



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΠΜΣ – ΒΙΔΙΠΑΚΟ «Βιώσιμη Διαχείριση Περιβαλλοντικών Αλλαγών και Κυκλική Οικονομία»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Διερεύνηση της χρήσης σκόνης πλήρωσης πυροσβεστήρων ως εδαφοβελτιωτικό ή λίπασμα σε γεωργικά εδάφη στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΙΩΑΝΝΑ ΤΣΙΓΚΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ ΓΚΟΛΙΑ

ΒΟΛΟΣ ΜΑΡΤΙΟΣ 2023



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΠΜΣ – ΒΙΔΙΠΑΚΟ «Βιώσιμη Διαχείριση Περιβαλλοντικών Αλλαγών και Κυκλική Οικονομία»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Διερεύνηση της χρήσης σκόνης πλήρωσης
πυροσβεστήρων ως εδαφοβελτιωτικό ή λίπασμα σε
γεωργικά εδάφη στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας**

Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια: Ιωάννα Τσίγκα

Μέλη Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Ευαγγέλια Γκόλια (Επιβλέπουσα), Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Εργαστηρίου Εδαφολογίας, Τμήμα Γεωπονίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Νικόλαος Τσιρόπουλος, Καθηγητής Χημείας με έμφαση στην ανάλυση και στον προσδιορισμό οργανικών ουσιών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Σταύρος Σακελλαρίου, Μέλος Ε.Δι.Π. Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΒΟΛΟΣ ΜΑΡΤΙΟΣ 2023

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρήση των πυροσβεστήρων παγκοσμίως συμβάλλουν στον περιορισμό του άμεσου κινδύνου που προκαλεί η πυρκαγιά. Το γεγονός ότι η σκόνη πλήρωσης των πυροσβεστήρων έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άζωτο και φώσφορο το καθιστά μια πρόκληση για τη χρήση του ως λίπασμα στη γεωργία.

Το άζωτο που προέρχεται από τα αζωτούχα λιπάσματα επιστρέφει στο περιβάλλον μέσω της ανακύκλωσης, σε αέρια κυρίως μορφή. Αντίθετα ο φώσφορος προέρχεται κατά κύριο λόγο από μη ανανεώσιμους πόρους για αυτό είναι σημαντικό να βρεθούν τρόποι ανακύκλωσης αυτού του στοιχείου.

Στα πλαίσια της κυκλική οικονομίας έγινε μια προσπάθεια να ερευνηθεί ο τρόπος αξιοποίησης των συστατικών, που περιέχονται στις εξαντλημένες σκόνες πλήρωσης πυροσβεστήρων. Η επαναχρησιμοποίηση αυτών των συστατικών για έναν άλλο σκοπό, συμβάλλει στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και στην εξοικονόμηση μη ανανεώσιμων ορυκτών πόρων.

Πάνω σε αυτή την πρόκληση βασίστηκε η εκπόνηση της παρούσας μελέτης. Για τον σκοπό αυτό, διενεργήθηκε πείραμα γλάστρας όπου χρησιμοποιήθηκαν αγροτικά εδάφη (όξινου και βασικού χαρακτήρα), τα οποία εμπλουτίστηκαν με σκόνη πλήρωσης πυροσβεστήρων και έγινε φύτευση δυο σπορόφυτων φυλλωδών λαχανικών. Στη συνέχεια μελετήθηκε η διακύμανση του ύψους και η περιεκτικότητα σε φώσφορο των δύο φυτών.

Τα αποτελέσματα του πειράματος ήταν ενθαρρυντικά και δεν προκάλεσαν φυτοτοξικότητα στα λαχανικά.

Λέξεις κλειδιά: χημική σκόνη πυροσβεστήρων, λιπάσματα, ανάπτυξη φυτών, φώσφορος

ABSTRACT

The use of fire extinguishers worldwide helps to limit the immediate danger caused by fire. The fact that fire extinguisher waste dust has a high nitrogen and phosphorus content makes it a challenge to use as a fertilizer in agriculture.

The nitrogen derived from nitrogen fertilizers returns to the environment through recycling, mainly in gaseous form. Conversely, phosphorus comes mainly from non-renewable resources, so it is important to find ways to recycle this element.

In the context of the circular economy, an attempt was made to research how to utilize the components contained in the spent powders of waste fire extinguishers. Reusing these components for another purpose helps reduce environmental impact and conserve non-renewable mineral resources.

The preparation of the present study was based on this challenge. For this purpose, a pot experiment was carried out where agricultural soils (acidic and basic in nature) were used, which were enriched with fire extinguisher waste dust and seeds of two leafy vegetables were planted. Then, the height variation and phosphorus content of the two plants were studied. The results of the experiment were encouraging and did not cause phytotoxicity in vegetables.

Key words: chemical fire extinguisher powder, fertilizers, plant growth, phosphorus

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
Περιεχόμενα πινάκων	5
Περιεχόμενα εικόνων.....	5
Περιεχόμενα διαγραμμάτων.....	5
1. Εισαγωγή.....	6
2. Έδαφος	7
3. Θρεπτικά συστατικά.....	9
3.1. Άζωτο.....	10
3.1.1. Ανόργανο και οργανικό άζωτο.....	10
3.1.2. Επίδραση αζώτου στα φυτά.....	11
3.1.3. Ο κύκλος του αζώτου	12
3.2. Φώσφορος.....	14
3.2.1. Ανόργανος και οργανικός φώσφορος.....	14
3.2.2. Φώσφορος στο έδαφος (προσρόφηση-συγκράτηση)	15
3.2.3. Επίδραση φωσφόρου στα φυτά	16
3.2.4. Κύκλος του φωσφόρου	18
3.3. Κάλιο.....	19
3.3.1. Μορφές Καλίου	19
3.3.2. Ο κύκλος καλίου	20
3.4. Θείο	21
3.4.1. Ο κύκλος του θείου	22
4. Λιπάσματα.....	23
4.1. Οργανικά λιπάσματα.....	24
4.1.1. Κομποστοποίηση.....	24
4.2. Ανόργανα λιπάσματα	26
4.2.1. Αζωτούχα λιπάσματα	27
4.2.2. Φωσφορικά λιπάσματα	28
4.2.2.1. Φωσφορικό Μονοαμμώνιο (MAP).....	31
4.2.2.2. Φωσφορικό Διαμμώνιο (DAP).....	32
4.2.3. Καλιούχα λιπάσματα.....	33
4.3. Σύνθετα Φωσφορικά λιπάσματα (NPK).....	34
5. Πυροσβεστήρες.....	35

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΩΕΛΤΙΩΤΙΚΟ
Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

5.1.	Πυροσβεστήρες ξηρής σκόνη.....	35
5.2.	Εξαντλημένες σκόνες κατάσβεσης.....	37
5.3.	Πελλετοποίηση κομπόστ με εξαντλημένες σκόνες κατάσβεσης.....	38
5.4.	Παραγωγή λιπάσματος από εξαντλημένες σκόνες κατάσβεσης.....	40
5.5.	Σκοπός της εργασίας.....	41
6.	Υλικά και μέθοδοι.....	41
6.1.	Πειραματική διαδικασία.....	41
6.2.	Φυσικοχημική ανάλυση εδάφους και φυτών.....	42
6.3.	Αποτελέσματα και συζήτηση.....	43
6.3.1.	Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των εδαφών της πειραματικής μελέτης.....	43
6.3.2.	Διακύμανση στο ύψος των φυτών μετά από προσθήκη σκόνης πλήρωσης πυροσβεστήρων.....	44
6.3.3.	Συγκέντρωση φωσφόρου στους μίσχους των φυτών μετά το πείραμα.....	44
6.4.	Συμπεράσματα.....	45
7.	Βιβλιογραφία.....	46

Περιεχόμενα πινάκων

Πίνακας 1. επί τις % κ.β. σύσταση των στοιχείων στον φλοιό της Γης.....	7
Πίνακας 2. Χημική σύσταση του νερού ανάλογα με την προέλευσή του.....	8
Πίνακας 3. Σύσταση αζωτούχων λιπασμάτων.....	27
Πίνακας 4. Σύσταση φωσφορικών λιπασμάτων.....	29
Πίνακας 5. Χημικές ιδιότητες φωσφορικού μονοαμμωνίου (MAP).....	31
Πίνακας 6. Χημικές ιδιότητες φωσφορικού διαμμωνίου (DAP).....	32
Πίνακας 7. Σύσταση καλιούχων λιπασμάτων.....	34
Πίνακας 8. Φυσικοχημικές ιδιότητες σκόνης τύπου BC.....	36
Πίνακας 9. Βασική σύσταση σκόνης ABC 40% και φυσικοχημικές ιδιότητες.....	36
Πίνακας 10. % Σύσταση οργανικού λιπάσματος με εμπλουτισμένη σκόνη πλήρωσης πυροσβεστήρων.....	39
Πίνακας 11. Χημική σύσταση κομπόστ από αστικά λύματα.....	39
Πίνακας 12. % Χημική σύσταση σφαιριδίων μιγμάτων σκόνης πλήρωσης πυροσβεστήρων με κομπόστ.....	40
Πίνακας 13. Φυσικοχημικές ιδιότητες δειγμάτων εδαφών.....	43

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1. Οικοσυστήματα της Γης.....	7
Εικόνα 2. Κύκλος αζώτου.....	12
Εικόνα 3. Κύκλος φωσφόρου.....	19
Εικόνα 4. Κύκλος Καλίου.....	21
Εικόνα 5. Κύκλος θείου.....	23
Εικόνα 6: Απεικόνιση MAP σε στοιχειακή και κοκκώδη μορφή.....	31
Εικόνα 7: Απεικόνιση DAP σε στοιχειακή και κοκκώδη μορφή.....	32
Εικόνα 8. Σύνθετα φωσφορικά λιπάσματα	35
Εικόνα 9: Φωτογραφική απεικόνιση του πειράματος.....	42

Περιεχόμενα διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Διακύμανση στα ύψη των φυτών μετά την εφαρμογή δύο διαφορετικών επιπέδων σκόνης στα δείγματα εδάφους.....	44
Διάγραμμα 2. Διακύμανση στη συγκέντρωση φωσφορικών αλάτων στα στελέχη φυτών μετά την εφαρμογή δύο διαφορετικών επιπέδων σκόνης στα δείγματα εδάφους.....	45

1. Εισαγωγή

Σύμφωνα με τον FAO ο πληθυσμός της Γης έως το 2050 θα ανέλθει στα 9,1 δισεκατομμύρια ανθρώπους. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη αυξημένης ζήτησης σε τροφή και κατά συνέπεια αυξημένη παραγωγή αγροτικών προϊόντων. Η επίτευξη μιας υψηλότερης απόδοσης σε καλλιεργήσιμα προϊόντα μπορεί να υλοποιηθεί με την χρήση περισσότερων λιπασμάτων (Withers et al., 2018). Για αυτό τον λόγο προβλέπεται αύξηση της παραγωγής τους προκειμένου να καλυφθούν οι μελλοντικές ανάγκες.

Τα σύνθετα και τα απλά φωσφορικά λιπάσματα έχουν την μεγαλύτερη κατανάλωση στην γεωργία. Το 2020 σε παγκόσμιο επίπεδο παράχθηκαν 123 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι αζωτούχων λιπασμάτων, 42,8 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι φωσφορικών αλάτων (P_2O_5) και 44,9 εκατομμύρια τόνοι καλιούχων λιπασμάτων (K_2O) (Statista, 2023).

Ο φώσφορος είναι από τα σημαντικότερα στοιχεία στα φυτά, με το ξηρό βάρος του να φτάνει το 0,2% του συνόλου του φυτού (Alori et al. 2017). Είναι ένα μακροθρεπτικό συστατικό που απαιτείται για την δημιουργία του DNA και RNA του φυτού, την ενίσχυση και σταθεροποίηση της μεμβράνης των κυττάρων, τον μεταβολισμό της ενέργειας και πολλές διεργασίες που επηρεάζουν την ανάπτυξή του (Hasan et al., 2016).

Τα ευρέως διαδεδομένα φωσφορικά λιπάσματα είναι το φωσφορικό μονοαμμώνιο (MAP) και το φωσφορικό διαμμώνιο (DAP), τα οποία είναι βασικά συστατικά των πυροσβεστήρων ξηρής χημικής σκόνης.

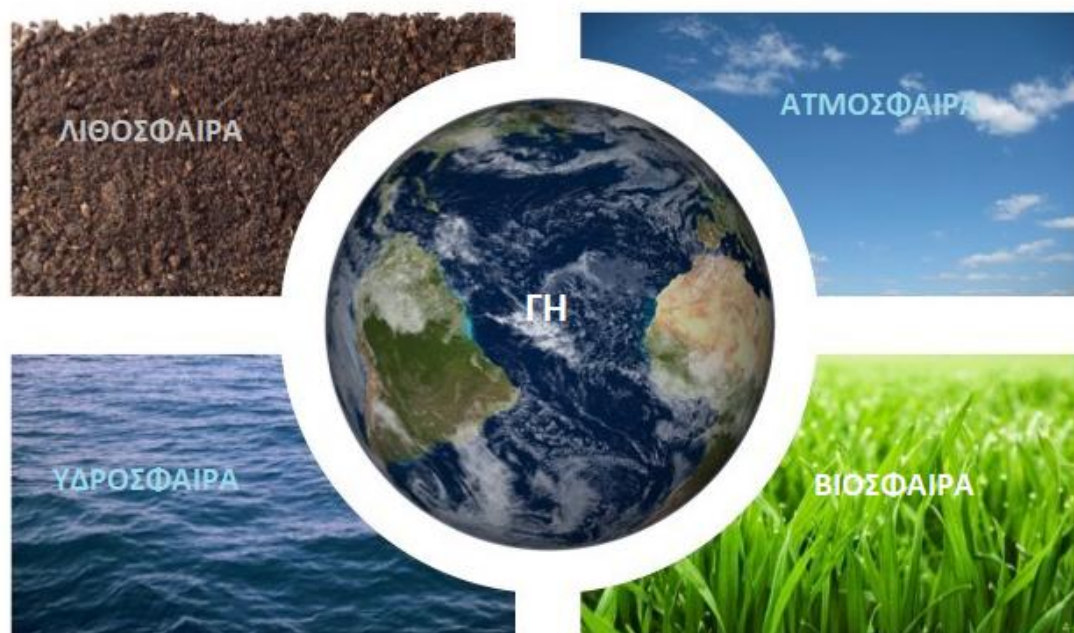
Η ραγδαία αύξηση της χρήσης πυροσβεστήρων και η ανάγκη για τακτική συντήρηση και αντικατάσταση της σκόνης λόγω λήξης, οδήγησε στην ανεύρεση τρόπων διάθεσης των απορριμμάτων της. Μία από τις διαδικασίες που προτάθηκαν για επεξεργασία και ανακύκλωση της σκόνης, αφορά στη χρήση της ως λίπασμα στη γεωργία (Soja et al., 2021). Συγκεκριμένα, η επαναχρησιμοποίηση των απορριμμάτων σκόνης ως γεωργικό λίπασμα εξυπηρετεί τη βιώσιμη γεωργία και αποτελεί μια φθηνή πηγή φωσφόρου. Επιπλέον, συμβάλει στην μείωση της εξόρυξης των φωσφορικών πετρωμάτων τα οποία συγκαταλέγονται στους μη ανανεώσιμους πόρους.

Η υφή της σκόνης πλήρωσης πυροσβεστήρων είναι αποτρεπτικός παράγοντας στη χρήση της από τους αγρότες, οι οποίοι συνήθως χρησιμοποιούν λιπάσματα σε κοκκώδη μορφή (Mihajlonić et al., 2021). Επίσης, η εναπόθεση της σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις μπορεί να προκαλέσει περιβαλλοντικά προβλήματα ζημιογόνα ως προς την ανάπτυξη των φυτών.

Η παρούσα εργασία διερευνά την δυνατότητα χρήσης σκόνης πλήρωσης πυροσβεστήρων ως μέσο αύξησης της γονιμότητας των εδαφών και κατά συνέπεια της ανάπτυξης των φυτών.

2. Έδαφος

Το έδαφος είναι τμήμα του ανώτερου στρώματος του φλοιού της Γης. Προέκυψε από την αποσάθρωση των πετρωμάτων και την μετέπειτα διαφοροποίηση του υλικού αυτού, μέσω των μακροχρόνιων φυσικών, χημικών και βιολογικών επιδράσεων. Επηρέασε σημαντικά το τοπογραφικό ανάγλυφο καθώς και τη φύση του μητρικού πετρώματος (Πολυζόπουλος, 1976; Brady & Weil, 2015). Περιβάλλεται και αλληλοεπιδρά με τα συστατικά του περιβάλλοντος που προέρχονται από την λιθόσφαιρα, την ατμόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και την βίοςφαιρα (Εικόνα 1.)



Εικόνα 1. Οικοσυστήματα της Γης (πηγή: <https://travellingacrosstime.com/2022/03/16/the-four-spheres-of-the-earth/>)

Η λιθόσφαιρα περιλαμβάνει το στερεό τμήμα του μανδύα της γης, απαρτίζεται από πετρώματα, ορυκτά και εδάφη με πάνω από εκατό χημικά στοιχεία σπάνια ή μη. Το μεγαλύτερο ποσοστό (~99%) του όγκου της καταλαμβάνουν οχτώ θρεπτικά στοιχεία, όπως παρουσιάζονται σύμφωνα με τους Lutgens & Tarbuck, (2000) στο πίνακα 1.

Στοιχείο	O	Si	Al	Fe	Ca	Na	K	Mg	Υπόλοιπα
% κ.β Σύσταση	46,6	27,7	8,1	5,0	3,6	2,8	2,6	2,1	1,5

Πίνακας 1. επί τις % κ.β. σύσταση των στοιχείων στον φλοιό της Γης (πηγή: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/tables/elabund.html>)

Τα παραπάνω αυτά στοιχεία συναντώνται ως ορυκτά (καθορισμένη σύσταση κρυσταλλικών στερεών ενώσεων), όπως οξειδία, ανθρακικά, θειικά, φωσφορικά άλατα, σουλφίδια κ.ά.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΘΕΛΤΙΩΤΙΚΟ
Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

Η Γη περιβάλλεται από ένα στρώμα αερίων και υδρατμών την ατμόσφαιρα. Το 78,084% κ.ό. καταλαμβάνει το άζωτο, ενώ ακολουθεί με 20,94% κ.ό. το οξυγόνο, οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα και άλλα αδρανή αέρια (Pinti, 2021).

Τα οικοσυστήματα σχηματίζονται από διάφορους οργανισμούς που ζουν και αλληλεπιδρούν στην βιόσφαιρα. Αποτελεί μια σειρά πρωτογενών διεργασιών όπως η παραγωγή, η κατανάλωση, η αποσύνθεση και ο μετασχηματισμός (Osman, 2013).

Η υδρόσφαιρα απαρτίζεται από τα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά, και βρίσκεται πάνω ή κάτω από το έδαφος. Η δομή του φλοιού της Γης τροποποιείται παρουσία των υδάτων, ενώ μόνο ένα μικρό ποσοστό (2,5%) μπορεί να καταναλωθεί από τον άνθρωπο. Εντοπίζεται σε στερεή, υγρή και αέρια κατάσταση. Η σύσταση του νερού σύμφωνα με την προέλευσή του παρουσιάζεται στον πίνακα 2 (Θεριός, 2021).

Ιόν	Cl	Na	Mg	SO ⁻² ₄	Ca	K	HCO ⁻ ₃
Θαλασσινό νερό (mM)	536	457	56.0	28.0	10.0	9.7	2.3
Γλυκό νερό (mM)	0.23	0.39	0.21	0.21	0.52	0.36	1.10

Πίνακας 2. Χημική σύσταση του νερού ανάλογα με την προέλευσή του (πηγή: Θεριός, 2021)

Η υδρόσφαιρα, βιόσφαιρα και η ατμόσφαιρα αλληλεπιδρούν με την λιθόσφαιρα και παράγουν την πεδόσφαιρα (Juma, 1999), όπου περιβάλλεται από τα εδάφη συμπεριλαμβανομένου των ζώντων (βιομάζα) και μη, οργανισμών. Επίσης, δημιουργούν συνθήκες για την ανάπτυξη του εδάφους μέσω των εισροών των υλικών και της ενέργειας (Osman, 2013).

Το έδαφος είναι σημαντικός παράγοντας για την ύπαρξη ζωής στη Γη. Οι λειτουργίες του είναι άμεσα συνδεδεμένες με τα οικοσυστήματα και διαχωρίζονται σε έξι βασικές κατηγορίες (Brady & Weil, 2008):

- **Στην ανάπτυξη των φυτών.** Μέσω του ριζικού συστήματος και των θρεπτικών συστατικών που παρέχει το έδαφος στο φυτό καθορίζεται το είδος της βλάστησης. Αυτό υποστηρίζει σε μεγάλο βαθμό το είδος και τον πληθυσμό τόσο των ζώων όσο και των ανθρώπων.
- **Στο υδρολογικό σύστημα.** Το έδαφος ρυθμίζει την ποιότητα και την ροή του νερού. Έχει την ικανότητα να συγκρατεί ένα μέρος του για την ανάπτυξη των φυτών, ενώ το υπόλοιπο να το φιλτράρει και να το απολυμαίνει από τους ρύπους, μέσω διάφορων διεργασιών, διοχετεύοντας το σε υπόγειους υδροφορείς, λίμνες και ποτάμια.
- **Στην ανακύκλωση θρεπτικών στοιχείων.** Η απόθεση των οργανικών αποβλήτων και η αφομοίωσή τους από το εδαφικό σύστημα, βοηθάει στον εμπλουτισμό του εδάφους σε θρεπτικά στοιχεία αξιοποιήσιμα από τα φυτά και τα ζώα.
- **Στο ενδιαίτημα των ζώντων οργανισμών.** Η ύπαρξη πολύπλοκων και αξιόλογων οργανισμών βρίσκουν καταφύγιο στα εδάφη. Η γενετική ποικιλότητα αυτών των κοινωνιών εξαρτάται από την ποιότητα του εδάφους σε συνδυασμό με άλλα οικοσυστήματα, όπως του ατμόσφαιρας και του νερού.

- **Στη σύσταση της ατμόσφαιρας.** Το έδαφος και η ατμόσφαιρα ανταλλάσσουν αέρια (όπως μεθάνιο, διοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου κ.α), τα οποία επηρεάζουν την σύσταση του αέρα και κατά συνέπεια των κλιματολογικών συνθηκών.
- **Στη χρήση ως μέσω στήριξης κατασκευών.** Πολλά από τα εδάφη λόγω των μηχανικών τους ιδιοτήτων (αντοχής, συμπιεστότητα, σταθερότητα, εφελκυσμό) μπορούν να στηρίξουν κάθε είδους κατασκευές, όπως δρόμους, βιομηχανίες, σπίτια κ.α.

Οι διεργασίες που πραγματοποιούνται στα εδάφη έχουν άμεσο αντίκτυπο στα οικοσυστήματα, όπως η ρύπανση των υπόγειων υδάτων, η καταστροφή του όζοντος, η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη, η καταστροφή των δασών. Η ποιότητα των εδαφών διαδραματίζει πρωταρχικό ρόλο στην ικανότητα της γης να ανταπεξέλθει στις ανάγκες της των ανθρωπίνων αναγκών.

Η δομή του εδάφους θεωρείται από τους βασικούς παράγοντες που ευθύνονται για την ύπαρξη ζωής των φυτών και των ζώων. Συγκροτείται από τεμαχίδια με διαφορετικό σχήμα και μέγεθος συνδυασμένα με κενά και πόρους. Έχουν την ικανότητα να συγκρατούν και μεταφέρουν υγρά καθώς οργανικές και ανόργανες ουσίες, επιδρώντας στην ανάπτυξη των φυτών μέσω του ριζικού συστήματος (Lal, 1991).

Οι αυξημένες ανάγκες των ανθρώπων διαταράσσουν την ισορροπία των οικοσυστημάτων και κατά συνέπεια τον κύκλο των θρεπτικών στοιχείων. Η υλοτόμηση, η αύξηση της κτηνοτροφίας, οι μονο-καλλιέργειες, οι απαιτήσεις των φυτών για την ανάπτυξή τους, η επαναχρησιμοποίηση των εδαφών κάθε χρόνο, είναι κάποιοι από τους παράγοντες που εμπλέκονται στην διαταραχή αυτού του ισοζυγίου. Η ανακύκλωσή τους θεωρείται απαραίτητη για την διατήρηση των αποθεμάτων στη Γη.

Στις παρακάτω ενότητες γίνεται αναφορά των βασικών κύκλων των ανόργανων συστατικών του αζώτου, του φωσφόρου, του καλίου και του θείου.

3. Θρεπτικά συστατικά

Η δομή του εδάφους θεωρείται από τους βασικούς παράγοντες που ευθύνονται για την ύπαρξη ζωής των φυτών και των ζώων. Συγκροτείται από τεμαχίδια με διαφορετικό σχήμα και μέγεθος συνδυασμένα με κενά και πόρους. Έχουν την ικανότητα να συγκρατούν και μεταφέρουν υγρά καθώς οργανικές και ανόργανες ουσίες, επιδρώντας στην ανάπτυξη των φυτών μέσω του ριζικού συστήματος (Lal, 1991).

Οι αυξημένες ανάγκες των ανθρώπων διαταράσσουν την ισορροπία των οικοσυστημάτων και κατά συνέπεια τον κύκλο των θρεπτικών στοιχείων. Ο υπερπληθυσμός, η υλοτόμηση, η αύξηση της κτηνοτροφίας, οι μονο-καλλιέργειες, οι απαιτήσεις των φυτών για την ανάπτυξή τους, η επαναχρησιμοποίηση των εδαφών κάθε χρόνο, είναι κάποιοι από τους παράγοντες που εμπλέκονται στην διαταραχή αυτού του ισοζυγίου.

Οι καλλιέργειες που αφορούν τον πρωτογενή τομέα, αυξήθηκαν σε ποσοστό 50% το χρονικό διάστημα μεταξύ 2000 έως 2018. Η αυξανόμενη παραγωγή ήταν αποτέλεσμα της μεγάλης χρήσης λιπασμάτων (ανόργανων και οργανικών) και φυτοφαρμάκων καθώς και της υψηλής κατανάλωσης νερού (FAO, 2020). Το έτος 2019 παρήχθησαν 3,2 δισεκατομμύρια

τόνοι τροφίμων. Την πρώτη θέση είχε η παραγωγή δημητριακών ενώ ακολούθησαν η ζάχαρη, τα λαχανικά, τα έλαια, τα φρούτων και οι ρίζες (FAO, 2020).

Η λίπανση του εδάφους κρίνεται απαραίτητη για την βελτίωση της γονιμότητά του και για την ανόργανη θρέψη των φυτών. Είναι μια διαδικασία αναπλήρωσης των θρεπτικών στοιχείων τα οποία είτε αφομοιώθηκαν από πρότερες καλλιέργειες, είτε απομακρύνθηκαν μέσω της έκπλυσης των εδαφών.

Τα κύρια θρεπτικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την λίπανση των καλλιεργειών είναι το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο. Με την προσθήκη αζώτου ενισχύεται η ανάπτυξη των καλλιεργειών, ενώ αποτρέπεται η υποβάθμιση του εδάφους η οποία επέρχεται από τις επαναλαμβανόμενες γεωργικές δραστηριότητες. Ο φώσφορος ως βασικό συστατικό του ATP, είναι απαραίτητος και ζωτικής σημασίας για τα φυτά και τους ζώντες οργανισμούς, καθώς διαδραματίζει ένα ρόλο κλειδί στον ενεργειακό μεταβολισμό, στην αποθήκευση και γενικά στον τρόπο μετάδοσης των πληροφοριών (Krüger & Adam, 2017). Το κάλιο χρησιμοποιείται ως τονωτικό στην φωτοσύνθεση των φυτών, βελτιώνοντας την απόδοση, την ανάπτυξη και την αντοχή τους στην ξηρασία. Έτσι, τα φυτά γίνονται περισσότερο ανθεκτικά κατά την ανάπτυξή τους κάτω από αντίξοες συνθήκες (Zahoor et al., 2017).

3.1. Άζωτο

Η παρουσία του αζώτου στο έδαφος είναι εξαιρετικά σημαντική, καθώς αυτό το στοιχείο διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών και των μικροοργανισμών που βρίσκονται στο έδαφος. Η διαφορετική οξείδωση του αζώτου επιτρέπει τη δημιουργία διαφορετικών ενώσεων, οι οποίες ελέγχονται από μικροβιακές ομάδες και τύπους που βρίσκονται στο έδαφος.

Αυτοί οι μικροοργανισμοί είναι εξαιρετικά ευαίσθητοι σε διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η διαθεσιμότητα οξυγόνου στο έδαφος. Οι συγκεκριμένοι παράγοντες επηρεάζουν άμεσα τη μετατροπή του αζώτου στο έδαφος και συνεπώς, τη διαθεσιμότητα του για τις φυτικές και μικροβιακές διεργασίες.

Το άζωτο τόσο στο υδάτινο περιβάλλον όσο και στο χερσαίο συναντάται με τις μορφές: της αμμωνίας (NH_3), του μοριακού αζώτου N_2 , της νιτρικής και νιτρώδους ρίζας (NO_3^- , NO_2^-). Περίπου το 98% του αζώτου στο έδαφος είναι σε μορφή οργανική, ενώ το υπόλοιπο 2% σε ανόργανη (Li et al., 2013).

3.1.1. Ανόργανο και οργανικό άζωτο

Τα ορυκτά που εμφανίζεται το άζωτο σε ανόργανη μορφή είναι κυρίως αργιλικά, ενώ συναντάται και σε μορφές ιόντων αμμωνίου, νιτρώδων και νιτρικών στο διάλυμα του εδάφους. Η μετατροπή του ανόργανου αζώτου σε οργανικές μορφές αποτελεί βασική διαδικασία για τα φυτά, καθώς παρέχει την απαραίτητη πηγή αζώτου για την ανάπτυξή τους.

Στο έδαφος το άζωτο υπάρχει σε πολλές πολύπλοκες οργανικές μορφές, που περιλαμβάνουν διάφορες πρωτεΐνες, αμινοξέα, συνένζυμα, νουκλεϊκά οξέα. Αυτές οι οργανικές μορφές έχουν καθοριστικό ρόλο στις δραστηριότητες του αζώτου (Mengel & Kirkby, 2001).

Ο αζωτούχος σύνδεσμος συνιστά τη βασική συνθετική μονάδα για τα αμινοξέα και τις πρωτεΐνες, τα οποία αποτελούν τα βασικά στοιχεία για τη ζωή και τον μεταβολισμό των οργανισμών. Στα φυτά οι πρωτεΐνες περιέχουν το σημαντικότερο ποσοστό αζώτου, ενώ τα συνένζυμα αποτελούν τις φυσικές πηγές πρωτεϊνών και λειτουργούν ως βιο-καταλύτες σε πολλές βιολογικές και χημικές αντιδράσεις.

Βασικές ουσίες για την ανάπτυξη των φυτών και την ύπαρξή τους, αποτελούν τα νουκλεϊκά οξέα καθώς περιέχουν περίπου 15-16% άζωτο. Αναπόσπαστο τμήμα της γενετικής λειτουργίας αποτελεί το RNA και το DNA. Επιπλέον, η χλωροφύλλη αποτελεί τη φωτοσυνθετική ουσία στο 45-60% των πρωτεϊνών, με το ξηρό βάρος του να αποτελεί περίπου το 20-30% του βάρους των φύλλων (Li et al., 2013).

Οι διάφορες μορφές του οργανικού αζώτου αποτελούν μεσολαβητικά προϊόντα που προέρχονται κυρίως: από την απόθεση της οργανικής ύλης στο έδαφος, από την διαδικασία μεταβολισμού της οργανικής ύλης από τους μικροοργανισμούς και από της εκκρίσεις των ριζών του φυτού. Τα φυτά μπορούν να κάνουν χρήση των αζωτούχων οργανικών ενώσεων μαζί με ορυκτά ή και απουσία αυτών (Charpin et al., 1993).

3.1.2. Επίδραση αζώτου στα φυτά

Το άζωτο είναι ένα από τα βασικά συστατικά των φυτών, αφού αποτελεί το τέταρτο πιο συνηθισμένο στοιχείο στην σύνθεσή τους. Αυτό το στοιχείο υπερβαίνεται μόνο από τον άνθρακα, το υδρογόνο και το οξυγόνο. Οι περίπλοκες αζωτούχες ενώσεις που λαμβάνουν χώρα στα φυτά προέρχονται κυρίως από ορυκτά αμμωνίου, νιτρικών και από άλλα αζωτούχα στοιχεία. Τα φυτά μπορούν να απορροφήσουν αυτές τις μορφές αζώτου μέσω διαφόρων τρόπων, όπως του ριζικού συστήματος, του φυλλώματος και των μίσχων (Mengel & Kirkby, 2001).

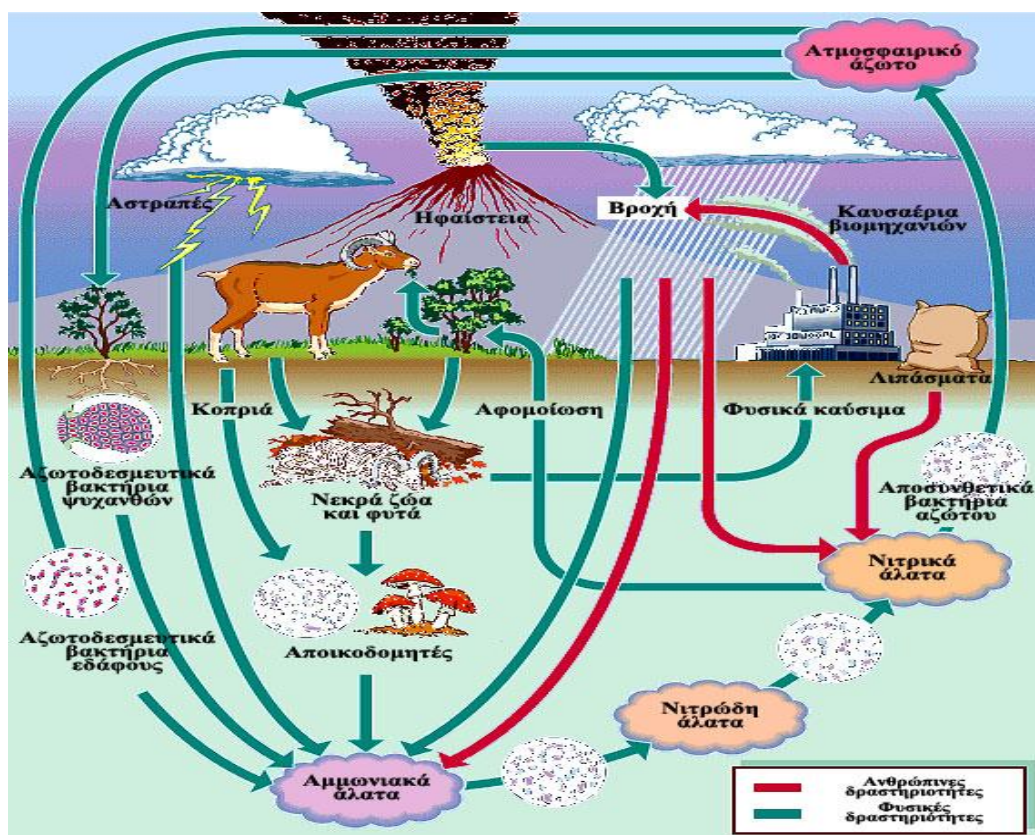
Η ανταπόκριση των φυτών στην αύξηση της διαθεσιμότητας του αζώτου στα εδάφη, έχει άμεση επίδραση στα φύλλα τους, αλλάζοντας το χρώμα τους σε σκούρο πράσινο. Επίσης, παρατηρείται αύξηση της παραγωγής και του μεγέθους των σπόρων σε σιτηρά, της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες στα φύλλα και στα σπέρματα και της παραγωγικότητας των φυτών. Επιπλέον, το άζωτο βοηθά στην ανάπτυξη των χλωροφυλλών λαχανικών, όπως το μαρούλι και τα ραδίκια, καθώς και στην αύξηση της παραγωγικότητας του βοσκοτόπου και της πυκνότητας του χλοοτάπητα. Η περιεκτικότητα των φύλλων σε άζωτο μπορεί να διαφέρει ανάλογα με την ηλικία του φύλλου και το είδος του φυτού, με μερικά φυτά της οικογένειας των ψυχανθών παρουσιάζουν υψηλότερες επίπεδα αζώτου στα φύλλα τους από άλλα (Brady, et al., 2008).

Τα φυτά με έλλειψη αζώτου αναγνωρίζονται από την αλλαγή χρώματος των φύλλων τους και από την μικρή ανάπτυξή τους. Τα φύλλα τους αποκτούν ένα κίτρινο ή ανοιχτό πράσινο χρώμα και οι βλαστοί τους είναι ισχνοί και με αρκετό μήκος. Η έλλειψη αζώτου οδηγεί σε αύξηση της περιεκτικότητας του φυτού σε σάκχαρα και μείωση της περιεκτικότητας αυτού σε πρωτεΐνες. Η ευκολία μετακίνησης του αζώτου στο εσωτερικό του φυτού οδηγεί τα γηραιότερα φύλλα σε χλώρωση και μετέπειτα πτώση με τα νεότερα να απορροφούν από αυτά το άζωτό τους (Harper, 1994).

Η χορήγηση μεγάλων ποσοτήτων αζώτου στα φυτά οδηγεί σε υψηλή παραγωγή φυτομάζας, ενώ οι βλαστοί παρουσιάζουν επιμήκυνση και λέπτυνση στα τοιχώματά τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα ψηλά τμήματα των φυτών να είναι περισσότερο ευλύγιστα σε ισχυρές βροχοπτώσεις και ανέμους. Ακόμη, η παροχή υψηλών ποσοτήτων αζώτου θεωρείται υπεύθυνη για την αργή ωρίμανση των φυτών, για την εύκολη προσβολή αυτών από ασθένειες, όπως οι μυκητιάσεις και για την υποβάθμιση σε ποιότητα των τελικών προϊόντων. Επιπλέον, παρατηρείται αλλαγή χρώματος και αρωμάτων στα φρούτα και μείωση των σακχάρων και των βιταμινών στα λαχανικά. Η αύξηση της φυτομάζας των ανθοκομικών προϊόντων που προκαλείται από την υψηλή χορήγηση του αζώτου, συμβάλλει στην ελάττωση της ποσότητας των παραγόμενων άνθων. Να σημειωθεί ότι η συσσώρευση των νιτρικών ιόντων στα φυτά που προορίζονται για τροφές ζώων και ανθρώπων καθίστανται επικίνδυνα για την υγεία όλων (Brady, et al., 2008).

3.1.3. Ο κύκλος του αζώτου

Σε κάθε φάση του κύκλου του αζώτου, το άζωτο ως άτομο μπορεί να βρίσκεται σε ένα σύνολο πολλών και διαφορετικών μορφών, καθεμία εκ των οποίων παρουσιάζουν διακριτές ιδιότητες, συμπεριφορές και επιπτώσεις στο σύστημα. Ο κύκλος του αζώτου αναλύει ακριβώς τον λόγο για τον οποίο η φυτική βλάστηση (και κατά συνέπεια τα ζώα) μπορούν να διατηρήσουν το άζωτο στο έδαφος για εκατοντάδες χρόνια χωρίς να εξαντλείται.



Εικόνα 2. Κύκλος αζώτου (πηγή: https://ts.sch.gr/repo/online-packages/gym-chimeia-b-c/chemistry/common/morechem/chapt4/nitrogen_cycle.htm)

Ακόμη αναλύει τον λόγο που στη βιόσφαιρα χρησιμοποιείται το ίδιο άζωτο κατά κόρον και παραμένει και αυτό ανεξάντλητο (Fowler et al., 2013).

Εδώ και πολλά χρόνια, οι ερευνητές ασχολούνται εντατικά με τον κύκλο του αζώτου, καθώς η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο μεταφέρεται και μετατρέπεται αυτό το σημαντικό στοιχείο είναι κρίσιμη, για την επίλυση προβλημάτων, που σχετίζονται τόσο με το περιβάλλον και την γεωργία όσο και με τους φυσικούς πόρους. Η εικόνα 2 απεικονίζει τα κύρια αποθέματα αζώτου και τις αλληλεπιδράσεις αυτών οι οποίες συμβαίνουν κατά τη διάρκεια του κύκλου του.

Το ανόργανο άζωτο συναντάται σε δύο σημαντικές μορφές ιόντων: των νιτρικών και αμμωνιακών (Brady et al., 2008). Ένας μέρος του αμμωνιακού αζώτου χάνεται κατά την διάρκεια της διάβρωσης τους εδάφους και της επιφανειακής απόρροιας αυτού, ενώ ένα άλλο μπορεί να ακολουθήσει πέντε πιθανές διαφορετικές διαδρομές:

- i. να ακινητοποιηθεί από μικροοργανισμούς,
- ii. να προσληφθεί από τα φυτά
- iii. να προσροφηθεί από αργιλώδη ορυκτά,
- iv. να μετατραπεί σε αέρια αμμωνία (αεριοποίηση),
- v. να οξειδωθεί σε νιτρώδη και μετέπειτα σε νιτρικά ιόντα (νιτροποίηση).

Από την άλλη τα νιτρικά ιόντα μπορεί να ακολουθήσουν τέσσερις πιθανές διαδρομές:

- i. να ακινητοποιηθούν από μικροοργανισμούς,
- ii. να προσροφηθούν από μικροοργανισμούς,
- iii. να εκπλυθούν στα υπόγεια ύδατα,
- iv. να γίνει νιτροποίηση και μετέπειτα αεριοποίηση.

Κατά την διάρκεια της αμμωνιοποίησης, το ανόργανο άζωτο που προσλαμβάνεται από τους μικροοργανισμούς, συσσωματώνεται με τις οργανικές ενώσεις συμμετέχοντας στις διεργασίες μεταβολισμού. Η επαναφορά του στο περιβάλλον γίνεται με την μορφή παραπροϊόντων μεταβολισμού ή οργανικών ουσιών από τους νεκρούς οργανισμούς. Η ύπαρξη των βακτηριδίων και των μυκήτων στο έδαφος ή στο νερό, εκμεταλλεύονται το αζωτούχο οργανικό υπόστρωμα μετατρέποντάς το σε ανόργανη αμμωνιακή ένωση. Αυτή η διεργασία ορίζεται ως αμμωνιοποίηση (αργονανοποίηση) και λαμβάνει χώρα από συγκεκριμένους εξειδικευμένους μικροοργανισμούς (Strock, 2008).

Η μετατροπή στο έδαφος ή στο ύδωρ της ανόργανης αμμωνιακής μορφής σε νιτρική ονομάζεται νιτροποίηση. Η νιτροποίηση συντελείται σε δυο φάσεις με την συμμετοχή αυτότροφων χημειοσυνθετικών μικροοργανισμών. Στην πρώτη φάση γίνεται μετατροπή των αμμωνιακών ιόντων σε νιτρώδη και στη δεύτερη φάση ακολουθεί μετατροπή των νιτρωδών ιόντων σε νιτρικά. Η νιτρική μορφή είναι άμεσα απορροφήσιμη από τα φυτά.

Η διεργασία κατά την οποία πραγματοποιείται πρόσληψη των νιτρικών αλάτων από τους αυτότροφους μικροοργανισμούς και μετατροπή αυτών σε αμμωνιακά ορίζεται ως απονιτροποίηση. Η απονιτροποίηση λαμβάνει χώρα σε εδάφη με ανεπαρκή αερισμό ή σε εδάφη με αυξημένη περιεκτικότητα οργανικής ύλης. Από τη διεργασία της απονιτροποίησης λαμβάνονται οξείδια του αζώτου καθώς και μοριακό άζωτο (Kuenen et al., 1994).

3.2. Φώσφορος

Ο φώσφορος που υπάρχει στο έδαφος είναι ένα στοιχείο, που προέρχεται είτε από την αποσάθρωση φωσφορικών ορυκτών, είτε από οργανικά υπολείμματα φυτικής ή ζωικής προέλευσης, είτε από την προσθήκη φωσφόρου από τον άνθρωπο με την χρήση ανόργανης ή οργανικής λίπανσης.

Η απελευθέρωση του φωσφόρου στο εδαφικό διάλυμα προκαλείται κατά την διάλυση των φωσφορικών ορυκτών, με αυτόν τον τρόπο ο δεσμευμένος φώσφορος που βρίσκεται στην επιφάνειά τους διαχέεται στο εδαφικό διάλυμα. Βασικά χαρακτηριστικά του φωσφόρου είναι η υψηλή σταθερότητά του στα εδάφη καθώς και η χαμηλή διαθεσιμότητά του, που οφείλεται στην αργή διάχυσή του στο έδαφος.

Θεωρείται απαραίτητο στοιχείο για την ανάπτυξη των φυτών αφού εμπλέκεται μέσω ενεργειακών μετασχηματισμών στις φυσιολογικές λειτουργίες τους. Ειδικότερα κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης επιτυγχάνεται δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας από την χλωροφύλλη, μετατρέποντας το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό σε οξυγόνο και υδατάνθρακες. Η παραχθείσα ενέργεια αυτής της αντίδρασης αφομοιώνεται από τα φυτά ως ATP. Η μορφή αυτή (ATP) όπως το DNA και το RNA έχουν ως βασικό συστατικό τους τον φώσφορο. Άρα ο φώσφορος εμπλέκεται στα χαρακτηριστικά και στην ανάπτυξη ενός φυτού καθώς και στον κυτταρικό πολλαπλασιασμό του (Mullins, 2001).

3.2.1. Ανόργανος και οργανικός φώσφορος

Ανάλογα με τις μορφές όπου συναντάται ο φώσφορος στο έδαφος διακρίνεται σε οργανικός και ανόργανος. Και οι δύο αυτές μορφές παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά ως προς την κίνησή του φωσφόρου στο έδαφος. Παρόλα αυτά τόσο η ανόργανη όσο και η οργανική μορφή του φωσφόρου, θεωρούνται σημαντικές πηγές τροφοδοσίας για την ανάπτυξη των φυτών.

Η ανόργανη μορφή του φωσφόρου κυριαρχεί στα περισσότερα εδάφη φτάνοντας σε πολλές περιπτώσεις και το 75% του ολικού φωσφόρου (Θεριός, 1996). Η σταθερότητα των πρωτογενή ορυκτών των δυσδιάλυτων φωσφορικών αλάτων (απατίτης, βαρισκίτης, στρεγκίτης) έχουν, την ικανότητα να απελευθερώνουν αργά τον φώσφορο, όταν επιδρούν πάνω τους η αντίστοιχες καιρικές συνθήκες. Αυτό δίνει την δυνατότητα στα φυτά να απορροφήσουν όσο φώσφορο χρειάζονται για να καλύψουν τις αντίστοιχες ανάγκες τους σε θρέψη. Η κατηγορία των δευτερογενών φωσφορικών ενώσεων στην οποία περιέχονται στοιχεία όπως το ασβέστιο, ο σίδηρος και το αργίλιο συμπεριφέρονται διαφορετικά ανάλογα με το με το pH του κάθε εδάφους και το μέγεθος των τεμαχιδίων των ορυκτών. Επομένως, σε αλκαλικά εδάφη όπου κυριαρχεί το ασβέστιο οι μορφές που εμφανίζει ο φώσφορος είναι ως φωσφορικό διασβέστιο ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), φωσφορικό τετρασβέστιο ($\text{Ca}_4\text{H}(\text{PO}_4)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) και ως φωσφορικό (οκτασβεστίου, $(\text{Ca}_8(\text{PO}_4)_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$). Από την άλλη σε εδάφη όξινα υπερτερούν ιόντα αργιλίου και σιδήρου με την μορφή του βαρισκίτη ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) και του στρεγκίτη ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) αντίστοιχα. Παρατηρείται, ότι όσο αυξάνεται το pH του εδάφους αυξάνεται και η διαλυτότητα των αργιλικών και σιδηρούχων φωσφορικών αλάτων. Αντίθετα στο φωσφορικό ασβέστιο η διαλυτότητα μειώνεται όταν οι τιμές του pH του εδάφους είναι κάτω από την τιμή 8 (Σινάνης, 2015).

Η οργανική μορφή του φωσφόρου σε σχέση με την ανόργανη καταλαμβάνει μικρότερο ποσοστό του ολικού φωσφόρου που υπάρχει στο έδαφος. Οι τιμές του κυμαίνονται μεταξύ 35% και 65% (Θερίος, 2021). Κάποιες από τις μορφές που συναντάται ο οργανικός φώσφορος έχουν σταθεροποιητικό χαρακτήρα. Μερικές από αυτές είναι οι φωσφονικές και φωσφορικές ινόςιτολες, φωσφολιπίδια και νουκλεϊκά οξέα. Υπάρχουν όμως και οι μορφές με μεγαλύτερη δραστηριότητα και αστάθεια, όπως οι διεστερες ορθό-φωσφορικού, οι ορθο-φωσφορικού μονό-εστέρες καθώς και τα οργανικά πολύ-φωσφορικά. Για να πραγματοποιηθεί η προσρόφηση του οργανικού φωσφόρου, θα πρέπει πρώτα να γίνει η ανοργανοποίησή του. Η διεργασία αυτή απελευθερώνει αργά τον φώσφορο με τη βοήθεια μικροοργανισμών που υπάρχουν στο έδαφος, διευκολύνοντας την απορρόφησή του, από το ριζικό σύστημα των φυτών. Οι παράμετροι που επηρεάζουν την ανοργανοποίηση του οργανικού φωσφόρου στο έδαφος, είναι η θερμοκρασία του, η υγρασία του, οι τιμές του pH του και τέλος οι φυσικοχημικές του ιδιότητες (Jianbo, 2011).

3.2.2. Φώσφορος στο έδαφος (προσρόφηση-συγκράτηση)

Ο φώσφορος στο έδαφος είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη του φυτού. Η απορρόφησή του στο έδαφος αυξάνεται όταν υπάρχει επάρκεια και από άλλα θρεπτικά συστατικά. Η συνύπαρξη του φωσφόρου με αζωτούχες ενώσεις σε ένα σκεύασμα λιπάσματος αυξάνει την πρόσληψή του από το έδαφος μετά την εφαρμογή του. Αντίθετα, δεν παρατηρείται ίδια αυξημένη απορρόφηση με την εφαρμογή λιπάσματος που περιέχεται μόνο φώσφορος ή συνδυασμός δύο διαφορετικών σκευασμάτων φωσφόρου και αζώτου. Ο φώσφορος και η διαθεσιμότητά του αυξάνεται με την εφαρμογή θείου σε αλκαλικά ή ουδέτερα εδάφη, όπου συναντάται με την μορφή φωσφορικού ασβεστίου (Brady et al., 2008).

Όταν το έδαφος βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία και ο αερισμός του δεν είναι επαρκείς παρατηρείται μείωση της απορρόφησης του P από τα φυτά. Ο υδατοδιαλυτός φώσφορος που περιέχεται σε διάφορα λιπάσματα συνεισφέρει στην αύξηση της ανάπτυξης των φυτών σε δροσερές καιρικές συνθήκες. Τα εδάφη που έχουν υψηλή υγρασία ή είναι αρκετά συμπυκνωμένα, παρεμποδίζουν την απορρόφηση του φωσφόρου από το ριζικό σύστημα.

Η συγκράτηση του P από το έδαφος είναι μια διαδικασία κατά την οποία γίνεται μετατροπή του ευδιάλυτου P σε μορφές διαθέσιμες για τις καλλιέργειες. Προέρχεται συνήθως από λιπάσματα ή από τη φύση μέσω καιρικών συνθηκών, ενώ αντιδρά με Al, Fe, και άργιλο. Η κίνησή του περιορίζεται στα 2,5 εκατοστά παραμένοντας στον χώρο από όπου εισήλθε με τα φυτά να απορροφούν συνήθως κάτω από 20% μετά την πρώτη εφαρμογή του λιπάσματος. Ένα μέρος του P μεταφέρεται μέσω έκπλυσης και χάνεται, ενώ ο υπόλοιπος παραμένει διαθέσιμος για μεταγενέστερες καλλιέργειες (Brady et al., 2008).

Η συγκράτηση του φωσφόρου επηρεάζεται από την περιεκτικότητα της οργανικής ουσίας του εδάφους, το χρονικό διάστημα που παραμένει ο φώσφορος στο έδαφος, το pH του εδάφους και την περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο (Brady, et al., 2008; Antoniadis et al., 2014).

Συγκεκριμένα, ο οργανικός φώσφορος που βρίσκεται σε εδάφη πλούσια σε οργανική ύλη επιδρά σημαντικά στην απόδοση των καλλιεργειών. Ακόμη, η χηλικοποίηση που συμβαίνει μεταξύ της οργανικής ουσίας και των ιόντων σιδήρου αποτρέπει την δημιουργία μη διαλυτού φωσφορικού σιδήρου. Επίσης, παρατηρείται αύξηση της διαθεσιμότητας των ορυκτών του φωσφόρου σε αλκαλικά εδάφη, πλούσια σε οργανική ύλη, η οποία προέρχεται με την αποσύνθεση αυτής και την παραγωγή όξινων ενώσεων.

Ο χρόνος επαφής ανάμεσα στα σωματίδια του εδάφους με τον διαλυτό φώσφορο, επηρεάζει τη συγκράτησή του στο έδαφος. Έτσι, η χρήση φωσφορικών λιπασμάτων γίνεται περισσότερο αποτελεσματική εφαρμόζοντας το λίπασμα πριν από τη σπορά. Τα εδάφη που ωφελούνται περισσότερο από αυτή την τακτική, είναι αυτά που η σύστασή τους επιτρέπει την συγκράτηση του φωσφόρου (Brady et al., 2008).

Ένας ακόμη παράγοντας που είναι άμεσα συνδεδεμένος με την διαθεσιμότητα του P είναι το pH των εδαφών (Antoniadis et al., 2014). Η μεγαλύτερη διαθεσιμότητα συναντάται σε εδάφη με τιμές pH μεταξύ 5.5 και 7. Σε αυτό το εύρος ευνοείται η ύπαρξη ιόντων H_2PO_4 , των οποίων η απορρόφηση μέσω του ριζικού συστήματος των φυτών πραγματοποιείται ευκολότερα. Σε εδάφη όπου επικρατεί ο ασβεστόλιθος και το pH τους κυμαίνεται στο 8, καθιζάνει ο φώσφορος με την μορφή διαλυτού φωσφορικού ασβεστίου. Σε εδάφη με χαμηλή τιμή pH γίνεται καθίζηση του P μέσω του φωσφορικού σιδήρου ή αργιλίου έχοντας μικρή διαλυτότητα (Brady et al., 2008).

Τέλος, έχει παρατηρηθεί ότι όταν κυριαρχεί ο άργιλος στο έδαφος, ο φώσφορος συγκρατείται περισσότερο σε σχέση με αμμώδη εδάφη ή χονδροειδή. Η ικανότητα συγκράτησης του φωσφόρου διαφέρει και μεταξύ των διαφόρων τύπων αργιλικών εδαφών (Antoniadis et al., 2016). Ο каоλινίτης που κατά κύριο λόγο σχηματίζεται υπό συγκεκριμένες καιρικές συνθήκες, όπως έντονες βροχοπτώσεις και θερμοκρασίες που κυμαίνονται σε υψηλά επίπεδα, συγκρατεί περισσότερο φώσφορος σε σύγκριση με τον ιλίτη και τον βερμικουλίτη (Θερίος, 2021).

3.2.3. Επίδραση φωσφόρου στα φυτά

Ο φώσφορος στο έδαφος είναι καθοριστικής σημασίας και έχει αντίκτυπο στην ανάπτυξη των φυτών, καθώς συναντάται στα κύτταρά τους. Η συμμετοχή του σε σημαντικές διεργασίες του φυτού όπως η φωτοσύνθεση, η μεταφορά ενέργειας, ο μετασχηματισμός διαφόρων υδατανθράκων, οι γενετικές τροποποιήσεις, είναι κάποιες από τις βασικές λειτουργίες που επηρεάζονται από την επάρκεια φωσφόρου στο έδαφος.

Επομένως, η ύπαρξη φωσφόρου στα φυτά:

- ενισχύει την αντοχή τους,
- δυναμώνει την βλάστησή τους,
- αυξάνει την απόδοση των καλλιεργειών,
- εξασφαλίζει μια αποδοτικότερη ολοκλήρωση της ανάπτυξης (ωρίμανση),
- συμμετέχει ως συστατικό στο DNA και το RNA του φυτού,
- επιδρά θετικά στην ποιοτική σύσταση των φυτών.

Τόσο η πρόσληψη όσο και η μεταφορά του P πραγματοποιείται μέσω του ριζικού συστήματος. Οι μυκορριζικοί μύκητες συνδράμουν στην πρόσληψη τους φωσφόρου ενισχύοντας την απορρόφησή του (Schachtman et al., 1998). Τα ορθοφωσφορικά ιόντα

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΩΕΛΤΙΩΤΙΚΟ
Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

$H_2PO_4^-$ είναι η κύρια μορφή απορρόφησης του P, ενώ συναντώνται και τα δευτερογενή ορθοφωσφορικά ιόντα HPO_4^- σε αλκαλικά κυρίως εδάφη.

Ο φώσφορος που απαντάται σε οργανική μορφή δεν είναι άμεσα διαθέσιμος στα φυτά. Για την απορρόφηση του από αυτά απαιτείται πρώτα ανοργανοποίηση της οργανικής ύλης.

Τα φωσφορικά ορυκτά περιέχουν αδιάλυτο φώσφορο προερχόμενο από μητρικά πετρώματα ή από μη διαλυτά άλατα φωσφόρου, τα οποία παρήχθησαν από την αντίδραση των φωσφορικών ιόντων του διαλύματος του εδάφους και των ιδιοτήτων του. Συγκεκριμένα, τα ασβεστόχυα και τα όξινα εδάφη είναι αυτά που παρουσιάζουν αυτές τη μη απορροφήσιμες μορφές καθώς σχηματίζουν φωσφορικό ασβέστιο και φωσφορικά μέταλλα αντίστοιχα (Antoniadis et al., 2017). Τα φυτά είναι σε θέση να απορροφήσουν φώσφορο στην περίπτωση διάλυσης μέρους αυτών των μορφών από το διάλυμα του εδάφους.

Ο P αφού εισέλθει στο ριζικό σύστημα, ένα μέρος του αποθηκεύεται στη ρίζα του, ενώ ένα άλλο μεταφέρεται στα ανώτερα τμήματα των φυτών. Η διαθεσιμότητα του φωσφόρου σε ολόκληρο το φυτό οφείλεται στην ύπαρξη αυτού σε πολλές οργανικές ενώσεις, όπως οι φωσφορικές πρωτεΐνες, τα φωσφορικά λιπίδια, τα σάκχαρα, το DNA, RNA, ATP. Η μετακίνηση του ιόντος του P πραγματοποιείται μέσω των οργανικών μορφών και των αντίστοιχων χημικών αντιδράσεων.

Η ενέργεια των φωσφορικών αλάτων διατηρείται και μεταφέρεται μέσω του αδενοσινιδιφωσφορικού οξέος (ADP) καθώς και της τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP), οδηγώντας το φυτό σε πολλές χημικές αντιδράσεις. Χαρακτηριστική αντίδραση είναι και η φωσφορυλίωση, μέσω της οποίας πραγματοποιείται προσθήκη φωσφορικών ιόντων σε διάφορα μόρια. Επίσης, η φωτοσύνθεση κατατάσσεται δικαίως στη σημαντικότερη αντίδραση των φυτών, καθώς μέσω της χλωροφύλλης και της παρουσίας φωτός, πραγματοποιείται η αντίδραση του διοξειδίου του άνθρακα και του νερού μαζί με σάκχαρα, αιχμαλωτίζοντας την ενέργεια που παράγεται στη τριφωσφορική αδενοσίνη. Η ενέργεια αυτή που αποθηκεύτηκε στο ATP είναι διαθέσιμη σε άλλες αντιδράσεις που πρόκειται να πραγματοποιηθούν περαιτέρω στο φυτό (Schachtman et al., 1998).

Τα γονίδια και τα χρωμοσώματα εμπεριέχουν φώσφορο. Όντας σημαντικό συστατικό συμμετέχει ενεργά στο γενετικό κώδικα κάθε φυτού και μεταφέρεται μέσα από διαδικασίες από γενιά σε γενιά δίνοντας ένα προσχέδιο για τον τρόπο ανάπτυξης του κάθε φυτού. Τόσο η παραγωγή καινούριων κυττάρων όσο και η συνδρομή του στη γενετική πληροφορία που μεταφέρεται από κύτταρο σε κύτταρο, απαιτεί σημαντική ποσότητα φωσφόρου. Σημαντική είναι και η παρουσία του στους σπόρους, όπου η αποθήκευση πραγματοποιείται στη φυτίνη. Ωστόσο, η έλλειψη φωσφόρου μπορεί να οδηγήσει σε μείωση του μεγέθους, του αριθμού και της βιωσιμότητας των σπόρων.

Τα κύτταρα των φυτών έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν θρεπτικά στοιχεία σε πολύ μεγαλύτερες ποσότητες από ό,τι υπάρχουν στο διάλυμα του εδάφους, που τα περιβάλλει. Έτσι, οι ρίζες μπορούν να αντλήσουν αυτά τα συστατικά από το έδαφος, προσφέροντας μια λύση σε περιόδους χαμηλών συγκεντρώσεων. Η μεταφορά των θρεπτικών στοιχείων στο εσωτερικό τμήμα του φυτού, εξαρτάται σε μεγάλο ποσοστό από την ικανότητα μεταφοράς που παρουσιάζουν οι κυτταρικές μεμβράνες, οι οποίες χρειάζονται υψηλή ενέργεια για να

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΘΕΛΤΙΩΤΙΚΟ
Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ
αντιμετωπίσουν τις δυνάμεις που προκαλούνται από το φαινόμενο της ώσμωσης (Bieleski & Ferguson, 1983).

Η επαρκής προσφορά φωσφόρου είναι απαραίτητη για τη σωστή λειτουργία των διαδικασιών και την ικανοποιητική ανάπτυξη του φυτού. Αντιθέτως, η έλλειψη φωσφόρου έχει αρνητικό αντίκτυπο στην επέκταση της επιφάνειας και των αριθμό των φύλλων, καθώς και στην ανάπτυξη των βλαστών και των ριζών, οδηγώντας στη μείωση του ξηρού βάρους και της μάζας των ριζών. Η έλλειψη αυτού του στοιχείου περιορίζει τη δυνατότητα πρόσβασης του φυτού στο νερό και στην θρεπτικών συστατικών.

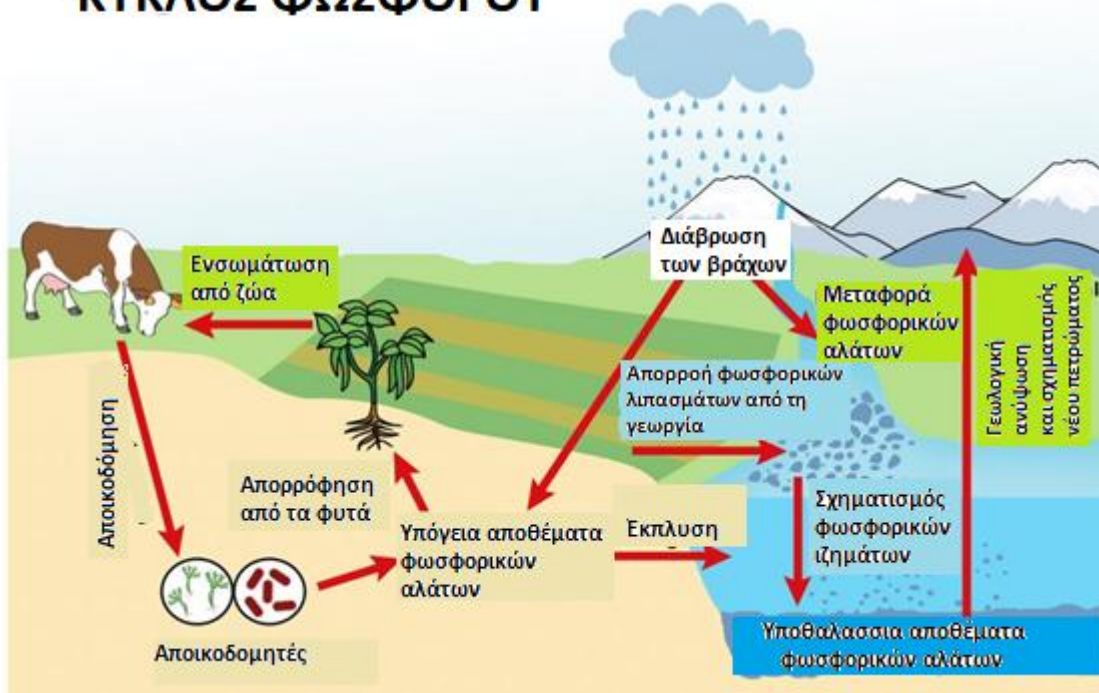
Η έλλειψη φωσφόρου καθυστερεί τη χρήση υδατανθράκων και οδηγεί στη συσσώρευση αυτού στα φυτά. Αποτέλεσμα είναι η αλλαγή χρώματος στα φύλλα σε σκούρο πράσινο ή και σκούρο μωβ σε ορισμένες κατηγορίες φυτών (καλαμπόκι και ντομάτα). Η έλλειψη φωσφόρου μπορεί επίσης να οδηγήσει σε μετατόπιση του φωσφόρου από παλαιότερους σε ενεργούς ιστούς των φυτών, προκαλώντας έλλειψη φύλλων στο κάτω μέρος του φυτού. Επιπλέον, η έλλειψη αυτού του στοιχείου επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα και την αντίσταση των φυτών στις ασθένειες, και προκαλεί μείωση της απόδοσης στον αγρό (López et al., 2014).

3.2.4. Κύκλος του φωσφόρου

Αρχικά τα φωσφορικά άλατα των πετρωμάτων εκχυλίζονται κατά την διάρκεια της βροχόπτωσης και της χιονόπτωσης και μεταφέρονται στους υδάτινα και στα χερσαία οικοσυστήματα. Στο υδάτινο οικοσύστημα η αφομοίωση πραγματοποιείται μέσω των υδρόβιων φυτών και κατά επέκταση μέσω της τροφής και των υδρόβιων ζώων. Στα ιζήματα παρατηρείται η μεγαλύτερη συγκέντρωση του φωσφόρου, ενώ ένα μικρό ποσοστό διατίθεται σε υδατοδιαλυτή μορφή. Τα φωσφορικά ιόντα μετατρέπονται σε άλατα δυσδιάλυτα όπως του ασβεστίου, του σιδήρου και του αργιλίου. Ο φώσφορος μπορεί να απελευθερωθεί και να εισέλθει στην υδατική μάζα σε συγκεκριμένες συνθήκες, όπως η απουσία αέρα στον πυθμένα.

Στο χερσαίο τμήμα της γης ο φώσφορος βρίσκεται με την προϋπάρχουσα μορφή εδαφικού διαλύματος ή ως πρόσθετο ανόργανης ή οργανικής λίπανσης. Αυτές είναι οι κύριες πηγές απορρόφησης του φωσφόρου από τα φυτά και κατά επέκταση μέσω της τροφής αυτών και των ζώων. Τόσο τα φυτά όσο και τα ζώα επιστρέφουν μέρος του φωσφόρου στα οικοσυστήματα με την αποσύνθεση των οργανικών υλών καθώς και των αποβλήτων που προκαλούνται από τα ζώα (Θερίος, 2021).

ΚΥΚΛΟΣ ΦΩΣΦΟΡΟΥ



Εικόνα 3. Κύκλος φωσφόρου (Πηγή : <https://www.sciencefacts.net/phosphorus-cycle.html>)

3.3. Κάλιο

Περίπου το 2,1-2,3% του επιφανειακού φλοιού της Γης αποτελείται από κάλιο, καθιστώντας το ένα από τα πιο άφθονα στοιχεία στη γη. Ως εκ τούτου, οι πόροι του καλίου στο έδαφος είναι συνήθως μεγάλοι (Wederohi, 1995). Τα φυτά απορροφούν το κάλιο σε μεγαλύτερες ποσότητες σε σχέση με άλλα θρεπτικά στοιχεία, με εξαίρεση το άζωτο. Το κάλιο διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη σύνθεση πρωτεϊνών και στο μεταβολισμό των σακχάρων, ενώ συμβάλλει και στην κινητοποίηση των ενζύμων. Επίσης, συνεισφέρει στη διατήρηση της ισορροπίας των ανιόντων και κατιόντων καθώς και στη μεταφορά του νερού και της ενέργειας. Επιπλέον, η παρουσία του καλίου είναι ουσιαστική σε συνθήκες ξηρασίας, υψηλής αλατότητας, τοξικότητας μετάλλων και ακραίων θερμοκρασιών (Hasanuzzaman et al., 2013).

Στα εδαφικά υποστρώματα, το κάλιο υπάρχει σε μεγαλύτερες ποσότητες από αυτές που απαιτούνται από τα φυτά για την ανάπτυξή τους. Όμως, μια μικρή ποσότητα καλίου είναι διαθέσιμη για αυτά. Η περιεκτικότητά του στο έδαφος είναι χαμηλότερη στα χονδρόκοκκα ή αμμώδη εδάφη όπως αυτών του ψαμμίτη και του χαλαζίτη, ενώ είναι υψηλότερη στα λεπτόκοκκα ή αργιλώδη εδάφη. Με την έλλειψη καλίου τα φυτά αυξάνουν την ευαισθησία τους σε ασθένειες και μολύνσεις και γίνονται περισσότερο ευάλωτα σε στρεσογόνες συνθήκες από επιβλαβείς μικροοργανισμούς (Hasanuzzaman et al., 2018).

3.3.1. Μορφές Καλίου

Σχεδόν το σύνολο του καλίου στο έδαφος, περίπου 90-98%, είναι ενσωματωμένο στα ορυκτά σε κρυσταλλική μορφή και ως εκ τούτου δεν είναι άμεσα απορροφήσιμο από τα φυτά. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους ποικίλουν και είναι αυτές που καθορίζουν

την διαθεσιμότητά του στο έδαφος. Με βάση την διαθεσιμότητά του ταξινομούνται σε τέσσερις κατηγορίες (Pal et al., 1999):

- Υδατοδιαλυτό κάλιο: το οποίο λόγω της ιδιότητάς του να διαλύεται στο νερό είναι απευθείας διαθέσιμο τόσο στα φυτά όσο και στους μικροοργανισμούς. Αυτό πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια έκπλυσης του εδάφους.
- Ανταλλάξιμο κάλιο: το οποίο εντοπίζεται κυρίως με τη μορφή κατιόντος και συνδέεται ηλεκτροστατικά με την επιφάνεια αργιλούχων ορυκτών.
- Μη ανταλλάξιμο κάλιο: το οποίο ανήκει στις ομάδες καλίου που δεν είναι άμεσα διαθέσιμες για απορρόφηση. Η απελευθέρωση του καλίου σε αυτήν την κατηγορία είναι πολύ αργή, με αποτέλεσμα τη μη εξυπηρέτηση των αναγκών των καλλιεργειών.
- Ορυκτή μορφή καλίου: το οποίο ανήκει και αυτό σε ομάδες που δεν είναι άμεσα απορροφήσιμες από τα φυτά.

Οι δύο πρώτες κατηγορίες βρίσκονται σε μικρότερο ποσοστό στο έδαφος σε σχέση με τις άλλες δύο. Το ανταλλάξιμο κάλιο κυμαίνεται στο 1-2%, ενώ το υδατοδιαλυτό στο 0,1-0,2%. Οι επόμενες δύο κατηγορίες γίνονται απορροφήσιμες μόνο όταν γίνει απομάκρυνση από το έδαφος του ανταλλάξιμου ή υδατοδιαλυτού καλίου (Zörb et al., 2014).

3.3.2. Ο κύκλος καλίου

Η εικόνα 3.3 παρουσιάζει τις σημαντικότερες μορφές κάτω από τις οποίες το κάλιο μπορεί να συγκρατηθεί στο έδαφος και τις διάφορες αλλαγές που μπορεί να υποστεί από την ανακύκλωση μεταξύ του εδάφους και των φυτών. Τα πρωτογενή ορυκτά όπου συναντάται το κάλιο ανήκουν στις ομάδες των μαρμαρυγίων και των καλιούχων αστρίων. Η δομή του πλέγματος αυτών των ορυκτών μετά την αποσάθρωσή τους αλλάζει και από άκαμπτη γίνεται εύκαμπτη (Brady et al., 2008).

Η πρόσληψη του καλίου από τα φυτά γίνεται σε μεγάλες ποσότητες και η ανακύκλωσή του στα οικοσυστήματα πραγματοποιείται με διάφορους τρόπους. Ένας μέρος μπορεί να επιστρέψει στο έδαφος μετά από έκπλυση των φύλλων από το βρόχινο νερό, ενώ ένα άλλο μέσω των υπολειμμάτων των φυτών. Επίσης, σημαντική ποσότητα καλίου που απορροφήθηκε από τα φυτά μεταφέρεται στα ζώα μέσω της τροφής και αυτά με τη σειρά τους το επιστρέφουν στο έδαφος με την μορφή αποβλήτων. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου το κάλιο χάνεται. Αυτό μπορεί να συμβεί σε διαβρωμένα εδάφη όπου το επιφανειακό νερό το παρασύρει και το μεταφέρει μέσω στράγγισης στα υπόγεια ύδατα (Nest et al., 2017).

Όπως υπόθηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, το μεγαλύτερο ποσοστό του καλίου στο έδαφος βρίσκεται στα πρωτογενή ορυκτά και σε μορφές μη ανταλλάξιμες. Έχει παρατηρηθεί ότι στα γόνιμα εδάφη πραγματοποιείται γρήγορα η μετατροπή της μη ανταλλάξιμης μορφής του καλίου σε ανταλλάξιμη, με αποτέλεσμα τη διευκόλυνση της απορρόφησης αυτού από τα φυτά. Στα εδάφη που είναι φτωχά σε κάλιο προστίθεται είτε χημικά λιπάσματα, είτε απόβλητα ζώων, είτε τέφρα από ξύλο προκειμένου να εμπλουτιστούν αυτά.

έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση του φαινομένου της χλώρωσης πρώτα στα νεαρά φύλλα (Κουκουλάκης & Παπαδόπουλος, 2003). Επίσης, εντοπίζονται αλλαγές και στους χυμούς των φυτών, όπου μειώνονται τα σάκχαρα τους ενώ αυξάνονται τα νιτρικά.

3.4.1. Ο κύκλος του θείου

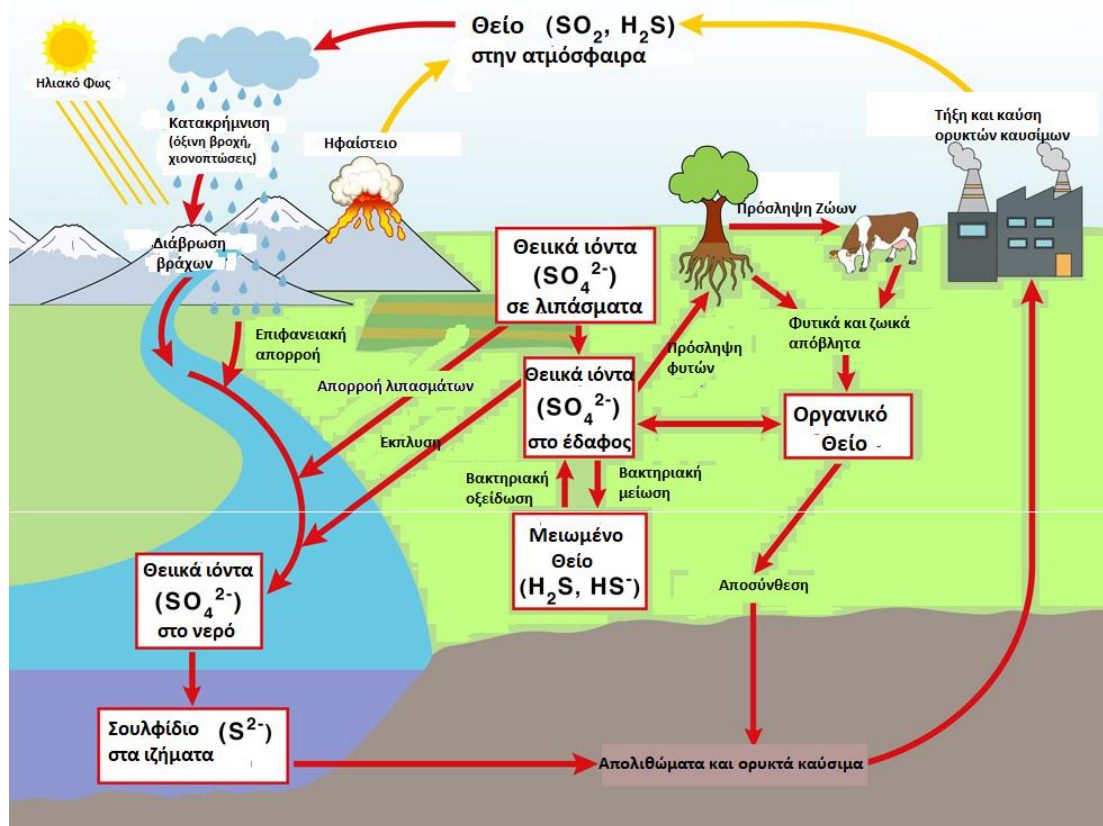
Το θείο αντιπροσωπεύει το 0,06% του στερεού τμήματος της γης. Συναντάται με τις μορφές σουλφιδίων, θεικών και οργανικών ενώσεων καθώς και με τον συνδυασμό άνθρακα και αζώτου. Στα περισσότερα καλλιεργημένα εδάφη απαντάται ως α) διαλυτό θειικό σε εδαφικό διάλυμα, β) οργανική ουσία, ή γ) ως στοιχείο προσροφημένο σε κολλοειδή εδάφη. Σε ξηρά εδάφη παρατηρείται κατακρήμνιση στην εδαφοτομή μεγάλων ποσοτήτων θεικών ριζών ασβεστίου, καλίου, μαγνησίου και νατρίου. Επίσης, συναντώνται μεγάλες ποσότητες θεικών ριζών σε εδάφη αποτελούμενα από άργιλο και ένυδρα οξείδια του σιδήρου και του αργιλίου (Θεριός, 2021).

Οι ποσότητες του θείου που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα προέρχονται κυρίως από την καύση ορυκτών, από ηφαιστιακές δραστηριότητες, από διάσπαση οργανικών ουσιών κ.α. Ένα μέρος αυτού επιστρέφεται στα εδάφη μέσω της βροχής, ενώ ένα άλλο χάνεται στον υδροφόρο ορίζοντα (Brimblecombe, 2013). Σε μη βιομηχανικές περιοχές και υπό κανονικές συνθήκες το θείο που επιστρέφει μπορεί να φτάσει τα 0,1 κιλά/στρέμμα, ενώ σε βιομηχανικές περιοχές μπορεί να αγγίξει και τα 10κιλά/στρέμμα.

Τα φύλλα των φυτών έχουν την ικανότητα να προσροφούν διοξείδιο του θείου, όπου και μεταβολίζεται μέσα από διάφορες διαδικασίες. Σε εδάφη όπου υπάρχει καλός αερισμός το θείο βρίσκεται σε μορφή ιόντων (SO_4^{2-}). Η διαπερατότητα αυτών των εδαφών διευκολύνει την έκπλυση των αρνητικά φορτισμένων θεικών ιόντων, με την προϋπόθεση ότι δεν προσροφούνται από τα θετικά φορτία του υδροξειδίου του σιδήρου, του αργιλίου, του καολινίτη ή της οργανικής ουσίας που μπορεί να υφίστανται στο έδαφος.

Οι ανόργανες μορφές του ατόμου του θείου είναι: η θειική(SO_4), η θειώδης(SO_3), η θειο-θειική(S_2O_3), το στοιχειακό θείο (S) και τα σουλφίδια (S^{2-}). Αρχικά γίνεται αναγωγή του ατόμου του θείου σε σουλφίδιο (H_2S) και μετά εισέρχεται στις οργανικές ενώσεις. Ακολουθεί οξείδωση αυτού σε SO_4 από τους μικροοργανισμούς του εδάφους και απορρόφηση από τα φυτά (Kelly et al., 1997).

ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ



Εικόνα 5. Κύκλος θείου (Πηγή: <https://www.sciencefacts.net/sulfur-cycle.html>)

4. Λιπάσματα

Τα λιπάσματα αποτελούν ουσίες που χρησιμοποιούνται στη γεωργία και την κηπουρική, και αποβλέπουν στην αύξηση της γονιμότητας του εδάφους. Μπορεί να είναι φυσικής ή συνθετικής προέλευσης, και η χημική τους σύσταση ποικίλει ανάλογα με το αποτέλεσμα που επιζητείται κάθε φορά. Η σημασία τους στην αγροτική παραγωγή είναι τεράστια, καθώς βοηθούν στην πρόσθετη παροχή των απαραίτητων θρεπτικών συστατικών στις καλλιέργειες, που απαιτούνται για την ανάπτυξη και τη συγκομιδή υγιεινών και θρεπτικών τροφίμων. Η κύρια λειτουργία τους είναι η αναζωογόνηση της αρχικής γονιμότητας του εδάφους, ενώ στο πλαίσιο της έντονης καλλιέργειας, η δραστηριότητα γονιμοποίησης είναι ακόμα πιο έντονη.

Οι βασικές ανάγκες των φυτών περιλαμβάνουν την υγρασία και την φωτεινότητα, ενώ συγχρόνως απαιτούνται και θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξή τους. Τα βασικά ανόργανα στοιχεία είναι 17 στο σύνολό τους και διακρίνονται σε μακροθρεπτικά και μικροθρεπτικά. Στην κατηγορία των μακροθρεπτικών στοιχείων ανήκουν: το N, ο P, το K, το Ca, το Mg και το S, ενώ των μικροθρεπτικών ή αλλιώς ιχνοστοιχείων ανήκουν: ο Fe, ο Cu, το Zn, το Mn, το B, το Cl, το Mo και το Ni (Θερίος, 2005).

Οι απαιτήσεις των φυτών σε μακροθρεπτικά στοιχεία είναι μεγαλύτερες διότι αποτελούν τα δομικά συστατικά τους. Αντίθετα οι απαιτήσεις των φυτών σε ιχνοστοιχεία είναι μικρότερες καθώς ο ρόλος που επιτελούν έχει κυρίως καταλυτικό χαρακτήρα (Sanginga et al., 2009).

Τα λιπάσματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν βάσει διαφορετικών κριτηρίων. Ως προς την μορφή τους διακρίνονται σε υγρά και στερεά. Ως προς το είδος της βελτίωσης που απαιτείται για το έδαφος, διακρίνονται σε οργανικά, τροποποιητικά και διορθωτικά. Και ως προς την προέλευσή τους και την χημική τους σύσταση ταξινομούνται σε οργανικά και ανόργανα.

Τα οργανικά λιπάσματα μεταφέρουν οργανική ύλη και θρεπτικές ουσίες στο έδαφος. Η οργανική ύλη υπόκειται σε μεταβολή και παραδίδεται στους μικροοργανισμούς του εδάφους, προκειμένου να δημιουργήσουν πρόσθετες θρεπτικές ουσίες. Σε αντίθεση με αυτό, τα ανόργανα λιπάσματα προσφέρουν απευθείας τις θρεπτικές ουσίες, χωρίς την απευθείας ανανέωση της οργανικής ύλης.

4.1. Οργανικά λιπάσματα

Η παραγωγικότητα του εδάφους ενισχύεται μέσα από τη χρήση οργανικών λιπασμάτων καθώς η σύστασή τους είναι εμπλουτισμένη με συστατικά που θρέφουν τα φυτά.

Η σύσταση των οργανικών λιπασμάτων είναι εμπλουτισμένη με ουσίες που θρέφουν τις καλλιέργειες, ενώ παράλληλα ενισχύουν την παραγωγικότητα του εδάφους. Τα θρεπτικά συστατικά που περιέχουν, απελευθερώνονται σταδιακά στο έδαφος, παρουσία υψηλού μικροβιακού φορτίου, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη των καλλιεργειών (Shaji et al., 2021).

Οργανικά λιπάσματα παράγονται από απόβλητα ζωικής προέλευσης (κοπριά), απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων, και οικιακά αστικά απόβλητα-απορρίμματα (Uysal et al., 2014). Τα οργανικά λιπάσματα μόνα τους ή σε συνδυασμό με άλλα ορυκτά (Golia et al., 2017) παρέχουν υψηλή ποιότητα λίπανσης σε χαμηλό κόστος. (Chianu et al., 2012).

Η εναπόθεση της οργανικής ουσίας και η μετέπειτα αποσύνθεση και σταθεροποίησή της από μικροοργανισμούς καλείται κομποστοποίηση. Θεωρείται μια βιώσιμη τεχνική η οποία μετατρέπει τα βιοαποικοδομήσιμα απόβλητα σε μια σταθερή μορφή οργανική ύλη. Η ποιότητα του κομπόστ εξαρτάται από την πρώτη ύλη, την επεξεργασία, τις συνθήκες κομποστοποίησης και την επιπλέον προσθήκη άλλων θρεπτικών στοιχείων (Golia et al., 2018).

4.1.1. Κομποστοποίηση

Κομποστοποίηση χαρακτηρίζεται η αερόβια διαδικασία κατά την οποία η παρουσία οξυγόνου σε σχέση με την υγρασία και το πορώδες του εδάφους, σταθεροποιούν τα οργανικά απόβλητα. Κατά την αποσύνθεση λαμβάνουν χώρα πολύπλοκες μεταβολικές διαδικασίες που οφείλονται στην ύπαρξη μικροβιακών δραστηριοτήτων. Οι μεταβλητές ελέγχου σε αυτήν την διαδικασία είναι το οξυγόνο, η υγρασία, η θερμοκρασία, το πορώδες του εδάφους και η αναλογία C/N. Το θρεπτικά τροποποιημένο έδαφος το οποίο προέρχεται από την αποσύνθεση και τον βιολογικό μετασχηματισμό της οργανικής ύλης, ονομάζεται κομπόστ (Senesi, 1989). Είναι ένα ώριμο, αποστειρωμένο και υψηλής αξίας προϊόν, που χρησιμοποιείται σε καλλιέργειες, ως εδαφοβελτιωτικό και στην αύξηση της γονιμότητας του εδάφους.

Η κομποστοποίηση θεωρείται ένας εναλλακτικός τρόπος στη διαχείριση και στην αξιοποίηση όλων των οργανικών στερεών αποβλήτων. Μέσω του σωστού χειρισμού γίνεται

ανάκτηση των θρεπτικών συστατικών, ενώ συμβάλλει στην προστασία του περιβάλλοντος με την αποφυγή της απευθείας απόρριψης σε αυτό.

Η κομποστοποίηση είναι μια διαδικασία κατά την οποία αποσυντίθεται η οργανική ύλη παρουσία μικροβιακών δραστηριοτήτων, παράγοντας ένα προϊόν οργανικό με σχετική σταθερότητα, δηλαδή το κομπόστ. Οι φάσεις τις οποίες ακολουθεί η κομποστοποίηση είναι διαφορετικές και σχετίζονται με τις ομάδες των μικροοργανισμών που λαμβάνουν χώρα σε αυτές και με την θερμοκρασία που αναπτύσσεται (Meena et al., 2021). Διακρίνονται στις ακόλουθες:

➤ Στη μεσόφιλη φάση (I): κατά την οποία με την παρουσία των μικροβίων ξεκινάει η αποικοδόμηση των απλών οργανικών ενώσεων, όπως άμυλο και ζάχαρα, σε οργανικά οξέα. Σε αυτή τη φάση παρατηρείται σταθερή αύξηση της θερμοκρασίας, που φτάνει στους 45°C, ενώ το pH ελαττώνεται φτάνοντας το 4 και 4,5. Η αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται στη δραστηριότητα των μικροβίων όπου χρησιμοποιούν άζωτο και άνθρακα κατά την αποδόμηση της οργανικής ύλης. Η διάρκεια της φάσης αυτής κυμαίνεται από 2 έως 8 ημέρες.

➤ Στη θερμόφιλη φάση: όπου ονομάζεται και «ενεργή φάση αποδόμησης. Εκεί η θερμοκρασία ξεπερνάει τους 55°C και οφείλεται στην αντικατάσταση των μεσοφιλικών μικροοργανισμών σε βακτήρια, κατά κύριο λόγο θερμόφιλα. Η αποδόμηση λαμβάνει χώρα σε σύνθετες πηγές άνθρακα, όπως πρωτεΐνες, λίπη και κυτταρίνες. Τα θερμόφιλα βακτήρια μετατρέπουν σε αμμωνία το άζωτο με αποτέλεσμα την αύξηση του pH. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που αναπτύσσεται, συντελείται και απολύμανση καταστρέφοντας τους παθογόνους μικροοργανισμούς. Η διάρκεια της φάσης αυτής μπορεί να κυμανθεί ανάλογα με την πρώτη ύλη και τις κλιματολογικές συνθήκες από μερικές ημέρες έως μήνες.

➤ Στη φάση ψύξης: όπου παρατηρείται μείωση της θερμοκρασίας λόγω εξάντλησης των πηγών άνθρακα και αζώτου της αρχικής πρώτης ύλης. Στη φάση αυτή η θερμοκρασία φτάνει πάλι στους 40°C (μεσόφιλη), όπου οι μεσοφιλικοί μικροοργανισμοί αποδομούν πολυμερείς ενώσεις. Το pH μειώνεται αλλά παραμένει αλκαλικό. Η διάρκεια της φάσης αυτής κρατά αρκετές εβδομάδες.

➤ Στη φάση ωρίμανσης: όπου ολοκληρώνεται και σταθεροποιείται το παραγόμενο χουμοποιημένο προϊόν, σε ένα ώριμο και εξευγενισμένο κομπόστ. Η διάρκεια της φάσης αυτής ολοκληρώνεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος σε χρονικό διάστημα κάποιων μηνών.

Η ποιότητα του του κομπόστ, επηρεάζεται από τον βαθμό αποσύνθεσης και από την υγρασία του οργανικού υλικού σε όλες τις φάσεις της κομποστοποίησης. Η εφαρμογή στη γεωργία απαιτεί ώριμο και σταθερό κομπόστ. Μέσω της ωριμότητας και της σταθερότητας προσδιορίζεται η ποιότητα του λιπάσματος. Η ωριμότητα είναι ένας δείκτης όπου χρησιμοποιείται για να προσδιοριστεί η καταλληλότητα της χρήσης στις καλλιέργειες, ενώ η σταθερότητα για να δηλώσει την αντοχή της οργανικής ύλης που υπόκειται βιοαποικοδόμηση μέσω μικροβιολογικής δραστηριότητας (Komilis et al., 2011). Ένα ανώριμο κομπόστ γίνεται φυτοτοξικό καθώς παράγονται ενώσεις όπως οργανικά οξέα, αμμωνία και αιθυλενοξειδίο που εμποδίζουν την βλάστηση των σπόρων και κατά συνέπεια την ανάπτυξη των καλλιεργειών (Ko et al., 2008).

Οι συνθήκες στις οποίες πραγματοποιείται η κομποστοποίηση καθώς και η ποιότητα των πρώτων υλών, είναι από τους βασικούς παράγοντες, που είναι υπεύθυνοι για την διάθεση των θρεπτικών συστατικών όπως και για την σταθερότητα του τελικού λιπάσματος.

4.2. Ανόργανα λιπάσματα

Τα ανόργανα λιπάσματα είναι βιομηχανικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται σε μεγάλες καλλιέργειες ικανοποιώντας τις διατροφικές ανάγκες των φυτών. Η παραγωγή τους προέρχεται από τον συνδυασμό μακρό- και μικρό-θρεπτικών συστατικών, σε αναλογίες που προσαρμόζονται στις απαιτήσεις κάθε καλλιέργειας.

Από ανόργανα άλατα προέρχονται τα περισσότερα λιπάσματα, των οποίων τα θρεπτικά συστατικά είναι απευθείας διαθέσιμα από τα φυτά. Συνήθως, ο φώσφορος και το κάλιο προέρχονται από τα γεωλογικές αποθέσεις, ενώ τα περισσότερα λιπάσματα είναι βιομηχανικά προϊόντα παρασκευής.

Η χρήση ανόργανων λιπασμάτων έχει πολλά οφέλη, όπως η αυξημένη ποσότητα θρεπτικών ουσιών που παρέχεται στο έδαφος και η άμεση διαθεσιμότητα αυτών σε περιπτώσεις ανεπάρκειας. Επιπλέον, η χρήση ανόργανων λιπασμάτων είναι οικονομικότερη σε σύγκριση με άλλες μεθόδους λίπανσης. Ωστόσο, η υπερβολική χρήση τους και η ευκολία με την οποία τα θρεπτικά συστατικά απομακρύνονται από το έδαφος οδηγεί στην ανάγκη να ληφθούν μέτρα για την αποφυγή της συσσώρευσης των αλάτων στο έδαφος και την πρόληψη της τοξικότητάς τους (Golia et al., 2009).

Στην κατηγορία των ανόργανων λιπασμάτων ανήκουν τα αζωτούχα, τα φωσφορικά και αυτά με υψηλή συγκέντρωση καλίου και τα σύνθετα φωσφορικά λιπάσματα (NPK).

- Αζωτούχα: περιέχουν μεγάλες ποσότητες αζώτου. Συντελούν στην ανάπτυξη των φυτών και των φύλλων και κατά κανόνα χρησιμοποιούνται στην επιφάνεια του εδάφους.
- Φωσφορικά: περιέχουν μεγάλες ποσότητες φωσφόρου. Ενισχύουν το ριζικό σύστημα οπότε θεωρούνται κατάλληλα να εφαρμοστούν στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης των φυτών.
- Καλιούχα: περιέχουν μεγάλες ποσότητες καλίου. Βοηθούν στην ανθοφορία και την καρποφορία, καθώς και στη δημιουργία προστατευτικής επιφάνειας στα στελέχη των φυτών.

Το ασβέστιο, το μαγνήσιο και άλλα χημικά στοιχεία δεν χρησιμοποιούνται ευρέως, λόγω της χαμηλής απορρόφησης των φυτών σε αυτά (Sanginga & Woome, 2009).

Τα ανόργανα λιπάσματα συναντώνται σε απλούς και πολύπλοκους τύπους, ανάλογα με τον αριθμό των στοιχείων που περιλαμβάνουν. Η ποσότητα των στοιχείων που περιέχεται σε εκατοστιαία αναλογία καθορίζει τον τύπο του λιπάσματος. Στην ετικέτα του σκευάσματος δίνονται οι αναλογίες των διαφόρων στοιχείων, όπου ο πρώτος αριθμός υποδηλώνει το ποσοστό αζώτου, ο δεύτερος το ποσοστό φωσφόρου και ο τρίτος το ποσοστό καλίου.

Ανάμεσα στα πιο πρόσφατα χημικά λιπάσματα, ανήκουν τα σύνθετα μείγματα στοιχείων που περιέχουν συνδυασμούς χημικών στοιχείων, δημιουργώντας ένα προϊόν καινοτόμο και μοναδικό, πέραν του απλού μείγματος μακρό-θρεπτικών και μικρό-θρεπτικών συστατικών. Η λήψη των χημικών λιπασμάτων πραγματοποιείται με εκχύλιση των φυσικών ή και χημικών

διεργασιών, ενώ η κατηγοριοποίησή τους γίνεται με βάση τα θρεπτικά και τα πραγματικά θρεπτικά συστατικά που περιέχουν. Τα βασικά στοιχεία για την διατροφή ενός φυτού είναι: το N, ο P και το K, ενώ τα δευτερεύοντα περιλαμβάνουν το Ca, το Mg, και το S. Επιπλέον, τα μικρό-συστατικά που περιέχονται είναι: το B, το Co, ο Cu, ο Fe, το Mn, το Mo και ο Zn.

Για το 2019 σύμφωνα με τον FAO χρησιμοποιήθηκαν 189 εκατομμύρια τόνοι λιπασμάτων, οι οποίοι εκφράζονται ως το άθροισμα των τριών βασικών θρεπτικών συστατικών αζώτου, φωσφόρου (σε μορφή P₂O₅) και καλίου (σε μορφή K₂O). Το άζωτο κατέχει την πρωτιά με ποσοστό 57%, ο φώσφορος τη δεύτερη θέση με 23% και τέλος το κάλιο με 20% (FAO 2021). Η χημική σύσταση των λιπασμάτων και η αλόγιστη χρήση τους, ρυπαίνει το έδαφος και υποβαθμίζει τα υπόγεια νερά.

4.2.1. Αζωτούχα λιπάσματα

Το άζωτο χαρακτηρίζεται ως ένα από τα βασικότερα στοιχεία που υπάρχουν στις οργανικές ενώσεις των φυτών. Εντοπίζονται στα αμινοξέα των πρωτεϊνών και στα ένζυμα, από όπου και πραγματοποιούνται όλες οι διαδικασίες μεταβολισμού του φυτού. Το άζωτο που περιέχεται στην χλωροφύλλη θεωρείται καθοριστικός παράγοντας για την φωτοσύνθεση των φυτών. Η επάρκειά του στο έδαφος αυξάνει την ανάπτυξη των ριζών, την πρόσληψη άλλων θρεπτικών συστατικών και την παραγωγικότητα των καλλιεργειών (Nonoa & Loomis, 1981).

Το άζωτο είναι ένα σημαντικό στοιχείο της ατμόσφαιρας, όπου σε συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας μετατρέπεται σε αέρια αμμωνία. Η μετατροπή της αέριας αμμωνίας σε άνυδρη πραγματοποιείται όταν η πίεση του περιβάλλοντος όπου βρίσκεται, ελαττωθεί. Η εφαρμογή της στο έδαφος γίνεται απευθείας και το κόστος παραγωγής είναι μικρό.

Τις τελευταίες δεκαετίες οι βιομηχανίες λιπασμάτων την χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη για την παρασκευή άλλων αζωτούχων λιπασμάτων όπως: ουρία, θειική αμμωνία, νιτρική αμμωνία, ασβεστούχος νιτρική αμμωνία. Η σύσταση των αζωτούχων λιπασμάτων καθώς και η χρήση τους δίνεται παρακάτω (Θερίος, 2021):

ΑΖΩΤΟΥΧΑ ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ		
ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ	% ΣΥΣΤΑΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	ΓΕΝΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ
Άνυδρη αμμωνία (NH ₃)	82% N	Βρίσκεται σε υγρή μορφή υπό πίεση και παρατηρείται μείωση του pH του εδάφους μετά από χρήση της. Χρειάζεται ειδική συσκευή πίεσης για την εφαρμογή της. Αρκετά τοξική.
Υγρή αμμωνία	24-49% N	Είναι προϊόν διάλυσης της αμμωνίας σε νερό.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΘΕΛΤΙΩΤΙΚΟ
Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

		Είναι περισσότερο εύχρηστη σε σχέση με την άνυδρη αμμωνία.
Νιτρική αμμωνία (NH ₄ NO ₃)	33,5-34,5 % N	Χρησιμοποιείται σε όλα τα εδάφη. Είναι υγροσκοπικό. Το άζωτο που περιέχεται προέρχεται από 16,25% NH ₃ και 16,25% NO ₃ , ενώ συναντάται και σε ποσοστά 17,25% NH ₃ και 17,25% NO ₃ .
Ασβεστούχος νιτρική αμμωνία	26% N, 22% Ca	Χρησιμοποιείται σε όλα τα εδάφη και τις καλλιέργειες με pH<7. Το άζωτο που περιέχεται προέρχεται από 13% NH ₃ και 13% NO ₃ . Το 22% είναι ασβέστιο που προέρχεται από CaCO ₃ .
Θειική αμμωνία (NH ₄) ₂ SO ₄	21% N, 23% S	Το θείο που περιέχεται συνίσταται σε εδάφη φτωχά σε θείο. Έχει pH όξινο και είναι κατάλληλο για αλκαλικά εδάφη
Χλωριούχο αμμώνιο (NH ₄ Cl)	26% N	Είναι ένα ιδιαίτερο λίπασμα με συγκεκριμένη χρήση
Ουρία	46% N	Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε άζωτο, θεωρείται από τα πυκνότερα αζωτούχα λιπάσματα

Πίνακας 3. Σύσταση αζωτούχων λιπασμάτων (πηγή: Θεριός, 2021)

4.2.2. Φωσφορικά λιπάσματα

Μετά το άζωτο, ο φώσφορος είναι το σημαντικότερο στοιχείο που συμβάλει στην παραγωγή και στην σωστή λειτουργία των οικοσυστημάτων (εδαφικά και υδατικά). Ο ολικός φώσφορος που εντοπίζεται σε φυσικά εδάφη είναι σε μικρή ποσότητα, ενώ λόγω της μορφής του δεν είναι εξ ολοκλήρου διαθέσιμος στα φυτά.

Το αδενοσίνη τριφωσφορικό οξύ (ATP) περιέχει στην ένωσή του φώσφορο, μέσω του οποίου πραγματοποιούνται πολλές βιοχημικές αντιδράσεις (Functions of Phosphorus in Plants 1999). Επίσης, έχει και την ικανότητα να μεταφέρει, να διαθέτει και να ανακτά ενέργεια. Στα φυτά τα θρεπτικά στοιχεία που προσλαμβάνονται μεταφέρονται και

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΘΕΛΤΙΩΤΙΚΟ
Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

αφομοιώνονται από αυτά, σε διάφορα όργανα με την βοήθεια του ATP και της μεταφοράς ενέργειας.

Το δεσοξυριβονουκλεϊκό οξύ (DNA) και το ριβονουκλεϊκό οξύ (RNA) αποτελεί την γενετική βάση όλων των οργανισμών. Περιέχει στη σύστασή του, το στοιχείο του φωσφόρου, το οποίο και είναι υπεύθυνο για τον σχηματισμό πρωτεϊνών τόσο στα φυτά όσο και στα ζώα (Sharperly, 2000).

Κατά την διάρκεια της φωτοσύνθεσης των φυτών, απαιτείται η ύπαρξη επαρκούς ποσότητας φωσφόρου, μέσου του οποίου πραγματοποιείται η δέσμευση του αζώτου και παράλληλα η ανάπτυξη και η ωρίμανση του φυτού. Επωφελούνται τόσο οι ρίζες και τα ριζίδια όσο και οι καλλιέργειες των σιτηρών, αυξάνοντας την σκληρότητα των μίσχων. Η έλλειψη αυτού του σημαντικού στοιχείου επηρεάζει την ανάπτυξη ενός φυτού, σχηματίζοντας συνήθως στελέχη με μακριά και λεπτή όψη, ενώ παρατηρείται διαφορετικό χρώμα στα φύλλα του. Ενδεικτικό της έλλειψης φωσφόρου είναι η καθυστέρηση του φυτού στο στάδιο της ωρίμανσης, η φτωχή άνθηση και η κακή ποιότητα των σπόρων (Porter et al., 1981).

Η γονιμότητα του εδάφους είναι άμεσα συνδεδεμένη με την περιεκτικότητα του φωσφόρου σε αυτό. Στα ανώτερα στρώματα του εδάφους ο ολικός φώσφορος εντοπίζεται σε χαμηλή περιεκτικότητα, ενώ οι ενώσεις μέσα τις οποίες συμμετέχει είναι δυσδιάλυτες και μη απορροφήσιμες από τα φυτά. Η λίπανση κάθε χρόνο με φωσφορικά λιπάσματα ή κοπριά θεωρείται αναπόφευκτη. Το γεγονός ότι μόνο ένα μικρό ποσοστό περίπου 15% είναι ικανό να αφομοιωθεί από τις καλλιέργειες, οδηγούσε τους αγρότες των αναπτυγμένων χωρών στον διπλασιασμό ή και τετραπλασιασμό της ποσότητας λίπανσης με φώσφορο. Σύμφωνα με τον FAO 2019 η εκτίμηση για ζήτηση σε φωσφορικά λιπάσματα έως το 2022 ανέρχεται στους 49 εκατομμύρια τόνους σε P₂O₅.

Ο φώσφορος κατά κύριο λόγο προέρχεται από ορυκτά, που βρίσκονται στο φλοιό της Γης και ανήκουν στην ομάδα του απατίτη. Το 95% βρίσκεται σε μορφή άλατος ασβεστίου-φωσφόρου (Smil, 2000). Θωρείται δυσδιάλυτο ορυκτό για αυτό πριν την χρήση του, υπόκειται σε επεξεργασία με οξέα, όπως νιτρικό, θειικό και φωσφορικό οξύ. Τα υπερφωσφορικά προϊόντα που παράγονται, είναι η βασική πηγή των λιπασμάτων αυτής της κατηγορίας. Η Κίνα ήταν η πρώτη χώρα σε εξόρυξη φωσφορικού άλατος για το 2021, με την παραγωγή να ανέρχεται στους 85 εκατομμύρια μετρικούς τόνους, ενώ ακολούθησε το Μαρόκο με 38 εκατομμύρια τόνους (Garside, 2022).

Η σύσταση των ανόργανων φωσφορικών λιπασμάτων συναντάται με τις μορφές που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Θερίος, 2021):

ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΦΩΣΦΟΡΙΚΑ ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ		
ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ	% ΣΥΣΤΑΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	ΓΕΝΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ
Φωσφορικό οξύ (H₃PO₄)	24% P (ή 55% P ₂ O ₅)	Είναι προϊόν αντίδρασης του απατίτη με θειικό οξύ και εν συνεχεία με νερό. Χρησιμοποιείται σε αλκαλικά εδάφη που περιέχουν ασβέστιο.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΘΕΛΤΙΩΤΙΚΟ
Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

		Σημαντική πρώτη ύλη για την παραγωγή υπερφωσφορικών λιπασμάτων.
Υπερφωσφορικό οξύ	33-37% P (ή 76-85% P ₂ O ₅)	Είναι προϊόν του φωσφορικού οξέος μετά από την αφαίρεση του νερού. Χρησιμοποιείται στην παραγωγή άλλων λιπασμάτων ως πρώτη ύλη, συνήθως των πολυφωσφορικών που περιέχουν NH ₄ και Ca.
Ορθοφωσφορικά με ασβέστιο	25-30 % P ₂ O ₅	Ανήκει στην κατηγορία των υπερφωσφορικών λιπασμάτων. Αποτελείται από φωσφορικό μονοασβέστιο και γύψο. Συναντάται σε μορφή σκόνης ή κόκκων. Από το 25-30% P ₂ O ₅ , το 95% είναι διαθέσιμο και υδατοδιαλυτό.
Φωσφορική αμμωνία	Φωσφορικό μονοαμμώνιο (MAP) NH₄H₂PO₄	11% N, 21-23% P 16% N, 61% P
	Φωσφορικό διαμμώνιο (DAP) (NH₄)₂HPO₄	16-21% N, 21-23% P
	Φωσφορική θειική αμμωνία	16% N, 9% P, 15% S
Νιτροφωσφορικά λιπάσματα	-	Είναι προϊόντα αντίδρασης φωσφορικών πετρωμάτων με HNO ₃ αντί H ₂ SO ₄ . Οι τύποι λιπασμάτων διαφέρουν ως προς την αναλογία αζώτου και φωσφόρου. Θεωρούνται ιδανικά για χρήση σε όξινα εδάφη κατά την διάρκεια της βλάστησης.
Φωσφορικό κάλιο (KH₂PO₄)	22% P (52% P ₂ O ₅), 29%K (35% K ₂ O)	Χρησιμοποιείται ευρέως σε οικιακούς κήπους

Πίνακας 4. Σύσταση φωσφορικών λιπασμάτων (Θερίος, 2021)

4.2.2.1. Φωσφορικό Μονοαμμώνιο (MAP)

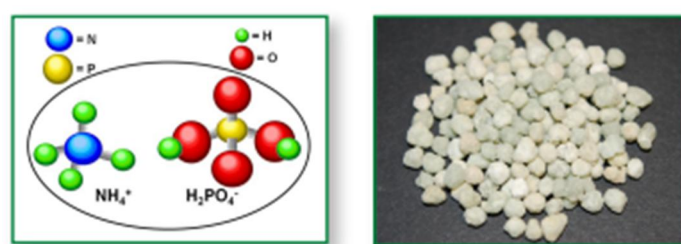
Το φωσφορικό μονοαμμώνιο προέρχεται από δυο βασικά στοιχεία: το άζωτο και το φώσφορο. Η περιεκτικότητά του σε φώσφορο είναι υψηλότερη σε σχέση με άλλα λιπάσματα. Η παραγωγική του διαδικασία είναι απλή και βασίζεται σε διάφορους μεθόδους. Μια από αυτές αφορά την αντίδραση της αμμωνίας και φωσφορικού οξέος σε αναλογία 1:1. Το παραγόμενο προϊόν της παραπάνω αντίδρασης έχει πολτώδης μορφή, όπου με την βοήθεια ενός κοκκοποιητή στερεοποιείται. Η ίδια αντίδραση πραγματοποιείται και σε αντιδραστήρα όπου η παραγωγή θερμότητας βοηθά μέσω της εξάτμισης την στερεοποίηση του MAP.

Η χαμηλή ποιότητα του φωσφορικού οξέος δρα αρνητικά στην χρησιμοποίησή του ως καθαρό λίπασμα. Η εκμετάλλευσή του στη παραγωγή MAP είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα. Η επί τις εκατό σύσταση που συναντάται το φωσφορικό μονοαμμώνιο κυμαίνεται μεταξύ 48 και 61% σε P_2O_5 . Η συνηθέστερη σύνθεση είναι το 11-52-0 (International Plant Nutrition Institute. n.d.-c).

ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ MAP	
Σύνθεση	$NH_4H_2PO_4$
P_2O_5	48-61%
N	10-12%
Διαλυτότητα σε νερό (20°C)	370g/L
pH (διαλύματος)	4-4,5

Πίνακας 5. Χημικές ιδιότητες MAP (πηγή: [NSS-09 Monoammonium Phosphate.pdf \(ipni.net\)](#))

Το MAP είναι ένα λίπασμα που συναντάται συνήθως σε κοκκώδη μορφή, είναι αρκετά υδατοδιαλυτό και σε εδάφη πλούσια σε υγρασία γρήγορα διαλύσιμο. Μετά την εναπόθεση και τη διάλυσή του στο έδαφος διαχωρίζεται στα βασικά συστατικά του, που είναι το αμμώνιο (NH_4^+) και το θειικό οξύ (H_2SO_4). Η ύπαρξη αυτών των συστατικών συμβάλει στην υγιή ανάπτυξη των φυτών (εικόνα 7).



Εικόνα 6: Απεικόνιση DAP σε στοιχειακή και κοκκώδη μορφή (πηγή: [NSS-09 Monoammonium Phosphate.pdf \(ipni.net\)](#))

Η επικάλυψη των κόκκων είναι όξινη και προτιμάται σε ουδέτερα ή αλκαλικά εδάφη. Ένας τρόπος εφαρμογής της κοκκώδους μορφής των λιπασμάτων είναι κάτω από την επιφάνεια των εδαφών σε συμπυκνωμένες ζώνες, όπου και πραγματοποιείται άμεση απορρόφηση από το ριζικό σύστημα. Ένας δεύτερος τρόπος εφαρμογής είναι με την διασπορά του μέσα στο χωράφι κατά την διαδικασία του οργώματος. Επίσης, όταν MAP

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΘΕΛΤΙΩΤΙΚΟ Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

προέρχεται από καθαρό θειικό οξύ μπορεί να διαλυθεί ευκολότερα και να χρησιμοποιηθεί στο ψεκάσμο ή στην άρδευση. Η υψηλή καθαρότητα του θειικού οξέος μπορεί να παράγει MAP με ισοδύναμο P_2O_5 61% (International Plant Nutrition Institute. n.d.-c)..

Η μικρή οξύτητα του φωσφορικού μονοαμμωνίου ελαττώνει την πιθανότητα να διαχυθεί στο αέρα η αμμωνία, ενώ η τοποθέτησή του δίπλα σε σπόρους δεν προκαλεί βλάβη κατά τη βλάστηση. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η ανάμιξη με λιπάσματα που περιέχουν μαγνήσιο ή ασβέστιο πρέπει να αποφεύγονται στην περίπτωση του διαφυλικού ψεκασμού και της άρδευσης.

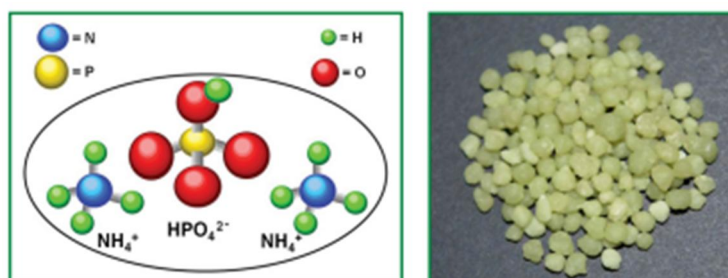
Τέλος, το φωσφορικό μονοάμμωνιο συναντάται ως πρώτη ύλη στην παραγωγή ξηρής σκόνης των πυροσβεστήρων. Το ακροφύσιο του πυροσβεστήρα διασπείρει τη σκόνη που περιέχει MAP καταπνίγοντας τη φωτιά ενώ παράλληλα επικαλύπτει την καύσιμη ύλη (International Plant Nutrition Institute. n.d.-c).

Η περιοχή με την μεγαλύτερη παραγωγή φωσφορικού μονοαμμωνίου για το έτος 2020 ήταν η Ανατολική Ασία, ενώ τη δεύτερη θέση κατέλαβε η Αφρική με 184% λιγότερη παραγωγή από την Ανατολική Ασία. Σε παγκόσμιο επίπεδο παρήχθησαν 32 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι MAP σχεδόν διπλάσιοι από ότι παρήχθησαν το 2009 (Statista, 2023a)

4.2.2.2. Φωσφορικό Διαμμώνιο (DAP)

Όπως το φωσφορικό μονοαμμώνιο έτσι και το φωσφορικό διαμμώνιο είναι από τα πιο διαδεδομένα λιπάσματα φωσφόρου που χρησιμοποιούνται κατά κόρον παγκοσμίως. Η δημοφιλία του οφείλεται στη σχετικά μεγάλη περιεκτικότητά του σε απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία και στις εξαιρετικές φυσικές ιδιότητες που διαθέτει.

Η παραγωγή του βασίζεται στην ελεγχόμενη αντίδραση του φωσφορικού οξέος μαζί με αμμωνία. Το παραγόμενο προϊόν είναι ένας πολτός αρκετά ζεστός, όπου μετά από ψύξη μετατρέπεται σε κόκκους και κοσκινίζεται (εικόνα 7).



Εικόνα 7: Απεικόνιση DAP σε στοιχειακή και κοκκώδη μορφή (πηγή: [NSS-17 Diammonium Phosphate.pdf \(ipni.net\)](#))

Οι ιδιότητες που παρουσιάζει το φωσφορικό διαμμώνιο είναι εξαιρετικές διευκολύνοντας τόσο τη χρήση του όσο και την αποθήκευσή του. Συνήθως συναντάται με την αναλογία 18-46-0. Προϊόντα με μικρότερη περιεκτικότητα θρεπτικών συστατικών απαγορεύονται να χρησιμοποιούν την ονομασία DAP.

ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ DAP	
Σύνθεση	$(NH_4)_2HPO_4$
P_2O_5	46%

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΘΕΛΤΙΩΤΙΚΟ
Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

N	18%
Διαλυτότητα σε νερό (20°C)	588g/L
pH (διαλύματος)	7.5-8

Πίνακας 6. Χημικές ιδιότητες DAP (πηγή: [NSS-17 Diammonium Phosphate.pdf \(ipni.net\)](#))

Για να παραχθεί ένας τόνος λιπάσματος DAP απαιτούνται 1,5 με 2 τόνοι φωσφορικά πετρώματα όπου διαλύονται σε 0,4 τόνους θείο ενώ μετέπειτα προστίθενται 0,2 τόνοι αμμωνίας (International Plant Nutrition Institute. n.d.-c). Οποιαδήποτε μεταβολή στην παραπάνω σύσταση επηρεάζει τις τιμές του φωσφορικού διαμμωνίου καθώς και την διαθεσιμότητά του. Επομένως, για την επίτευξη μείωσης του κόστους μεταφοράς, διακίνησης και εφαρμογής απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη υψηλής περιεκτικότητας θρεπτικών συστατικών στο DAP.

Το φωσφορικό διαμμώνιο είναι σημαντική πηγή φωσφόρου και αζώτου και θεωρείται κατάλληλο για τη θρέψη των φυτών. Είναι ευδιάλυτο και απελευθερώνει φωσφορικά και αμμωνιακά ιόντα τα οποία είναι άμεσα διαθέσιμα στα φυτά. Το pH του διαλυμένου κόκκου είναι αλκαλικό. Η υψηλή περιεκτικότητα του διαλύματος σε αμμωνιακά ιόντα και η απελευθέρωση της πτητικής αμμωνίας μπορεί να βλάψει τα φυτά όταν η απόθεση πραγματοποιείται απευθείας σε αυτά ή στο ριζικό σύστημα. Η πιθανότητα καταστροφής του φυτού αυξάνεται όταν το pH του εδάφους είναι αλκαλικό.

Το DAP περιέχει σημαντική ποσότητα αζώτου η οποία μετατρέπεται σταδιακά με την παρουσία των βακτηρίων σε νιτρικά ιόντα. Αυτή η διαδικασία προκαλεί σταδιακή μείωση του pH του εδάφους, αν και προηγήθηκε προσωρινή αύξηση αυτού στην περιοχή τοποθέτησης των κόκκων του DAP.

Οι διαφορές των λιπασμάτων MAP και DAP είναι μικρές όσον αφορά την σταδιακή ανάπτυξη των φυτών.

Και το φωσφορικό διαμμώνιο χρησιμοποιείται στην παρασκευή σκονών πλήρωσης πυροσβεστήρων. Είναι ένα υλικό το οποίο επιβραδύνει την πυρκαγιά και παρουσία άλλων συστατικών μπορεί να τοποθετηθεί ως επικάλυψη σε δασική έκταση για την αποφυγή πυρκαγιάς. Η παραμονή του εκεί μετά το πέρας του κινδύνου της πυρκαγιάς παρέχει στο δάσος σημαντικές ποσότητες θρεπτικών συστατικών.

Η περιοχή με την μεγαλύτερη παραγωγή φωσφορικού διαμμωνίου για το 2020 ήταν η Ανατολική Ασία ενώ ακολούθησε η Αφρική με 191% μικρότερη παραγωγή. Σε παγκόσμιο επίπεδο για το 2020 παρήχθησαν 35.6 εκατομμύρια μετρικοί τόνοι DAP, 11% παραπάνω από το 2009 (Statista, 2023b).

4.2.3. Καλιούχα λιπάσματα

Στην τρίτη θέση των απαραίτητων στοιχείων μετά το άζωτο και το φώσφορο για την παραγωγικότητα των φυτών είναι το κάλιο. Το κάλιο είναι υπεύθυνο για την ενεργοποίηση πολλών ενζύμων στα κύτταρα των φυτών και των ζώων, αφού η μορφή του μέσα σ' αυτά παραμένει ιοντική. Μέσω των ιόντων του καλίου αποικοδομούνται τα ζάκχαρα, πραγματοποιείται η φωτοσύνθεση, συντίθεται το άμυλο και τα νιτρικά υπόκεινται σε αναγωγή. Επίσης, παρατηρείται βελτίωση της ποιότητας των καλλιεργειών, αύξηση της

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΘΕΛΤΙΩΤΙΚΟ
Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

ανθεκτικότητας σε τυχόν ασθένειες και προσαρμογή σε περιβαλλοντικές καταπονήσεις (Prajapati & Modi, 2012).

Τα στερεά άλατα είναι η κύρια πηγή του καλίου, όπου μετά από την εξόρυξή του επεξεργάζεται με τελική μορφή συνήθως το χλωριούχο κάλιο και το θειικό κάλιο. Ο Καναδάς είναι η χώρα που κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό αποθεμάτων αλάτων καλίου. Το 2020 ξεπέρασε τους 3,6 δισεκατομμύρια μετρικούς τόνους σε ισοδύναμο οξειδίου του καλίου (30,71%), ενώ την δεύτερη θέση έχει η Λευκορωσία με 20,94 % (Garside, 2022).

Τα πολυφωσφορικά και τα ορθοφωσφορικά είναι κάποια από τα λιπάσματα που παρασκευάστηκαν σε διάφορες συγκεντρώσεις καλίου και σε διαφορετικό εύρος διαλυτότητας. Τα ευρέως διαδεδομένα και χρησιμοποιούμενα καλιούχα λιπάσματα συναντώνται με τις παρακάτω μορφές (Θεριός, 2021):

ΑΝΟΡΓΑΝΑ ΚΑΛΙΟΥΧΑ ΛΙΠΑΣΜΑΤΑ		
ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ	% ΣΥΣΤΑΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	ΓΕΝΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ
Χλωριούχο κάλιο (KCl) Muriate of potash	50-52% K (ή 60% K ₂ O)	Είναι προϊόν ευρέως διαδεδομένο σε παγκόσμια κλίμακα. Είναι υδατοδιαλυτό. Συναντάται σε τρία διαφορετικά μεγέθη κόκκων.
Θειικό κάλιο (K₂SO₄)	42-44% K (ή 50-53% K ₂ O)	Έχει λευκό χρώμα. Χρησιμοποιείται σε καλλιέργειες ευαίσθητες στο χλώριο, όπως πατάτα και καπνό. Περιέχει και θείο
Θειικό κάλιο - Μαγνήσιο (K₂SO₄MgSO₄)	30% K ₂ O, 10%MgO, 18%S	Διατίθεται σε κόκκους. Έχει υψηλή περιεκτικότητα σε Mg. Χρησιμοποιείται και σε πολυετή φυτά και σε ετήσια.

Πίνακας7. Σύσταση καλιούχων λιπασμάτων (Θεριός, 2021)

4.3. Σύνθετα Φωσφορικά λιπάσματα (NPK)

Τρία είναι τα βασικά συστατικά των σύνθετων φωσφορικών λιπασμάτων: το άζωτο (N), ο φώσφορος (P) και το κάλιο (K). Η απεικόνιση των σκευασμάτων (NPK) βασίστηκε σε αυτά, περιγράφοντας με έναν αριθμό κάθε φορά την περιεκτικότητα του κάθε στοιχείου, που υφίσταται στο εν λόγω σκεύασμα. Έτσι, ένα λίπασμα NPK όπου αναγράφονται οι αριθμοί 8-16-24 περιγράφει την επί τις εκατό σύσταση του κάθε στοιχείου (8% N, 16% P₂O, 24%K₂O).

Υπάρχουν σύνθετα φωσφορικά λιπάσματα που περιέχουν στην σύστασή τους και άλλα μικρό-θρεπτικά συστατικά τα οποία συνεισφέρουν στην διόρθωση της ανεπάρκειας των εδαφών. Η απεικόνιση των σκευασμάτων αλλάζει με την προσθήκη επιπλέον ενός αριθμού και του στοιχείου που αντιστοιχεί σε αυτό. Επομένως, αν σε ένα λίπασμα αναγράφονται οι

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΘΕΛΤΙΩΤΙΚΟ Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

αριθμοί 8-16-24+2MgO, οι τρεις πρώτοι αναφέρονται στην % σύσταση των NPK και ο τέταρτος στην % σύσταση του μαγνησίου.



Εικόνα 8. Σύνθετα φωσφορικά λιπάσματα α) NPK, β) με προσθήκη μικρό-θρεπτικών στοιχείων (πηγή: <https://www.jorgevieira.net/produto-detalhe.php?id=2456>)

5. Πυροσβεστήρες

Για την κατάσβεση πυρκαγιών μικρής έκτασης χρησιμοποιούνται φορητοί πυροσβεστήρες κατάλληλοι να κάλυψη των σύγχρονων αναγκών. Οι βασικές κατηγορίες που ταξινομούνται δίνονται παρακάτω:

- i. Πυροσβεστήρες ξηρής σκόνης.
- ii. Πυροσβεστήρες διοξειδίου του άνθρακα.
- iii. Πυροσβεστήρες αφρού.
- iv. Πυροσβεστήρες F-Class Wet Chemical.

5.1. Πυροσβεστήρες ξηρής σκόνη

Οι πυροσβεστήρες ξηρής σκόνης χρησιμοποιούνται ευρέως ως μέσο κατάσβεσης. Η ξηρή σκόνη έχει την ικανότητα να απομονώνει τον αέρα διακόπτοντας την παροχή οξυγόνου, ενώ παράλληλα δημιουργεί και ένα περίβλημα στην επιφάνεια που καίγεται. Επίσης, η δράση της είναι μηχανική αφού μέσω της ορμής εκτοξεύεται παρασύροντας και αποκόπτοντας την φωτιά. Οι πυροσβεστήρες αυτοί είναι ελαφριοί, έχουν χαμηλό κόστος και μεγάλη ικανότητα κατάσβεσης. Χρησιμοποιούνται σε πυρκαγιές που προκλήθηκαν από στερεά και υγρά καύσιμα καθώς και από ηλεκτρικό ρεύμα.

Η σκόνη πλήρωσης των πυροσβεστήρων ανάλογα με την καύσιμη ύλη χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- i. Σκόνες πλήρωσης BC. Χρησιμοποιούνται κυρίως στην κατάσβεση υγρών και στερεών καυσίμων υλικών. Διακρίνονται τρεις υποκατηγορίες με βάση το κύριο συστατικό των σκονών αυτών:
 - a. Το Διττανθρακικό νάτριο (NaHCO_3). Είναι σχεδιασμένος να χρησιμοποιείται σε πυρκαγιές από εύφλεκτα υλικά, κυρίως αέρια και υγρά. Η όψη της σκόνης είναι λευκή και έχει ελευθερία στη ροή της. Οι φυσικοχημικές ιδιότητες δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΦΕΛΤΙΩΤΙΚΟ
Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

Παράμετροι	Τιμές
Διττανθρακικό Νάτριο (NaHCO_3),	50-60%
Υγρασία	<0,25%
Μέγεθος σωματιδίων	έως 0,35mm
Σταθερή σε θερμοκρασίες	-60°C έως +55°C

Πίνακας 8. Φυσικοχημικές ιδιότητες σκόνης τύπου BC

(πηγή: [BC - DS - 04.PDF \(firesecurity.gr\)](#))

- b. Το Διττανθρακικό κάλιο (KHCO_3). Έχει μεγαλύτερη ικανότητα κατάσβεσης σε σχέση με το διττανθρακικό νάτριο, άλλα έχει μεγαλύτερο κόστος. Χρησιμοποιείται κυρίως στην κατάσβεση λιπών, ελαίου, υγρών καυσίμων).
 - c. Το Θεικό κάλιο (K_2SO_4). Χρησιμοποιείται αναμεμιγμένο με ανθρακικό ασβέστιο.
 - d. Το Καρβαμιδικό κάλιο ($\text{K}_2\text{N}_2\text{H}_3\text{O}_4$). Συνδυάζει το διττανθρακικό κάλιο μαζί με την ουρία. Η αμμωνιακή ομάδα που περιέχεται στην σύνθεση της σκόνης, της δίνει την δυνατότητα να διπλασιάζει την ικανότητα κατάσβεσης σε σχέση με το διττανθρακικό κάλιο. θεωρείται η πιο αποτελεσματική και συγχρόνως η πιο ακριβή.
- ii. Σκόνες πλήρωσης ABC. Το Φωσφορικό μονοαμμώνιο -MAP, ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) είναι το βασικό συστατικό αυτής της κατηγορίας, αναμεμιγμένο με θειική αμμωνία ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$). Η ικανότητα κατάσβεσης της σκόνης ABC εξαρτάται από το ποσοστό του MAP που περιέχει και κυμαίνεται από 10 έως 90%. Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη είναι αυτή όπου το ποσοστό σε MAP είναι 40%. Η βασική σύσταση της σκόνης αυτής μαζί με τις φυσικοχημικές της ιδιότητες δίνεται στον πίνακα 9.

Παράμετροι	Τιμές
Φωσφορικό μονοαμμώνιο ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)	40%
Θειική αμμωνία ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$)	50%
Αργιλοπυριτικό μαγνήσιο (Magnesium Aluminum Silicate)	7%
Ανθρακικό ασβέστιο(CaCO_3)	<2%
Πολυμεθυλοδροσιλοξάνιο	<1%
Κίτρινη χρωστική $\text{C}_{34}\text{H}_{30}\text{Cl}_2\text{N}_6\text{O}_4$	<0,05 %
Ελάχιστη φαινομενική πυκνότητα	0,80 kg/cu dm
MAP	38-42%
Υγρασία	<0,25%
Μέγεθος σωματιδίων	έως 0,355mm
Σταθερή σε θερμοκρασίες	-60°C έως +60°C

Πίνακας 9. Βασική σύσταση σκόνης ABC 40% και φυσικοχημικές ιδιότητες
(πηγή: <https://www.firesecurity.gr/bibliothiki/skoniabc40.pdf>)

- iii. Σκόνες πλήρωσης D. Χρησιμοποιούνται για την κατάσβεση μετάλλων. Τα κύρια συστατικά που περιέχουν είναι το χλωριούχο κάλιο (KCl) ή το χλωριούχο νάτριο (NaCl). Έχει υψηλή κατασβεστική ικανότητα και μπορεί να προκαλέσει διάβρωση.

5.2. Εξαντλημένες σκόνες κατάσβεσης

Τα μέσα πυρόσβεσης που χρησιμοποιούνται ευρέως όπως έχει υποθεί ταξινομούνται με βάση τις σκόνες κατάσβεσης. Διακρίνονται στις κατηγορίες ABC, BC και ειδικών σκονών. Αποτελούνται από 40% έως 50% φωσφορικό μονοαμμώνιο ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_3$), θειικό αμμώνιο ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), πρόσθετα (συνήθως χρωστικές ουσίες), διάφορους παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για την ροή των σκονών κατά την διάρκεια της χρήσης τους καθώς και σιλικόνη (Praticò et al., 2010).

Ο απατίτης είναι η πρώτη ύλη για την παρασκευή των μέσων πλήρωσης (φωσφορικό μονοαμμώνιο) των πυροσβεστήρων. Κατά κύριο λόγο προέρχεται από χώρες, όπως η Ρωσία, η Κίνα, η Βόρεια Αφρική. Είναι ένα ορυκτό που συγκαταλέγεται στους μη ανανεώσιμους πόρους, ενώ το εκμεταλλεύονται και για την παραγωγή φωσφορικών λιπασμάτων.

Ο μετασχηματισμός των φωσφορικών και θειικών αλάτων σε σκόνες πλήρωσης ABC ξεκινάει με την διαδικασία της κονιοποίησης τους, ενώ στη συνέχεια προστίθενται διάφοροι παράγοντες που διασφαλίζουν την ρευστότητα και την υδατοπαθητικότητά τους, όπως η σιλικόνη.

Η ανάκτηση των σκονών θεωρείται σημαντική για το περιβάλλον καθώς παρέχει τη δυνατότητα εξευγενισμού των πρώτων υλών στον οποίων συγκαταλέγεται και το φωσφορικό άλας (Praticò et al., 2010). Ανήκουν στην κατηγορία των ειδικών αποβλήτων, λόγω των βαρέων μετάλλων, των πρόσθετων και των πολύ μικρών σωματιδίων (μεταξύ 0,25mm και 0,040mm) που περιέχουν.

Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΕ και συγκεκριμένα της Ευρωπαϊκής πλατφόρμας βιώσιμου φώσφορου (ESPP) κάθε χρόνο απορρίπτονται 36 εκατομμύρια κιλά εξαντλημένης σκόνης πλήρωσης πυροσβεστήρων. Η εκμετάλλευσή τους και η επαναχρησιμοποίησή τους ως υποκατάστατο λιπάσματος στη γεωργία, θα βοηθούσε στη μείωση της παραγωγής και χρήσης των φωσφορικών λιπασμάτων και κατά συνέπεια των πρωτογενών πόρων.

Το φωσφορικό μονοαμμώνιο σε ποσοστό 40% - 50% που υπάρχει στις σκόνες, όπως υπόθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, ανήκει στις βασικές ενώσεις των φωσφορικών λιπασμάτων των οποίων η χρήση τους είναι ευρέως διαδεδομένη στις καλλιέργειες. Ωστόσο η μεγάλη μεταβλητότητα της σκόνης αποτρέπει τη σωστή κατανομή στο χώρο, με αποτέλεσμα την πρόκληση μη ελεγχόμενης ρύπανσης (Dotelli & Viganò, 2020).

Τα μεγέθη των σωματιδίων της σκόνης κυμαίνονται από 0,25mm έως 0,04mm, γεγονός που αποτρέπει τον διασκορπισμό της απευθείας στον αγρό, αφού μπορεί να προκαλέσει συμπτώματα στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου (Li et al., 2018), καθώς και διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα. Η αστάθειά της, είναι ένας σημαντικός παράγοντας που περιπλέκει την μεταφορά και την αποθήκευσή της. Επομένως, για την διευκόλυνση της

διαχείρισης των εξαντλημένων σκονών, κρίνεται απαραίτητη η συμπίεσή του σε ειδικές μήτρες η οποία αποσκοπεί σε ένα ανθεκτικό συσσωμάτωμα (Praticò et al., 2010).

Έχοντας ως γνώμονα την ανακύκλωση των υλικών και την επαναχρησιμοποίησή τους, η ανάμιξη των εξαντλημένων μέσων πλήρωσης με κομπόστ και άλλα οργανικά ή γεωργικά υπολείμματα, θα βελτίωνε την δομή και την γονιμότητα του εδάφους. Το κομπόστ προέρχεται από την αερόβια διαδικασία οργανικών αποβλήτων (αστικά λύματα, ζωική κοπριά, φυτά, οικιακά απορρίμματα) κατά την οποία παρατηρείται μείωση του όγκου των αποβλήτων και καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών. Το παραγόμενο προϊόν είναι κατάλληλο για χρήση σε γεωπονικές δραστηριότητες και διάφορες καλλιέργειες ενισχύοντας το έδαφος με θρεπτικά στοιχεία όπως το άζωτο και ο φώσφορος.

Η διαχείριση των δύο αυτών ανακυκλωμένων υλικών διευκολύνεται με την διαδικασία πελλετοποίησης (Zajonc et al., 2014). Σύμφωνα με την οποία η βιομάζα υπόκειται σε μηχανική συμπίεση προς σχηματισμό σφαιριδίων. Με αυτόν τον τρόπο λαμβάνεται ένα προϊόν σε πυκνότερη μορφή, που διευκολύνει στην μεταφορά, στην αποθήκευση καθώς και στην χρήση από τον τελικό καταναλωτή. Γενικά μέσω της πελλετοποίησης δίνεται η δυνατότητα να γίνει ανάμιξη διαφόρων υλικών με στόχο την παραγωγή λιπάσματος σε διαφορετικές ποιότητες. Οι ομοιομορφία των σφαιριδίων καθώς και οι φυσικοχημικές ιδιότητές τους περιορίζουν την εκπομπή σκόνης κατά την διάρκεια του διασκορπισμού τους, αυξάνοντας την ακρίβεια διασποράς και ελαχιστοποιώντας την ρύπανση του περιβάλλοντος.

Η αλληλεπίδραση των σωματιδίων, οι δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ τους και τα συστατικά κατατάσσει την σφαιροποίηση σε μια διαδικασία πολύπλοκη. Παρόλα αυτά πολλοί ήταν οι μελετητές που ασχολήθηκαν με την εν λόγω διεργασία. Μελετήθηκαν και αξιολογήθηκαν διάφοροι μηχανισμοί συμπίεσης (Mani et al., 2004), ενώ διερευνήθηκαν και οι επιδράσεις των μεγεθών των σωματιδίων ως προς την ανθεκτικότητά τους (Zafari, et al., 2014).

Επομένως, για βρεθεί η βέλτιστη διεργασία πύκνωσης, θα πρέπει να εξετάζονται οι βασικές ιδιότητες των σωματιδίων όπου πρόκειται να υποστούν πελλετοποίηση, τα είδη βιομάζας, τα μεγέθη, τα σχήματα καθώς και οι χημική σύνθεση του τελικού προϊόντος (Tabil et al., 2011).

5.3. Πελλετοποίηση κομπόστ με εξαντλημένες σκόνες κατάσβεσης

Οι Papandrea et al. (2021) μελέτησαν την συμπεριφορά πέντε διαφορετικών σφαιροποιημένων μιγμάτων τα οποία παρασκευάστηκαν από εξαντλημένες σκόνες πυρόσβεσης μαζί με άλλα οργανικά υλικά. Παρήχθησαν διαφορετικά σκευάσματα με διαφορετικές συνθέσεις και ποιότητες, ενώ μέσω παρατήρησης προσδιορίστηκαν οι παράγοντες που ευθύνονται για την διαχείριση, μεταφορά και αποθήκευση των προϊόντων αυτών.

Η βάση του κομπόστ προήλθε από αποξηραμένο οργανικό λίπασμα αστικών λυμάτων, το οποίο και εμπλουτίστηκε με εξαντλημένη σκόνη πλήρωσης, ενώ σε μερικές περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν σπόροι γιατρόφας, άμυλο καλαμποκιού ή υπολείμματα ξύλου (ροκανίδια). Αναλυτικά η σύσταση του κάθε δείγματος δίνεται στο πίνακα 10.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΦΕΛΤΙΩΤΙΚΟ
Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

Μείγμα	Κομπόστ	Σπόροι Γιατρόφας	Εξαντλημένες σκόνης πυρόσβεσης	Άμυλο καλαμποκιού	Υπολείμματα ξύλου
1 ^ο	50%	30%	10%	10%	-
2 ^ο	50%	40%	10%	-	-
3 ^ο	50%	20%	10%	10%	10%
4 ^ο	50%	-	10%	-	40%
5 ^ο	40%	-	10%	-	50%

Πίνακας 10. % Σύσταση οργανικού λιπάσματος με εμπλουτισμένη σκόνη πλήρωσης πυροσβεστήρων (πηγή: Papandrea et al., 2021)

Το φυτό γιατρόφα είναι ένας θάμνος αειθαλής, που μπορεί να πάρει και τη μορφή μικρού δέντρου. Ευδοκμεί σε τροπικά κλίματα με υψηλές θερμοκρασίες. Οι καρποφορία του ολοκληρώνεται σε διάστημα 3 μηνών μετά την ανθοφορία τού. Ο καρπός του περιέχει 2 με 3 σπόρους οι οποίοι και χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ελαίου, ενώ είναι κατάλληλο και για παραγωγή βιοντίζελ (Achten et al., 2008). Τα υπολείμματα των σπόρων είναι κατάλληλα για λίπανση καλλιεργειών λόγω των οργανικών κυρίως θρεπτικών συστατικών που περιέχουν (Gübitz et al., 1999).

Η προσθήκη άμυλου καλαμποκιού σε ορισμένα μείγματα είχε σκοπό την αύξηση της ανθεκτικότητας του σφαιριδίου και της σκληρότητά του, ενώ η εξαντλημένη σκόνη πλήρωσης άνηκε στην κατηγορία ABC-E. Η σύσταση του αποξηραμένου κομπόστ που χρησιμοποιήθηκε ως βάση στο μεγαλύτερο ποσοστό παρουσιάζεται στον πίνακα 11.

Παράμετρος	Τιμές
Περιεκτικότητα σε υγρασία (%)	25 ± 0,8
pH (25 °C)	7,5 ± 0,2
Ολικός οργανικός άνθρακας (%)	27 ± 0,8
Ολικό άζωτο (%)	2,85 ± 1,2
Οργανικό άζωτο(% ολικό)	85 ± 0,5
Αναλογία C/N	9,47 ± 0,6
Cd (mg /Kg)	0.51
Cu (σε mg /Kg)	68 ± 10
Hg (mg /Kg)	<0,1
Ni (mg/Kg)	15 ± 2
Pb (mg/Kg)	20 ± 1
Zn (mg/Kg)	235 ± 41

Πίνακας 11. Χημική σύσταση κομπόστ από αστικά λύματα (πηγή: Papandrea et al., 2021)

Για την παραγωγή των διαφόρων μειγμάτων ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία. Αρχικά το κομπόστ που προήλθε από ξήρανση των αστικών λυμάτων, κοσκινίστηκε. Έπειτα, αναμείχθηκε με τα υπόλοιπα συστατικά, ανάλογα με τα ποσοστά που παρουσιάζονται στον πίνακα 1, και ακολούθησε ψύξη χωρίς την παρουσία ξηραντήρα. Τα σφαιρίδια του παραγόμενου κομπόστ ελέγχθηκαν ως προς την ανθεκτικότητα, την διαλυτότητα και την αποικοδόμησή τους. Συγκεκριμένα το 2^ο μείγμα το οποίο δεν περιείχε κανένα επιπλέον πρόσθετο, όπως άμυλο καλαμποκιού ή υπολείμματα ξύλου αποδείχθηκε το πιο εύθραυστο

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΘΕΛΤΙΩΤΙΚΟ
Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

τόσο στην μεταφορά όσο και στην αποθήκευσή του και με χαμηλό δείκτη διαβρεξιμότητας¹. Αντίθετα, το 3^ο μείγμα το οποίο περιλάμβανε στη σύστασή του 10% άμυλο καλαμποκιού και 10% υπολείμματα ξύλου, ήταν το περισσότερο ανθεκτικό και με υψηλό δείκτη διαβρεξιμότητας.

Οι Papandrea et al. (2021) μελέτησαν και τις φυσικοχημικές ιδιότητες των παραγόμενων σφαιριδίων όπου και παρουσιάζονται στο πίνακα 12. Παρατηρώντας τον πίνακα 12 συμπεραίνει κανείς ότι τα μείγματα 3,4, και 5 που περιείχαν πρόσθετα, όπως άμυλο καλαμποκιού ή υπολείμματα ξύλου παρουσίασαν υψηλά ποσοστά σε άνθρακα. Η αύξηση αυτή θεωρήθηκε αναμενόμενη, διότι η λιγνίνη που εμπεριέχεται στα πρόσθετα αύξησε την περιεκτικότητα σε άνθρακα του τελικού προϊόντος, ενώ λειτούργησε και ως συνδετικό υλικό στην δημιουργία πέλλετ.

Παράμετροι	1ο Μείγμα	2ο Μείγμα	3ο Μείγμα	4ο Μείγμα	5ο Μείγμα
C (%)	28,78	28,13	43,72	37,07	37,93
N (%)	3,08	3,56	2,7	3,33	2,04
H (%)	4,79	3,84	4,1	3,53	4,96
O (%) επί ξηρού	30,91	25,97	24,92	29,79	12,97
Τέφρα (%)	32,43	38,49	24,55	26,27	42,09
Περιεκτικότητα σε υγρασία (%)	11	11	12	12	11
Μη τυποποιημένη πυκνότητα (kg /m ³)	658	632	698	712	688

Πίνακας 12. % Χημική σύσταση σφαιριδίων μιγμάτων σκόνης πλήρωσης πυροσβεστήρων με κομπόστ (πηγή: Papandrea et al., 2021)

Εν κατακλείδι, η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των εξαντλημένων σκονών πλήρωσης πυρόσβεσης μέσω της μεθόδου πελλετετοποίησης, συμβάλλει θετικά στη μείωση των περιβαλλοντικών και αναπνευστικών προβλημάτων, μέσω της εξάλειψης της πτητικότητας σκονών κατά τη διάρκεια χειρισμού από τους αγρότες.

5.4. Παραγωγή λιπάσματος από εξαντλημένες σκόνες κατάσβεσης

Οι Dotelli και Viganò, (2020) μελέτησαν την ΑΚΖ των εξαντλημένων σκονών πλήρωσης των πυροσβεστήρων. Η οριοθέτηση έγινε με αρχικό στάδιο την άφιξη των σκονών στο εργοστάσιο και τελικό την παραγωγή των λιπασμάτων.

Αρχικά δεσμεύτηκε ένας ειδικός χώρος αποθήκευσης των εξαντλημένων σκονών. Η διαδικασία διαχωρισμού των συστατικών ξεκίνησε με την κοσκίνιση και την μετέπειτα φόρτωση αυτών σε δυο δεξαμενές ανάμιξης. Ακολούθησε έκπλυση των σκονών με διαλύτη (συνήθως ακετόνη), με σκοπό την απομάκρυνση των οργανικών ενώσεων και την παραγωγή εναιωρημάτων. Πραγματοποιήθηκαν πέντε στάδια έκπλυσης με ακετόνη χρησιμοποιώντας ανάδευση για την επιτάχυνση της διαλυτοποίησης των οργανικών ουσιών. Η απομάκρυνση

¹ Ο δείκτης διαβρεξιμότητας (Wettability Index) εκφράζει την ποσότητα του νερού που μπορεί να απορροφηθεί από κάθε σφαιρίδιο του κομπόστ.

της του ελαίου της σιλικόνης έγινε σε ποσοστό 99,9%, ενώ η ανάκτηση της ακετόνης έλαβε χώρα στη αποστακτική στήλη. Το απαλλαγμένο από τη σιλικόνη προϊόν εμποτίστηκε με ζυμομύκητες όπου και ακολουθήθηκε βιολογική επεξεργασία. Εν συνεχεία έγινε προώθηση του μίγματος στον κοκκοποιητή ενώ η όλη διαδικασία ολοκληρώθηκε με την ξήρανση και ψύξη των κόκκων. Έπειτα το τελικό προϊόν ήταν διαθέσιμο για συσκευασία.

Οι εξαντλημένες σκόνες κατάσβεσης που απορρίπτονται με σημαντικό περιβαλλοντικό κόστος θα μπορούσαν να ανακτηθούν ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία ενισχύοντας σημαντικά την κυκλική οικονομία. Όμως θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποιοι παράγοντες που δυσχεραίνουν το έργο αυτό. Ένας από αυτούς είναι η ακετόνη που για την ανάκτησή της καταναλώθηκε μεγάλη ποσότητα ενέργειας, ενώ ένας δεύτερος είναι οι σκόνες που διαφεύγουν στον αέρα προκαλώντας ατμοσφαιρική ρύπανση. Επίσης, η μεταφορά της σκόνης στο χώρο επεξεργασίας και η αποθήκευσή της είναι αποτρεπτικοί παράγοντες στην εκμετάλλευση αυτών των αποβλήτων.

5.5. Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης της σκόνης πλήρωσης των πυροσβεστήρων, ως υλικό που αυξάνει τη γονιμότητα των εδαφών. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε πείραμα ανάπτυξης δυο φυλλωδών λαχανικών (μαρουλιού και σπανακιού) σε δυο διαφορετικά εδάφη. Το πρώτο δείγμα συλλέχτηκε από την περιοχή της Φλώρινας με ιδιότητες όξινου αγροτικού εδάφους, ενώ το δεύτερο συλλέχτηκε από την περιοχή του Αλμυρού Βόλου με ιδιότητες αλκαλικού αγροτικού εδάφους.

6. Υλικά και μέθοδοι

6.1. Πειραματική διαδικασία

Για την μελέτη αύξησης της γονιμότητας των εδαφών, έπειτα από χορήγηση σκόνης πλήρωσης πυροσβεστήρων τύπου ABC 40% διεξήχθη πείραμα γλάστρας. Οι γλάστρες είχαν διάμετρο 18cm και βάθος 13cm ενώ γέμισε με 3,5 κιλά εδάφους το δείγμα 1 (όξινο έδαφος) και 4 κιλά εδάφους το δείγμα 2 (αλκαλικό έδαφος). Τα δύο είδη εδαφών (αγροτικό όξινο και αγροτικό αλκαλικό) διαχωρίστηκαν σε τρεις γλάστρες το κάθε ένα και εμπλουτίστηκαν με διαφορετικές συγκεντρώσεις σκόνης πλήρωσης πυροσβεστήρων που διατέθηκε από τοπικό εργοστάσιο πλήρωσης πυροσβεστήρων.

Ήταν ένας τυχαίος σχεδιασμός ο οποίος αποτελούνταν από τρεις τροποποιήσεις για τα δυο εδάφη και τα δυο φυτά με τρία αντίγραφα το κάθε ένα και με το συνολικό αριθμό των γλαστρών να ανέρχεται στις τριάντα έξι. Το πείραμα είχε την εξής δομή: (1 μάρτυρας εδάφους 1+ 2 επίπεδα της σκόνης+1 μάρτυρας από το έδαφος 2+2 επίπεδα της σκόνης) με 3 επαναλήψεις, δηλ $(3+3) \times 3 = 18$ για το σπανάκι και 18 για το μαρούλι (εικόνα 9).

Η σκόνη είχε σύσταση ABC άρα περιείχε φωσφορικό μονοαμμώνιο -MAP,($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) και θειική αμμωνία ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$).

Μετά την προετοιμασία των εδαφών ακολούθησε η φύτευση σπορόφυτων μαρουλιού και σπανακιού. Το ποσοστό της υγρασίας κατά την διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΘΕΛΤΙΩΤΙΚΟ Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

διατηρήθηκε στο 70%, με ζύγιση των γλαστρών δυο φορές την εβδομάδα. Με αυτόν τον τρόπο αντισταθμίστηκαν οι απώλειες της υγρασίας που οφείλονταν στην εξατμισοδιαπνοή.

Η συγκομιδή των φυτών έγινε έπειτα από 53 ημέρες για το σπανάκι (*Spinacia oleraceae*) και 45 ημέρες για το μαρούλι (*Lactuca sativa*).

Πριν την συγκομιδή μετρήθηκε το ύψος των φυτών των διαφόρων δειγμάτων ενώ μετά υπολογίστηκε η συγκέντρωση του φωσφόρου των μίσχων.



Εικόνα 9: Φωτογραφική απεικόνιση του πειράματος

6.2. Φυσικοχημική ανάλυση εδάφους και φυτών

Μετά τη δειγματοληψία των εδαφών και πριν την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας μέρος αυτών υποβλήθηκαν σε φυσικοχημικές αναλύσεις. Αρχικά πραγματοποιήθηκε ξήρανση των εδαφών με αέρα ενώ ακολούθησε η κοσκίνιση σε κόσκινα των 2mm. Έπειτα προσδιορίστηκαν οι τιμές του pH των εδαφών, η ηλεκτρική αγωγιμότητα και η οργανική ουσία των εδαφών.

Και στα δύο δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία έγινε ο προσδιορισμός του pH και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) των εδαφών με τη μέθοδο της αναλογίας εδαφικού διαλύματος 1:1 (JAOAC 1984). Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην παρασκευή εδαφικού πολτού με ανάμιξη ίσων ποσοτήτων ξηρού εδάφους και απεσταγμένου νερού.

Πριν τον προσδιορισμό του pH των εδαφών πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση του πεχαμέτρου με την συμβολή των πρότυπων ρυθμιστικών διαλυμάτων των οποίων οι τιμές κυμαίνονταν από pH 4 έως 7. Ακολούθησε η μέτρηση του pH έπειτα από ανάδευση και εξισορρόπηση του εναιωρήματος του εδαφικού πολτού.

Επίσης, πριν την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έγινε βαθμονόμηση του ηλεκτρικού αγωγιμόμετρου με ρυθμιστικό διάλυμα χλωριούχου καλίου 0,1M. Έπειτα, διενεργήθηκε η μέτρηση της EC μετά από ανάδευση του εδαφικού πολτού βαπτίζοντας το αγωγιμόμετρο στο διάλυμα.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΘΕΛΤΙΩΤΙΚΟ Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

Ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας του οργανικού άνθρακα έγινε με υγρή χώνεψη όπως ορίζει η τροποποιημένη μέθοδο Walkley-Black (McLean 1982; Nelson & Sommers 1982), ενώ για την κατανομή μεγεθών σωματιδίων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Bouyoucos.

Η ικανότητα συγκράτησης του νερού (WHC) και η συγκέντρωση των συνολικών μετάλλων των εδαφών υπολογίστηκαν με την μέθοδο που περιγράφουν οι Page et al. (1982).

Τόσο για τις εργαστηριακές αναλύσεις όσο και για την χώνεψη χρησιμοποιήθηκαν αναλυτικά αντιδραστήρια ποιότητας. Ο καθαρισμός των γυάλινων σκευών καθώς και των πλαστικών δοχείων που μεταχειρίστηκαν κατά την πειραματική διαδικασία έγιναν αρχικά με 20% HNO₃ ενώ ακολούθησε πλύση με απεσταγμένο νερό. Η παρασκευή των πρότυπων διαλυμάτων μετάλλων (1000mg/L) πραγματοποιήθηκε από την «Titrisol» Merck μέσα από μια σειρά κατάλληλα αραιωμένων διαλυμάτων.

Μετά την ολοκλήρωση του πειράματος μετρήθηκαν τα ύψη των φυτών και στη συνέχεια υπολογίστηκε η περιεκτικότητα του φωσφόρου στους μίσχους με τη μέθοδο Olsen με διάλυμα NaHCO₃.

6.3. Αποτελέσματα και συζήτηση

6.3.1. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των εδαφών της πειραματικής μελέτης

Τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες των δειγμάτων των εδαφών στα οποία έλαβε χώρα το πείραμα μαζί με τις τρεις τροποποιήσεις αυτών και στα δυο φυτά παρατίθενται στον πίνακα 13.

Δείγμα εδάφους	Αγροτικό όξινο Φλώρινας (S ₁)	Αγροτικό αλκαλικό Αλμυρό Βόλου (S ₂)
pH	5.8	8.2
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) (μS/cm)	1912	2567
Οργανική ουσία (OM) (%)	3,2	2,9
Ανθρακικό ασβέστιο CaCO ₃ (%)	0	9,8
Άργιλος (%)	39	35
Ιλύς (%)	44	43
Υφή (%)	CL	SCL
Χύδην πυκνότητα (BD)	1,31	1,65
Ικανότητα συγκράτησης νερού WHC	2,3	1,65

Πίνακας 13. Φυσικοχημικές ιδιότητες δειγμάτων εδαφών

Όπως είναι γνωστό η περιεκτικότητα CaCO₃ σε όξινα εδάφη είναι χαμηλή και αυτό διαπιστώθηκε και από την μηδενική τιμή που βρέθηκε στο δείγμα του όξινου αγροτικού εδάφους. Στα δε αλκαλικά εδάφη η τιμή του CaCO₃ είναι υψηλή (Golía et al., 2021) και αυτό επιβεβαιώθηκε από την τιμή του αλκαλικού δείγματος (9,8%). Άλλωστε η τιμή του pH είναι σε άμεση συσχέτιση με το ανθρακικό ασβέστιο (Antoniadis et al., 2014).

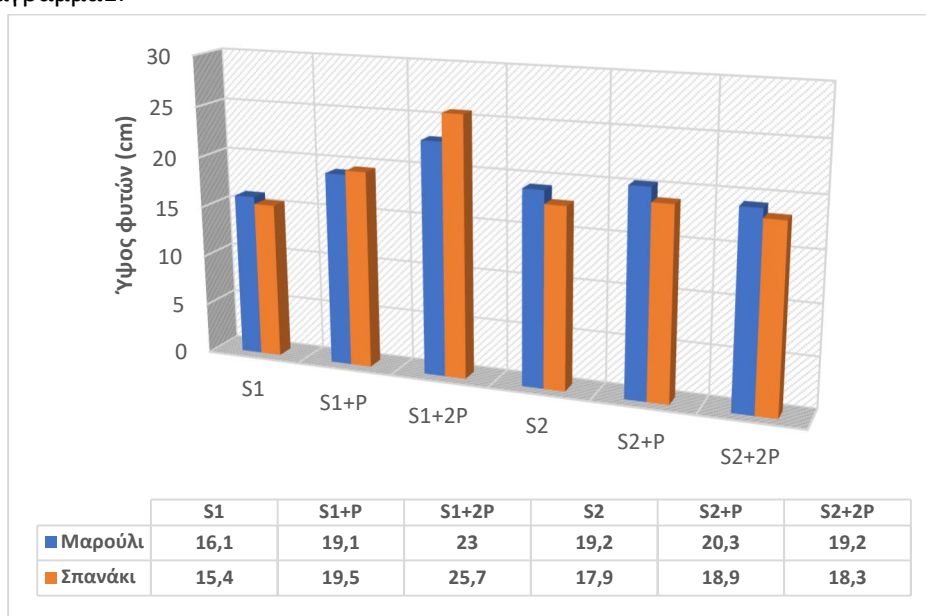
Επίσης, τα χαμηλά ποσοστά της οργανικής ουσίας (OM) που βρέθηκαν και στα δυο δείγματα εδαφών αποδεικνύουν την εντατική και μακροχρόνια χρήση των αγροτικών

καλλιεργειών (Antoniadis et al., 2014). Με την προσθήκη βιοστερεών επιτυγχάνεται αύξηση της οργανικής ύλης του εδάφους (Tsandilas et al., 2011).

6.3.2. Διακύμανση στο ύψος των φυτών μετά από προσθήκη σκόνης πλήρωσης πυροσβεστήρων

Η προσθήκη μιας δόσης σκόνης πλήρωσης στο όξινο αγροτικό έδαφος (S1+P), αύξησε το ύψος και των δύο φυτών (μαρούλι και σπανάκι) κατά 15,7% στο μαρούλι και 21% στο σπανάκι. Όταν διπλασιάστηκε η δόση της (S1+2P) το ποσοστό αύξησης στο μαρούλι ήταν 30% ενώ στο σπανάκι 40%.

Η προσθήκη μιας δόσης σκόνης στο αλκαλικό αγροτικό έδαφος (S2+P) δεν διαφοροποίησε σημαντικά το ύψος των φυτών, ακόμη και όταν διπλασιάστηκε αυτή (S2+2P). Η ανάπτυξη των φυλλωδών λαχανικών μετά την ολοκλήρωση του πειράματος παρουσιάζεται στο διάγραμμα 1.



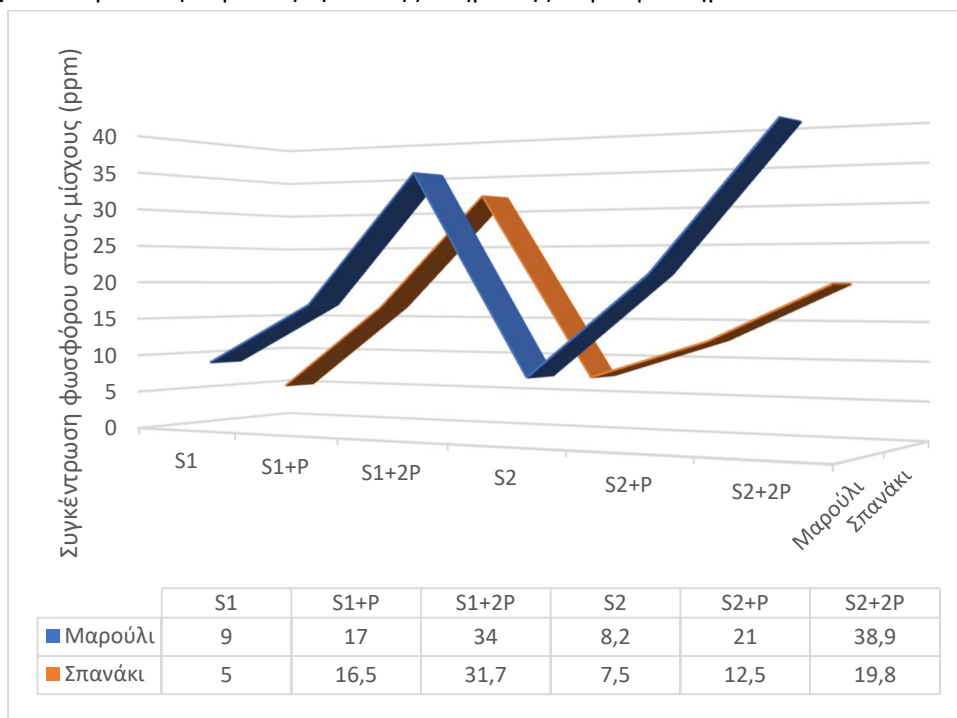
Διάγραμμα 1. Διακύμανση στα ύψη των φυτών μετά την εφαρμογή δύο διαφορετικών επιπέδων σκόνης στα δείγματα εδάφους.

6.3.3. Συγκέντρωση φωσφόρου στους μίσχους των φυτών μετά το πείραμα

Κατά την ανάλυση των μίσχων των φυτών με την προσθήκη μιας δόσης σκόνης στο όξινο έδαφος παρατηρήθηκε, διπλασιασμός της συγκέντρωσης του φωσφόρου στο μαρούλι και τριπλασιασμός στο σπανάκι. Επίσης, διπλασιάζοντας τη δόση της σκόνης, στο μεν όξινο έδαφος, είχε ως αποτέλεσμα στους μίσχους των φυτών (μαρούλι και σπανάκι) να ανιχνευθεί τετραπλάσια και εξαπλάσια συγκέντρωση φωσφόρου αντίστοιχα, στα δε αλκαλικά εδάφη έχουμε αύξηση του φωσφόρου στους μίσχους του μαρουλιού 60% με μία δόση σκόνης και 79% με δυο δόσεις. Τέλος, μικρότερη συγκέντρωση φωσφόρου διαπιστώθηκε στους μίσχους

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΒΕΛΤΙΩΤΙΚΟ Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

των σπανακιών σε σχέση με αυτή των μαρουλιών και με τις δυο δόσεις, με την πρώτη να φτάνει στο 40% και την δεύτερη στο 62% από την αρχική συγκέντρωση φωσφόρου. Στο διάγραμμα 2 απεικονίζεται η συγκέντρωση φωσφόρου στους μίσχους των φυλλώδη λαχανικών μετά την προσθήκη σκόνης πλήρωσης πυροσβεστήρων.



Διάγραμμα 2: Διακύμανση στη συγκέντρωση φωσφορικών αλάτων στα στελέχη φυτών μετά την εφαρμογή δύο διαφορετικών επιπέδων σκόνης στα δείγματα εδάφους.

6.4. Συμπεράσματα

Μεγάλες ποσότητες σκόνης πλήρωσης πυροσβεστήρων με την λήξη τους απορρίπτονται. Η υψηλή περιεκτικότητα φωσφορικού μονοαμμωνίου που περιέχεται σε αυτή σε συνάρτηση με την υψηλή ζήτηση φωσφορικών λιπασμάτων στην γεωργία, αποτέλεσε αφορμή για να αναζητηθούν τρόποι εκμετάλλευσης αυτής. Έτσι, εμπλουτίστηκαν δείγματα εδαφών με την σκόνη, σε διάφορες συγκεντρώσεις, στα οποία φυτευτήκαν σπορογόνα φυτά και μελετήθηκε η απορρόφηση του φωσφόρου και η ανάπτυξη των φυτών.

Τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας έδειξαν ότι η προσθήκη εξαντλημένης σκόνης πλήρωσης πυροσβεστήρων τόσο σε όξινα όσο και αλκαλικά εδάφη, απελευθέρωσε σημαντικές ποσότητες φωσφόρου που περιείχε στην σύστασή της, οι οποίες ήταν απορροφήσιμες από τα φυτά.

Επίσης, διαπιστώθηκε ότι η σκόνη των πυροσβεστήρων σε όλες τις τροποποιήσεις των εδαφών δρα ως εδαφοβελτιωτικό χωρίς να προκαλεί φυτοτοξικότητα στα φυλλώδη λαχανικά, ενώ ενισχύθηκε η ανάπτυξη αυτών με την αύξηση του ύψους τους.

Η συγκεκριμένη εκπόνηση θα μπορούσε να αποτελέσει το έναυσμα για περαιτέρω διερεύνηση της χρήσης σκόνης πλήρωσης πυροσβεστήρων, στις αγροτικές καλλιέργειες.

7. Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση Βιβλιογραφία

Θεριός, Ι.Ν (1996). Ανόργανη Θρέψη και Λιπάσματα. Εκδόσεις Γαρταγάνη Θεσσαλονίκη, σ. 64-67

Θεριός Ι.Ν.(2005). Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη

Θεριός Ι.Ν. (2021). Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη

Κουκουλάκης, Π. Χ. και Παπαδόπουλος Α.Η. (2003). Η ερμηνεία της Φυλλοδιαγνωστικής. Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα, σελ, 515.

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2015). Εδαφολογία η φύση και οι ιδιότητες των εδαφών

Πολυζόπουλος, Ν., (1976). *Εδαφολογία* Θεσσαλονίκη, Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ. σελ.565.

Σινάνης Ν.Κ. 2015. Εργαστηριακές ασκήσεις εδαφολογίας. Αθήνα: Κάλλιπος σελ.109
https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/3508/2/02_chapter_10.pdf

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Achten, W. M., Verchot, L., Franken, Y. J., Mathijs, E., Singh, V. P., Aerts, R., & Muys, B. (2008). Jatropha bio-diesel production and use. *Biomass and bioenergy*, 32(12), 1063-1084.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.03.003>

Antoniadis, V., Koliniati, R., Golia, E., and Petropoulos, S. 2014. Effect of soil properties on phosphorus sorption in 13 soils with varying degree of weathering. *Kazakh Journal of Soil Science* 4, 64-69.

Antoniadis, V., Koliniati, R., Efstratiou, E., Golia, E.E., and Petropoulos, S. 2016. Effect of soils with varying degree of weathering and pH values on phosphorus sorption. *Catena* 139, 214-219.

Antoniadis, V., Petropoulos, S., Golia, E., and Koliniati, R., 2017. Effect of phosphorus addition on onion plants in 13 soils of varying degree of weathering. *Journal of Plant Nutrition*, 40:14, 2054-2062

Alori, E. T., Glick, B. R., & Babalola, O. O. (2017). Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Frontiers in microbiology*, 8, 971.37: 695-709.

Bielecki, R. L., & Ferguson, I. B. (1983). The effect of supply of phosphate on the growth and metabolism of *Pharbitis nil*. III. The composition of the cytoplasm and the vacuole. *Plant Physiology*, 72(4), 1045-1050.

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). *The soils around us. The nature and properties of soils, 14th ed Pearson Prentice Hall, New Jersey, and Ohio*, 1-31.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΘΕΛΤΙΩΤΙΚΟ
Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

Brady, N. C., Weil, R. R., & Weil, R. R. (2008). The nature and properties of soils. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Brimblecombe, P. (2013). The global sulfur cycle. In *Treatise on Geochemistry: Second Edition* (pp. 559-591). Elsevier Inc.. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00814-7>.

Chapin, F., Moilanen, L. and Kielland, K. (1993). Preferential use of organic nitrogen for growth by a non-mycorrhizal arctic sedge. *361(6408)*, 150–153.

Chianu, Jonas N., Chianu, Justina N., Mairura, F., 2012. Organic fertilizers in sub-Saharan farming systems, in: *Organic Fertilization, Soil Quality and Human Health*. Springer, pp. 31–65.
Dotelli, G., & Viganò, E. (2020). Phosphate Recovery from Exhausted Extinguishing Powders: A Case Study of Circular Economy in the Chemical Industry. *Life Cycle Assessment in the Chemical Product Chain: Challenges, Methodological Approaches and Applications*, 145-165.

Dotelli, G., Viganò, E. (2020). Phosphate Recovery from Exhausted Extinguishing Powders: A Case Study of Circular Economy in the Chemical Industry. In: Maranghi, S., Brondi, C. (eds) *Life Cycle Assessment in the Chemical Product Chain*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34424-5_7

Fowler, D., Coyle, M., Skiba, U., Sutton, M. A., Cape, J. N., Reis, S., ... & Voss, M. (2013). The global nitrogen cycle in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1621), 20130164. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0164>

Garside M. (2022). Distribution of global potash reserve by select country 2020 Potash reserves share worldwide by select country | Statista

Golia E.E., A. Dimirkou, St.A. Floras. (2009). Monitoring the variability of nitrogen and cadmium concentration in soils and irrigation water in Almyros area of central Greece. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 40: 376-390.

Golia E.E., Füleky G., Dimirkou A., Antoniadis V., Tsiropoulos N.G., Gizas G. (2017). Influence of Zeolite and *Posidonia oceanica* (L.) in the Reduction of Heavy Metal Uptake by Tobacco (*Nicotiana tabacum*) Plants of Central Greece. *Water, Air, & Soil Pollution*, 228:9, 324, 1-12.

Golia E.E., Antoniadis V., Angelaki A., Skoufogianni E., Bartzialis D. and Vleioras S. (2018). Study of the reduction of heavy metal concentrations in leafy vegetables using mixtures of compost (*OCEANICA POSIDONIA* (L.)) and zeolite. *Fifth International Conference on Small and Decentralized Water and Wastewater Treatment Plants*. August 26 – 29. Thessaloniki, Greece. Pp. 108-114

Golia, E. E., Chartodiplomenou, M. A., Papadimou, S. G., Kantzou, O. D., & Tsiropoulos, N. G. (2021). Influence of soil inorganic amendments on heavy metal accumulation by leafy vegetables. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-16.

Gübitz, G. M., Mittelbach, M., & Trabi, M. (1999). Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. *Bioresource technology*, 67(1), 73-82. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00069-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00069-3)

Harper, J. E. (1994). Nitrogen metabolism. *Physiology and determination of crop yield*, 285-302. <https://doi.org/10.2134/1994.physiologyanddetermination.c19>

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΦΕΛΤΙΩΤΙΚΟ
Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

Hasan, M. M., Hasan, M. M., Teixeira da Silva, J. A., & Li, X. (2016). Regulation of phosphorus uptake and utilization: transitioning from current knowledge to practical strategies. *Cellular & molecular biology letters*, 21, 1-19.

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Nahar, K., Hossain, M. S., Mahmud, J. A., Hossen, M. S., ... & Fujita, M. (2018). Potassium: a vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*, 8(3), 31. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030031>.

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., & Fujita, M. (2013). Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. *Ecophysiology and responses of plants under salt stress*, 25-87. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00971>

JAOAC (1984) Official method of analysis, 14th edn. Sidney Williams. Association of official chemists, Inc.,

Jianbo Shen, Lixing Yuan, Junling Zhang, Haigang Li, Zhaohai Bai, Xinping Chen, Weifeng Zhang, and Fusuo Zhang. (2011). Phosphorus Dynamics: From Soil to Plant. *Plant Physiology*, 156 (3), 997-1005. <https://doi.org/10.1104/pp.111.175232>

Juma, N. G. (1999). The pedosphere and its dynamics. A systems approach to soil science. Volume 1: introduction to soil science and soil resources. The pedosphere and its dynamics. A systems approach to soil science. Volume 1: introduction to soil science and soil resources.

Kelly, D. P., Shergill, J. K., Lu, W. P., & Wood, A. P. (1997). Oxidative metabolism of inorganic sulfur compounds by bacteria. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 71, 95-107.

Ko, H. J., Kim, K. Y., Kim, H. T., Kim, C. N., & Umeda, M. (2008). Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure. *Waste management*, 28(5), 813-820. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.05.010>

Komilis, D., Kontou, I., & Ntougias, S. (2011). A modified static respiration assay and its relationship with an enzymatic test to assess compost stability and maturity. *Bioresource technology*, 102(10), 5863-5872. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.02.021>

Krüger, O., & Adam, C. (2017). Phosphorus in recycling fertilizers-analytical challenges. *Environmental research*, 155, 353-358.

Kuenen, J. G., & Robertson, L. A. (1994). Combined nitrification-denitrification processes. *FEMS Microbiology Reviews*, 15(2-3), 109-117. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1994.tb00129.x>.

Lal, R. (1991). Soil structure and sustainability. *Journal of sustainable agriculture*, 1(4), 67-92.
Li, C., Bair, D. A., & Parikh, S. J. (2018). Estimating potential dust emissions from biochar amended soils under simulated tillage. *Science of the Total Environment*, 625, 1093-1101. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.249>

Li, S., Wang, Z. and Stewart, B. (2013). Chapter Five – Responses of Crop Plants to Ammonium and Nitrate N. *Advances in Agronomy*. 118, 205–239. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405942-9.00005-0>

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΦΕΛΤΙΩΤΙΚΟ
Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

López-Arredondo, D. L., Leyva-González, M. A., González-Morales, S. I., López-Bucio, J., & Herrera-Estrella, L. (2014). Phosphate nutrition: improving low-phosphate tolerance in crops. *Annual Review of Plant Biology*, 65, 95-123. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-035949>

Lutgens, Frederick K. and Tarbuck, Edward J., (2000). *Essentials of Geology*, 7th Ed., Prentice Hall

Mani, S., Tabil, L. G., & Sokhansanj, S. (2004). Grinding performance and physical properties of wheat and barley straws, corn stover and switchgrass. *Biomass and bioenergy*, 27(4), 339-352. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2004.03.007>

McLean EO (1982) Soil pH and lime requirements, In *Methods of soil analysis part II - chemical and microbiological properties*. Page AL, Miller HR, Keeney RD Eds. American Society of Agronomy, Inc. Soil Sci of America, Inc.: Madison

Meena, A. L., Karwal, M., Dutta, D., & Mishra, R. P. (2021). Composting: phases and factors responsible for efficient and improved composting. *Agriculture and Food: e-Newsletter*, 1, 85-90.

Mengel, K. and Kirkby, E. (2001). *Principles of Plant Nutrition*, fifth ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London. pp. 113–193 and 347–385.

Mihajlović, S. R., Đorđević, N. G., Jovanović, M. N., Vlahović, M. M., Savić, L. D., Patarić, A. S., & Blagojev, M. S. (2021). Optimization of the active component grinding process and hydrophobization of the obtained powder fire extinguisher: Technical paper. *HEMIJSKA INDUSTRIJA (Chemical Industry)*, 75(2), 65–75.

Mullins, G. (2001). *Phosphorus, agriculture and the environment*. Virginia Cooperative Extension, Virginia State University, Publication No. 424-029.

Nelson DW, Sommers LE (1982) Total carbon, organic carbon, and organic Matter. In *Methods of soil analysis part II - chemical and microbiological properties*. Page AL, Miller HR, Keeney RD Eds. American Society of Agronomy. Inc. Soil Science of America, Inc.: Madison

Nest, T. V., Vandecasteele, B., Ruysschaert, G., & Merckx, R. (2017). Prediction of P concentrations in soil leachates: Results from 6 long term field trials on soils with a high P load. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 237, 55-65. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.015>.

Novoa, R., & Loomis, R. S. (1981). Nitrogen and plant production. *Plant and soil*, 58(1), 177-204. <https://doi.org/10.1007/BF02180053>

Osman, K. T. (2013). Soil as a Part of the Lithosphere. *Soils*, 9–16. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5663-2_2

Page AL, Miller HR, Keeney RD (1982) *Methods of soil analysis, part II—chemical and microbiological properties*. Soil Science of America, Madison

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΘΕΛΙΩΤΙΚΟ
Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

Pal, Y., M.T.F Wong, and R.J. Gilkes. 1999. The forms of potassium and potassium absorption
Papandrea, S. F., Cataldo, M. F., Palma, A., Gallucci, F., Zimbalatti, G., & Proto, A. R. (2021).
Pelletization of Compost from Different Mixtures with the Addition of Exhausted Extinguishing
Powders. *Agronomy*, 11(7), 1357. <https://doi.org/10.3390/agronomy11071357>

Pinti, D. L. (2021). Composition of the Earth's Atmosphere. *Journal: Encyclopedia of Geology*,
187-197.

Porter, R. M., J.E. Ayers, M.W. Johnson, Jr., and P.E. Nelson (1981). "Influence of differential
phosphorus accumulation on corn stalk rot", *Agron.J.*, 73:283-287

Prajapati, K., & Modi, H. A. (2012). The importance of potassium in plant growth—a review.
Indian Journal of Plant Sciences, 1(02-03), 177-186.

Praticò, F. G., Moro, A., & Ammendola, R. (2010). Potential of fire extinguisher powder as a
filler in bituminous mixes. *Journal of hazardous materials*, 173(1-3), 605-613.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.136>

Sanginga, N., Woomer, Paul L., 2009. Integrated soil fertility management in Africa: principles,
practices, and developmental process. CIAT.

Schachtman, D. P., Reid, R. J., & Ayling, S. M. (1998). Phosphorus uptake by plants: from soil
to cell. *Plant physiology*, 116(2), 447-453. <https://doi.org/10.1104/pp.116.2.447>

Senesi, N. (1989). Composted materials as organic fertilizers. *Science of the Total
Environment*, 81, 521-542. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(89\)90161-7](https://doi.org/10.1016/0048-9697(89)90161-7)

Shaji, H., Chandran, V., & Mathew, L. (2021). Organic fertilizers as a route to controlled release
of nutrients. In *Controlled Release Fertilizers for Sustainable Agriculture* (pp. 231-245).
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819555-0.00013-3>

Sharplay, A. (2000). "Phosphorus availability", pp. D-18-D38, in M.E. Summer (ed.), *Handbook
of Soil Science* (New York: CRC Press)

Smil, V. (2000). Phosphorus in the environment: natural flows and human
interferences. *Annual review of energy and the environment*, 25(1), 53-88.

Soja, G., Tauber, D., Höllrigl, J., Mayer, A., and Pfeifer, C.: Nitrogen enrichment of animal bone-
derived biochars as an agricultural NP-fertilizer, EGU General Assembly 2021, 2021, EGU21-
14764, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-14764>, 2021.

Strock, J. S. (2008). Ammonification. In *Encyclopedia of ecology*, five-volume set (pp. 162-165).
Elsevier Inc..

Tabil, L., Adapa, P., & Kashaninejad, M. (2011). Biomass feedstock pre-processing—part 2:
densification. *Biofuel's Engineering Process Technology*, 19, 439-446.

Tsadilas., C.D. Mitsios, I. K. and E. E. Golia. (2005). Influence of Biosolids Application on Some
Soil Physical Properties. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 36: 709-716.

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΘΕΛΤΙΩΤΙΚΟ
Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

Uysal, A.; Demir, S.; Sayilgan, E.; Eraslan, F.; Kucukyumuk, Z. (2014). Optimization of struvite fertilizer formation from baker's yeast wastewater: Growth and nutrition of maize and tomato plants. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 21, 3264–3274

Wedepohl, K. H. (1995). The composition of the continental crust. *Geochimica et cosmochimica Acta*, 59(7), 1217-1232. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00038-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00038-2)

Withers, P. J., Rodrigues, M., Soltangheisi, A., De Carvalho, T. S., Guilherme, L. R., Benites, V. D. M., ... & Pavinato, P. S. (2018). Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. *Scientific Reports*, 8(1), 1-13.

Zafari, A., & Kianmehr, M. H. (2014). Factors affecting mechanical properties of biomass pellet from compost. *Environmental technology*, 35(4), 478-486. <https://doi.org/10.1080/09593330.2013.833639>

Zahoor, R., Dong, H., Abid, M., Zhao, W., Wang, Y., & Zhou, Z. (2017). Potassium fertilizer improves drought stress alleviation potential in cotton by enhancing photosynthesis and carbohydrate metabolism. *Environmental and Experimental Botany*, 137, 73-83.

Zajonc, O., Frydrych, J., & Jezerska, L. (2014). Pelletization of compost for energy utilization. *IERI Procedia*, 8, 2-10. <https://doi.org/10.1016/j.ieri.2014.09.002>

Zörb, C., Senbayram, M., & Peiter, E. (2014). Potassium in agriculture—status and perspectives. *Journal of plant physiology*, 171(9), 656-669. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.08.008>

Ιστοσελίδες

ESPP. <https://www.prophoschemicals.com/>

FAO. Global fertilizer markets and policies: A joint fao/wto mapping exercis. [Online]. Available at: <https://www.fao.org/3/cc2945en/cc2945en.pdf> [Accessed 13/03/2023]

FAO (2019). World fertilizer trends and outlook to 2022. Rome. [Online]. Available at: <https://doi.org/10.4060/ca6746en> [Accessed 02/01/2023]

FAO (2021) World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2021. Rome. [Online]. Available at: <https://doi.org/10.4060/cb4477en> [Accessed 11/12/2022]

Firesecurity [Online]. Available at: <https://www.firesecurity.gr/bibliothiki/ksira.htm> [Accessed 08/03/2023]

Functions of Phosphorus in Plants, (1999) No. 1. [Online]. Available at: [http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/53639639D7A590D68525798000820183/\\$FILE/Better%20Crops%201999-1%20p06.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/53639639D7A590D68525798000820183/$FILE/Better%20Crops%201999-1%20p06.pdf) [Accessed 08/02/2023]

Garside M., 2022. Global phosphate rock production by country. Phosphate rock mining by country 2021 | Statista [Online]. Available at:

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΣΚΟΝΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΗΡΩΝ ΩΣ ΕΔΑΦΟΘΕΛΤΙΩΤΙΚΟ
Ή ΛΙΠΑΣΜΑ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

https://phosphorusplatform.eu/images/download/ESPP-EU-RD-nutrient-projects-list_v2018-09-14.pdf [Accessed 06/03/2023]

International Plant Nutrition Institute. (n.d.-b). Diammonium Phosphate (DAP). [Online]. Available at: [NSS-17 Diammonium Phosphate.pdf \(ipni.net\)](#) [Accessed 06/03/2023]

International Plant Nutrition Institute. (n.d.-c). Monoammonium Phosphate (MAP). [Online]. Available at: [NSS-09 Monoammonium Phosphate.pdf \(ipni.net\)](#) [Accessed 06/03/2023]

Nutrient Source Specifics (n.d.-c). [Online]. Available at: <https://www.pyrosvestires.gr/blog/eidi-pyrosvestirwn-b24.html> [Accessed 08/03/2023]

Statista, 2023. Global fertilizer production 2005-2020, by nutrient. [Online]. Available at: [Global fertilizer production by nutrient | Statista](#) [Accessed 13/03/2023]

Statista (2023a). [Global monoammonium phosphate production by region | Statista](#) [Online]. Available at: <https://www.statista.com/aboutus/our-research-commitment> [Accessed 07/03/2023]

Statista (2023b). [Global diammonium phosphate production by region | Statista](#) [Online]. Available at: <https://www.statista.com/aboutus/our-research-commitment> [Accessed 07/03/2023]