους εξαρτώνται αρκετά και από την υφή και δομή του εδάφους, καθώς και από την περιεκτικότητά του σε νερό.

5.4. Συγκράτηση Νερού

Η ικανότητα συγκράτησης του νερού (water retention capacity) είναι μια σημαντική εδαφική ιδιότητα, που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την γονιμότητά του [24]. Το νερό μέσα στο έδαφος διακρίνεται σε νερό βαρύτητας, τριχοειδές και υγροσκοπικό [23]. Το νερό βαρύτητας απομακρύνεται αμέσως από το έδαφος μέσω της βαρύτητας, με στράγγιση, μέσω των μακροπόρων. Το υγροσκοπικό νερό βρίσκεται με την μορφή υδρατμών και προσκολλάται πολύ ισχυρά στα μόρια του εδάφους και ειδικά στα κolloειδή. Το τριχοειδές, μαζί με το υγροσκοπικό, είναι το νερό που συγκρατείται στους μικροπόρους. Στο κορεσμένο έδαφος, η αναλογία νερού βαρύτητας, τριχοειδούς και υγροσκοπικού είναι 90%, 9,9% και 0,1% κατά μέσο όρο αντίστοιχα [27]. Εξ αιτίας της πολύ μικρής αναλογίας του υγροσκοπικού, σε σχέση με τα υπόλοιπα είδη του εδαφικού νερού, το υγροσκοπικό συχνά συγκαταλέγεται με το τριχοειδές σε μία κατηγορία. Συνεπώς, το 10% περίπου του εδαφικού νερού κορεσμένου εδάφους, συγκρατείται στους μικροπόρους λόγω τριχοειδών δυνάμεων. Αυτές οι δυνάμεις είναι τόσο πιο ισχυρές όσο μικρότεροι είναι οι μικροπόροι. Έτσι, η ικανότητα συγκράτησης (τριχοειδούς) νερού ανά μονάδα όγκου εδάφους (υδατοϊκανότητα) εξαρτάται από το μέγεθος των μικροπόρων[20]. Μάλιστα, το συγκρατηθέν αυτό νερό είναι ουσιαστικά το διαθέσιμο εδαφικό νερό για τα φυτά και είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξή τους. Για αυτό το λόγο, το όριο υδατοϊκανότητας του κάθε εδάφους καθορίζει σε πολύ μεγάλο βαθμό την παραγωγικότητά του[27]. Η οργανική ύλη στο έδαφος, μεταβάλλει την δομή και το πορώδες του με αποτέλεσμα να επηρεάζει και την υδατοϊκανότητα (γενικά αυξάνεται παρουσία οργανικού υλικού και λόγω των οργανικών εδαφικών κolloειδών,[23]. Συνεπώς, η καταστροφή του οργανικού υλικού από την φωτιά, μεταβάλλει την εδαφική δομή και μειώνει τα οργανικά κolloειδή, με αποτέλεσμα την δραστηκή μείωση της ικανότητας συγκράτησης του νερού από το έδαφος [20]. Βέβαια, η ικανότητα συγκράτησης νερού εξαρτάται πολύ και από τις συνθήκες πριν την πυρκαγιά, την σύσταση του εδάφους, από την μορφή και το είδος της βλάστησης και τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Πριν τη φωτιά, τα φυτά προσροφούν ένα μεγάλο μέρος τριχοειδούς νερού, εκ του οποίου η συντριπτική πλειονότητα χάνεται μέσω της εξατμισοδιαπνοής (E/Δ) των φυτών, μειώνοντας έτσι την φυσική εδαφική υγρασία. Το νερό βαρύτητας (για την συνήθη περίπτωση όπου το έδαφος είναι ακόρεστο και πάνω από την στάθμη του υπόγειου υδροφορέα) χάνεται είτε με καθείσδυση, είτε με υποδερμική ροή (interflow, subsurface stormflow), [28]. Έτσι, το έλλειμμα μεταξύ της φυσικής υγρασίας και υδατοϊκανότητας είναι μεγάλο για μια φυτοκαλυμμένη έκταση, σε σχέση με το αντίστοιχο μίας πρόσφατα καμένης έκτασης, όπου η βλάστηση απουσιάζει. Έτσι, μετά την φωτιά, λόγω απουσίας βλάστησης, η ικανότητα αποθήκευσης νερού από το έδαφος, είναι πολύ μειωμένη, με αποτέλεσμα πολύ μικρότερα ύψη βροχής να φέρνουν το έδαφος σε κορεσμό και να δημιουργούν έντονες επιφανειακές απορροές και πλημμύρες. Γενικά, έχει παρατηρηθεί πως η φωτιά προκαλεί μια

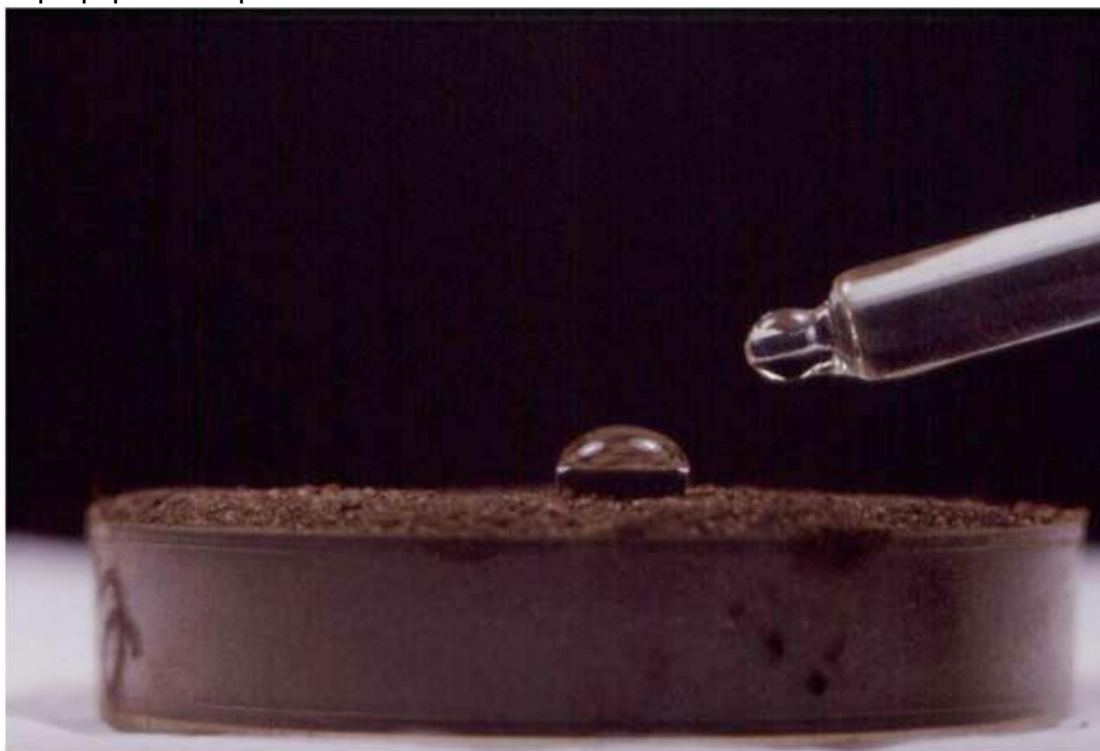
ομογενοποίηση της περιοχής ως προς την ικανότητα συγκράτησης νερού του εδάφους.

5.5.Απωθητικότητα Νερού

Η απωθητικότητα του νερού ή υδροφοβικότητα είναι μία εδαφική ιδιότητα που επηρεάζεται πολύ από την φωτιά. Ανεξάρτητα από την φωτιά, υπάρχουν εδάφη που απωθούν έντονα το νερό, που λέγονται υδρόφοβα. Τα περισσότερα ξηρά εδάφη έχουν μεγάλη ικανότητα να απορροφούν νερό. Έτσι, αν προστεθεί νερό στην επιφάνεια ενός ξηρού εδάφους, αυτό αμέσως θα διεισδύσει μέσα στο έδαφος. Αντίθετα, σε υδρόφοβα εδάφη, οι σταγόνες του νερού δεν απορροφούνται παρά μένουν στην επιφάνειά του σαν σφαιρίδια (εικόνα 5.1). Αυτό συμβαίνει γιατί οι δεσμοί μεταξύ των μορίων του νερού και αυτών της επιφάνειας του εδάφους. Κάποια αίτια που συμβαίνει αυτό, φαίνονται παρακάτω[20]:

- Μόνιμη, μη αναστρέψιμη ξήρανση οργανικού υλικού.
- Οργανικό υλικό από υπολείμματα και επιφανειακή βλάστηση στην επιφάνεια του εδάφους, δημιουργεί υδρόφοβο στρώμα, ειδικά σε τραχιά, αμμώδη εδάφη.
- Υδρόφοβα οργανικά προϊόντα που εκκρίνονται από βακτηριδιακούς, εδαφικούς μικροοργανισμούς (π.χ. *mycelium*), ειδικά σε τραχιά αμμώδη εδάφη.
- Ανάμιξη υδρόφοβου οργανικού υλικού με υδρόφοβα ορυκτά.
- Θέρμανση οργανικού υλικού και μίξη με υδρόφοβα ανόργανα ορυκτά.

Από το τελευταίο αίτιο, γίνεται φανερό πως η φωτιά και η συνεπαγόμενη θέρμανση του οργανικού υλικού του εδάφους, επηρεάζει και μάλιστα αυξάνει την απωθητικότητα του νερού από το έδαφος και συμβάλλει στο σχηματισμό υδρόφοβων εδαφών.



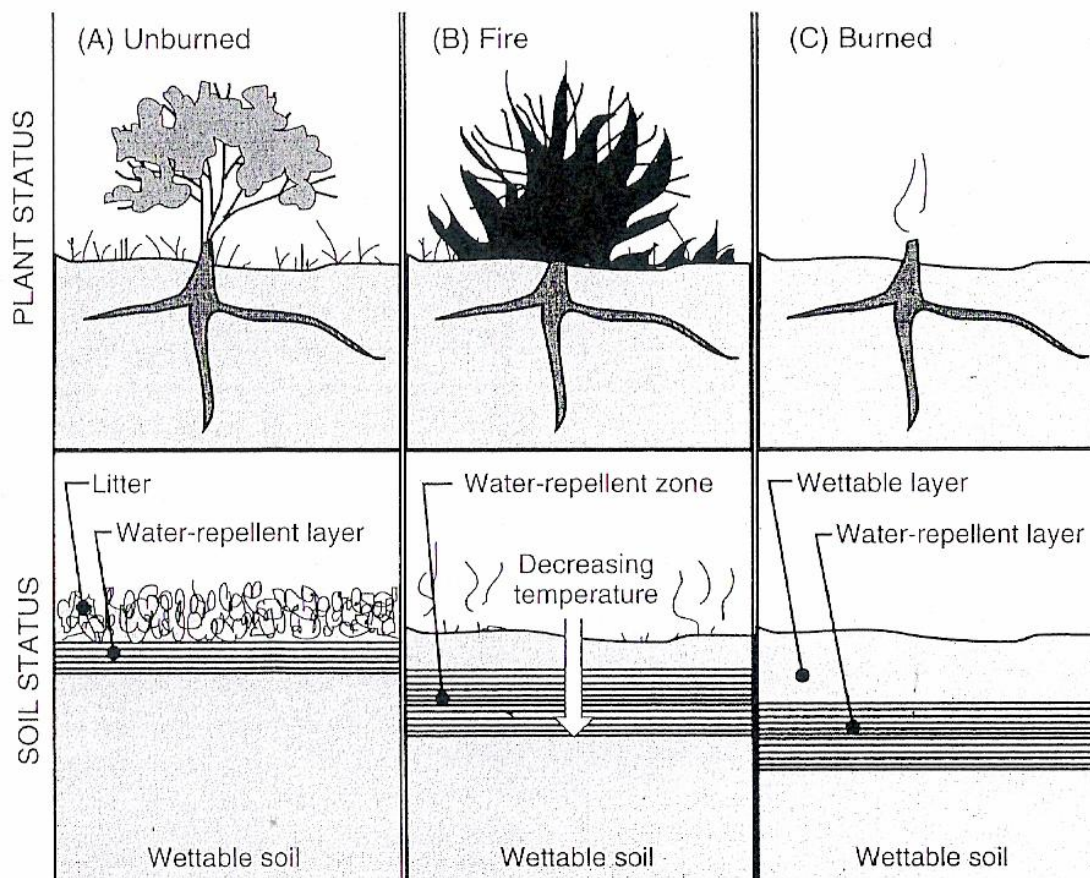
Εικ. 5.1. Εργαστηριακή αναπαράσταση της εδαφικής υδροφοβικότητας

Υδροφοβικότητα και φωτιά

Μετά τη φωτιά, η απωθητικότητα του νερού από το έδαφος, φαίνεται σαν μία γραμμή, στην επιφάνεια του εδάφους ή λίγα εκατοστά κάτω από αυτήν και παράλληλα προς αυτήν (σχ. 3.4). Συνήθως, η γραμμή αυτή βρίσκεται κάτω από ένα λεπτό στρώμα πολύ καμένου εδάφους ή ένα στρώμα στάχτης. Η γραμμή αυτή της απώθησης του νερού έχει περιγραφεί με τον όρο “tin roof effect” .

Γενικά, η θέρμανση εδαφών με οργανικό υλικό περισσότερο από 2-3%, σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 176°C, μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό υδρόφοβων φάσεων [24].

Το οργανικό υλικό που συσσωρεύεται στην επιφάνεια του εδάφους στις χρονικές περιόδους παύσεων μεταξύ των πυρκαγιών, προκαλεί τον σχηματισμό υδρόφοβων φάσεων στο ανώτερο τμήμα του εδάφους. Ακόμα, η ανάπτυξη των μυκήτων στην επιφάνεια του εδάφους, μπορεί επίσης να ενισχύσει την υδροφοβικότητα στα ανώτερα στρώματα του εδάφους, πολύ κοντά στην επιφάνεια ή και πάνω σε αυτήν (σχ. 5.1.(A)). Η επιφανειακή υδροφοβικότητα είναι πιο ασθενής από αυτήν που σχηματίζεται από την πυρκαγιά. Έχει μικρότερο πάχος και δεν είναι συνεχής σε όλη την επιφάνεια, αφήνοντας πόρους και επιτρέποντας την διήθηση [25].



Σχήμα 5.1. Οι μεταβολές στην υδροφοβικότητα κατά τη φωτιά και η γραμμή απώθησης του νερού στο (A) προπυρικό, (B) κατά την διάρκεια της φωτιάς και το (C) μεταπυρικό στάδιο [20]

Όταν το επιφανειακό στρώμα της βλάστησης και των οργανικών υπολειμμάτων που κείται στην επιφάνεια του εδάφους καίγεται, τα ανώτερα στρώματα του εδαφικού προφίλ εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες. Μεγάλα ποσά θερμότητας ελευθερώνονται όταν η καύσιμη δασική ύλη καίγεται σε συνθήκες πυρκαγιάς υψηλής έντασης. Μόνο το 10% της ενέργειας αυτής ακτινοβολείται προς τα κάτω, θερμαίνοντας το έδαφος. Ωστόσο, το ποσοστό αυτό είναι ικανό να θερμάνει αρκετά την επιφάνεια και τα ανώτερα στρώματα του εδάφους και να αναφλέξει την οργανική ύλη στην επιφάνεια. Σε ένα θαμνώδες οικοσύστημα, σε ακραίες περιπτώσεις, η θερμοκρασία μπορεί να φθάσει τους 1090°C στους φλεγόμενους θάμνους και τους 850°C στην επιφάνεια τους εδάφους. Σε ξηρά εδάφη, σε βάθος 5 cm η θερμοκρασία σπάνια ξεπερνά τους 150°C καθώς το ξηρό έδαφος είναι καλός μονωτής [20]. Ο συνδυασμός της ανάφλεξης στην επιφάνεια και η μεταφορά θερμότητας από επάνω, οδηγεί σε μία κλιμακωτή αύξηση της θερμοκρασίας των ανωτέρων στρωμάτων του εδάφους. Το οργανικό υλικό, κυρίως λόγω των αναφλέξεων στην επιφάνεια του εδάφους, εξαερώνεται και προχωρά προς τα κάτω μέχρι τα ψυχρότερα στρώματα όπου και συμπυκνώνεται (σχ. 5.1.(C)). Η απώθηση του νερού από το έδαφος, σε διαφορετικά βάθη, εντείνεται με την θέρμανση, καθώς το οργανικό υλικό θερμαίνεται σε τέτοιο βαθμό, ώστε τα μόρια του οργανικού υλικού να συνδέονται χημικά με τους κοντινούς κόκκους του ανόργανου εδάφους. Η μετατόπιση της γραμμής απώθησης του νερού (υδρόφοβο στρώμα) προς τα κάτω, μέσα στο έδαφος, συμβαίνει κατά τη διάρκεια της φωτιάς. Μετά το τέλος της φωτιάς, η συνεχής μεταφορά της θερμότητας προς τα κάτω μέσω του εδάφους μπορεί να επηρεάσει με την σειρά της την απωθητικότητα του νερού σε διάφορα βάθη, επιδρώντας έτσι στο πάχος του υδρόφοβου στρώματος.

Γενικά, η φωτιά είναι δυνατόν να αυξήσει την υδροφοβικότητα του εδάφους, αφού μπορεί:

- Να εξαερώσει υδρόφοβες οργανικές ουσίες από την επιφάνεια, οι οποίες συμπυκνώνονται χαμηλότερα σε ψυχρότερα εδαφικά στρώματα.
- Να πολυμερίσει οργανικές ενώσεις σε περισσότερο υδροφοβικές.
- Να βελτιώσει τους δεσμούς των κόκκων του εδάφους.
- Να απομονώσει και ανακαταλείψει στο εδαφικό μείγμα υδρόφοβες-αδιάβροχες ουσίες που προέρχονται από την οργανική ύλη.

Σχέσεις θερμοκρασιών και υδροφοβικότητας

Οι σχέσεις μεταξύ θερμοκρασιών και απώθησης του νερού φαίνονται παρακάτω ως εξής [20]:

- Η απωθητικότητα του νερού επηρεάζεται ελάχιστα όταν στο έδαφος αναπτύσσονται θερμοκρασίες μικρότερες των 176°C.
- Έντονη ζώνη απώθησης (υδρόφοβο στρώμα) σχηματίζεται μεταξύ 176-204°C.
- Καταστροφή της απωθητικότητας παρατηρείται για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 288°C.

Επειδή κατά την καύση, η συγκέντρωση του οξυγόνου μειώνεται, το οργανικό υλικό μπορεί να μην καεί, αλλά να πυρολυθεί. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το υδρόφοβο στρώμα μπορεί να καταστραφεί σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 500 ή και 600°C.

Η φωτιά, γενικά, καταστρέφει την επιφανειακή υδροφοβικότητα και την ενισχύει σε βαθύτερα στρώματα (subsurface repellency). Αυτό συμβαίνει γιατί

οι περισσότερες δασικές πυρκαγιές (μετρίας και υψηλής έντασης) αναπτύσσονται θερμοκρασίες στην επιφάνεια του εδάφους της τάξης των 250 και 300°C. Αυτό όμως δεν συμβαίνει πάντα, καθώς σε συνθήκες καύσης με περιορισμένο οξυγόνο, η πυρόλυση του οργανικού υλικού μπορεί να ενισχύσει κατά πολύ την επιφανειακή υδροφοβικότητα [25].

Το υδρόφοβο στρώμα, με πάχος που ποικίλλει, παραμένει και μετά τη φωτιά. Η ύπαρξη του στρώματος αυτού σε κάποιο βάθος, επιτρέπει την διήθηση σε περιορισμένο βάθος μέσα στο έδαφος (μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και του υδρόφοβου στρώματος). Το βάθος και το πάχος του εξαρτώνται από τους παρακάτω παράγοντες [20]:

□ *Ένταση της φωτιάς*. Όσο πιο έντονη είναι η φωτιά, τόσο πιο βαθιά προχωρά το υδρόφοβο στρώμα, εκτός και αν οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο έδαφος είναι τόσο υψηλές, ώστε να έχουμε ολοκληρωτική καταστροφή του εδαφικού οργανικού υλικού.

□ *Τύπος και ποσότητα της οργανικής ύλης*. Πρέπει να υπάρχει αρκετή ποσότητα οργανικού υλικού στο έδαφος για να δημιουργηθούν υδρόφοβες φάσεις. Οι περισσότεροι τύποι φυτών και μυκήτων μπορούν να σχηματίσουν τέτοιες φάσεις.

□ *Η κλιμάκωση της αύξησης της θερμοκρασίας στο έδαφος*. Απότομη αύξηση της θερμοκρασίας σε ξηρό έδαφος προκαλεί έντονη μετατόπιση (προς τα κάτω) του υδρόφοβου στρώματος.

□ *Σύσταση του εδάφους*. Αμμώδη εδάφη φαίνεται να είναι πιο επιρρεπή στο να σχηματίζουν υδρόφοβες Ωστόσο, και τα πηλώδη αναφέρονται ως έντονα υδροφοβικά[20].

□ *Περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό*. Το νερό, σαν καλός αγωγός της θερμότητας, επεμβαίνει στην μεταφορά της θερμότητας και στην συμπύκνωση των οργανικών ουσιών προς σχηματισμό υδρόφοβων φάσεων. Αντίθετα, ως υλικό μεγάλης θερμοχωρητικότητας, παίζει ρόλο στην κλιμάκωση της θερμοκρασίας του εδάφους. Οι οργανικές ουσίες στο έδαφος προκαλούν απωθητικότητα στο νερό και σε συνθήκες πυρκαγιάς και όχι. Άλλωστε η υδροφοβικότητα είναι ένα φυσικό φαινόμενο, που παρουσιάζεται στα ανώτερα τμήματα του εδάφους (κοντά στην επιφάνεια) και μάλιστα μπορεί να είναι αρκετά έντονη σε δάση που έχουν μείνει άκαυτα για πολύ καιρό (>150 έτη, [25]. Η χημική σύνθεση λοιπόν, αυτών των οργανικών ουσιών γενικά δεν είναι ξεκάθαρη. Ωστόσο κάποιες από αυτές τις ουσίες έχουν προσδιοριστεί [20]:

a) Αλειφατικοί μακρομοριακοί υδρογονάνθρακες.

b) Οργανικά οξέα (χουμικά) που εκκρίνουν μικρόβια και μύκητες του εδάφους.

c) Πολυθενική μέταλλα συνδεδεμένα με οργανικά.

d) Ριζοσπαστικές οργανικές ουσίες.

e) Πολύπλοκοι εστέρες μεταξύ φαινολικών οξέων και πολυσακχαριδίων.

Υδροφοβικότητα και δομική ευστάθεια

Φυσικά, η υδροφοβικότητα των εδαφών, δεν είναι πάντα ένα ανεπιθύμητο χαρακτηριστικό. Όπως προαναφέρθηκε, είναι ένα γνώρισμα του εδάφους που αναπτύσσεται τόσο σε συνθήκες φωτιάς, όσο και όχι. Η υδροφοβικότητα, όταν δεν είναι πολύ έντονη, μπορεί να είναι ωφέλιμη και να συνεισφέρει στην ευστάθεια και την συνοχή του εδάφους. Αυτό το όφελος βέβαια, προκύπτει για συνθήκες περιβάλλοντος, μακριά από πυρκαγιές.

Η εδαφική δομή είναι ένας καθοριστικός παράγοντας για την παραγωγικότητα και τις σχέσεις εδάφους-νερού, τόσο σε γεωργικά όσο και σε δασικά εδάφη.

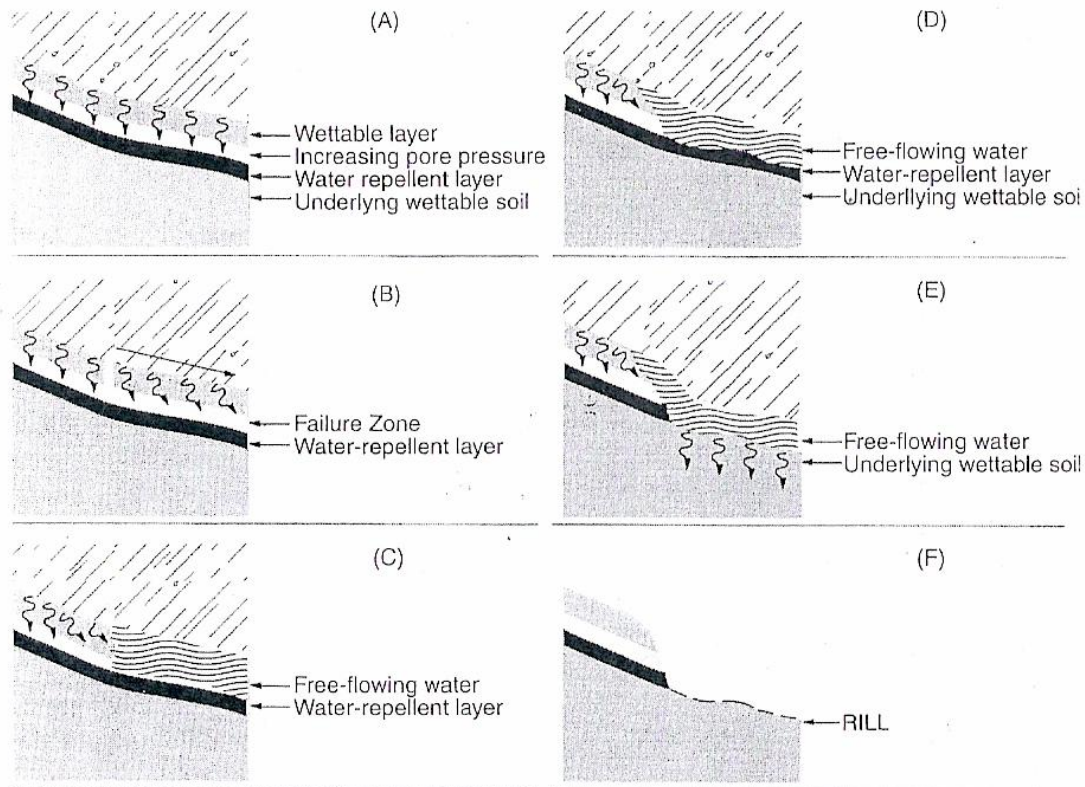
Αυξημένη διηθητικότητα, σε καλά δομημένα εδάφη, μειώνει την τάση του εδάφους για διάβρωση. Ακόμα, η αλληλεπίδραση του οργανικού υλικού με το ανόργανο έδαφος, επιδρά στην ικανότητα δέσμευσης κατιόντων του εδάφους. Το οργανικό υλικό συνδέει τους πρωτογενείς κόκκους του ανόργανου εδάφους μεταξύ τους καθορίζοντας έτσι την εδαφική δομή. Το οργανικό υλικό αποτελείται από ζωντανούς οργανισμούς (φυτικούς και ζωικούς) αλλά και από νεκρή οργανική ύλη η οποία αποσυντίθεται, παράγοντας έτσι οργανικές ουσίες που συνδέουν μεμονωμένα εδαφικά σωματίδια. Φυσικές διαδικασίες, όπως η συμπίεση και η αλλοίωση των εδαφικών σχηματισμών, καθώς το νερό παγώνει και ξεπαγώνει και το έδαφος υγραίνεται και ξηραίνεται, μπορούν επίσης να προκαλέσουν συσσωματώσεις. Η αφθονία των κατιόντων σε αλατούχα και αλκαλικά υλικά οδηγούν σε ισχυρές δομές κρυσταλλικής φύσεως. Οι υδροφοβες φάσεις, ενισχύουν την εδαφική δομή, αυξάνοντας την αντίσταση στην αποσύνθεσή της, όταν το έδαφος υγραίνεται. Αν και τα συσσωματώματα που δημιουργούνται είναι υδρόφοβα, η δημιουργία πολλών μακροπόρων οδηγεί σε πολύ γρήγορη διήθηση και διείσδυση του νερού μέσα στο εδαφικό σώμα. Αν όμως, τα σωματίδια του εδάφους καλυφθούν πλήρως από υδρόφοβες φάσεις, τότε ολόκληρο το σύστημα γίνεται πολύ υδρόφοβο. Αυτό οδηγεί σε έντονη υδροφοβικότητα, περιορίζοντας κατά πολύ την ικανότητα διήθησης και αυξάνοντας την επιφανειακή απορροή και την διάβρωση. Η υδροφοβικότητα που δημιουργείται από φωτιές χαμηλής και μέσης έντασης, είναι συνήθως μικρότερης διάρκειας από φωτιές υψηλής έντασης. Για παράδειγμα, η υδροφοβικότητα που δημιουργήθηκε από φωτιά χαμηλής έντασης σε δάση στο ΝΔ Oregon αργά την άνοιξη, άρχισε να επιτρέπει φυσιολογική διήθηση την περίοδο των πρώτων βροχών στις αρχές του φθινοπώρου. Η ικανότητα απορρόφησης και συγκράτησης νερού από το έδαφος, όταν αυτό καίγεται από χαμηλής έντασης φωτιές, ανακάμπτει πολύ γρήγορα την στιγμή που μια φωτιά υψηλής έντασης μπορεί να οδηγήσει σε ανάκαμψη μετά από χρόνια ανάλογα βέβαια και τις συνθήκες (ένταση φωτιάς, βάθος υδρόφοβου στρώματος, προπυρική υδροφοβικότητα, τύπος εδάφους, ορυκτά κ.α.). [20]

Επίδραση υδροφοβικότητας σε διήθηση και απορροή

Δύο σημαντικές διαδικασίες διάβρωσης ακολουθούν μια πυρκαγιά: 1) ξηρός θρυμματισμός και απόσπαση υλικών από το έδαφος και 2) δημιουργία αυλακιών στα οποία αποσπώνται και μεταφέρονται υλικά μέσω της απορροής του νερού μέσα σε αυτά. Ο θρυμματισμός και η απόσπαση των υλικών σε ξηρές συνθήκες, γίνεται κατά την διάρκεια της φωτιάς και αμέσως μετά από αυτήν, σε απότομες πλαγιές όπου με την επίδραση της βαρύτητας μετακινούνται υλικά προς τα κάτω. Η δημιουργία αυλακιών συμβαίνει όταν η βροχή υπερβαίνει τον ρυθμό διήθησης και προκαλεί επιφανειακή απορροή. Οι πυρκαγιές υψηλής έντασης, καίγοντας πλήρως την παρεδάφια βλάστηση και τους θάμνους, ελευθερώνουν υλικά, συχνά σημαντικών διαστάσεων, που κατεβαίνουν στα ρέματα στην βάση των πλαγιών και ή παραμένουν εκεί ή παρασύρονται προς τα κατόπι του ρέματος, ανάλογα την παροχή του και τις διαστάσεις τόσο του ρέματος, όσο και του θραύσματος.

Αξίζει να σημειωθεί πως μετά από πυρκαγιά, οι πρώτες καταιγίδες θα δημιουργήσουν ένα εκτεταμένο δίκτυο μικρών αυλακιών. Η δημιουργία των αυλακιών αυτών φαίνεται πως έχει άμεση σχέση με την υδροφοβικότητα (σχ. 5.2,[20]. Σε μια τομή κατά μήκος των αυλακιών αυτών, βλέπουμε πως ο

πυθμένας τους φτάνει μέχρι το υδρόφοβο στρώμα. Έτσι, όσο πιο βαθύ είναι το υδρόφοβο στρώμα, τόσο πιο βαθιά γίνονται τα αυλάκια.

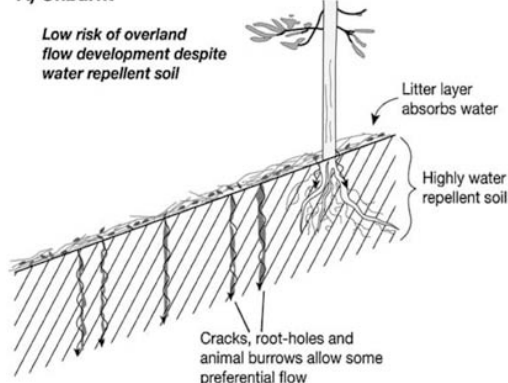


Σχήμα 5.2. Διαδικασία σχηματισμού αυλακιών σε πρόσφατα καμένο έδαφος, μετά τα πρώτα επεισόδια βροχής [20].

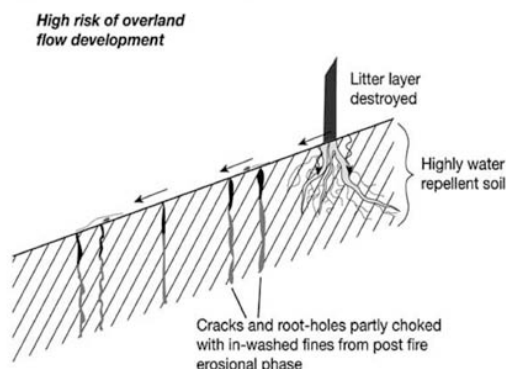
Το νερό δεν διεισδύει σε όλο το εδαφικό προφίλ αλλά μέχρι να συναντήσει το υδρόφοβο στρώμα. Αυτή η περιορισμένη διεισδυτικότητα συμβαίνει σχεδόν ομοιόμορφα σε όλο το τοπίο, ανάλογα όμως την ένταση και την έκταση της φωτιάς, και όταν το διηθούμενο νερό φτάσει στο υδρόφοβο στρώμα, τότε στραγγίζει πλευρικά κατά μήκος των κλίσεων (σχ. 5.2.(Α)). Καθώς η βροχόπτωση συνεχίζει, το νερό γεμίζει τους πόρους που υπάρχουν στο ανώτερο, υγραινόμορο εδαφικό στρώμα, πάνω από το υδρόφοβο, με αποτέλεσμα τον κορεσμό του. Καθώς οι πόροι είναι γεμάτοι και δεν μπορούν να διοχετεύσουν αλλού το νερό, δημιουργείται πίεση πάνω από το υδρόφοβο στρώμα. Αυτή η αυξανόμενη πίεση, οδηγεί σε μείωση της διαμηθικής αντοχής μεταξύ του άνω ορίου του υδρόφοβου στρώματος και του υπερκείμενου κορεσμένου εδάφους. Με την αύξηση της πίεσης των πόρων, η δύναμη συνάφειας μπορεί να μειωθεί τόσο πολύ ώστε στην διεπιφάνεια υδρόφοβου στρώματος-υπερκείμενου εδάφους, όπου και οι πιέσεις είναι μεγαλύτερες, να έχουμε αποκόλληση και το υπερκείμενο έδαφος να ολισθήσει υπό την επίδραση της βαρύτητας (σχ. 5.2(β)). Αν το έδαφος είναι αμμώδες, τότε την στιγμή της αστοχίας, τα σωματίδια του εδάφους αποσυνδέονται μεταξύ τους, κυρίως στην γραμμή αστοχίας και κοντά σε αυτή. Αυτό, επιταχύνει και επεκτείνει την αστοχία κατά μήκος της πλαγιάς (γενίκευση αστοχίας). Όταν πολλοί κόκκοι χάσουν την συνοχή τους, τότε το έδαφος χάνει την αντοχή του και μοιάζει με ρευστό. Αυτή η κατάσταση δημιουργεί μια ροή φερτών στην επιφάνεια του εδάφους, πάνω από το υδρόφοβο στρώμα, προς τα κάτω, προς την βάση της πλαγιάς. Σαν αποτέλεσμα είναι η μεγάλη στερεοαπορροή

και στερεοπαροχή που παρατηρείται στα πρώτα επεισόδια βροχής, που μπορεί να μην είναι πολύ έντονα, σε πρόσφατα πυρόπληκτες περιοχές.

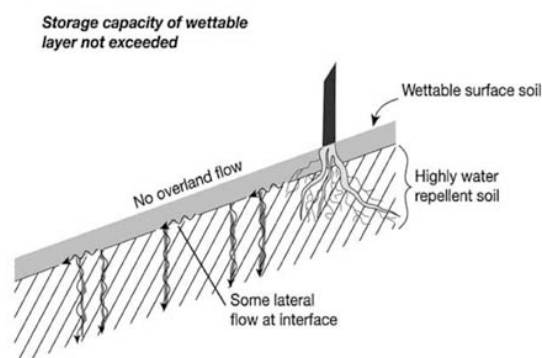
A) Unburnt



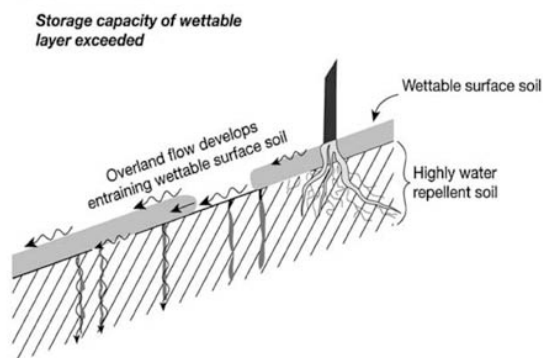
B) Low to moderate severity burn



C) High severity burn



D) High severity burn



Σχήμα 5.3. Επίδραση πυρκαγιών στο “χαμήλωμα” του υδροφόβου στρώματος, με συνέπεια την έντονη διάβρωση και την δημιουργία αυλακιών, κάτι που δεν συμβαίνει στις χαμηλής ή μέτριας έντασης πυρκαγιές.

Το νερό δεν συγκρατείται πλέον παρά ρέει ελεύθερο στα αυλάκια που σχηματίστηκαν από την ροή των φερτών (σχ. 5.2(C)). Το νερό αυτό, δεν μπορεί να διηθηθεί, καθώς από κάτω βρίσκεται το υδρόφοβο στρώμα, οπότε ρέει μέσα στα αυλάκια με ελεύθερη επιφάνεια, διαβρώνοντάς τα. Καθώς η ροή αυτή είναι τυρβώδης, αποσπά και μεταφέρει υλικά του υδρόφοβου στρώματος (διάβρωση υδρόφοβου στρώματος) (σχ. 5.2(D)). Τελικά, το υδρόφοβο στρώμα διαβρώνεται όλο και η ελεύθερη ροή αρχίζει να μειώνεται καθώς αρχίζει η διήθηση στο υγραινόμενο έδαφος κάτω από το έντονα διαβρωμένο υδρόφοβο στρώμα. Η επιφανειακή ροή μειώνεται αρκετά μέχρι που σταματά σε ορισμένες περιπτώσεις ανάλογα και τις εδαφικές συνθήκες (σχ. 5.2(E)). Το τελικό αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός εκτεταμένου δικτύου αυλακιών, συχνά με αρκετό βάθος, των οποίων ο πυθμένας είναι περίπου το κάτω όριο του προϋπάρχοντος υδρόφοβου στρώματος (σχ. 5.2(F)). Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να μην ολοκληρωθεί σε μια βροχή και αυτό εξαρτάται από την ένταση και την διάρκεια της βροχής. Η γρήγορη ανάκαμψη της βλάστησης, θεωρείται ως ο κύριος ανασταλτικός παράγοντας έναντι της διάβρωσης, σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία [21]. Όμοια στο σχήμα 5.6., φαίνεται ο παραπάνω μηχανισμός διάβρωσης, μόνον όμως για την πυρκαγιά υψηλής έντασης, όπου το υδρόφοβο στρώμα χαμηλώνει αρκετά κάτω από την εδαφική επιφάνεια. Στις πυρκαγιές χαμηλής ή μέτριας έντασης,

η διήθηση δεν επηρεάζεται τόσο από το σχηματισμό υδρόφοβου εδάφους, που υπάρχει και προπυρικά ακριβώς κάτω από της επιφάνεια του εδάφους, αλλά από το φράξιμο, λόγω της ροής λεπτόκοκκων φερτών και των διόδων στο υδρόφοβο στρώμα, που γίνονται από τις φυτικές ρίζες ή από τους εδαφικούς οργανισμούς. [20]

6.ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΤΙΣ ΧΗΜΙΚΕΣ

ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

6.1 Γενικά

Η εξέταση του εδάφους χημικά αφορά τόσο την οργανική συνιστώσα όσο και την ανόργανη. Οι δύο αυτές συνιστώσες είναι σε μία συνεχή αλληλεπίδραση. Η αλληλεπίδραση αυτή είναι ο κύριος υπεύθυνος για τις περισσότερες χημικές εδαφικές ιδιότητες, όπως το pH, η ικανότητα ιοντοανταλλαγής κτλ. Συγκεκριμένα, η ικανότητα ιοντοανταλλαγής είναι πολύ σημαντική για την θρέψη των φυτών. Η ιδιότητα αυτή εξαρτάται από τα εδαφικά κolloειδή (κυρίως τα οργανικά) τα οποία έλκουν και συγκρατούν τα κατιόντα (ικανότητα προσρόφησης κατιόντων) τα οποία με την σειρά τους συνεχώς αντικαθίστανται[23]. Επίσης, οι διαδικασίες για τη ρύθμιση και ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών, την διαθεσιμότητά τους καθώς και τις απώλειες τους λόγω πτητικότητας είναι πρωταρχικής σημασίας για την περιγραφή και μελέτη της χημείας του εδάφους.

Οι χημικές επιδράσεις της φωτιάς στο έδαφος οφείλονται κυρίως στην καύση της οργανικής ύλης [20], που απαντάται στους ανώτερους εδαφικούς ορίζοντες και την επιφάνεια, αλλά και στην καύση των ανόργανων στοιχείων (σε φωτιές υψηλής έντασης). Στη στάχτη που παράγεται από την φωτιά, η οποία επικάθεται στην επιφάνεια του εδάφους, συμβαίνουν διάφορες διεργασίες. Οι κατακρημνίσεις μπορούν να διαλύσουν την στάχτη και να μεταφέρουν χημικά στοιχεία στο έδαφος, όπου και παραμένουν με την μορφή ιόντων. Επίσης, οι κατακρημνίσεις παρασύρουν την στάχτη, δημιουργώντας επιφανειακή απορροή, και μαζί της παρασύρονται και απομακρύνονται από το έδαφος, πολλά θρεπτικά στοιχεία [21]. Μεγάλες απώλειες στοιχείων επίσης, παρατηρούνται κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς λόγω εξαέρωσης ή εξάτμισης (volatilization), ειδικά για το άζωτο [26].

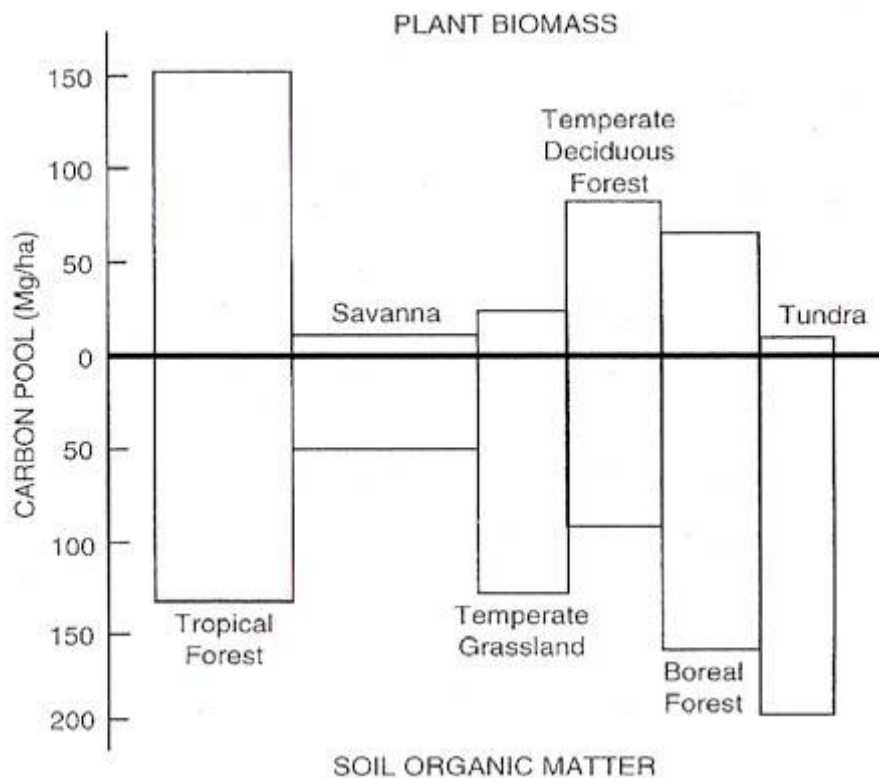
6.2. Το Οργανικό Υλικό

Η οργανική ύλη βρίσκεται στο ανώτερο στρώμα του εδαφικού προφίλ, καθώς και πάνω στην επιφάνειά του [24]. Πάνω από την επιφάνεια, το οργανικό υλικό αποτελείται από νεκρά οργανικά υπολείμματα (φυτικών και ζωικών οργανισμών) σε διάφορα στάδια αποσύνθεσης, καθώς και από ζωντανούς οργανισμούς, όπως η παρεδάφια βλάστηση και οι εδαφικοί μικροοργανισμοί. Από πάνω προς τα κάτω, η (νεκρή) οργανική ύλη βρίσκεται σε συνεχώς εντονότερη αποσύνθεση από μικροοργανισμούς του εδάφους (αποικοδομητές), συνιστώντας στο ανώτατο στρώμα τον δασικό τάπητα[23]. Ο δασικός τάπητας αποτελείται από οργανικό υλικό που είναι πρόσφατο και η κυτταρική δομή του, είναι εύκολα αναγνωρίσιμη καθώς δεν έχει υποστεί έντονη αποσύνθεση (π.χ. ξερά φύλλα). Προχωρώντας χαμηλότερα, η

οργανική παρουσιάζεται συνεχώς πιο άμορφη, χωρίς να αναγνωρίζεται εύκολα η κυτταρική δομή της και αναμεμιγμένη με ανόργανα εδαφικά συστατικά, συνιστώντας τον χούμο. Γενικά, χούμος και τάπητας συνιστούν την οργανική ύλη του εδάφους [24]. Ειδικότερα, μπορεί να χωριστεί στις εξής συνιστώσες [20]:

- Ζωντανή οργανική ύλη (παρεδάφια βλάστηση, ρίζες, μικροοργανισμοί κ.α.)
- Αναγνωρίσιμο φυτικό υλικό που δεν έχει αποσυντεθεί ακόμα (δασικός τάπητας)
- Αποσυντιθέμενο αλλά αναγνωρίσιμο φυτικό υλικό
- Αποσυντιθέμενα τμήματα κορμών σημαντικών διαστάσεων (coarse woody debris) που μένουν είτε στην επιφάνεια, είτε θάβονται.
- Απανθρακωμένα φυτικά τμήματα
- Αποσυντιθέμενο, σε πολύ προχωρημένη κατάσταση, οργανικό υλικό αναμεμιγμένο με ανόργανα εδαφικά υλικά (χούμος).

Αυτές οι συνιστώσες, δεν είναι απαραίτητο να βρίσκονται όλες στα δασικά εδάφη. Αυτό εξαρτάται από το είδος του οικοσυστήματος (τύπος βλάστησης) και τις συνθήκες που επικρατούν. Για παράδειγμα, σε χορτολιβαδικά οικοσυστήματα, χωρίς να υπάρχουν μεμονωμένες συστάδες δέντρων, δεν θα παρατηρήσουμε την συνιστώσα οργανικού υλικού από μεγάλα τμήματα ξύλου. Γενικά, μόνο στα δασώδη οικοσυστήματα θα βρούμε και τις 6 προαναφερθείσες συνιστώσες[20]. Το ποσό της οργανικής ύλης που συσσωρεύεται, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, κυρίως όμως από το είδος της βλάστησης που καλύπτει το έδαφος και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής (θερμοκρασία, υγρασία κ.α.) [23]. Το σχήμα 6.1. μας δείχνει ακριβώς αυτή την ποικιλία παραγωγής οργανικού υλικού από περιοχή σε περιοχή, ανάλογα τις συνθήκες.



Σχήμα 6.1. Κατανομή βιομάζας και εδαφικού οργανικού υλικού σε διαφορετικά οικοσυστήματα [20].

Η αποσύνθεση του οργανικού υλικού γίνεται από μικροοργανισμούς ή αποικοδομητές, που ζουν στο έδαφος και η επιβίωσή τους πολλές φορές εξαρτάται από τις εδαφικές και κλιματικές συνθήκες. Οι ρυθμοί της αποσύνθεσης και συνεπώς και της συσσώρευσης, συνδέονται με την θερμοκρασία και την υγρασία [24]. Μεγάλες συσσωρεύσεις οργανικού υλικού έχουμε όταν οι ρυθμοί αποσύνθεσης είναι χαμηλοί και αυτό συμβαίνει σε ψυχρά και ξηρά κλίματα (τούνδρα). Οι ρίζες και οι μικροοργανισμοί που ζουν συμβιωτικά με αυτές, είναι μια άλλη πηγή οργανικού υλικού για το έδαφος. Ανάλογα με τον τύπο του οικοσυστήματος, ποικίλει το βάθος του ριζοστρώματος και άρα και το βάθος του οργανικού υλικού. Σε δασώδη οικοσυστήματα, το βάθος των ριζών και άρα και του οργανικού υλικού, μπορεί να φτάσει αρκετά μέτρα, σε αντίθεση με τα χορτολιβαδικά που δύσκολα ξεπερνούν το 0,5-1 m [20]. Το οργανικό υλικό που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους, προστατεύει την επιφάνεια από αλλοιώσεις και διάβρωση, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνει την διήθηση, εμποδίζοντας την επίγεια ροή του νερού[23]. Το οργανικό υλικό που βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια, σε κάποιο βάθος, πολλές φορές αναμεμιγμένο με ανόργανα εδαφικά υλικά, συμπεριλαμβάνοντας νεκρές και ζωντανές φυτικές ρίζες, βελτιώνει την εδαφική δομή και τον αερισμό του εδάφους [24]. Αυτό το οργανικό υλικό εκτίθεται λιγότερο στις άμεσες επιδράσεις των δασικών πυρκαγιών.

6.3 Ικανότητα Συγκράτησης και Ανακύκλωσης Θρεπτικών

Τα κύρια θρεπτικά στοιχεία και τα ιχνοστοιχεία είναι δυο κατηγορίες θρεπτικών συστατικών απαραίτητες για την ανάπτυξη των φυτών. Τα κύρια στοιχεία είναι αυτά που απαιτούνται σε μεγάλες ποσότητες και είναι το άζωτο (N), ο φώσφορος (P), το θείο (S), ο σίδηρος (Fe), το ασβέστιο (Ca), το κάλιο (K) και το μαγνήσιο (Mg). Τα ιχνοστοιχεία, όπως ο ψευδάργυρος (Zn), το μαγγάνιο (Mn), το κοβάλτιο (Co), το μολυβδαίνιο (Mo), το νικέλιο (Ni), είναι απαραίτητα σε μικροποσότητες για την ομαλή ανάπτυξη των φυτών (Ντάφης, 1986). Πριν τα κύρια θρεπτικά συστατικά ενσωματωθούν στη κυτταρική βιομάζα, πρέπει να απελευθερωθούν ως ανόργανα ιόντα στο έδαφος. Η διαλυτότητα των ιόντων αυτών (στο εδαφικό μείγμα) εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες [20]:

- Φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους
- Αλληλεπιδράσεις με το εδαφικό οργανικό υλικό
- Μικροβιακή δραστηριότητα

Οι μικροοργανισμοί του εδάφους, εξασφαλίζουν και εντείνουν την ανακύκλωση τόσο των κυρίων θρεπτικών στοιχείων, όσο και των ιχνοστοιχείων, ρυθμίζοντας το pH, σχηματίζοντας χηλικές ενώσεις, εκκρίνοντας ουσίες υπεύθυνες για τον σχηματισμό ιόντων και αποσυνθέτοντας την οργανική ύλη. Τα θρεπτικά συστατικά που αποθηκεύονται στο οργανικό υλικό, απελευθερώνονται με αργούς ρυθμούς στο έδαφος, μέσω της αποικοδόμησης. Έτσι, παρέχεται μια άμεση πηγή διαθέσιμων θρεπτικών στοιχείων, ελαχιστοποιώντας τις απώλειές τους από το οικοσύστημα. Η φωτιά επιταχύνει την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας. Απελευθέρωση θρεπτικών, που χωρίς φωτιά και λόγω βιολογικής αποσύνθεσης, μπορεί να διαρκέσει πολλά χρόνια αλλά με την φωτιά μπορεί να διαρκέσει λίγα λεπτά.[20] Το οργανικό υλικό παίζει έναν σημαντικότερο

ρόλο στην ανακύκλωση και αποθήκευση των θρεπτικών στοιχείων. Αποτελεί την κύρια πηγή του διαθέσιμου φωσφόρου και θείου στο έδαφος. Ακόμα, παρέχει ουσιαστικά όλο το διαθέσιμο άζωτο στο εδαφικό μείγμα [21]. Η αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων αζώτου στο εδαφικό οργανικό υλικό, εξασφαλίζει συνεχή και υψηλή παραγωγικότητα στα εδάφη[25]. Επιπλέον, το οργανικό υλικό παρέχει στο εδαφικό προφίλ, χημικές περιοχές ανταλλαγής ιόντων, οι οποίες συγκρατούν σημαντικά κατιόντα όπως το αμμώνιο (NH_4^+) κ.α. [23]. Αυτά τα κατιόντα είναι άμεσα διαθέσιμα στους ζωντανούς οργανισμούς και αφομοιώνονται από τα φυτά και τους μικροοργανισμούς του εδάφους. Το οργανικό υλικό, που απαντάται κυρίως στο ανώτερο τμήμα του χούμου, μπορεί να παρέχει μέχρι και το 50% των απαιτούμενων κατιόντων, σε κάποια δασικά εδάφη [20].

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ

Η κατανομή του οργανικού υλικού πάνω και κάτω από την επιφάνεια του δασικού εδάφους είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην αποτίμηση της επίδρασης των δασικών πυρκαγιών. Τα περισσότερα εδαφικά προφίλ έχουν συγκεντρωμένο το οργανικό υλικό στο ανώτερο στρώμα, κοντά στην επιφάνεια. Εξ αιτίας αυτού του γεγονότος, οι μεγαλύτερες ποσότητες του εδαφικού οργανικού υλικού είναι άμεσα εκτεθειμένες στην ακτινοβολούμενη θερμότητα, προς τα κάτω, κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς. Πολλά από τα χημικά στοιχεία που αποθηκεύονται στο οργανικό υλικό χάνονται καθώς η θερμοκρασία του εδάφους αυξάνεται. Συγκεκριμένα,[20]:

- Μικρές απώλειες οργανικού υλικού παρατηρούνται σε θερμοκρασίες κάτω των 100°C .
- Τα πτητικά στοιχεία εξαερώνονται σε θερμοκρασίες άνω των 200°C .
- Καταστροφική απόσταση συμβαίνει με απώλεια οργανικού υλικού 85% και σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των $200-300^\circ\text{C}$.
- Πάνω από 300°C , το μεγαλύτερο μέρος του εναπομείναντος στο έδαφος, οργανικού υλικού, αποτελείται από C που στο τέλος χάνεται.
- Θέρμανση εδαφών σε θερμοκρασίες άνω των 450°C για 2 ώρες ή στους 500°C για μισή ώρα, αφαιρεί περίπου το 99% του συνολικού εδαφικού οργανικού υλικού (DeBano et al, 1998).

Παρόλα τα παραπάνω, η πιο σημαντική απώλεια από το οργανικό υλικό κατά την θέρμανση, θεωρείται η εξαέρωση του αζώτου (N), η οποία μπορεί να συμβεί και σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες [20,26]. Οι κύριες απώλειες από το οργανικό υλικό, σε χαμηλές θερμοκρασίες, είναι οι λειτουργικές ρίζες, ενώ η διάσπαση των πυρήνων συμβαίνει σε πολύ μεγαλύτερες. Ειδικότερα, οι ρίζες του υδροξυλίου (OH^-) και του καρβοξυλίου (COOH^-) χάνονται σε θερμοκρασίες μεταξύ 250 και 400°C , με τις πρώτες να φαίνονται πιο ανθεκτικές. Πέρα από τις απώλειες, παρατηρούνται και (χημικές) αλλαγές. Οι ουσίες, που παράγονται κατά την αποσύνθεση νεκρής φυτικής και ζωικής οργανικής ύλης, παίζουν καθοριστικό ρόλο στην εδαφική δομή και συνοχή, καθώς μεταξύ τους δημιουργούνται δυνάμεις συνάφειας Van der Waals. Οι δυνάμεις αυτές, αν και ασθενείς, αποτελούν τον κύριο υπεύθυνο για την συνοχή του “οργανικού” εδάφους και μπορούν να παραμείνουν για δεκάδες ή και εκατοντάδες χρόνια. Κάποιες από αυτές τις ουσίες, μετατρέπονται σε αλκαλικές-αδιάλυτες ουσίες που ενσωματώνονται στον χούμο. Κάποιες άλλες μετατρέπονται σε όξινα- αδιάλυτα πολυμερή. Ακόμα, η φυτική βιομάζα που δεν καίγεται πλήρως, περιέχει αλκαλική-διαλυτή λιγνίνη και φαϊά στοιχεία που

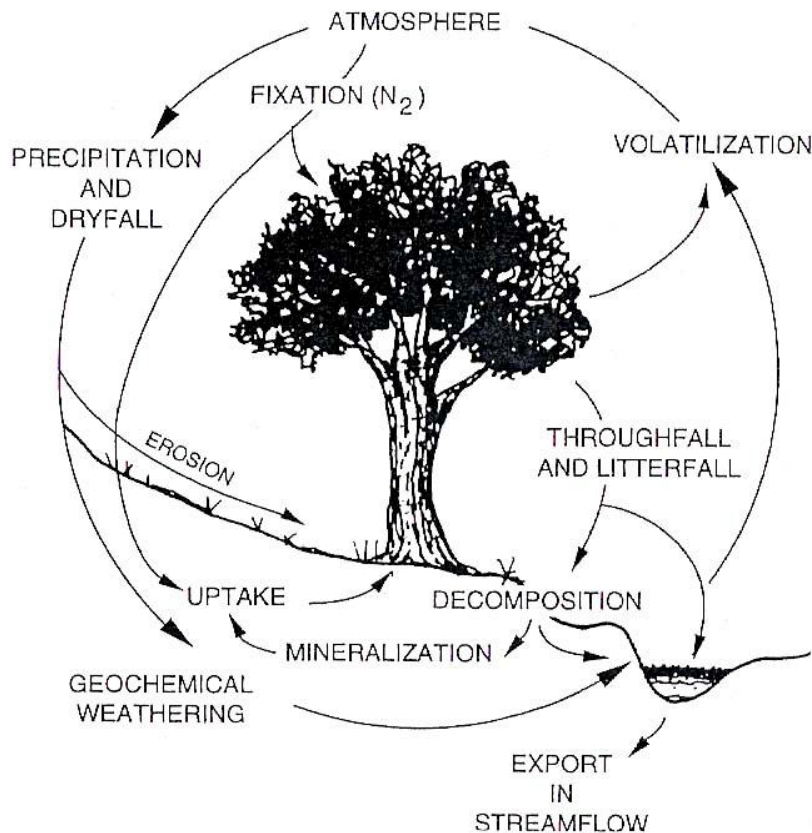
προέρχονται από την αφυδάτωση των υδρογονανθράκων (H/C). Η παραγωγή ενώσεων λιγνίνης αυξάνει την αντίσταση στην χημική και βιολογική αποσύνθεση, στο εναπομένον οργανικό υλικό. Ωστόσο, η αντοχή αυτή αντισταθμίζεται μετά την πυρκαγιά από την ένωση λιγνίνης-κυτταρίνης που πυροδοτεί την αύξηση των εδαφικών αποικοδομητών [20].

ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΠΩΛΕΙΕΣ

Σημασία ανακύκλωσης

Η διατήρηση της παραγωγικότητας στα φυσικά οικοσυστήματα βασίζεται σε μια ομαλή και συνεχή ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών. Η ανακύκλωση αυτή σε περιόδους χωρίς πυρκαγιές, αποτελείται από πολύπλοκους μηχανισμούς, οι κυριότεροι από τους οποίους παρουσιάζονται στο σχήμα 6.2. Τα θρεπτικά στοιχεία εισχωρούν στο έδαφος μέσω των κατακρημνίσεων και της διήθησης, της αποσάθρωσης των εδαφών και της δέσμευσης του ατμοσφαιρικού αζώτου. Τα θρεπτικά στοιχεία γίνονται αφομοιώσιμα για τα φυτά μέσω της διαδικασίας της αποσύνθεσης.[24].

Η βιολογική αποσύνθεση οφείλεται στους αποικοδομητές και κυριαρχεί σε συνθήκες χωρίς φωτιά[20,25]. Ο ρυθμός της είναι συνήθως αργός και ποικίλει ανάλογα το είδος της οργανικής ύλης προς αποσύνθεση και τις συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Οι απώλειες σε συνθήκες χωρίς φωτιά είναι γενικά πολύ χαμηλές και παρατηρούνται λόγω εξαέρωσης, διάβρωσης με συμπαράσυρση και καθείσδυσης.



Σχήμα 6.2. Ανακύκλωση θρεπτικών σε φυσικά οικοσυστήματα.

Η φωτιά μεταβάλλει δραστικά τις παραπάνω διαδικασίες ανακύκλωσης των θρεπτικών. Το μέγεθος των αλλαγών αυτών εξαρτάται κυρίως από την ένταση της φωτιάς. Η φωτιά εξαερώνει θρεπτικά, πολύ πιο έντονα σε σχέση με πριν, τόσο από τα φυτά, όσο και από τους εδαφικούς οργανικούς ορίζοντες. Ακόμα, η μεταφερόμενη θερμότητα στο έδαφος, επιταχύνει τους ρυθμούς αποσύνθεσης. Η μεταπυρική αύξηση της επιφανειακής απορροής και διάβρωσης, λόγω έλλειψης βλάστησης, οδηγεί στην συμπαράσυρση πολλών θρεπτικών στοιχείων.

Πολλά θρεπτικά συστατικά είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτών. Στην περίπτωση όμως των πυρκαγιών, λίγα από αυτά αποτελούν περιοριστικούς παράγοντες. Τέτοια στοιχεία είναι το N, P, S και κάποια κατιόντα. Το N θεωρείται ως ο συχνότερος περιοριστικός παράγοντας στην ανάπτυξη των φυτών μεταπυρικά, καθώς παρουσιάζει και τις μεγαλύτερες απώλειες κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς. Ακολουθεί ο P, καθώς το S μπορεί να γίνει ανεπαρκές σε μερικά μόνο φυσικά οικοσυστήματα. Τα κατιόντα είναι σημαντικά καθώς ρυθμίζουν το pH του εδάφους, αλλά σπάνια γίνονται ανεπαρκή. Γενικά, δεν έχει μελετηθεί ο ρόλος των ιχνοστοιχείων σε σχέση με την φωτιά, εκτός από το σελήνιο (Se) που επανακτάται από τα κατάλοιπα της στάχτης.

Μηχανισμοί απώλειας θρεπτικών

Οι παρακάτω μηχανισμοί απώλειας θρεπτικών στοιχείων από την φυτική βιομάζα και το οργανικό υλικό του εδάφους λαμβάνουν χώρα τόσο κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς, όσο και μετά:

- Άμεση εξαέρωση (volatilization) κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς. Το N μετατρέπεται στην ελεύθερη μορφή του (N_2) και ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.
- Σωματιδιακές απώλειες στον καπνό. Με αυτόν τον τρόπο συχνά χάνονται θρεπτικά όπως ο P και κάποια κατιόντα.
- Απόθεση στη στάχτη στην επιφάνεια του εδάφους. Μετά την πυρκαγιά, πολλά διαθέσιμα θρεπτικά στοιχεία που αποθηκεύονται στη στάχτη, μπορούν να χαθούν καθώς η στάχτη μπορεί να 'ξεπλυθεί'.
- Απώλειες από την επιφάνεια του εδάφους λόγω επιφανειακής απορροής και διάβρωσης.
- Καθεισδυση στο εδαφικό προφίλ και μετακίνηση θρεπτικών σε βαθιά εδαφικά στρώματα, έτσι ώστε να μην είναι διαθέσιμα.
- Θρεπτικά στοιχεία που παραμένουν σε ατελώς καμένα υπολείμματα βλάστησης, τα οποία απομακρύνονται μεταπυρικά.

Τα θρεπτικά στοιχεία φυσικά, δεν αντιδρούν όλα με τον ίδιο τρόπο στην θέρμανση. Το N εξαερώνεται εύκολα κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς (ακόμα και σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, <math> <150^{\circ}\text{C}</math>, παρατηρούνται λίγες, αλλά υπολογίσιμες απώλειες, ενώ άλλα στοιχεία (Ca, Mg, Na κ.α.) παραμένουν ως οξειδία στη στάχτη και χάνονται, αν χαθούν, λόγω άλλων μηχανισμών, μεταπυρικά.

Κύκλος αζώτου (N) και απώλειες

Το N που περιέχεται στις συνιστώσες ενός οικοσυστήματος και που δεν έχει καεί (νερό, βλάστηση, ζωντανοί οργανισμοί, αέρας), ανακυκλώνεται και μεταπηδά μεταξύ των παραπάνω συνιστωσών με βιολογικές διαδικασίες

όπως η νιτροποίηση και αποδίδεται στην ατμόσφαιρα στην ελεύθερη μορφή του (N_2). Ο παραπάνω κύκλος καλείται βιοχημικός κύκλος του αζώτου.

Το άζωτο δεσμεύεται από την ατμόσφαιρα με την διαδικασία της αζωτοδέσμευσης. Αφού το άζωτο δεσμευτεί γίνεται άμεσα διαθέσιμο για τα φυτά, έχοντας την μορφή αμμωνιακών και (με την νιτροποίηση) νιτρικών ιόντων. Το N που περιέχεται στους οργανισμούς (φυτικούς και ζωικούς) είναι οργανικό. Με τον θάνατο των οργανισμών, κάποια βακτήρια και μύκητες, κατά την αποσύνθεση, μετατρέπουν το οργανικό N σε ανόργανο αμμωνιακό, μια διαδικασία που λέγεται αμινοποίηση. Το αμμωνιακό μετατρέπεται σε νιτρικά και γίνεται διαθέσιμο για τα φυτά με την διαδικασία της νιτροποίησης. Αυτό γίνεται σε 2 φάσεις. Αρχικά, με την βοήθεια νιτροβίων βακτηρίων και έπειτα, με την βοήθεια νιτροβακτηρίων. Τα βακτήρια που συμμετέχουν και στις 2 φάσεις λέγονται νιτροποιητές. Τέλος, τα νιτρικά ιόντα μετατρέπονται σε ελεύθερο άζωτο και επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα με την διαδικασία της απονιτροποίησης. Τα βακτήρια που συμμετέχουν εδώ καλούνται ως απονιτροποιητές [24].

Εξ αιτίας της στενής σχέσης μεταξύ άνθρακα C και αζώτου N, ο λόγος C/N σε ένα οικοσύστημα είναι θεμελιώδους σημασίας καθώς συνδέεται άμεσα με τους ρυθμούς αποσύνθεσης και σύνθεσης βιομάζας, δηλαδή ελέγχει τον ρυθμό με τον οποίο το N και τα υπόλοιπα θρεπτικά ανακυκλώνονται.

Συμπεριφορά αζώτου στην φωτιά

Το άζωτο που παραμένει αμέσως μετά την φωτιά συγκεντρωμένο στη στάχτη στην επιφάνεια του εδάφους, είναι κυρίως αμμωνιακό (NH_4^+-N) και μετατρέπεται εύκολα σε διαθέσιμη (νιτρική NO_3^-N) μορφή για τα φυτά. Συγκεκριμένα, μετά από λίγο καιρό (6-12 μήνες) το εδαφικό N είναι κατά πολύ διαθέσιμο και εκτιμάται πως τα νιτρικά σε αυτή τη φάση, είναι 5 φορές περισσότερα από τα αμμωνιακά και φυσικά πολύ περισσότερα (σε σχέση με τα προπυρικά επίπεδα. Αυτή η άμεση διαθεσιμότητα N πυροδοτεί την γρήγορη και εκτεταμένη ανάπτυξη φυτών, δίνοντας την εντύπωση πως το μεταπυρικό έδαφος είναι πιο εύφορο. Από τον παραπάνω μηχανισμό, φαίνεται η μεγάλη προσαρμοστικότητα των οικοσυστημάτων έναντι στο καταστροφικό αλλά συγχρόνως και φυσικό φαινόμενο της φωτιάς, που στην περιοχή της Μεσογείου ειδικά, ήταν συχνό από πολύ παλιά. Το άζωτο που συχνά είναι ο περιοριστικός παράγων, δίνεται απλόχερα μεταπυρικά, έτσι ώστε η ανάκαμψη να είναι γρήγορη και άμεση. Ωστόσο, μελέτες έχουν δείξει πως η ευφορία αυτή μειώνεται απότομα μετά από 1-2 έτη. Φυσικά, τα επίπεδα του ολικού αζώτου στο οικοσύστημα είναι μειωμένα λόγω των απωλειών εξαέρωσης κατά την πυρκαγιά. Γι' αυτό και τα περισσότερα είδη φυτών που φυτρώνουν αμέσως μετά την πυρκαγιά, ευνοούν την ανάπτυξη αζωτοδεσμευτικών μικροοργανισμών στις ρίζες τους [26]. Συνεπώς, κάτω από επανειλημμένες πυρκαγιές μαζί με εντατική κτηνοτροφία, ο μηχανισμός αυτός εξασθενεί, το έδαφος πτωχαίνει με αποτέλεσμα την έντονη υποβάθμιση της περιοχής (ερημοποίηση) .[26]

Φώσφορος (P)

Ο φώσφορος, συνήθως δεν μετατοπίζεται προς τα κάτω, κατά την διάρκεια της φωτιάς, τόσο άμεσα όσο το N. Αντίθετα, αύξηση του διαθέσιμου P, παρατηρείται αμέσως μετά την φωτιά, στη στάχτη που συσσωρεύεται στην επιφάνεια του εδάφους [20,21]. Ο P πριν την φωτιά περιέχεται στο οργανικό

υλικό και στο ανόργανο έδαφος. Ο οργανικός P μετατρέπεται αργά σε ανόργανο (φωσφορικό ιόν) μέσω της αποσύνθεσης και γίνεται διαθέσιμος στα φυτά. Το ιόν αυτό, απελευθερώνεται κατά την αποσύνθεση, με την βοήθεια ενός φωσφορικού. Η φωτιά διακόπτει την φυσική, αργή, βιολογική αποσύνθεση και ελευθερώνει πολύ γρήγορα τον P σε άμεση διαθέσιμη μορφή φωσφορικού ιόντος. Επιπλέον, όχι μόνο καταστρέφει το οργανικό υλικό πολύ γρήγορα, αλλά αδρανοποιεί πλήρως και το φωσφορικό ένζυμο, σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 180°C. Η διαθεσιμότητα του P που ελευθερώνεται από την φωτιά είναι περίπλοκο θέμα και εξαρτάται τόσο από τις άμεσες συνέπειες της φωτιάς, όσο και από τις συνθήκες που επικρατούν μετά την πυρκαγιά. Η μεταπυρική διαθεσιμότητα του P εξαρτάται από το pH και από την παρουσία Ca, Fe και Al. Το φωσφορικό ιόν είναι άμεσα διαθέσιμο σε ουδέτερα ή ελαφρώς όξινα εδάφη, όπου υπάρχουν υδροξείδια του Fe και Al. Αντίθετα, μπορεί να συνδυαστεί με Ca και να μετατραπεί σε αδιάλυτες μορφές αλάτων, ειδικά σε αλκαλικά εδάφη. Η πιο αξιόπιστη πηγή φωσφόρου (P), είναι ο οργανικός, που γίνεται διαθέσιμος στα φυτά με την αργή αλλά φυσική διαδικασία της αποσύνθεσης. Έτσι, η βέλτιστη λύση στο πρόβλημα της αποκατάστασης του P είναι η ελαχιστοποίηση της καταστροφής του εδαφικού οργανικού υλικού. Αυτό επιτυγχάνεται με χαμηλής έντασης πυρκαγιές. Ο P είναι συχνά περιοριστικός παράγοντας, μαζί με το N, στα φυσικά οικοσυστήματα και η απώλειά του συνεπάγεται μακροπρόθεσμη μείωση της παραγωγικότητας, καθώς η αποκατάστασή του δεν επιτυγχάνεται με μια γρήγορη φυσική διαδικασία [25].

Κατιόντα

Η στάχτη που κατακάθεται στην επιφάνεια του εδάφους περιέχει υψηλές συγκεντρώσεις διαθέσιμων κατιόντων[22]. Η φωτιά αυξάνει την εδαφική διαθεσιμότητα όλων των κατιόντων συμπεριλαμβανομένων και των αμμωνιακών (NH_4^+ -N). Κάποια κατιόντα μπορούν να χαθούν με σωματιδιακή μεταφορά μέσω του καπνού. Μονοσθενή κατιόντα όπως τα K^+ και Na^+ εμφανίζονται με την μορφή χλωριούχων ή ανθρακικών αλάτων, τα οποία είναι άμεσα διαλυτά και κινούνται εύκολα στο εδαφικό νερό. Τα δισθενή όπως το Mg^{+2} και το Ca^{+2} κινούνται πιο δύσκολα και εμφανίζονται κυρίως ως οξείδια και ανθρακικά. Το ανθρακικό ασβέστιο μπορεί να παίξει καθοριστικό ρόλο στην αποκατάσταση του P. Τα περισσότερα κατιόντα είναι συνήθως σε επάρκεια στα δασικά εδάφη. Ακόμα, τα σημεία εξαέρωσής τους είναι πολύ υψηλά και γι' αυτό οι απώλειές τους κατά την διάρκεια της φωτιάς είναι ελάχιστες, ακόμα και για πολύ δυνατές πυρκαγιές. Σαν συνέπεια, μεγάλες ποσότητες από διαθέσιμα κατιόντα μένουν στην επιφάνεια του εδάφους. Ωστόσο, αυτή η διαθεσιμότητα δεν προάγει άμεσα την ανάπτυξη των φυτών, αλλά την αύξηση του pH.

Η οργανική ύλη του εδάφους επηρεάζει τις χημικές ιδιότητες όπως η ικανότητα ανταλλαγής ιόντων και το pH. Η καταστροφή του χούμου και του εδαφικού οργανικού υλικού μειώνει την ικανότητα ανταλλαγής ιόντων. Η μείωση αυτή είναι ανάλογη του μεγέθους της ολικής δυνατότητας ανταλλαγής ιόντων που εξασφαλίζεται από οργανικές συνιστώσες.

Το pH του εδάφους αυξάνεται συνήθως μεταπυρικά, ως αποτέλεσμα της συγκέντρωσης κατιόντων στην επιφάνεια του εδάφους. Ωστόσο, η αύξηση αυτή είναι προσωρινή και εξαρτάται από το αρχικό εδαφικό pH, το ποσό της στάχτης και τις κλιματικές συνθήκες για την αποσύνθεση της στάχτης [20].

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΣΤΑΧΤΗΣ

Η συνδυασμένη απόκριση του φυσικού, χημικού και βιολογικού εδαφικού συστήματος στη φωτιά, πολλές φορές στη βιβλιογραφία αναφέρεται σαν 'ash bed effect' [20,25]. Σύμφωνα με αυτό, καταλαβαίνουμε πως ο σχηματισμός της στάχτης και η εναπόθεσή της στην επιφάνεια του εδάφους, συνδέεται και με τις τρεις συνιστώσες του εδαφικού συστήματος. Αλλαγές στη διαθεσιμότητα, αλλά και πολλές απώλειες θρεπτικών στοιχείων οφείλονται στην εναπόθεση της στάχτης και την συμπαράσυρσή της, αντίστοιχα.

Το ποσό και ο τύπος της στάχτης που παραμένει μετά τη φωτιά, εξαρτάται κυρίως από το είδος της καύσιμης ύλης που καίγεται, την πυκνότητά της, την υγρασία της, την κατανομή της και από την ένταση και την διάρκεια της φωτιάς. Η μορφή της μπορεί να ποικίλει πολύ από στάχτη περιέχουσα μικρά μαύρα κομμάτια απανθρακωμένης ύλης, μέχρι ένα αφράτο, άσπρο στρώμα μερικών εκατοστών. Η τέλεια καύση δίνει άσπρη στάχτη. Οι ανόργανοι κόκκοι του εδάφους, στην επιφάνεια ή κοντά σε αυτή, μπορεί να γίνουν κόκκινοι ή να συσσωματωθούν. Κυρίαρχο κατιόν στη στάχτη είναι το Ca^{2+} . Τα περισσότερα από τα κατιόντα στη στάχτη διεισδύουν στο έδαφος και παραμένουν στην περιοχή ανταλλαγής ιόντων και κυρίως στο χούμο.

Σε περιπτώσεις όπου καίγεται καύσιμη ύλη με μεγάλη συσσώρευση, η στάχτη που δημιουργείται είναι πολύ πυκνή, με αποτέλεσμα να φράσει τους εδαφικούς πόρους, με σημαντική μείωση του πορώδους [21]. Αυτό έχει ως συνέπεια την μείωση του αερισμού του εδάφους και της διηθητικότητας, με ταυτόχρονη αύξηση της επιφανειακής απορροής και της διάβρωσης. Για μικρές συγκεντρώσεις στάχτης στο έδαφος, οι επιδράσεις πάνω σε αυτό το θέμα, θεωρούνται αμελητέες.

Επιπροσθέτως, το στρώμα της στάχτης εκτιμάται πως μπορεί να παρουσιάσει μια κάποια μορφή υδροφοβικότητα, ασθενή βέβαια. Ωστόσο η υδροφοβικότητα αυτή, είναι πολλές φορές σημαντική, όχι τόσο για το έδαφος αυτό καθαυτό, αλλά για την συμπαράσυρση της στάχτης και τις συνεπαγόμενες απώλειες θρεπτικών [27].

Η στάχτη, πέραν του ότι εμπλουτίζει το έδαφος με θρεπτικά, παίζει και έναν θετικότατο ρόλο στην επιβίωση των μικροοργανισμών στη μεταπυρική φάση. Τελειώνοντας, οι χημικές επιδράσεις της στάχτης στο έδαφος φαίνονται παρακάτω [20]:

- Αύξηση του εδαφικού pH.
- Μεταβολή της διαλυτότητας πολλών θρεπτικών στο νερό.
- Συμπλήρωση διαθέσιμων θρεπτικών (κυρίως κατιόντων) στο έδαφος.
- Συνεισφορά στην ανάπτυξη εδαφικών μικροοργανισμών, που είναι σημαντικοί στην διατήρηση της εδαφικής παραγωγικότητας.

7.Επιπτώσεις Πυρκαγιών στην Υδρολογία Λεκανών Απορροής

7.1.Κατάσταση Λεκάνης Απορροής

Η κατάσταση λεκάνης απορροής είναι ένας όρος που δείχνει την κατάσταση μιας λεκάνης απορροής σε ό,τι αφορά την υδρολογική λειτουργία και παραγωγικότητα του εδάφους. Αποτελεί παράγοντα για την εκτίμηση των επιπτώσεων των πυρκαγιών, στην υδρολογία της λεκάνης. Η υδρολογική

λειτουργία της λεκάνης απορροής σχετίζεται με την ικανότητά της, να παραλαμβάνει και να προωθεί τα κατακρημνίσματα στα ρεύματα χωρίς επιβάρυνση του οικοσυστήματος. Η παραγωγικότητα του εδάφους αντικατοπτρίζει την ικανότητα του να υποστηρίζει τη συνεχή ανάπτυξη των φυτών και τις φυτοκοινωνίες ή τις φυσικές ακολουθίες των φυτοκοινωνιών [20].

Γενικά, σε μια λεκάνη απορροής σε καλή κατάσταση:

- Τα κατακρημνίσματα φιλτράρονται και διεισδύουν στο έδαφος
- Τα κατακρημνίσματα δεν συμβάλλουν πολύ στη διάβρωση
- Η ανταπόκριση των ρευμάτων στα κατακρημνίσματα είναι σχετικά αργή.
- Η βασική απορροή είναι συνεχής ανάμεσα στις καταιγίδες.

Αντίθετα, σε λεκάνη απορροής σε κακή κατάσταση:

- Τα κατακρημνίσματα ρέουν στην επιφάνεια του εδάφους.
- Εκτεταμένη διάβρωση συμβαίνει κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου.
- Η απόκριση των ρευμάτων στα κατακρημνίσματα είναι γρήγορη.
- Υπάρχει μικρή ή καθόλου βασική απορροή μεταξύ των καταιγίδων.

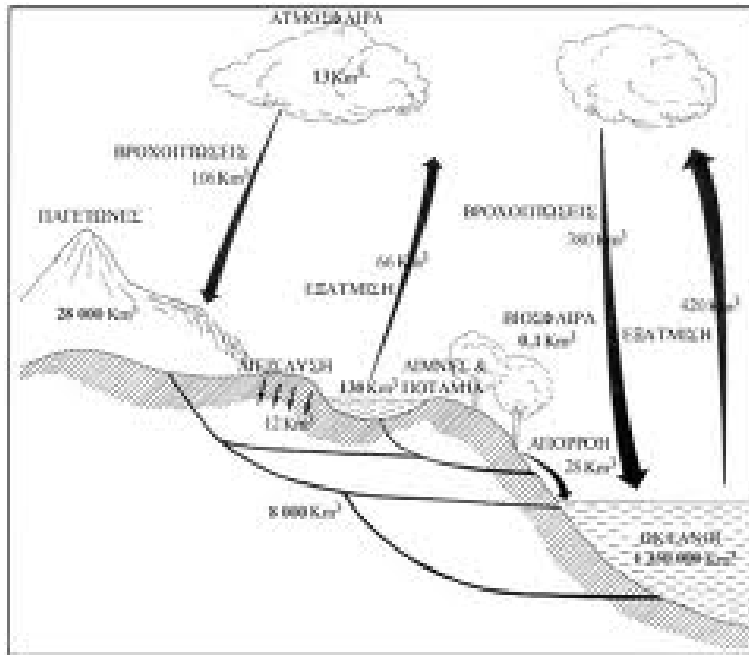
Κριτήρια και παράγοντες που επηρεάζουν την υδρολογική λειτουργία και παραγωγικότητα του εδάφους και που χαρακτηρίζουν την κατάσταση της λεκάνης απορροής είναι:

1. Φυτοκάλυψη.
 2. Η δυναμικότητα των καναλιών των ρευμάτων.
 3. Η ευστάθεια της μάζας του εδάφους.
 4. Το καθεστώς της ιζηματογένεσης.
 5. Η παραγωγικότητα του εδάφους σε σχέση με την ανάπτυξη των φυτών.
- Η πυρκαγιά επηρεάζει την μετέπειτα κατάσταση της λεκάνης απορροής. Ο ρόλος που θα παίξει η φωτιά εξαρτάται κυρίως από την δριμύτητά της [20].

7.2 Υδρολογικός Κύκλος

7.2.1 Γενικά

Ο υδρολογικός κύκλος αντιπροσωπεύει τις διαδικασίες και διαδρομές μέσα από τις οποίες το νερό περνάει από τη γη και τις υδάτινες επιφάνειες στην ατμόσφαιρα και αντίστροφα.



Εικ.7.1. Σχηματική απεικόνιση υδρολογικού κύκλου.

Παρόλο που ο υδρολογικός κύκλος είναι πολύπλοκος, μπορεί να απλοποιηθεί ως ένα σύστημα αποτελούμενο από τις συνιστώσες αποθήκευσης νερού και τη στερεή, υγρή και αέρια μεταφορά του νερού[20]. Τα κατακρημνίσματα, που είναι η εισροές στον υδρολογικό κύκλο, δεν επηρεάζονται από το κάψιμο, εξαιρώντας την ομιχλοβροχή. Επιπλέον, η χημεία των κατακρημνισμάτων μπορεί να αλλάζει από τον καπνό που βγαίνει. Εντούτοις, η παρεμπόδιση, η εξατμοδιαπνοή, η διήθηση, η αποθήκευση του νερού στο έδαφος και η απορροή, επηρεάζονται από την πυρκαγιά. Αυτές οι φάσεις του υδρολογικού κύκλου συσχετίζονται πολύ, και επομένως, είναι δύσκολο να απομονωθούν οι επιδράσεις της πυρκαγιάς σε μία φάση μόνο.

7.2.2 ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

ΠΑΡΕΜΠΟΔΙΣΗ

Η παρεμπόδιση ενός τμήματος βροχής ή χιονιού, να φτάσει στο έδαφος, λόγω παρεμβολής της χλωρίδας, αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής κατακράτησης των κατακρημνίσεων. Η δεύτερη περιλαμβάνει την παγίδευση της επιφανειακής απορροής, από τις μικροκοιλότητες του επιφανειακού ανάγλυφου[28]. Φυτά, οργανικά υπολείμματα και άλλα αποσυντεθημένα οργανικά υλικά, διακόπτουν την πτώση των κατακρημνισμάτων (χιόνι, βροχή) στην επιφάνεια του εδάφους. Η παρεμπόδιση προστατεύει το έδαφος από την

ενέργεια της προσπίπτουσας σταγόνας. Χωρίς τη μείωση αυτής της ενέργειας, μπορεί η επιφάνεια του εδάφους να συμπιεστεί ή να ξεκολλήσουν κομμάτια του από την πρόσκρουση της σταγόνας, το οποίο με τη σειρά του επηρεάζει τη διείσδυση και τη διαδικασία της διάβρωσης και της απορροής.

Υδρολογική σημασία

Μεγάλο μέρος των κατακρημνισμάτων που παρεμποδίζεται γυρίζει στην ατμόσφαιρα με την εξάτμιση και έτσι έχουμε απώλεια νερού από την λεκάνη απορροής. Σαν συνέπεια, η παρεμπόδιση είναι μία μορφή αποθήκευσης που αφαιρείται από το ακαθάριστο κατακρήμνισμα που εισάγεται στην λεκάνη απορροής, στις μελέτες του ισοζυγίου του νερού. Δεν εξατμίζεται όμως όλη η ποσότητα του παρεμποδισμένου νερού. Αρκετό από αυτό το νερό, ειδικά σε μεγάλες σε ένταση και διάρκεια καταιγίδες, στάζει από το φύλλωμα ή ρέει πάνω στους κορμούς και φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους. Ένα ποσοστό του νερού που παρεμποδίζεται από τα στρώματα των εδαφικών υπολειμμάτων, επίσης διοχετεύεται στο έδαφος. Τόσο η επιφανειακή, εδαφική κατακράτηση, όσο και η παρεμπόδιση από την βλάστηση, μειώνονται εκθετικά με το πέρασμα του χρόνου, κατά την διάρκεια του επεισοδίου κατακρήμνισης. Υπάρχει πολύ μεγάλη ποικιλία ανά τον κόσμο, στο μέγεθος της βροχής που παρεμποδίζεται. Η αναλογία της παρεμπόδισης της βροχής στα υγρά και μεσοτροπικά δάση, είναι γενικά μεγαλύτερη από αυτή στις εύκρατες περιοχές. Ανεξαρτήτως περιοχής όμως, η παρεμπόδιση είναι μια παροδική μορφή αποθήκευσης νερού στη φυτοκάλυψη μιας λεκάνης απορροής. Η παρεμπόδιση της κατακρήμνισης (χιόνι, βροχή) από τους θόλους της βλάστησης στη διάρκεια μιας καταιγίδας είναι γενικά μια συνάρτηση:

- Της μορφής (χιόνι, βροχή), της έντασης και της διάρκειας.
- Της ταχύτητας του ανέμου, της κλίσης της βροχής κτλ
- Του τύπου της βλάστησης (ευρεία φύλλα ή βελονοειδή) καθώς και της ποσότητας των φύλλων στην επιφάνεια [20].

Η παρεμπόδιση της κατακρήμνισης λόγω υπολειμμάτων ή άλλων αποσυντεθημένων οργανικών υλών στην επιφάνεια του εδάφους, κυμαίνεται από 5– 35% του συνολικού ετήσιου κατακρημνίσματος. Η αποθήκευση του παρεμποδισμένου νερού στα στρώματα οργανικών υπολειμμάτων μπορεί να αποτελεί μεγάλο ποσοστό των μικρών (<25 mm) γεγονότων βροχόπτωσης. Η παρεμπόδιση και αποθήκευση νερού στα απόβλητα του επιφανειακού εδάφους σχετίζεται με το βάθος και τη σχετική ανάπτυξη των στρωμάτων αυτών.

Επίδραση της πυρκαγιάς

Μια υδρολογική συνέπεια της πυρκαγιάς, που καταστρέφει τους θόλους της βλάστησης και μειώνει τα συσσωρευμένα οργανικά υπολείμματα, είναι η επίδραση στις απώλειες λόγω παρεμπόδισης. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της καθαρής κατακρήμνισης που φτάνει στο έδαφος. Όταν όμως η πυρκαγιά δεν καταστρέψει μεγάλες εκτάσεις βλάστησης, τότε η επίδραση στην παρεμπόδιση δεν είναι μεγάλη.

Τα επίπεδα των αποσυντεθημένων οργανικών υλών που καλύπτουν την επιφάνεια του εδάφους είναι σημαντικά στην (αντιδιαβρωτική) προστασία του εδάφους. Σε περιπτώσεις όπου η επιφανειακή, πτώδης βλάστηση και γενικώς το επιφανειακό οργανικό υλικό, καταστρέφεται από τη φωτιά, η προστασία

αυτή παύει να υπάρχει. Συνήθως, η σημαντικότερη από τις συνέπειες, όταν και τα δύο προστατευτικά στρώματα έχουν χαθεί από την πυρκαγιά, είναι η αυξημένη διάβρωση του εδάφους[20].

ΕΞΑΤΜΟΔΙΑΠΝΟΗ

Η εξάτμιση από το έδαφος, τις επιφάνειες των φυτών και των υδάτινων επιφανειών, μαζί με τις απώλειες νερού από τη διαπνοή των φυτών, καλούνται συνολικά εξατμοδιαπνοή (Ε/Δ)[28]. Ο όρος εξάτμιση, χρησιμοποιείται στην υδρολογία για να περιγράψει τη μετατροπή του νερού από την υγρή στην αέρια φάση. Ο φυσικός ρυθμός εξάτμισης καθορίζεται από τρεις θεμελιώδεις παράγοντες: (α)τη φυσική διαθεσιμότητα του νερού σε υγρή φάση, (β) τη διαθεσιμότητα ενέργειας στην επιφάνεια του νερού για την πραγματοποίηση της εξάτμισης και (γ) την ευκολία με την οποία διαχέονται οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα.

Η μετατροπή του νερού που πραγματοποιείται στους πόρους της χλωρίδας και ιδίως των φυλλωμάτων των φυτών, ονομάζεται διαπνοή. Το νερό των φυτών απορροφάται από το έδαφος μέσω των ριζών και μέσω του αγγειακού συστήματος των φυτών, οδηγείται στους πόρους των φυλλωμάτων, απ' όπου και διαπνέεται [28]. Έτσι, το παρεμποδιζόμενο νερό που εξατμίζεται από το φύλλωμα είναι μέρος της συνιστώσας του υδρολογικού κύκλου, της εξατμοδιαπνοής.

Η εξατμοδιαπνοή είναι η συνιστώσα του υδρολογικού κύκλου, που επηρεάζεται περισσότερο από την καταστροφή της βλάστησης λόγω πυρκαγιών [20].

Υδρολογική Σημασία

Ο τύπος, η πυκνότητα και η δομή της βλάστησης επηρεάζει τις απώλειες λόγω διαπνοής. Διαφορές στο ρυθμό διαπνοής ανάμεσα στις κοινωνίες των φυτών και στα μεμονωμένα είδη οφείλονται κυρίως [28]:

- Στις διαφορές των χαρακτηριστικών των ριζών.
- Την απόκριση των στομάτων
- Το δείκτη λευκαύγειας (ο λόγος της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας προς την προσπίπτουσα) της επιφάνειας των φύλλων.
- Την διάρκεια της εποχής ανάπτυξης.

Η εξατμοδιαπνοή είναι η μεγαλύτερη συνιστώσα απώλειας νερού του υδρολογικού κύκλου των περιοχών με ξηρό έδαφος. Σε κάποιες περιπτώσεις η αποθήκευση νερού στο έδαφος που ακολουθεί την εποχή ανάπτυξης είναι μηδενική, ανεξαρτήτως του τύπου της φυτοκάλυψης, γεγονός που καταδεικνύει ότι μεγάλες ποσότητες κατακρήμνισης χάνονται στη διαδικασία της εξατμοδιαπνοής.

Η Επίδραση της πυρκαγιάς

Μελέτες διαχείρισης λεκανών απορροής ανά τον κόσμο έχουν δείξει ότι η συνιστώσα απορροής του υδρολογικού κύκλου, μπορεί να αυξηθεί μετά από αλλαγή στη βλάστηση που επιφέρει μείωση απωλειών λόγω εξατμοδιαπνοής [20]. Αλλαγές στη βλάστηση, έχουν ως αποτέλεσμα να μετατρέπεται σε ατμό μέσω της εξατμοδιαπνοής μικρότερο ποσοστό της κατακρήμνισης, με συνέπεια περισσότερο νερό να είναι διαθέσιμο για απορροή. Οποιαδήποτε αλλαγή στη σύνθεση και δομή της βλάστησης θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της εξατμοδιαπνοής και την αύξηση της απορροής [22]. Έτσι μια

μικρή αλλαγή στις απώλειες λόγω εξατμοδιαπνοής μετά από επεισόδιο πυρκαγιάς, μπορεί να επιφέρει σημαντική αύξηση της απορροής .

ΔΙΗΘΗΣΗ

Διήθηση είναι η διαδικασία με την οποία το νερό εισχωρεί από την επιφάνεια του εδάφους μέσα σε αυτό. Η διήθηση διαφέρει από τη διείσδυση, που αναφέρεται στην κίνηση του νερού μέσα στο έδαφος.

Η κατακρήμνιση που φτάνει στο έδαφος, εισάγεται και κινείται μέσα στο έδαφος, δημιουργεί νερόλακκους στην επιφάνεια ή ρέει επιφανειακά. Η διαδικασία της εισαγωγής του νερού στο έδαφος είναι η διήθηση. Ο μέγιστος ρυθμός με τον οποίο μπορεί το νερό να εισχωρεί στο έδαφος λέγεται ικανότητα διήθησης. Το νερό που διηθείται στο έδαφος, κινείται είτε προς τα κάτω και πλευρικά σχηματίζοντας ένα κανάλι, είτε προς τα κάτω στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Όταν ξεπερασθεί η διηθητική ικανότητα του εδάφους, τότε η επιπλέον κατακρήμνιση λέγεται ενεργός και το επιπλέον νερό ρέει στην επιφάνεια και στα υδατορεύματα (άμεση απορροή). Ο ρυθμός διήθησης εξαρτάται τόσο από τη διαθεσιμότητα του νερού στο έδαφος, όσο και από τις ιδιότητες του εδάφους. Ποσοτικά, ο ρυθμός διήθησης είναι προφανώς μεταβλητός τόσο χωρικά όσο και χρονικά. Εξαρτάται από την ένταση και τη διάρκεια των βροχοπτώσεων, τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, την παρουσία ή όχι χλωρίδας, την περιεκτικότητα σε υγρασία κ.α. Η κίνηση που συνοδεύει τη διήθηση πραγματοποιείται κάτω από την επίδραση δυνάμεων, όπως είναι η βαρύτητα. Δεν είναι όμως η μοναδική, ούτε η κυρίαρχη όταν οι εδαφικοί πόροι είναι μερικώς κορεσμένοι από νερό. Σε αυτή την περίπτωση, της ακόρεστης ροής, αναπτύσσονται δυνάμεις μύζησης στο εδαφικό νερό. [28]

Υδρολογική Σημασία

Η σχετική αναλογία της καθαρής κατακρήμνισης, που διηθείται στο έδαφος και καταλήγει στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, προς εκείνης που απορρέει στα υδατορεύματα, καθορίζει την ποσότητα και τη χρονική διάρκεια που θα έχουμε την επιφανειακή απορροή. Τα αδιατάρακτα δασικά εδάφη, έχουν μεγάλη διηθητική ικανότητα σε σχέση με άλλους τύπος εδαφών. Εξ αιτίας των οργανικών συσσωματωμάτων στο έδαφος και την υψηλή περιεκτικότητα σε οργανικά υλικά των δασικών εδαφών, καθώς και το μεγάλο πορώδες που συνήθως οφείλεται σε δραστηριότητες των ζώων που σκάβουν για φωλιές, τα δασικά εδάφη είναι γενικά “ανοικτά” στην επιφάνεια. Η διήθηση είναι μεγαλύτερη στα υγρά, μεσοτροπικά εδάφη απ’ ότι στις εύκρατες περιοχές. Αντίθετα στις ξηρές περιοχές, μπορεί να έχουμε κατά τόπους αυξημένη διηθητική ικανότητα, εκεί που κυριαρχούν οι θάμνοι και μειωμένη εκεί όπου κυριαρχεί το χορτάρι τα βραχώδη εδάφη [20].

Οι μεταβλητές που επηρεάζουν συνήθως τη διήθηση είναι:

- Η σύσταση και το πορώδες του εδάφους.
- Η ύπαρξη συσσωματωμάτων οργανικών υλικών στην επιφάνεια του εδάφους.
- Η φυτοκάλυψη
- Η χρήση της γης και οι αλλαγές στη βλάστηση που επηρεάζουν τη διήθηση πρωτίστως διαφοροποιώντας την ποσότητα νερού που αποθηκεύεται.

Επίδραση της Πυρκαγιάς

Όταν η πυρκαγιά καταστρέψει τη βλάστηση και τα στρώματα των εδαφικών οργανικών υπολειμμάτων σε μια λεκάνη απορροής, τότε μένει γυμνό το έδαφος και η διήθηση είναι μειωμένη κυρίως λόγω:

- Της καταστροφής της δομής του εδάφους που ακολουθείται από αύξηση της πυκνότητας του
- Της μείωσης του πορώδους.
- Της πρόσκρουσης των σταγόνων της βροχής στο έδαφος, που επιφέρει περαιτέρω συμπίκνωση και άρα μεγαλύτερη μείωση στο πορώδες.
- Λόγω της δημιουργίας ενός επιφανειακού στρώματος πόρων από τις κινητικές δυνάμεις των σταγόνων βροχής.
- Της στάχτης και του ξυλάνθρακα που απομένουν από τη φωτιά και φράσσουν τους πόρους.

Οι μεταβλητές που επηρεάζουν την ικανότητα διήθησης, μπορεί να επηρεαστούν από τη φωτιά, συνήθως με αποτέλεσμα τη μείωση της διηθητικής ικανότητας και αύξηση της απορροής. Οι μεταβλητές αυτές περιλαμβάνουν:

- Τον τύπο της φυτοκάλυψης
- Το ποσοστό του επιφανειακού εδάφους που καλύπτεται από τα φύλλα και αποσυντεθειμένες οργανικές ύλες.
- Το βάθος που εκτείνονται τα συσσωματώματα οργανικής ύλης.
- Το πορώδες, η πυκνότητα του εδάφους κ.α.[20].

Μια άλλη εδαφική ιδιότητα που μπορεί να επηρεάσει τη διήθηση, είναι η συμπεριφορά του εδάφους. Τα εδάφη με ορισμένους τύπους βλάστησης μπορεί να αναπτύξουν, μετά από επεισόδιο φωτιάς, το χαρακτηριστικό να απωθούν το νερό. Τα περισσότερα υδροφοβικά εδάφη απωθούν το έδαφος ως αποτέλεσμα οργανικών υλικών που περιβάλλουν τους κόκκους του εδάφους. Η πυρκαγιά μπορεί επίσης να επηρεάσει το μικροκλίμα μιας περιοχής με την πρόκληση των μεγαλύτερων άκρων θερμοκρασίας αέρα και χώματος. Στις πιο δροσερές περιοχές, αυτές οι αλλαγές θερμοκρασίας μπορεί να αυξήσουν τις δυνατότητες για τη δημιουργία τέτοιων εδαφικών σχηματισμών και τελικά να προκληθεί μείωση της ικανότητας διήθησης που σχετίζεται έμμεσα με το κάψιμο [20].

ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Η μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να συγκρατήσει ένας εδαφικός μανδύας, ενάντια στη δύναμη της βαρύτητας λέγεται εδαφική χωρητικότητα του εδάφους ή υδατοϊκανότητα [27]. Όταν προστίθεται κι άλλο νερό σε έδαφος που είναι ήδη φορτισμένο μέχρι το σημείο της υδατοϊκανότητας, τότε αυτό που περισσεύει, απορρέει διαμέσου του εδάφους ή στραγγίζεται. Η ικανότητα του εδάφους να αποθηκεύει νερό, εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το σημείο της υδατοϊκανότητας. Συνήθως το έδαφος είναι φορτισμένο κοντά στο ύψος της υδατοϊκανότητας, όταν είναι περίοδος μεγάλων κατακρημνίσεων και στην αρχή της περιόδου βλάστησης.[20]

Υδρολογική Σημασία

Η ποσότητα του αποθηκευμένου νερού στο έδαφος που χάνεται από την εξατμοδιαπνοή, εξαρτάται πολύ από τον τύπο βλάστησης. Τα δέντρα και οι

θάμνοι έχουν ρίζες, που μπορούν να διαπεράσουν βαθιά το χώμα με αποτέλεσμα να είναι σε θέση να εξάγουν νερό από ένα μεγάλο μέρος του εδαφολογικού μανδύα. Η χλόη έχει ρηχές ρίζες, οπότε χρησιμοποιεί νερό από τα ανώτερα τμήματα. Το νερό της επιφάνειας του εδάφους διηθείται μέσα στο έδαφος ή αποθηκεύεται σε αυτό. Η αλλαγή των φυτών έχει γενικά μικρότερη επίδραση στις ιδιότητες του υπεδάφους που επηρεάζουν την αποθήκευση νερού, από αυτές που επηρεάζουν την διήθηση. Επομένως, η αλλαγή της φυτικής διάπλασης δεν είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που επηρεάζουν τον υδρολογικό κύκλο της λεκάνης απορροής.[20]

Συνέπειες της Πυρκαγιάς

Οι συνέπειες της πυρκαγιάς στην αποθήκευση νερού στο έδαφος έχουν να κάνουν με την απώλεια της φυτοκάλυψης από τη φωτιά, η οποία μειώνει τις απώλειες της εξατμοδιαπνοής. Αποτέλεσμα είναι να παραμένει περισσότερο νερό στο έδαφος, που σημαίνει μεγαλύτερη απορροή στις κατακρημνίσεις. Επιπλέον, η πυρκαγιά, με την κατανάλωση του εδαφικού οργανικού υλικού που προκαλεί, μεταβάλλει την εδαφική δομή, μειώνοντας παράλληλα το σημείο υδατοϊκανότητας του εδάφους. Συνεπώς, το έλλειμμα του νερού στο έδαφος είναι φανερά μικρότερο σε εδάφη μετά από πυρκαγιά. Αυτή η μείωση του ελλείμματος οδηγεί σε γρήγορες απορροές. Το έλλειμα νερού φαίνεται πως επιστρέφει στα παλιά επίπεδα, όταν η φυτοκάλυψη επανέλθει στα προπυρικά επίπεδα [20].

ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗ ΧΙΟΝΙΟΥ ΚΑΙ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΞΗΣ

Το χιόνι, είναι σημαντικό είδος κατακρήμνισης σε πολλές περιοχές. Το λιώσιμο του χιονιού που συσσωρεύεται στα ψηλότερα γεωγραφικά υψόμετρα, είναι μια σημαντική πηγή νερού για τα χαμηλότερα υψόμετρα. Επομένως, οι αλλαγές στη φυτοκάλυψη και τα προβλήματα σε σχέση με τη συσσώρευση και το λιώσιμο του χιονιού, είναι ένα ακόμη ζήτημα.

Υδρολογική Σημασία

Το σύνολο του χιονιού σε μια λεκάνη απορροής κατά τη διάρκεια του χειμώνα, είναι συνάρτηση της συνολικής χιονόπτωσης. Μεγαλύτερη συσσώρευση χιονιού τείνει να εμφανίζεται σε μεγαλύτερα ύψη σε μια λεκάνη απορροής, εξ αιτίας της πιο έντονης χιονόπτωσης και των χαμηλότερων θερμοκρασιών που επικρατούν. Εξ αιτίας της χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας συσσωρεύεται περισσότερο χιόνι σε ψυχρά μέρη από ότι σε θερμά. Περισσότερο χιόνι συσσωρεύεται σε αραιότερα από ότι σε πιο πυκνά δάση. Επιπλέον, η χιονόπτωση αποθηκεύεται σε μικρά ανοίγματα λόγω της μείωσης της ποσότητας του χιονιού που εμποδίζεται από την κόμη που σχηματίζεται στα δάση. Όταν αρχίσει το λιώσιμο την άνοιξη, ο ρυθμός είναι ταχύτερος στα ανοίγματα από ότι κάτω από πυκνή βλάστηση εξ αιτίας των αυξημένων επιπέδων ακτινοβολίας που προσκρούουν στα πρώτα.

Συνέπειες της Πυρκαγιάς

Η πυρκαγιά μπορεί να επηρεάσει τη συσσώρευση χιονιού και τη διαδικασία λιώσιματος δημιουργώντας ανοίγματα σε πυκνή βλάστηση. Όχι μόνο η παρεμπόδιση της χιονόπτωσης μειώνεται μετά την καταστροφή της κόμης, αλλά συχνά η επιπρόσθετη χιονόπτωση αποθηκεύεται στα ανοίγματα εξ

αιτίας των στροβίλων των ανέμων πάνω από τους θόλους βλάστησης. Σε χαμηλής έντασης φωτιά, εξαιτίας της επιφανειακής καύσης της βλάστησης, δημιουργούνται λίγα και μικρά ανοίγματα. Τα απανθρακωμένα δένδρα και η καμένη ύλη μπορούν να αλλάξουν τις ιδιότητες του εδάφους και τις συνθήκες φωτισμού, με αποτέλεσμα να προκληθεί πιο γρήγορα λιώσιμο του χιονιού. Το πρόωρο λιώσιμο την άνοιξη μπορεί να προκαλέσει μείωση του ελλείμματος νερού στο έδαφος, με αποτέλεσμα η χειραία ροή που προκαλείται από το λιώσιμο, να ξεκινάει νωρίς σε σχέση με την εποχή, κάτι που επηρεάζει την χρονική περίοδο και την ποιότητα της απορροής σε μια λεκάνη απορροής [20].

ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

Ο όρος κατακρημνίσματα χρησιμοποιείται για να περιγράψει μαζικά όλες τις μετρήσιμες ποσότητες υγρασίας που φτάνουν στην επιφάνεια της γης ως συνέπεια της υδροποίησης ατμοσφαιρικών υδρατμών [28]. Υπάρχουν πολλά είδη κατακρημνισμάτων, με κυριότερα από αυτά στα εύκρατα κλίματα, να είναι οι βροχοπτώσεις και οι χιονοπτώσεις. Ακολουθούν οι χαλαζοπτώσεις και οι συνδυασμοί των παραπάνω. Επίσης, είναι τα κατακρημνίσματα αποθέσεων, όπως η δρόσος, η πάχνη και η ομιχλοβροχή. Η ομιχλοβροχή έχει ιδιαίτερη σημασία στα ορεινά κλίματα και αποτελεί σημαντικό ποσοστό της ετήσιας κατακρημνίσης. Η ομιχλοβροχή ή βροχομίχλη παρουσιάζεται σε μεγάλα υψόμετρα και σε δασωμένες περιοχές. Εμφανίζεται όταν η υγρασία του αέρα είναι πολύ μεγάλη ή έχει σχηματιστεί ομίχλη.

Υδρολογική σημασία

Το φαινόμενο αυτό, προφανώς είναι πολύ σημαντικό, καθώς αναπληρώνει εν μέρει τις απώλειες υδατοσυγκράτησης και εξατμοδιαπνοής στο οικοσύστημα, ειδικά για το Μεσογειακό κλίμα με τις μεγάλες περιόδους ανομβρίας. Βλέπουμε συνεπώς την σπουδαιότητα της βλάστησης ως ρυθμιστή των κατακρημνίσεων, που είναι οι εισροές στον υδρολογικό κύκλο

Αποτελέσματα πυρκαγιάς

Για πολλούς υδρολόγους, οι πυρκαγιές δεν επηρεάζουν τις βροχές μιας περιοχής. Ωστόσο, οι πυρκαγιές των ορεινών δασών ασκούν σημαντική επίδραση στις συνολικές κατακρημνίσεις, διακόπτοντας ουσιαστικά, με την καταστροφή της βλάστησης, το φαινόμενο της ομιχλοβροχής. Η απώλεια του φαινομένου έχει σημαντικές επιπτώσεις στο υδατικό ισοζύγιο της περιοχής. Το φαινόμενο μπορεί να εμφανιστεί, με πολύ μικρότερη ένταση, στα κλαδιά των καμένων ιστάμενων δένδρων και αυτός είναι ένας από τους λόγους που πολλοί είναι αντίθετοι με την απομάκρυνσή τους.

ΑΠΟΡΡΟΗ

Με τον όρο επιφανειακή απορροή εννοούμε τη ροή του νερού, υπό την επίδραση της βαρύτητας κατά μήκος των φυσικών υδατορεμάτων[28]. Ο μηχανισμός που προκαλεί την επίγεια ροή είναι προφανής στην περίπτωση που η επιφάνεια είναι τελείως αδιαπέρατη (π.χ. ασφαλτος), όχι όμως και στην περίπτωση διαπερατού εδάφους. Διακρίνονται δύο περιπτώσεις επίγεια ροής που προκαλούνται από διαφορετικούς μηχανισμούς, την επίγεια ροή

Horton και την επίγεια ροή λόγω κορεσμού [28]. Η ροή Horton, ξεκινά μετά από κορεσμό του επιφανειακού εδάφους και ενώ τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους παραμένουν ακόρεστα. Άρα, η ένταση της βροχόπτωσης είναι μεγαλύτερη από τον ρυθμό διήθησης. Στην περίπτωση ροής λόγω κορεσμού, η βροχόπτωση στο αρχικό στάδιο της διηθείται στο σύνολό της και στη συνέχεια η πλευρική ροή, στην κορεσμένη όσο και στην ακόρεστη περιοχή του εδάφους, ανυψώνουν τον υδροφόρο ορίζοντα στα κατάντη έως ότου φτάσει την επιφάνεια του εδάφους και ξεκινήσει η ροή (Κουτσογιάννης 1999). Η περίσσεια νερού αποτελεί μέρος της συνολικής κατακρήμνισης, που ρέει στην επιφάνεια του εδάφους μαζί με αυτή που στραγγίζεται στο έδαφος και δεν καταναλώνεται από την εξατμοδιαπνοή, ούτε διαφεύγει σε βαθείς υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες (καθείσδυση). Οι παράγοντες που καθορίζουν τον τρόπο και τις διεργασίες κίνησης του απορρέοντος νερού[29]:

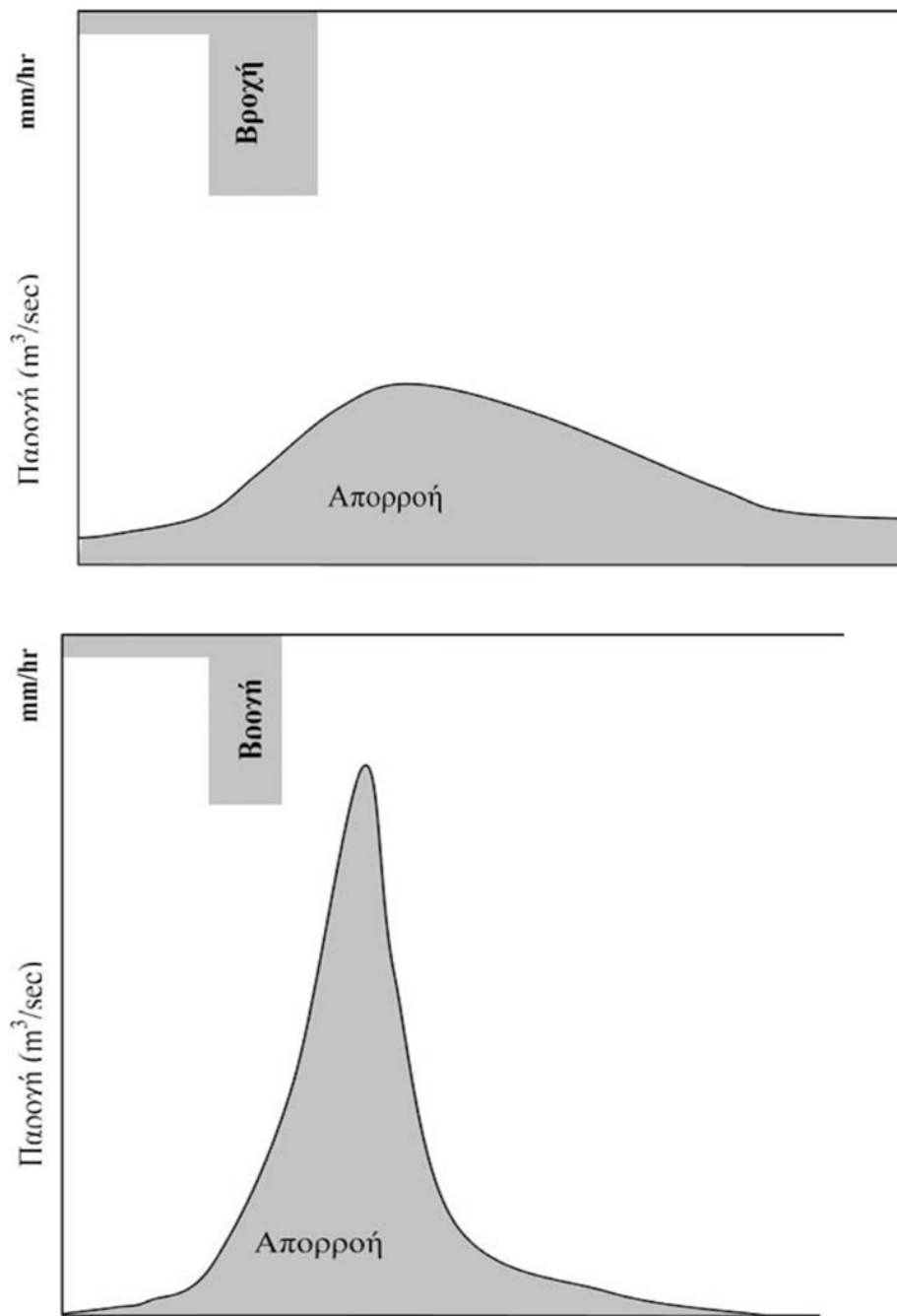
- Το κλίμα
- Η τοπογραφική διαμόρφωση (ανάγλυφο)
- Η φυτοκάλυψη
- Το γεωλογικό υπόβαθρο (περατοί ή αδιαπέρατοι σχηματισμοί)

Υδρολογική Σημασία

Η επιφανειακή ροή εμφανίζεται σε περιοχές που είναι. Οι επιρροές που ασκούν η βλάστηση και τα εδαφικά οργανικά υλικά στη συγκράτηση, εξατμοδιαπνοή, διήθηση και στην υγρασία του εδάφους, που αναφέρθηκαν παραπάνω, είναι ανάλογες με την επιφανειακή ροή, με συνέπεια την σημαντική μείωσή της και ομοιομορφοποίησή της στο χρόνο, κατά την διάρκεια μιας βροχής.

Αποτελέσματα Πυρκαγιάς

Η πυρκαγιά μειώνει τη διήθηση με αποτέλεσμα την αύξηση της επιφανειακής ροής. Οι μεγάλες πυρκαγιές καταναλώνουν σχεδόν όλη την προστατευτική βλάστηση μιας λεκάνης απορροής, το οποίο και επιδρά σημαντικά στην επιφανειακή ροή. Οι σχηματισμοί υδροφοβικού εδάφους που ακολουθούν την πυρκαγιά μειώνουν τη διήθηση, αυξάνουν την επιφανειακή ροή και επιταχύνουν τη μεταφορά της επιφανειακής ροής στα κανάλια ροής. Η αύξηση της επιφανειακής ροής επιμένει στο βαθμό που καθυστερεί, η φυσική αναγέννηση της βλάστησης. Η επίδραση της πυρκαγιάς στην απορροή, εκτιμάται διαχωρίζοντας την άμεση από τη βασική απορροή, καθώς σχετίζεται με αλλαγές στην παροχή, στην αιχμή και στην χρονική στιγμή εμφάνισης της αιχμής του υδρογραφήματος. Από ένα υδρογράφημα μπορούμε να παρατηρήσουμε τη συμπεριφορά των συνιστωσών του όπως την παροχή, την άμεση ή ταχεία ή πλημμυρική απορροή, η οποία είναι αποτέλεσμα ενός επεισοδίου βροχόπτωσης, την βασική απορροή, η οποία δεν σχετίζεται έντονα με τον ρυθμό των κατακρημνισμάτων αλλά σχετίζεται άμεσα με την υπόγεια διαδρομή του νερού, καθώς και την αιχμή της ροής. Στο σχήμα 7.1. (Α) και (Β), φαίνεται η αλλαγή των χαρακτηριστικών ενός υδρογραφήματος μιας λεκάνης απορροής μετά από πυρκαγιά.[20]



Σχήμα 7.1. Υδρολογική συμπεριφορά λεκάνης απορροής, (A) πριν από φωτιά και (B) μετά τη φωτιά

ΠΑΡΟΧΗ

Όπως αναφέρθηκε, όταν η βλάστηση, η συσσώρευση υπολειμμάτων και άλλων αποσυντεθημένων οργανικών υλικών στο έδαφος, καταστρέφονται από τη φωτιά, το αποτέλεσμα είναι μειώσεις στην εξατμοδιαπνοή και στη διήθηση και αυξήσεις στην επιφανειακή και την υπόγεια απορροή. Για να καθοριστούν οι μεταβολές της παροχής και γενικότερα της διεργασίας απορροής μετά την πυρκαγιά, πρέπει να καθοριστούν αρχικά τα αποτελέσματα της πυρκαγιάς σε μια περιοχή. Έπειτα αυτά θα εκτιμηθούν στο πλαίσιο όλης της λεκάνης απορροής. Το να καθοριστούν τα αποτελέσματα

της πυρκαγιάς σε μια λεκάνη απορροής, είναι δύσκολο, γιατί πρέπει να εξεταστούν και να συνδυαστούν όλα τα “μονοπάτια” της ροής προς την έξοδο της λεκάνης απορροής.

Συνέπειες της Πυρκαγιάς

Αίτια της αύξησης της παροχής μετά από την πυρκαγιά είναι η απουσία φυτοκάλυψης, η μείωση της συσσώρευσης φύλλων και άλλων οργανικών υλικών στο έδαφος και η συχνή διάταξη υδρόφοβων εδαφών. Οι αυξήσεις στην παροχή, παρουσιάζουν μεγάλη μεταβλητότητα αν και εμφανίζονται μεγαλύτερες, κυρίως σε περιοχές με μεγάλες απώλειες στην εξατμοδιαπνοή.[20]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Νόμος 998/1979 (ΦΕΚ 289 Α') «Περί προστασίας των δασών και των δασικών εν γένει εκτάσεων της Χώρας» όπως τροποποιήθηκε με το Νόμο 3208/2003 (ΦΕΚ 303 Α') «Προστασία των δασικών οικοσυστημάτων, κατάρτιση δασολογίου, ρύθμιση εμπραγμάτων δικαιωμάτων επί δασών και δασικών εν γένει εκτάσεων και άλλες διατάξεις» - άρθρο 3.

[2] Γ. Τσουμής, Ν. Αθανασιάδης, Συστηματική Δασική Βοτανική, Αυτοτελής έκδοση Α.Π.Θ. 1972.

[3] Κ. Γκανιάτσα, Συστηματική Βοτανική, Αυτοτελής Έκδοση, ΑΠΘ 1975.

[4] G. Tsoumis, Wood as a raw material, Pergamon Press, 1969, p. 5-11.

[5] Δ. Βορίσης, Η καταστολή των δασικών πυρκαγιών, Έκδοση Πυροσβεστικής Ακαδημίας, Αθήνα 2004:

(α) σελ 17-20.

(β) σελ 12-14.

(γ) σελ 49-50.

(δ) σελ 7-9, 23-46, 53-55.

(ε) σελ. 74-78.

[6] Ν. Αθανασιάδης, Δασική Φυτοκοινωνιολογία, Αυτοτελής έκδοση Α.Π.Θ. 1986, σελ 34-42.

[7] Π. Κωνσταντινίδης, Μαθαίνοντας να ζούμε με τις Δασικές Πυρκαγιές, Εκδόσεις Χριστοδουλίδη, Θεσσαλονίκη 2003.

[8] K. Hadjibiros, Setting priorities for wildfire suppression policy in Greece, using a relation between yearly burned areas and recovery time, Global Nest: The International Journal 3 (1) 2001, p. 37-43.

- [9] Π. Κωνσταντινίδης, Φωτιές, η καταστροφή και η αναγέννηση των ελληνικών δασών, Γαϊόραμα, τεύχος 41, Ιαν-Φεβ 2001, σελ 144-181.
- [10] Forest Fires in Europe 2007, European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, JRC Scientific and Technical 186 Reports, Report No 8, EUR 23492 EN, ISSN 1018-5593, European Communities, 2008.
- [11] D.X. Viegas, General features of forest fires, Forest Fire Risk and Management, 1992, p. 8.
- [12] D.X. Viegas, Forest fire origin, behavior and evolution, Forest Fire Risk and Management, 1992, p. 38-39.
- [13] Εγχειρίδιο Δασοπροστασίας , Dr Γκόφας Αθανάσιος, Θεσσαλονίκη 2001, εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη
- [14] Δ. Βορίσης, Ανάπτυξη εργαστηριακών τεχνικών για τον προσδιορισμό της ευφλεκτικότητας δασικών υλών παρουσία χημικών επιβραδυντικών μέσων, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα 2006: σελ. 30-32.
- [15] Στοιχεία Εδαφομηχανικής, Μ.Καβαδα, Ε.Μ.Π., Σεπτέμβριος 2004
- [16] Εδαφοφυσική, Κ.Π.Παναγιωτόπουλος, Εκδ. ΓΙΑΧΟΥΔΗ-ΓΙΑΠΟΥΛΗ, Θεσ/κη
- [17] Εφηρμοσμένη Εδαφομηχανική, Κ.ΤΕΡΖΑΓΗ, R.B. PECK, Εκδ. Μ. Γκιούρδας, 2^η έκδοση, Αθήναι 1994
- [18] Forest Fires, Behavior and Ecological Effects, Edward A. Johnson, Kiyoko Miyahishi, Academic Press
- [19] Μεταφορά Θερμότητας, Ν. Κουμούτσος, Δ.Ασημακόπουλος, ΕΜΠ, Αθήνα 2005
- [20] DeBano L. F., Daniel G. L., Ffolliot P. F., Fire's Effects on Ecosystems, John Wiley & Sons, 1998.
- [21] Καιλίδης Δ., Δασικές Πυρκαγιές, Γιαχούδη-Γιαπούλη, 1993
- [22] Γκόφας Α., Εγχειρίδιο Δασοπροστασίας, Γιαχούδη-Γιαπούλη, 2001.
- [23] Τάντος Β., Παπαιωάννου, Δασική Εδαφολογία, Παπασωτηρίου, 2006
- [24] Ντάφης Α.Σ., Δασική Οικολογία, Γιαχούδη, 1986
- [25] Κωνσταντινίδης Π., Μαθαίνοντας να Ζούμε με τις Δασικές Πυρκαγιές, Χριστοδουλίδη, 2003
- [26] Marshall T. J., Holmes J. W., Rose C. W., Soil Physics, Cambridge University Press, Third Edition, 1996
- [27] Παναγούλια Δ., Δήμου Γ., Εισαγωγή στα Εγγειοβελτιωτικά Έργα, ΕΜΠ, 2000.

- [28] Κουτσογιάννης Δ., Ξανθόπουλος Θ., Τεχνική Υδρολογία, ΕΜΠ, Τομέας Υδάτινων Πόρων, Έκδοση 3, 1999
- [24] DeBano L. F., The Effects of Fire on Soil properties, USDA, Forestry Service, General Technical Report, INT-2, 1991
- [25] Kozlowski T. T., Fire and Ecosystems (Physiological Ecology), Academic Press, 1975.
- [26] Μάργαρης Ν.Σ., Οδοιπορικό στο Ελληνικό Περιβάλλον, Ελληνικά Γράμματα, 2001.
- [27] Doerr S. H., Shakesby R. A., Blake W. H., Chafer C. J., Humphreys G. S., Wallbrink R. J., Effects of Differing Wildfire Severities on Soil Wettability and Implications for Hydrological Response, Journal of Hydrology, 319, 2006
- [28] Κουτσογιάννης Δ., Ξανθόπουλος Θ., Τεχνική Υδρολογία, ΕΜΠ, Τομέας Υδάτινων Πόρων, Έκδοση 3, 1999
- [29] Στεφανίδης Π., Φυσικό Περιβάλλον, Δασικές Πυρκαγιές, Υδρολογικές Συνεπειες, Ανακοίνωση Αριθμός 21, ΑΠΘ, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη, 1991.

