



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΚΡΗΤΗΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων**

**Μεταπτυχιακό τμήμα: Γεωτεχνολογία και Περιβάλλον**

**Τίτλος**

**Χρήση αργίλων στην παρασκευή λιπασμάτων αργής  
αποδέσμευσης θρεπτικών συστατικών σε εδάφη.**

**Μαρία Νάνου**

**Εξεταστική Επιτροπή: Καθ. Χρηστίδης Γεώργιος (επιβλέπων)**

**Καθ. Κορνίτσας Κωνσταντίνος**

**Επικ. Καθ. Πεντάρη Δέσποινα**

**Χανιά, 2019**

# Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Πρόλογος.....	6
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	7
1.1: Λίπανση εδαφών.....	7
1.2: Είδη λιπασμάτων .....	8
1.2.1: Κομποστ.....	9
1.2.2: Φωσφορικά Λιπάσματα .....	9
1.2.3: Χαρακτηριστικά βιολογικών Λιπασμάτων .....	9
1.3: Λιπάσματα βραδείας απελευθέρωσης.....	10
1.4: Λιπάσματα ταχείας απελευθέρωσης.....	11
1.5: Διαφορές λιπασμάτων αργής και ταχείας απελευθέρωσης.....	11
1.6: Η επίδραση του φωσφόρου, καλίου και μαγνησίου στο έδαφος και τα λιπάσματα .....	12
1.7: Προηγούμενες μελέτες ορυκτών λιπασμάτων βραδείας απελευθέρωσης.....	13
1.8: Σκοπός εργασίας.....	15
Κεφάλαιο 2: Τα ορυκτά και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία...	16
2.1: Κομποστ- ΔΕΔΙΣΑ Χανίων .....	16
2.2 Φωσφορικό Κάλιο ( $\text{H}_2\text{KO}_4$ P).....	18
2.3: Ορυκτά.....	19
2.3.1: Καολινίτης ( $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ).....	19
2.3.2: Μπεντονίτης ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ).....	25
2.3.3: Παλιγορσκήτης ( $(\text{Mg},\text{Al})_2\text{Si}_4\text{O}_{10} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ).....	30
Κεφάλαιο 3: Πειραματική Διαδικασία. ....	34
3.1: Μέθοδος Περιθλασιμετρίας Ακτίνων-Χ, (XRD).....	35
3.2: Απώλεια πύρωσης.....	37
3.3: Μέθοδος φασματοσκοπίας φθορισμού ακτίνων-Χ (XRF).....	<b>Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.</b>

3.4 Κινητικά Πειράματα .....	42
3.5: Δοκιμές με στήλες- Πειράματα εκρόφησης Καλίου, Μαγνησίου, Φωσφόρου .....	44
3.6: Μέθοδοι επεξεργασίας αποτελεσμάτων .....	47
3.6.1: Φασματομετρία ατομικής απορρόφησης .....	47
3.6.2: Προετοιμασία μέτρησης Φωσφόρου.....	49
Κεφάλαιο 4: Επεξεργασία Αποτελεσμάτων .....	51
4.1: Μέθοδος περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ. ....	51
4.2: Αποτελέσματα Χημικών Αναλύσεων (XRF).....	54
4.3: Αποτελέσματα Ατομικής Απορρόφησης Κινητικών Πειραμάτων και Πειραμάτων Στηλών. ....	55
4.3.1: Κάλιο- Κινητικά Πειράματα. ....	55
4.3.2: Κάλιο-Πειράματα Στηλών. ....	59
4.3.2: Κάλιο-Πειράματα Στηλών. ....	63
4.4.4: Μαγνήσιο – Πειράματα Στηλών.....	67
4.4.5: Φώσφορος- Κινητικά Πειράματα .....	71
4.4.6: Πειράματα Στηλών – Φώσφορος .....	75
Κεφάλαιο 5: Σύνθεση-Συμπεράσματα .....	80

## Περίληψη

Τα λιπάσματα παίζουν καθοριστικό ρόλο στον τομέα της γεωργικής παραγωγής διότι παρέχουν βασικά θρεπτικά συστατικά τα οποία είναι απαραίτητα τόσο για το έδαφος όσο και για την σωστή ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών. Λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους της ορθολογικής λίπανσης επιτυγχάνεται αύξηση της παραγωγής, βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων, μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, μείωση των δαπανών καθώς και κάλυψη της ζήτησης τροφίμων σε ολόκληρο το κόσμο.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκαν δυο είδη λιπασμάτων, ένα οργανικό (κομπόστ) και ένα ανόργανο (φωσφορικό κάλιο) τα οποία σε συνδυασμό με αργιλικά υλικά έχουν ως στόχο τη δημιουργία λιπασμάτων αργής απελευθέρωσης των θρεπτικών συστατικών. Χάρη στα λιπάσματα αργής απελευθέρωσης τα θρεπτικά συστατικά απελευθερώνονται ανάλογα με το ρυθμό ανάπτυξης των φυτών, με στόχο την ελεγχόμενη απελευθέρωση των θρεπτικών συστατικών του εδάφους. Επιπλέον, παρέχουν θρεπτικές ουσίες στις ρίζες των φυτών για μεγάλο χρονικό διάστημα με αποτέλεσμα οι καλλιέργειες να γονιμοποιούνται λιγότερο συχνά και αποτρέπουν τα θρεπτικά συστατικά να εξέλθουν μειώνοντας την πιθανότητα ρύπανσης των υδάτων και πιθανά φαινόμενα ευτροφισμού.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση της παρούσας διατριβής, είναι κομπόστ από τη ΔΕΔΙΣΑ Χανίων, φωσφορικό κάλιο της εταιρίας Sigma Aldrich και τρία αργιλικά πετρώματα, καολίνης, μπεντονίτης και παλιγκορσκίτης. Αφού λειοτριβήθηκαν, σε μέγεθος κάτω των 63  $\mu\text{m}$ , πραγματοποιήθηκε ορυκτολογική ανάλυση με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) και χημική ανάλυση με τη χρήση φασματομετρίας ακτίνων-X φθορισμού (XRF). Στη συνέχεια, εφόσον το κομπόστ και το φωσφορικό κάλιο ομοιογενοποιήθηκαν στον πλανητικό σφαιρόμυλο του εργαστηρίου Εμπλουτισμού, του Πολυτεχνείου Κρήτης, πραγματοποιήθηκαν τα κινητικά πειράματα, τα οποία περιελάμβαναν οχτώ διαφορετικά είδη δειγμάτων δηλαδή, κομπόστ, κομπόστ με καολίνη, κομπόστ με παλιγκορσκίτη, κομπόστ με μπεντονίτη, φωσφορικό κάλιο, φωσφορικό κάλιο με καολίνη, φωσφορικό κάλιο με παλιγκορσκίτη και φωσφορικό κάλιο με μπεντονίτη και τοποθετήθηκαν σε οριζόντιο αναταράκτη για 30 ημέρες. Το τελευταίο στάδιο της πειραματικής διαδικασίας,

περιελάμβανε πειράματα στηλών στις οποίες τοποθετήθηκαν εννέα διαφορετικά δείγματα, που αποτελούνταν από έδαφος και κομπόστ, έδαφος, κομπόστ και καολίνη, έδαφος, κομπόστ και παλιγορσκήτη, έδαφος, κομπόστ και μπεντονίτη, έδαφος και φωσφορικό κάλιο, έδαφος, φωσφορικό κάλιο και καολίνη, έδαφος, φωσφορικό κάλιο και μπεντονίτη και έδαφος, φωσφορικό κάλιο και παλιγορσκήτη. Η συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία προσομοίωσε την μέση ετήσια βροχόπτωση της περιοχής των Χανίων, με χρήση 420 ml συνθετικής βροχής και διήρκησε 42 ώρες. Μετά το τέλος των πειραμάτων προσδιορίστηκαν οι συγκεντρώσεις καλίου, μαγνησίου και φωσφόρου σε φασματοφωτόμετρο ατομικής απορρόφησης Perkin Elmer Analyst 100 και το φασματοφωτόμετρο απορρόφησης Hach 4000 DR/U του εργαστηρίου Γεωχημείας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας, η χρήση του καολινίτη, μπεντονίτη και παλιγορσκήτη στα λιπάσματα συντελεί στην αργή απελευθέρωση των θρεπτικών συστατικών, φωσφόρου, καλίου και μαγνησίου συγκριτικά με το σκέτο έδαφος ή τα λιπάσματα χωρίς ορυκτά. Στα κινητικά πειράματα, για τα ορυκτά λιπάσματα με κομπόστ, χαμηλότερη αποδέσμευση καλίου είχε το κομπόστ με παλιγορσκήτη, χαμηλότερη αποδέσμευση μαγνησίου είχε το κομπόστ με καολίνη και χαμηλότερη αποδέσμευση φωσφόρου το κομπόστ με μπεντονίτη. Στα ορυκτά φωσφορικά λιπάσματα, αντίστοιχα, χαμηλότερη αποδέσμευση καλίου και μαγνησίου είχε το φωσφορικό κάλιο με μπεντονίτη ενώ χαμηλότερη απελευθέρωση φωσφόρου έχει το φωσφορικό κάλιο με καολίνη. Στα πειράματα με στήλες τη χαμηλότερη αποδέσμευση καλίου και μαγνησίου είχε το κομπόστ με παλιγορσκήτη ενώ τη χαμηλότερη αποδέσμευση φωσφόρου έχει το κομπόστ με καολίνη. Τέλος, στα ορυκτά φωσφορικά λιπάσματα, τη χαμηλότερη αποδέσμευση καλίου έχει το φωσφορικό κάλιο με παλιγορσκήτη, ενώ τη μικρότερη αποδέσμευση μαγνησίου και φωσφόρου είχε το φωσφορικό κάλιο με καολίνη. Επομένως, η χρήση των αργιλικών ορυκτών είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία κατάλληλων λιπασμάτων αργής απελευθέρωσης των θρεπτικών συστατικών τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη της γεωργικής παραγωγής και κατ' επέκταση των καλλιεργειών.

## Πρόλογος

Η παρούσα διατριβή πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Γεωχημείας της σχολής των Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης. Σκοπός της είναι η δημιουργία λιπασμάτων αργής αποδέσμευσης των θρεπτικών συστατικών σε εδάφη με τη χρήση αργιλικών ορυκτών.

Θα ήθελα να ξεκινήσω λέγοντας ένα μεγάλο ευχαριστώ στον καθηγητή και μέντορα μου κ. Γεώργιο Χρηστίδη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και χάρη σε αυτόν ξεκίνησα αλλά και ολοκλήρωσα την μεταπτυχιακή μου σταδιοδρομία καθώς και για τις πολύτιμες τις γνώσεις που μου χάρισε για την συγκεκριμένη εργασία αλλά και όλα αυτά τα χρόνια. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κ. Δέσποινα Πεντάρη για την καθοδήγηση, τις συμβουλές και τη βοήθεια που μου προσέφερε. Όπως επίσης και τον κ. Κωνσταντίνο Κορνίτσα για την αποδοχή και την συμμετοχή του στην εξεταστική μου επιτροπή. Δεν θα μπορούσα να παραλείψω την κ. Πάολα Ροτόντο, την κ. Παγώνα Μακρή και κ. Γεώργιο Τριανταφύλλου για την υποστήριξη, την βοήθεια και το ενδιαφέρον που έδειξαν για την εργασία μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ από καρδιάς και να αφιερώσω της μεταπτυχιακή διατριβή μου στην οικογένεια μου, στους γονείς μου Θωμά και Άννα, στη γιαγιά μου Δήμητρα, στις αδερφές μου Δήμητρα και Νανά, στον γαμπρό μου Μιχάλη Μήτση, που δεν έπαψαν λεπτό να με εμψυχώνουν, να με στηρίζουν και να πιστεύουν σε έμένα. Επίσης, θα ήθελα να αφιερώσω την εργασία αυτή, στον σύντροφο μου Νικόλαο Τζανάκη, για τη βοήθεια και τη δύναμη που μου προσέφερε. Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη ΔΕΔΙΣΑ Χανίων για την ευγενή προσφορά του κομπόστ, και τους Μιχάλη Τζανάκη, Αγνή και Βαγγέλη Τζανάκη, Μάριο Κουτρουλάκη, Μιχάλη Βιτεντζή, Σωτήρη Γαρουφαλίδη για την ηθική υποστήριξη.

# Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

## 1.1: Λίπανση εδαφών

Τα λιπάσματα αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της γεωργικής παραγωγής διότι παρέχουν βασικά θρεπτικά συστατικά απαραίτητα για την σωστή ανάπτυξη των καλλιεργειών και τις ανθισμένες συγκομιδές. Η χρήση λιπασμάτων έχει διαδραματίσει ζωτικό ρόλο στην κάλυψη τροφίμων σε ολόκληρο τον κόσμο, αφού ακόμη και υψηλής απόδοσης καλλιέργειες δεν φτάνουν την πλήρη απόδοσή τους χωρίς την χρήση λιπασμάτων. Ωστόσο, με το πέρασμα των χρόνων, η εμπειρική χρήση λιπασμάτων από γεωργούς αποδείχθηκε αναποτελεσματική, αντιστοικονομική και με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Η λίπανση των εδαφών αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία εφαρμογής των λιπασμάτων με σκοπό να ρυθμιστεί η γονιμότητα του εδάφους, ικανοποιώντας παράλληλα τις ανάγκες των φυτών, την αειφορία του εδάφους και την προστασία του περιβάλλοντος. Ωστόσο, η περίσσεια θρεπτικών ουσιών μπορεί να προκαλέσει τη μεταφορά τους σε υπόγεια και επιφανειακά ύδατα με συνέπεια την ύπαρξη περιβαλλοντικών προβλημάτων.(Khan et al., 2014), την αύξηση των συγκεντρώσεων των χημικών ουσιών στα εδάφη και κατά συνέπεια επιπτώσεις στη δημόσια υγεία (Khan et al., 2018). Κρίνεται λοιπόν απαραίτητο να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά του εδάφους, την γονιμότητα του, τις ανάγκες των εκάστοτε καλλιεργειών σε θρεπτικά συστατικά καθώς και την αποτελεσματικότητα της χρήσης λιπασμάτων (Fernández et al., 2014).

Η επιτυχής λίπανση των εδαφών καθορίζεται από τα αποτελέσματα της ανάλυσης του εδάφους (φυσικοχημικές ιδιότητες, μηχανικές ιδιότητες, pH και οργανικό υλικό) καθώς και από τις παραμέτρους εισροών- εκροών (ανοργανοποίηση, απομάκρυνση των θρεπτικών συστατικών λόγω συγκομιδής, έκπλυσης, διάβρωσης). Λαμβάνοντας υπόψη, τις παραπάνω παραμέτρους, επιτυγχάνεται κατάλληλη λίπανση ανάλογα με τις πραγματικές ανάγκες των θρεπτικών των καλλιεργειών με στόχο την μείωση των δαπανών κόστους, την αύξηση της παραγωγικότητας, την βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων και τις ελάχιστες επιπτώσεις ως προς το περιβάλλον.([http://www.moa.gov.cy/moa/agrokypros.nsf/0/C93889D91BE687FBC2257BBE002866D9/\\$file/Symvouleytikh%20lipansh.pdf](http://www.moa.gov.cy/moa/agrokypros.nsf/0/C93889D91BE687FBC2257BBE002866D9/$file/Symvouleytikh%20lipansh.pdf)).

## 1.2: Είδη λιπασμάτων

Τα λιπάσματα ανάλογα με την προέλευσή τους, ταξινομούνται σε τρεις βασικές κατηγορίες, σε οργανικά (βιολογικά), ανόργανα (χημικά) και οργανοχημικά. Τα οργανικά (βιολογικά) λιπάσματα εμφανίζονται συχνά στη φύση, συνήθως ως υποπροϊόντα ή τελικά προϊόντα φυσικών διεργασιών, προερχόμενα από την αποσύνθεση ζωικών και φυτικών υπολειμμάτων όπως το κομπόστ, η κοπριά, το λίπασμα από φύκια κ.α. Αποτελούν καλύτερες πηγές θρεπτικών συστατικών σε ισορροπημένες ποσότητες όπου το έδαφος υστερεί σε συστατικά σε σύγκριση με τα ανόργανα λιπάσματα, αυξάνουν την κατακράτηση της υγρασίας, μειώνουν την έκπλυση θρεπτικών ουσιών, βελτιώνουν την βιοποικιλότητα (διάρκεια ζωής εδάφους) και μπορούν να θεωρηθούν αποθετήρια διοξειδίου του άνθρακα ([http://www.humofert.gr/images/Article-FYTONET\\_MAR\\_2015.pdf](http://www.humofert.gr/images/Article-FYTONET_MAR_2015.pdf)).

Τα ανόργανα (χημικά) λιπάσματα προέρχονται από την σύνθεση χημικών στοιχείων μέσω διαφόρων χημικών διεργασιών. Τα οργανοχημικά αποτελούνται από χημικά στοιχεία σε συνδυασμό με ποσότητα οργανικής ουσίας, είναι ευδιάλυτα στα φυτά επομένως η δράση τους είναι άμεση και γρήγορη. Επίσης, είναι πιο οικονομικά σε σύγκριση με τα οργανικά λιπάσματα, ωστόσο η χρήση τους μπορεί να επιφέρει επιπτώσεις στο έδαφος και τα φυτά με συνέπεια την οξύτητα του εδάφους, την ανισορροπία των θρεπτικών συστατικών και την χαμηλή απόδοση των καλλιεργειών (Naz, 2019).

Επίσης, ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε θρεπτικά συστατικά τα λιπάσματα διαχωρίζονται σε απλά, μικτά και σύνθετα. Η διαφορά μεταξύ μικτών και σύνθετων σχετίζεται με τον τρόπο σύνδεσης των θρεπτικών στοιχείων μεταξύ τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι η αποτελεσματικότητα των λιπασμάτων εξαρτάται άμεσα από την αναλογία των θρεπτικών συστατικών ως προς το έδαφος αλλά και μεταξύ τους. Τέλος, μια άλλη κατηγορία υλικών που χρησιμοποιούνται στο έδαφος είναι τα εδαφοβελτιωτικά τα οποία δεν συντελούν στην αύξηση της παραγωγικότητας των εδαφών αλλά στη διόρθωση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων τους (Amany & Al-Erwy\*, 2016).



### 1.2.1: Κομποστ

Το κομπόστ ανήκει στην κατηγορία των οργανικών λιπασμάτων. Σύμφωνα με τους Leege και Thomson (1997), το κομπόστ είναι το προϊόν της ελεγχόμενης βιολογικής αποικοδόμησης των οργανικών απορριμμάτων το οποίο έχει αποστειρωθεί και σταθεροποιηθεί σε τέτοιο βαθμό που είναι δυνατόν να αναπτυχθεί όταν χρησιμοποιηθεί στο έδαφος. Μέσω της κομποστοποίησης μειώνεται η ποσότητα των οργανικών αποβλήτων από την ανακύκλωση και δημιουργείται οργανικό λίπασμα. Οι μικροοργανισμοί που συμμετέχουν στην κομποστοποίηση είναι βακτήρια, μύκητες, διάφορα έντομα κ.α. Εκτός από την ύπαρξη οργανικής ουσίας, η οποία αποτελεί το βασικότερο χαρακτηριστικό, η χρήση του κομπόστ ως λίπασμα συντελεί στη βελτίωση της δομής του εδάφους, στη ρύθμιση της αποστράγγισης, στην ενίσχυση της γονιμότητας και της διάρκειας ζωής του εδάφους. Τέλος, δεσμεύει τον άνθρακα στο έδαφος, αποτρέποντας την έκλυση του στην ατμόσφαιρα ως διοξείδιο του άνθρακα (Σαριδάκης, 2011).

### 1.2.2: Φωσφορικά Λιπάσματα

Τα φωσφορικά λιπάσματα ανήκουν στην κατηγορία των ανόργανων λιπασμάτων. Η χρήση τους έχει μεγάλη σημασία γιατί η ποσότητα του φωσφόρου που διέρχεται στο έδαφος μέσω της ατμόσφαιρας είναι πολύ μικρή, με αποτέλεσμα η μοναδική φυσική πηγή φωσφόρου να είναι τα πρωτογενή ορυκτά φωσφόρου. Η ορθολογική χρήση των φωσφορικών λιπασμάτων έχει στόχο τη βελτίωση του εδάφους από την έλλειψη του φωσφόρου στο έδαφος και την αποφυγή των απωλειών του προς του υδάτινους πόρους. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι φωσφορικές ενώσεις οι οποίες υπάρχουν στο έδαφος, π.χ. ο απατίτης, είναι δυσδιάλυτες με αποτέλεσμα να μην είναι διαθέσιμες στα φυτά ενώ οι φωσφορικές ενώσεις που προσφέρονται από λιπάσματα είναι διαλυτές (Γασπαράτος, 2016).

### 1.2.3: Χαρακτηριστικά βιολογικών Λιπασμάτων

Τα οργανικά-βιολογικά λιπάσματα (Mahato et al., 2014):

- 1) Σταθεροποιούν το ατμοσφαιρικό άζωτο στο έδαφος και τα φυτά.
- 2) Διαλυτοποιούν τις αδιάλυτες μορφές φωσφορικών όπως τα φωσφορικά άλατα, σίδηρο και το αλουμίνιο σε διαθέσιμες μορφές.
- 3) Παράγουν ορμόνες και αντι-μεταβολίτες που προάγουν την ανάπτυξη των ριζών των φυτών.
- 4) Αποσυνθέτουν την οργανική ύλη και βοηθούν την ανοργανοποίηση στο έδαφος.
- 5) Όταν εφαρμόζονται στο έδαφος ή τις καλλιέργειες αυξάνουν τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών και την απόδοσή τους κατά 10-35% χωρίς να επηρεάσουν δυσμενώς το έδαφος και το περιβάλλον.
- 6) Δεν προκαλούν ατμοσφαιρική ρύπανση και αυξάνουν τη γονιμότητα του εδάφους.
- 7) Ενισχύουν την απόδοση των καλλιεργειών και πολλές φορές εκκρίνουν αντιβιοτικά και λειτουργούν ως παρασιτοκτόνα.
- 8) Βελτιώνουν τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους όπως την ικανότητα συγκράτησης του νερού.

### 1.3: Λιπάσματα βραδείας απελευθέρωσης

Λιπάσματα αργής απελευθέρωσης ή ελεγχόμενης απελευθέρωσης ονομάζονται τα λιπάσματα τα οποία απελευθερώνουν τα θρεπτικά συστατικά τους ανάλογα με τον ρυθμό ανάπτυξης των φυτών, με στόχο την ελεγχόμενη απελευθέρωση των θρεπτικών συστατικών του εδάφους. Επίσης, παρέχουν θρεπτικές ουσίες στις ρίζες των φυτών για μεγάλο χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα οι καλλιέργειες να γονιμοποιούνται λιγότερο συχνά. Αυτοί οι τύποι λιπασμάτων αποτρέπουν τα θρεπτικά συστατικά να εξέλθουν σε υδάτινες οδούς, γεγονός που μειώνει την πιθανότητα ρύπανσης των υδάτων και της ανθοφορίας. (Μπουρουγιάννης,2016)

Από τεχνικής απόψεως, τα λιπάσματα αργής απελευθέρωσης υπό συγκεκριμένες συνθήκες και σε θερμοκρασία 25° C θα πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω συνθήκες: (Association of American plant food control officials 2015) :

- 1) Να μην απελευθερώνουν περισσότερο από το 15% των συστατικών τους σε 24 ώρες.

- 2) Να μην απελευθερώνουν περισσότερο από 75% των συστατικών τους σε 28 ώρες.
- 3) Να απελευθερώνουν το 75% των συστατικών τους στο χρόνο που υποδεικνύεται από τον κατασκευαστή.

#### 1.4: Λιπάσματα ταχείας απελευθέρωσης

Τα λιπάσματα ταχείας απελευθέρωσης εκτελούν πολλές από τις λειτουργίες των λιπασμάτων βραδείας απελευθέρωσης με τη διαφορά ότι η απελευθέρωση των θρεπτικών συστατικών πραγματοποιείται με πιο γρήγορο ρυθμό, είναι πιο οικονομικά και διαθέτουν άμεσα τα θρεπτικά συστατικά στα φυτά με αποτέλεσμα την άμεση ανάκαμψη και ανάπτυξη των φυτών. Συνήθως αποτελούνται από άζωτο και ενώσεις αμμωνίου (θειικό αμμώνιο ή φωσφορικό αμμώνιο) ή νιτρικών, διαλύονται εύκολα στο νερό και είναι άμεσα διαθέσιμα στις ρίζες των φυτών, προσδίδοντας άμεσα πράσινο χρώμα στα φύλλα. Παρόλα αυτά υπάρχουν και επιπτώσεις στη χρήση λιπασμάτων ταχείας απελευθέρωσης, καθώς έχουν σύντομη διάρκεια και αν εφαρμόζονται σε υπερβολικό βαθμό μπορεί να βλάψουν τα φυτά.

#### 1.5: Διαφορές λιπασμάτων αργής και ταχείας απελευθέρωσης

Οι διαφορές μεταξύ λιπασμάτων αργής και ταχείας απελευθέρωσης θρεπτικών συστατικών συνοψίζονται ως εξής:

- 1) Τα λιπάσματα αργής απελευθέρωσης είναι οικονομικά και λιγότερο τοξικά με αποτέλεσμα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγαλύτερη ποσότητα στη βασική λίπανση, μειώνοντας τη ποσότητα και τη συχνότητα στις επιφανειακές εφαρμογές (Manjappa et al., 1994, Kaneta 1995, Kaneki et al., 2000),
- 2) Η χρήση λιπασμάτων ταχείας απελευθέρωσης δεν μπορεί να υποστεί διορθώσεις, δημιουργώντας προβλήματα στις καλλιέργειες και το περιβάλλον,
- 3) Τα λιπάσματα αργής απελευθέρωσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εδάφη που έχουν υποστεί ελάχιστη ή καθόλου επεξεργασία (Inoue et al. 2000),
- 4) Έχει παρατηρηθεί ότι τα λιπάσματα αργής απελευθέρωσης βελτιώνουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των παραγόμενων προϊόντων και την ανθεκτικότητά τους σε ασθένειες, (Zhang et al., 2000)

## 1.6: Η επίδραση του φωσφόρου, καλίου και μαγνησίου στο έδαφος και τα λιπάσματα

### 1) Φωσφόρος

Ο φωσφόρος αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά θρεπτικά συστατικά των φυτικών οργανισμών. Συναντάται στο επιφανειακό έδαφος σε οργανική μορφή σε ποσότητα ίση με το 1/3 του συνολικού φωσφόρου και σε ανόργανη μορφή η οποία προέρχεται από μητρικά πετρώματα και βρίσκεται σε διάφορα βάθη και μορφές όπως κρυσταλλική, άμορφη ή κολλοειδή. Απαντάται υπό μορφή αλάτων Ca, Mg, Al, Fe ή ως υδροξύλια Al, Fe. Το κύριο ορυκτό του φωσφόρου είναι ο απατίτης. Συμβάλει στην ανάπτυξη των φυτών και την αντοχή τους, αποτελεί βασικό δομικό στοιχείο της μεμβράνης των χλωροπ्लाστών και συμμετέχει σε βασικές λειτουργίες όπως τη μεταφορά ενέργειας από το ένα κύτταρο στο άλλο, τη φωτοσύνθεση κ.λπ.. Ο ζωικός οργανισμός προσλαμβάνει φωσφόρο από τα φυτά και τον εναποθέτει στο έδαφος σε οργανική μορφή, οι οργανισμοί του εδάφους με τη σειρά τους ανοργανοποιούν ένα τμήμα του, ενώ το υπόλοιπο το χρησιμοποιούν για τις ανάγκες τους. Χωρίς φωσφόρο δεν πραγματοποιείται η σύνθεση των γενετικών φορέων DNA, RNA και των πρωτεϊνών, περιορίζεται σημαντικά η ανάπτυξη των φυτών και των ριζών, τα φύλλα παραμένουν μικρά και οι βλαστοί κοντοί, ενώ το φύλλωμα παρουσιάζει διάφορες αποχρώσεις όπως κυανοπράσινο χρώμα με υπέρυθρες ή κόκκινες ή καφέ κηλίδες με κίτρινη περιφέρεια. (Panhwar, 2013).

### 2) Κάλιο

Το Κάλιο συγκαταλέγεται στα βασικά θρεπτικά συστατικά για την συνολική επιβίωση των ζωντανών οργανισμών. Συναντάται στο φλοιό της γης, όχι ως ελεύθερο στοιχείο αλλά με τη μορφή αλάτων όπως ανθρακικού καλίου, χλωριούχου καλίου κ.λπ., ή πυριτικών ορυκτών όπως K-αστρίου και μαρμαρυγιών (μοσχοβίτη/ιλλίτη, βιοτίτη κλπ.) Συντελεί στην σωστή ανάπτυξη των φυτών, στη ρύθμιση της απόκρισης των φυτών στο φως μέσω του ανοίγματος και κλεισίματος των στοματίων ρυθμίζοντας έτσι τη φωτοσύνθεση και την πρόσληψη του CO<sub>2</sub>. Επίσης, είναι υπεύθυνο για πολλές άλλες ζωτικές διεργασίες όπως τη μεταφορά νερού και θρεπτικών συστατικών, τη σύνθεση αμύλου και πρωτεΐνης. Η ανεπάρκεια του μπορεί να

προκαλέσει ανωμαλίες στην αναπαραγωγή, ασταθή ανάπτυξη των φυτών, κιτρίνισμα των φύλλων, αποφύλλωση, ασταθή ανάπτυξη και ευαισθησία στις αλλαγές της θερμοκρασίας (Tajer, 2016).

### 3) Μαγνήσιο

Το μαγνήσιο είναι απαραίτητο για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης αφού αποτελεί δομικό στοιχείο της χλωροφύλλης, που κάνει τα φύλλα να φαίνονται πιο πράσινα. Συναντάται σε δυο μορφές, το ανταλλάξιμο το οποίο εντοπίζεται στα φυτά και συγκρατείται από σωματίδια αργίλου και οργανική ύλη και το μη ανταλλάξιμο το οποίο αποτελεί συστατικό των πρωτογενών ορυκτών στο έδαφος επειδή όμως η διαδικασία αποσύνθεσης του στα εδάφη είναι πολύ αργή δεν είναι διαθέσιμο στα φυτά. Τα φυτά προσλαμβάνουν Mg στην ιοντική του μορφή ( $Mg^{+2}$ ) η οποία είναι διαλυμένη στο έδαφος. Η ικανότητα του φυτού να απορροφήσει μαγνήσιο εξαρτάται από την συγκέντρωση του στο εδαφικό διάλυμα και την ικανότητα του εδάφους να αναπληρώσει το διάλυμα του εδάφους με μαγνήσιο (<https://www.smart-fertilizer.com/articles/magnesium>).

#### 1.7: Προηγούμενες μελέτες ορυκτών λιπασμάτων βραδείας απελευθέρωσης.

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε λιπάσματα βραδείας απελευθέρωσης, έχει αποδειχθεί ότι είναι σημαντικά τόσο για τον παραγωγό που επιδιώκει την βέλτιστη παραγωγή με το ελάχιστο κόστος όσο και για την προστασία του περιβάλλοντος. Η χρήση αυτού του είδους λιπασμάτων έχει δοκιμαστεί από πολλούς ερευνητές και θεωρείται πλήρως αποτελεσματική στην σπορεία και την ανθοφορία καλλωπιστικών και ανθοκομικών φυτών. Η εφαρμογή σε εδαφικά μίγματα, θέσεις φύτευσης και σποράς και σε δασικά φυτώρια, σε καλλωπιστικούς θάμνους και κηπευτικά έδωσε εξαιρετικά αποτελέσματα. Χάρη στη μειωμένη τοξικότητα των εν λόγω λιπασμάτων σε φυτά και σπόρους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγαλύτερες ποσότητες στη βασική λίπανση, συγκριτικά με τα κοινά λιπάσματα, μειώνοντας κατά συνέπεια την ποσότητα και τη συχνότητα επιφανειακών εφαρμογών (Ταούκης, 2003).

Σε αρκετές ερευνητικές εργασίες έχει διαπιστωθεί ότι η χρήση λιπασμάτων βραδείας απελευθέρωσης έχει βελτιώσει ποιοτικά και ποσοτικά την παραγωγή προϊόντων. Ιάπωνες και άλλοι Ασιάτες ερευνητές διαπίστωσαν σημαντικά καλύτερη αξιοποίηση των θρεπτικών συστατικών σε καλλιέργειες ρυζιού και μεγαλύτερη παραγωγή σε βάθος χρόνου, συγκριτικά με τα κοινά λιπάσματα, των οποίων η χρήση αξιοποίησε ελάχιστα τα θρεπτικά συστατικά (Manjappa et al., 1994, Kaneta 1995, Kaneki et al., 2000). Το ίδιο παρατηρήθηκε και σε καλλιέργειες πιπεριάς, καλαμποκιού και άλλων καρποφόρων δέντρων όπως για παράδειγμα σε πορτοκαλιές (Ombodi et. al, 1998, Komosa et. al, 1998). Αποτελέσματα άλλων ερευνών όπως σε γκαζόν, έδειξαν καλύτερο και πιο ομοιόμορφο χρωματισμό ( Wehner & Martin, 1989) και καλύτερη ποιότητα (Peacock & Diraola, 1992). Σε χρυσάνθεμα ο χρωματισμός ήταν εντονότερος, τα φυτά ήταν πιο ανθεκτικά και είχαν «μεγαλύτερη διάρκεια ζωής ως κομμένα άνθη» (Prince et. al., 1990). Τα καλλωπιστικά φυτά όπως *Salvia* και ορχιδέες, είχαν καλύτερη εμφάνιση και ποιότητα ( Knowles et. al., 1993, Espinosa & Gaytan, 2000). Επίσης, δοκιμές σε φράουλες και ντομάτες απέδωσαν μεγαλύτερους και βαρύτερους καρπούς (Maegawn & Minegishi, 1991, Kotze et. al., 1992, Babbo, 1989). Τέλος, στο σπανάκι η χρήση λιπασμάτων αργής απελευθέρωση απέδωσε προϊόν μεγαλύτερης διατροφικής αξίας (Ombodi et. al., 2000). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι καλλιέργειες που έχουν ανισόρροπη θρέψη είναι πιο ευπαθείς σε εχθρούς και ασθένειες, γεγονός που μπορεί να αποφευχθεί με τη χρήση των λιπασμάτων αυτών και όχι με τα κοινά λιπάσματα (Balasubramanian et. al. 1987, Chase, 1988).

Οι Hauck (1985) και Waddington (1990) συμπέραναν πως η χρήση των λιπασμάτων βραδείας απελευθέρωσης συντελεί στην γρήγορη ανάπτυξη των φυτών, προσδίδει έντονο πράσινο χρώμα στα φύλλα και μειώνει τις απώλειες θρεπτικών συστατικών. Επίσης, σε βάθος χρόνου μειώνεται η συχνότητα χρήσης των λιπασμάτων, καθώς δεν καθίστανται αναγκαία. Σε δοκιμές λιπασμάτων βραδείας απελευθέρωσης για την παραγωγή λαχανικών, αποδείχθηκε ότι αυξάνουν την αποτελεσματικότητα της χρήσης θρεπτικών ουσιών ιδιαίτερα σε εδάφη με χαμηλή ικανότητα ιοντοανταλλαγής (Kelly Morgan, 2009). Τέλος, οι Simone και Hutchinson et. al (2003) σε δοκιμές καλλιέργειας πατάτας, συμπέραναν ότι τα λιπάσματα αργής απελευθέρωσης σε ξηρά, φτωχά εδάφη εμπλουτίζουν το έδαφος με θρεπτικά συστατικά με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής ακόμα και σε περιόδους ξηρασίας ή χαμηλών θερμοκρασιών.

Τα ορυκτά λιπάσματα επιδοτούνταν σε αναπτυσσόμενες χώρες για 5 δεκαετίες περίπου, με κορύφωση τις δεκαετίες από το 1960 έως το 1980 κυρίως στην Ασία και την Νότιο Αφρική. Στην Ασία κατάφεραν να αυξήσουν σημαντικά την παραγωγή με τη χρήση ορυκτών λιπασμάτων καθώς και με επεκτάσεις στην αρδευτική περιοχή. Στην Αφρική οι μέθοδοι καλλιεργειών που χρησιμοποιούνται οδήγησαν στην μείωση των θρεπτικών συστατικών των εδαφών με αποτέλεσμα τη μείωση των αποδόσεων των καλλιεργειών. Σύμφωνα με τον Buresh et. al. (1997), η χρήση ορυκτών λιπασμάτων με ασβεστόλιθο, δολομίτη και γύψο αποτέλεσαν τη πηγή ανασύστασης των θρεπτικών συστατικών των εδαφών της Αφρικής (Chianu et al, 2012).

Η εφαρμογή ορυκτών λιπασμάτων στην Βραζιλία κατάφερε να αυξήσει σημαντικά τα αποθέματα των καλλιεργειών, μειώνοντας την έκπλυση των θρεπτικών συστατικών. Το 1868, ο Ρώσος χημικός A. N. Engel'gardt διεξήγαγε πειράματα με φωσφορικά ορυκτά λιπάσματα αποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητά τους στην μείωση της οξύτητας του εδάφους και την αύξηση της παραγωγής έως 50%, συμβάλλοντας έτσι στην περαιτέρω παραγωγή φωσφορικών ορυκτών (The Gale group, 2010).

Σε εργαστηριακό επίπεδο, στην Κόρδοβα, νότια της Ισπανίας, πραγματοποιήθηκε καλλιέργεια σίτου με τη χρήση ορυκτών λιπασμάτων, με αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής σιτηρών κατά 20%-30%, ελαχιστοποίηση των απωλειών των θρεπτικών συστατικών, βελτίωση της δομής του εδάφους και αύξηση της συγκράτησης των νερών από το έδαφος (Alburquerque et al, 2013). Σύμφωνα με τους Southey (1978) and Siddiqui et. al. (2001), τα ορυκτά λιπάσματα μπορούν να καταστείλουν την δράση παράσιτων στα φυτά, να αυξήσουν την ανοχή και ανάπτυξη των φυτών και να βελτιώσουν την δομή εδάφους. Παρόμοια αποτελέσματα με τα παραπάνω παρουσιάστηκαν και σε μελέτες φυτών πατάτας υπό την επίδραση ορυκτών λιπασμάτων στην Αίγυπτο (Shady et al., 2018)

## 1.8: Σκοπός εργασίας

Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η δημιουργία λιπασμάτων αργής απελευθέρωσης με χρήση διαφορετικών αργιλικών υλικών που περιέχουν σμεκτίτη (μπεντονίτη), καολινίτη (καολίνης) και παλιγορσκήτη. Στη συνέχεια, τα αργιλικά υλικά αναμείχθηκαν με κομπόστ ή φωσφορικό κάλιο, ελέγχθηκε η αποτελεσματικότητά τους μέσω της βελτίωσης του ρυθμού απελευθέρωσης των θρεπτικών συστατικών σε σχέση με τα κοινά λιπάσματα.

## Κεφάλαιο 2: Ορυκτά και αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η χρήση ορυκτών λιπασμάτων με στόχο την βραδεία απελευθέρωση φωσφόρου, καλίου και μαγνησίου. Αρχικά συλλέχθηκε επιφανειακό αμμώδες έδαφος από το Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων, από βάθος 10 cm. Αφού τοποθετήθηκε σε σακούλα μεταφέρθηκε στο εργαστήριο Γεωχημείας του Πολυτεχνείου Κρήτης όπου, κοσκινίστηκε σε κόσκινο κάτω των 63  $\mu\text{m}$ . Η περιεκτικότητα του εδάφους σε ιχνοστοιχεία δίνεται στον πίνακα 1. Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν ως λιπάσματα κομπόστ από την ΔΕΔΙΣΑ Χανίων και φωσφορικό κάλιο, καθώς και τρία διαφορετικά είδη ορυκτών αργίλων, τα οποία λειοτριβήθηκαν και ομοιογενοποιήθηκαν σε πλανητικό σφαιρόμυλο στο εργαστήριο Εμπλουτισμού του Πολυτεχνείου Κρήτης στις 100 στροφές για 2 ώρες και στην συνέχεια τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα.

Πίνακας 1: Ποσοτικά Χαρακτηριστικά Εδάφους (πηγή: Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων).

Ιχνοστοιχεία Εδάφους	Συγκέντρωση (mg/kg)
Χαλκός (Cu)	100
Υδράργυρος (Hg)	0,1
Νικέλιο (Ni)	12
Μόλυβδος (Pb)	207
Χρώμιο (Cr)	25
Κάδμιο (Cd)	0.6
Ψευδάργυρος (Zn)	350

### 2.1: Κομπόστ- ΔΕΔΙΣΑ Χανίων

Το κομπόστ που παράγεται στο εργοστάσιο Μηχανικής Ανακύκλωσης και Κομποστοποίησης της ΔΕΔΙΣΑ Χανίων, προέρχεται από την βιολογική, αερόβια, θερμόφιλη επεξεργασία του οργανικού κλάσματος (υπολειμμάτων τροφίμων) των αστικών στερεών αποβλήτων και τεμαχισμένων κλαδιών. Τα απορρίμματα συλλέγονται από τους πράσινους κάδους κατά την καθημερινή αποκομιδή και μεταφέρονται στις εγκαταστάσεις του εργοστασίου. Εκεί μέσω μεταφορικών ταινιών



οδηγούνται σε μια σειρά από κόσκινα, μαγνήτες και συσκευές διαλογής, ώσπου να καταλήξει το τελικό προϊόν (Οργανικό Κλάσμα Στερεών Αστικών Απορριμμάτων) στην δεξαμενή ταχείας κομποστοποίησης. Μέσα στην δεξαμενή, λαμβάνουν χώρα διάφορες βιοχημικές διεργασίες με ελεγχόμενη θερμοκρασία και αερισμό, το κομπόστ αναμειγνύεται με σπασμένα κλαδιά και αναδεύεται για 4-6 εβδομάδες. Στη συνέχεια, το εξερχόμενο κομπόστ διαχωρίζεται από τα υλικά που δεν κομποστοποιήθηκαν ή από ξένα σώματα που παρέμειναν από προηγούμενα στάδια. Το παραγόμενο κομπόστ είναι απαλλαγμένο από μικροοργανισμούς και βακτήρια με στόχο τη διασφάλιση της ποιότητάς του και τη χρήση του ως βελτιωτικό εδάφους. Η περιεκτικότητα του κομπόστ σε ιχνοστοιχεία δίνεται στον πίνακα 2. ([www.dedisa.gr](http://www.dedisa.gr)).

Πίνακας 2: Ποσοτικά Χαρακτηριστικά Κομπόστ ([www.chemicotechniki.gr](http://www.chemicotechniki.gr)).

Ιχνοστοιχεία Κομπόστ	Συγκέντρωση (mg/kg)
Αρσενικό (As)	4.4
Κάδμιο (Cd)	1.1
Χρώμιο (Cr)	51
Χαλκός (Cu)	187
Μόλυβδος (Pb)	101
Υδράργυρος (Hg)	0,5
Νικέλιο (Ni)	32
Ψευδάργυρος (Zn)	469
Ανθρακένιο	17.3
Φθορακένιο	93.8
Πυρένιο	81.3
Βενζο(α)ανθρακένιο	53.4
Χρυσένιο	43.2
Βένζο(β)φθορανθένιο	16.0
Βενζο(α)πυρένιο	20.8
Βενζο(κ)φθορανθένιο	23.5
Ινδενο(1,2,3-c,d)πυρένιο	24.1
Διβενζο(1,2,3,c,d)πυρένιο	41.1
Βενζο(g,h,i)περυλένιο	26.6

## 2.2 Φωσφορικό Κάλιο ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )



Εικόνα 1: Φωσφορικό Κάλιο.

Το φωσφορικό κάλιο της εταιρίας Sigma Aldrich χρησιμοποιήθηκε ως συνθετικό λίπασμα για το εκτέλεση των πειραμάτων. Είναι άχρωμο, με κρυσταλλική μορφή και δεν εμφανίζει καμία ένδειξη τοξικότητας σε φυτά ή ζώα. Αποτελεί σημαντική πηγή φωσφόρου και καλίου, και λειτουργεί ως ρυθμιστικός παράγοντας διατηρώντας την οξύτητα του εδάφους σε χαμηλά επίπεδα (European Bioinformatics Institute GB). Η καθαρότητα του αντιδραστηρίου παρουσιάζεται στον πίνακα 3.

Πίνακας 3: Ποσοτικά χαρακτηριστικά φωσφορικού καλίου (πηγή:Sigma Aldrich).

Στοιχεία	Συγκέντρωση (mg/kg)
Χλώριο (Cl)	< 10
Φθόριο (F)	< 10
Αρσενικό (As)	< 2
Κάδμιο (Cd)	< 1
Χαλκός (Cu)	< 20
Σίδηρος (Fe)	< 10
Υδράργυρος (Hd)	<1
Νάτριο (Na)	< 1000
Μόλυβδος (Pb)	< 4
Ψευδάργυρος (Zn)	< 20

Θειικό άλας (SO <sub>4</sub> ) <sup>-2</sup>	< 200
--	-------

Όσο αφορά τις καλλιέργειες, το φωσφορικό κάλιο ως λίπασμα βοηθά στην ρύθμιση της πρωτεϊνικής σύνθεσης στα φυτά, συντελεί στη δημιουργία φυτικών ριζών και καθιστά το έδαφος περισσότερο ανθεκτικό στις μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες (Tajer, 2018).

## 2.3: Ορυκτά

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά είδη αργιλικών υλικών, καολίνης, μπεντονίτης και παλιγκορσκήτης τα οποία αναλύονται παρακάτω. Χάρη στις ιδιότητες τους, όπως μεγάλη ειδική επιφάνεια που τα καθιστά ιδιαίτερα προσροφητικά, ικανότητα συγκράτησης και δέσμευσης νερού διατηρώντας την υγρασία του εδάφους, πλαστικότητα έχοντας τη δυνατότητα να διαμορφώνονται ανάλογα με το περιβάλλον και να μετατρέπονται από στερεή κατάσταση σε ρευστή., ικανότητα προσρόφησης και ανταλλαγής κατιόντων επιτρέποντας την είσοδο ή την έξοδο ξένων στοιχείων μεταξύ των φύλλων κ.λπ. τα αργιλικά ορυκτά που χρησιμοποιήθηκαν επηρεάζουν τις ιδιότητες του εδάφους και συμβάλουν στην ανάπτυξη των φυτών και στον εμπλουτισμό του εδάφους με θρεπτικά συστατικά (Γαλανοπούλου, 2009).

### 2.3.1: Καολίνης (Al<sub>4</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>)



Εικόνα 2: Καολίνης (πηγή: [www.orykta.gr](http://www.orykta.gr)).

Το βασικό ορυκτό του πετρώματος του καολίνη είναι ο καολινίτης. Ο καολίνης πήρε το όνομα του από την κινέζικο βουνό Kao-ling της επαρχίας Jiangxi της Κίνας, στην οποία χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά τον τρίτο αιώνα. Επίσης, το 1867 περιγράφηκε πρώτη φορά ως ορυκτό είδος σε μια εμφάνισή του στην λεκάνη του ποταμού Jarí της Βραζιλίας. Απαντάται σε ένα μεγάλο εύρος πετρωμάτων, ιζημάτων και εδαφών, ως προϊόν εξαλλοίωσης διαφόρων ορυκτών κυρίως αστρίων και μαρμαρυγιών. Εμφανίζεται σε όλα τα περιβάλλοντα εξαλλοίωσης, είτε από αποσάθρωση είτε από υδροθερμική εξαλλοίωση, όπως για παράδειγμα από την εξαλλοίωση ρυόλιθων. Επίσης εμφανίζεται σε ιζηματογενή πετρώματα, εκτός από αυτά που έχουν υποστεί έντονη διαγένεση. Τα κοιτάσματα καολίνη διακρίνονται σε δυο βασικές κατηγορίες τα πρωτογενή και τα δευτερογενή (Χρηστίδης, 2012). Τα πρωτογενή, τα οποία περιέχουν καολινίτη σε ποσοστό 10% - 60%, περιλαμβάνουν (Χρηστίδης, 2012) :

- Κοιτάσματα από χημική αποσάθρωση ή αλλιώς υπολειμματικά κοιτάσματα, τα οποία προκύπτουν από χημική αποσάθρωση κυρίως πυριγενών πετρωμάτων. Η δημιουργία καολίνη εξαρτάται από το pH του περιβάλλοντος διότι πραγματοποιείται σε όξινο περιβάλλον και από την απομάκρυνση των μετάλλων των αλκαλίων και των αλκαλικών γαιών. Επίσης, κοιτάσματα αυτού του τύπου μπορεί να δημιουργηθούν από την προσθήκη διοξειδίου του πυριτίου σε βωξίτες, μέσω της παρακάτω εξίσωσης.



Τα υπολειμματικά κοιτάσματα έχουν ακανόνιστο σχήμα και σπάνια έχουν οικονομική σημασία.

- Υδροθερμικά κοιτάσματα καολίνη, τα οποία προκύπτουν από την υδροθερμική εξαλλοίωση αστρίων. Αυτοί οι καολίνες καταλαμβάνουν περιορισμένη έκταση και συχνά σχηματίζουν σωληνοειδή σώματα βάθους μερικών εκατοντάδων μέτρων. Τα κοιτάσματα αυτά συνήθως περιέχουν καλά κρυσταλλωμένο καολινίτη.

- Κοιτάσματα τα οποία συνδέονται με θειούχες θερμές πηγές, τα οποία προκύπτουν από ρευστά πλούσια σε θείο, συνήθως με μορφή υδρόθειου και εμφανίζονται σε περιοχές με πρόσφατη ηφαιστειακή δραστηριότητα. Τέτοιου είδους κοιτάσματα περιέχουν συνήθως θειικά ορυκτά της ομάδας του αλουνίτη, οπάλιο κ.λπ. και χρησιμοποιούνται κυρίως ως πληρωτικά υλικά. Τα περισσότερα ελληνικά κοιτάσματα ανήκουν σε αυτή την κατηγορία.

Τα δευτερογενή κοιτάσματα περιλαμβάνουν:

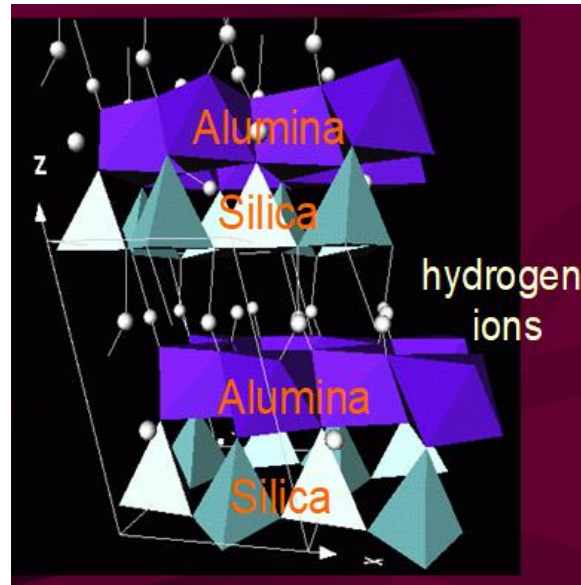
- Κοιτάσματα ιζηματογενούς καολίνη, τα οποία σχηματίζονται είτε από μεταφορά και εναπόθεση ως καολίνες, είτε από εξαλλοίωση θραυσμάτων πετρωμάτων τα οποία είχαν μεταφερθεί στις θέσεις που βρίσκουμε το κοιτάσμα, είτε από τον συνδυασμό και των δυο. Οι ιζηματογενείς καολίνες σχηματίζουν στρωματοειδή ή φακοειδή κοιτάσματα, συνοδεύονται συνήθως από άμμους και απαντώνται σε ακολουθίες ιζηματογενών πετρωμάτων. Ο καολινίτης συνυπάρχει με χαλαζία, αστρίους και μαρμαρυγίες και συχνά σχηματίζει συσσωματώματα δημιουργώντας σκωληκοειδή καολινίτη.
- Κοιτάσματα καολινιτικών άμμων, τα οποία δημιουργούνται από εξαλλοίωση αστρίων που βρίσκονται σε αστριούχους ψαμμίτες ή από μεταφορά και απόθεση καολινίτη με άμμο σε ιζηματογενείς λεκάνες.
- Κοιτάσματα καολινιτικών αργίλων τύπου ball, τα οποία σχηματίζονται σε χερσαίες λεκάνες, όπως λεκάνες υπερχείλισης ποταμών, όταν πραγματοποιείται απότομη μείωση της ταχύτητας των ρευμάτων μεταφοράς. Σχηματίζονται σε κλιματικές συνθήκες με θερμό και υγρό κλίμα με εποχιακές αλλαγές, έτσι ώστε να μπορεί να πραγματοποιείται εξαλλοίωση των πετρωμάτων σε καολινίτη. Συνδέονται με λιγνιτικούς ορίζοντες και απαντούν σε ιζηματογενείς ακολουθίες οι οποίες περιλαμβάνουν αργίλους, ιλυώδεις αργίλους, ιλύες, λιγνίτες, άμμους και χαλίκια. Αποτελούνται από φτωχά κρυσταλλωμένο καολινίτη, χαλαζία, ιλλίτη και μικρές ποσότητες οργανικού υλικού. Είναι πλαστικές άργιλοι, με λευκό ή υπόλευκο χρώμα όταν πυρωθούν σε οξειδωτικές συνθήκες.

- Κοιτάσματα πυρίμαχων αργίλων, οι οποίες αναπτύσσονται σε ιζηματογενείς ακολουθίες που περιλαμβάνουν αργίλους, ιλυώδη και αμμώδη ιζήματα τα οποία εξελίσσονται σε σχεδόν καθαρές χαλαζιακές άμμους. Συνδέονται με στρώματα γαιανθράκων υψηλού βαθμού ενανθράκωσης (λιθάνθρακες). Οι πυρίμαχες άργιλοι θεωρείται ότι προέρχονται από την διαγένεση αργίλων τύπου ball, όταν αυτές βρέθηκαν σε συνθήκες μεγαλύτερου βάθους και αποτελούνται από φτωχά κρυσταλλωμένο καολινίτη, μαρμαρυγία, χαλαζία και προσμίξεις από κονδύλους σιδηρίτη και ασβεσίτη.
- Κοιτάσματα αργίλων τύπου flint, τα οποία σχηματίζονται είτε από επεξεργασία κοιτασμάτων καολίνη είτε από ήπια μεταμόρφωση καολινιτικών αργίλων. Είναι συμπαγή, σκληρά πετρώματα, με μεγάλη περιεκτικότητα σε τριοξείδιο του αργιλίου ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) και αποτελούνται κυρίως από καολινίτη και διάσπορο.

Ως προς την χημική σύστασή τους σε διοξείδιο του πυριτίου, τριοξείδιο του σιδήρου και αλκάλια διακρίνονται σε πλαστικούς καολίνες και σε ισχνούς. Όταν η περιεκτικότητά τους είναι μικρότερη από 50% σε διοξείδιο του πυριτίου και μικρότερη από 1% σε τριοξείδιο του σιδήρου και αλκάλια τότε κατηγοριοποιούνται σε πλαστικούς, ενώ στην αντίθετη περίπτωση σε ισχνούς (Κωστάκης,2003).

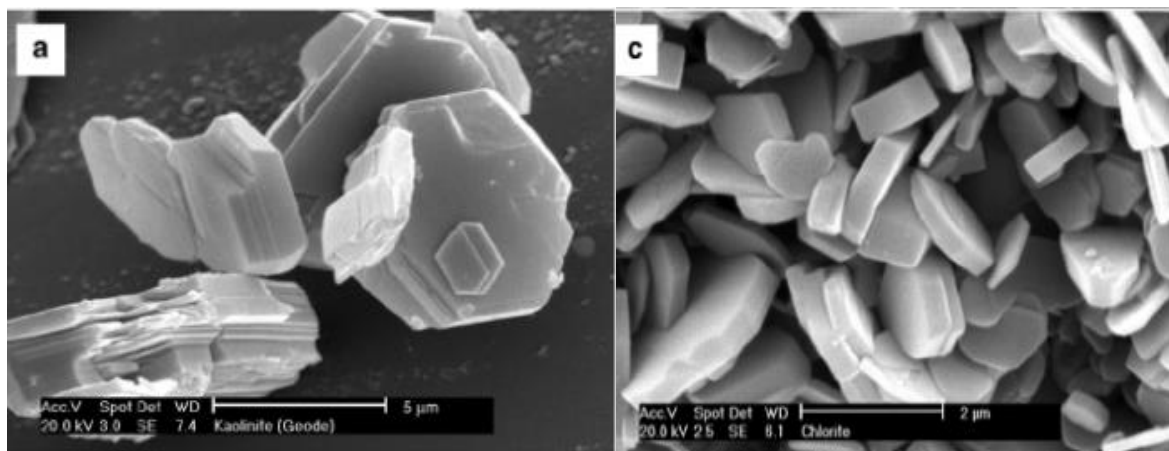
Ο καολινίτης είναι ένα αργιλιπυριτικό ορυκτό. Έχει χρώμα λευκό, ωστόσο, εάν περιέχει σίδηρο (Fe) ή μαγγάνιο (Mn) αποκτά κιτρινωπή απόχρωση. Έχει λεπτόκοκκη υφή, εύκολη διασπορά στο νερό, χημική αδράνεια και χαμηλό κόστος παραγωγής. Η σκληρότητα του είναι 2 κατά κλίμακα Mohs και η πυκνότητά του είναι  $2,5-2,6 \text{ kg/m}^3$ , ο βαθμός κρυσταλλικότητας του ποικίλει και εμφανίζει σχετικά μικρή ιοντική υποκατάσταση στο πλέγμα του κυρίως σιδήρου και αργιλίου.

(Μιχόπουλος,2010)



Εικόνα 3: Τρισδιάστατη Απεικόνιση 1:1 Καολινίτη με ένα τετραεδρικό φύλλο (T) πάνω σε ένα οκταεδρικό (O) (πηγή: Περράκη- Λοΐσιου, 1987).

Ο καολινίτης είναι διοκταεδρικό πυριτικό ορυκτό με δομή 1:1, δηλαδή αποτελείται από ένα τετραεδρικό φύλλο ( $\text{Si}_2\text{O}_5^{2-}$ , T) πάνω σε ένα οκταεδρικό φύλλο ( $\text{Al}_2(\text{OH})_6$ , O). Κρυσταλλώνεται στο τρικλινές σύστημα και σχηματίζει καλοσχηματισμένους ψευδοεξαγωνικούς κρυστάλλους. Χαρακτηρίζεται από εναλλαγές στρωμάτων (T,O), οι δεσμοί των φύλλων είναι ασθενείς ή ηλεκτροστατικές και είναι ηλεκτρικά ουδέτερος (Π. Τσώλη- Καταγά, 2010-2011). Ωστόσο, πολλές φορές εμφανίζει αρνητικό φορτίο λόγω της παρουσίας προσμίξεων όπως μαρμαρυγίες, βερμικουλίτη ή σμηκτίτη.



Εικόνα 4: Ψευδοεξαγωνικοί Κρύσταλλοι Καολινίτη (α) και φυλλάρια σκληροειδούς καολινίτη (πηγή: Christidis, 2011).

Μεγάλες ποσότητες καολίνη εξορύσσονται και διακινούνται σε 55 χώρες. Οι χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή ανά ήπειρο είναι Αμερική: Η.Π.Α., Μεξικό, Αργεντινή, Βραζιλία, Γουιάνα, Χιλή, Κολομβία, Βενεζουέλα, Περού, Παραγουάη, Ισημερινό, στην Ευρώπη: Τσεχία, Σλοβακία, Ιταλία, Ισπανία, Πολωνία, Γερμανία, Γαλλία, Βουλγαρία, Ρουμανία, Σουηδία, Πορτογαλία, Γιουγκοσλαβία, Βέλγιο, στην Αφρική: Δημοκρατία της Νότιας Αφρικής, Σουαζιλάνδη, στην Ασία: Σρι Λάνκα, Ινδία, Ινδονησία, Ιράν, Ιαπωνία, Κορέα, Κίνα, Μαλαισία, Φιλιππίνες, Τουρκία και τέλος, στην Ωκεανία: Αυστραλία και Νέα Ζηλανδία (Πασσά, 2007).

Για τον διαχωρισμό της φυσικής αργίλου χρησιμοποιούνται δυο μέθοδοι είτε ξηρή διαδικασία είτε υγρή διαδικασία. Στην ξηρή διαδικασία ο άργιλος ξηραίνεται, κονιοποιείται και μεταφέρεται από ρεύματα θερμού αέρα σε θαλάμους ταξινόμησης από τους οποίους αναδύεται ως ρεύμα λεπτόκοκκου καολίνη. Στην υγρή διαδικασία, το αρχικό προϊόν αργίλου αναδεύεται με νερό και αναταράσσεται έντονα με αποτέλεσμα τα σωματίδια καολίνη να διαχωρίζονται στο υδατικό αιώρημα (Seffer, 2005).

Οι χρήσεις του εξαρτώνται από την λευκότητα της μάζας του, τη σταθερότητα της μάζας του μετά από την πύρωση του σε υψηλές θερμοκρασίες, την καλυπτική του ικανότητα, τη μικρή σκληρότητά του, την χαμηλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, την κοκκομετρική του διαβάθμιση, την λάμψη και το ιξώδες (Κωστάκης, 2003). Χρησιμοποιείται ως πληρωτικό υλικό στην βιομηχανία χαρτιού στην οποία χρησιμοποιείται το 70% της συνολικής παραγωγής του ως επικαλυπτικό και πληρωτικό υλικό, ελαστικών βελτιώνοντας την μηχανική αντοχή τους και την αντίσταση στη φθορά λόγω τριβής, σαν δραστική ουσία αντιδιαροϊκών φαρμάκων, ως πρόσθετο σε φαρμακευτικά σκευάσματα, τρόφιμα και ζωοτροφές, όπως επίσης και στην κατασκευή συνθετικών ζεόλιθων, κεραμικών, καλλυντικών, πλαστικών και τσιμέντου (Παρακευή Λαμπροπούλου, 2016). Τέλος, χάρη στην υψηλή θερμοκρασία τήξεως και το λευκό του χρώμα αποτελεί βασικό συστατικό των πορσελάνων και άλλων πυρίμαχων υλικών (Χρηστίδης, 2012).

Έχει αποδειχθεί ότι η χρήση του καολινίτη βοηθά στην αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών έως και 25% ετησίως. Υπό συνθήκες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας, θερμοκρασίας και υγρασίας έχει διαπιστωθεί ότι η χρήση καολινίτη είναι ευεργετική για τα φυτά και την απόδοση παραγωγής, την οικονομία και το περιβάλλον. Αντανακλά το φως, μειώνοντας τη θερμοκρασία στα φύλλα διατηρώντας ταυτόχρονα τη φωτοσύνθεση του φυτού ανεπηρέαστη. Χρησιμοποιείται επίσης, για την



καταπολέμηση των εντόμων και των ασθενειών των καλλιεργειών (Rosati, 2007).

### 2.3.2: Μπεντονίτης

Ο όρος μπεντονίτης χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Knight (1898) για να περιγράψει μια άργιλο, η οποία εντοπίστηκε στην περιοχή Fort Benton του Wyoming των Η.Π.Α. Στις αρχές του εικοστού αιώνα έγινε αποδεκτό ότι οι μπεντονίτες απαντούν κυρίως με τη μορφή στρωμάτων μέσα σε ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία δημιουργήθηκαν την εποχή του Κρητιδικού και Τριτογενούς από εξαλλοίωση ηφαιστειακού υλικού. Αυτή ήταν η αρχική προσέγγιση του όρου μπεντονίτη, ενώ στη συνέχεια ακολούθησαν και κάποιοι άλλοι ορισμοί του υλικού με βάση τον τρόπο γένεσής του, την ορυκτολογία και τις βιομηχανικές του χρήσεις. Ο πλήρης ορισμός του δόθηκε από τον R.E. Grim το 1972 στο παγκόσμιο συνέδριο αργίλων στην Μαδρίτη της Ισπανίας, σύμφωνα με τον οποίο ο μπεντονίτης είναι μια άργιλος, η οποία αποτελείται κυρίως από ορυκτά της ομάδας του σμεκτίτη, με κύριο ορυκτό τον μοντμοριλονίτη, ανεξάρτητα από το μηχανισμό γένεσής του. (Αντωναράς, 2015).



Εικόνα 5: Μπεντονίτης (πηγή: [www.orykta.gr](http://www.orykta.gr)).

Μια άλλη προσέγγιση αναφέρει ότι ο μπεντονίτης είναι πέτρωμα πορώδες, μαλακό με κύριο συστατικό το αργιλικό ορυκτό μοντμοριλονίτη (σε ποσοστό 80%) και προέρχεται από την εξαλλοίωση όξινων ηφαιστειακών πετρωμάτων. Σε περίπτωση που η περιεκτικότητά του σε μοντμοριλονίτη είναι μικρότερη δηλαδή 60%-80% χαρακτηρίζεται ως μπεντονιτική άργιλος. Τα τμήματα των κοιτασμάτων του μπεντονίτη που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια έχουν χρώμα ανοικτό κίτρινο-

πράσινο ή γκρι λόγω της ύπαρξης τρισθενούς σιδήρου, ενώ σε βάθος άνω των 10 μέτρων επειδή η οξειδωση προχωράει διαμέσου των ρωγμών, το χρώμα του γίνεται μπλε-πράσινο λόγω της ύπαρξης δισθενούς σιδήρου (Περράκη-Λοϊσίου,2007).Οι περισσότεροι μπεντονίτες παρουσιάζουν μια χαρακτηριστική μαλακή, σαπωνοειδή υφή. Οι βασικές του ιδιότητες είναι: η προσροφητική του ικανότητα, θιξοτροπία σε ιξώδη αιωρήματα, υψηλή πλαστικότητα, η δυνατότητα ιοντοανταλλαγής, η δράση του ως συνδετικό υλικό και η προσρόφηση νερού έως και 75% του αρχικού του όγκου (<https://www.ima-na.org/default.aspx>).

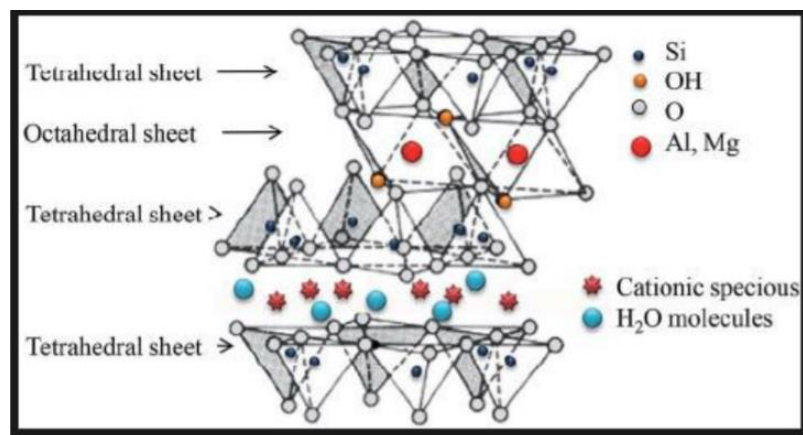
Η ταξινόμηση των μπεντονιτών σύμφωνα με τους Christidis & Huff (2009), γίνεται με βάση τον τρόπο γένεσής τους και την ικανότητα διόγκωσής τους, είτε όταν είναι ενυδατωμένοι είτε όταν προστίθενται νερό σε αυτούς. Έτσι, ταξινομούνται σε (Χρηστίδης, 2012):

1. Κοιτάσματα μπεντονίτη προερχόμενα από διαγενετική εξαλλοίωση ηφαιστειακού γυαλιού, τα οποία αποτελούν τα πιο διαδεδομένα κοιτάσματα μπεντονίτη. Χαρακτηρίζονται από την παρουσία είτε τεμαχίων ηφαιστειακής υέλου είτε άλλων δομών ηφαιστειακής τέφρας είτε ύπαρξης χαρακτηριστικών μη αργιλικών ορυκτών πυριγενούς προέλευσης τα οποία μεταβαίνουν σε γειτονικά στρώματα μη εξαλλοιωμένης τέφρας ή τόφφων. Η εξαλλοίωση πραγματοποιείται είτε σε ρηχό θαλασσινό νερό είτε σε γλυκό νερό. Η παρουσία νερού είναι απαραίτητη γιατί βοηθά στην ενυδάτωση των τεμαχίων της ηφαιστειακής υέλου.
2. Κοιτάσματα μπεντονίτη προερχόμενα από υδροθερμική εξαλλοίωση ηφαιστειακού γυαλιού, τα οποία συνήθως διατηρούν την υφή του αρχικού πετρώματος. Οι υδροθερμικοί μπεντονίτες δημιουργούνται όταν θερμά ρευστά εμπλουτισμένα με ιόντα κυκλοφορούν μέσα στα πετρώματα. Τα κοιτάσματα αυτά διακρίνονται σε δυο τύπους εξαλλοίωσης, Ο πρώτος τύπος σχετίζεται με τη δημιουργία κοιτασμάτων μεταλλικών ορυκτών. Σε αυτή την περίπτωση, τα αργιλικά ορυκτά προκύπτουν από την αντίδραση των υδροθερμικών ρευστών με τα περιβάλλοντα πετρώματα ενώ τα κοιτάσματα μπεντονίτη εξαρτώνται από την τεκτονική. Ο δεύτερος τύπος σχετίζεται με τη μαζική εξαλλοίωση πετρωμάτων τα οποία απαντούν σε ορογενετικές ζώνες όταν ο φλοιός είναι

έντονα τεμαχισμένος. Τα πετρώματα αυτά που εξαλλοιώνονται είναι κυρίως πυροκλαστικά με μεγάλο ποσοστό υαλώδους μάζας.

3. Ιζήματα πλούσια σε σμεκτίτες σε αλμυρές, αλκαλικές λίμνες λόγω διάλυσης κλαστικών κόκκων αργιλοπυριτικών ορυκτών ή από απ' ευθείας καθίζηση σμεκτίτη. Τα κοιτάσματα αυτά συνδέονται με εμφανίσεις παλιγκορσκήτη ή/και σεπιόλιθου.

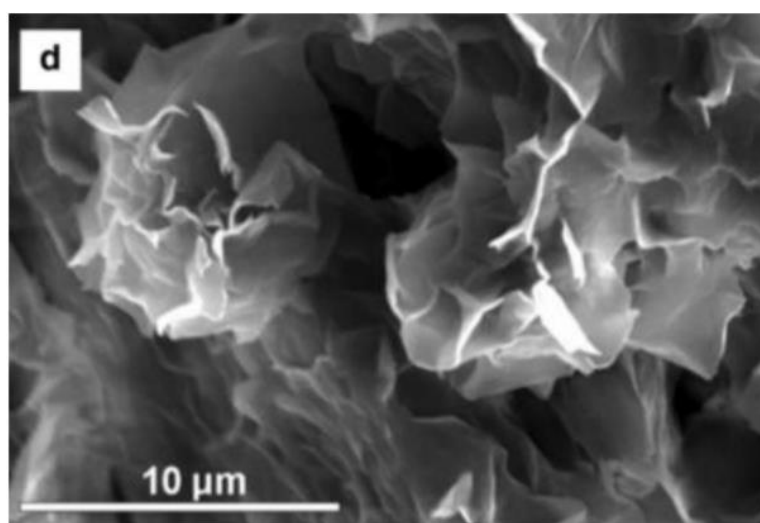
Ένας άλλος τρόπος ταξινόμησης του φυσικού μπεντονίτη σχετίζεται με το είδος του ανταλλάξιμου κατιόντος νάτριο ή ασβέστιο. Ο μπεντονίτης που περιέχει νάτριο χαρακτηρίζεται ως υψηλής διόγκωσης ή νατριούχος, έχει μεγάλη ικανότητα διόγκωσης, έως και 20 φορές από τον αρχικό του όγκο και σχηματίζει ζελατινοειδείς μάζες όταν προστεθεί νερό. Στην περίπτωση που ο μπεντονίτης έχει κύριο ανταλλάξιμο ιόν το ασβέστιο, χαρακτηρίζεται ως χαμηλής διόγκωσης ή ασβεστούχος, προσροφά περισσότερο νερό από τους υπόλοιπους τύπους αργίλου, ωστόσο δεν διογκώνεται αρκετά και καθιζάνει γρήγορα στο νερό.



Εικόνα 6: Σχηματική Απεικόνιση δομής Μπεντονίτη 2:1 με δυο τετραεδρικά φύλλα και ένα οκταεδρικό (πηγή: Περράκη-Λοϊσίου, 1987).

Ο σμεκτίτης, το κύριο ορυκτό των μπεντονιτών, είναι ένα φυλλοπυριτικό αργιλικό ορυκτό με δομή 2:1, δηλαδή μια οκταεδρική στιβάδα αργιλίου, μαγνησίου και σιδήρου ανάμεσα σε δυο τετραεδρικές στιβάδες πυριτίου. Τα κατιόντα της οκταεδρικής στιβάδας περιβάλλονται από αρνητικά ιόντα οξυγόνου και υδροξύλια, τα οποία είναι τοποθετημένα με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να σχηματίζουν οκτάεδρα. Τα τετράεδρα

πυριτίου καταλαμβάνουν το κέντρο των τετράεδρων ενώ τα αρνητικά φορτισμένα ιόντα οξυγόνου βρίσκονται στις κορυφές των τετράεδρων. Ανάμεσα στα φύλλα αναπτύσσεται φορτίο είτε λόγω υποκαταστάσεων στην τετραεδρική στιβάδα ( $\text{Si}^{4+}$  από  $\text{Al}^{3+}$ ) ή στην οκταεδρική στιβάδα (αντικατάσταση  $\text{Al}^{3+}$  από  $\text{Fe}^{3+}$  και  $\text{Mg}^{2+}$ ), είτε λόγω της ύπαρξης κενών θέσεων στην οκταεδρική στιβάδα. Το σχήμα των κρυστάλλων του σμεκτίτη ποικίλει από ρομβοεδρικό έως ψευδοεξαγωνικό ενώ μπορεί να παρουσιάσουν φυλλώδη ή κυματοειδή μορφή. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι η δομή του μπετονίτη παρουσιάζει ατέλειες λόγω των ανωμαλιών που εμφανίζονται στις επιφάνειες των κρυστάλλων (Christidis, 2011).



Εικόνα 7: Κρύσταλλοι Μοντοριλονίτη (πηγή: Christidis, 2011).

Οι μπεντονίτες απαντούν στη φύση ως στρωματοκαθορισμένα, στρωματοειδή ή ακανόνιστου σχήματος σώματα (συνήθως υπό μορφή φακών) γύρω από δομικά στοιχεία όπως ρήγματα κ.λπ. και χαρακτηρίζονται από φυσικοχημικές διαφοροποιήσεις στη σύστασή τους. Η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων πραγματοποιείται με τη μέθοδο ανοιχτής εκσκαφής, τα στείρα ορυκτά αφαιρούνται προσεκτικά για να μην μολυνθεί το κοίτασμα από τα υπερκείμενα. Ο εξορυσσόμενος μπεντονίτης αρχικά έχει υγρασία περίπου 25% ενώ το τελικό προϊόν έχει υγρασία 15%. Αφού συλλεχθεί, ξηραίνεται και λειοτριβείται, σε περίπτωση που είναι ασβεστούχος μπεντονίτης απαιτείται η ενεργοποίησή του είτε εν ξηρώ είτε εν υγρώ (Christidis, 2011). Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα μπεντονίτη βρίσκονται στις Η.Π.Α, την Ελλάδα, την Ιταλία, την Ουγγαρία, την Αργεντινή, το Περού, τον Καναδά, το Μεξικό, την Νότια Αφρική, τη Γερμανία, την Ισπανία, την Αλγερία, το Μαρόκο και την Κύπρο. (Χρηστίδης, 2012).

Οι χρήσεις του μπεντονίτη καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών και άλλων δραστηριοτήτων όπως την κεραμική, την στεγανοποίηση και στεγάνωση σε έργα πολιτικού μηχανικού (π.χ. παρεμπόδιση της απώλειας διαρροών από χώρους υγειονομικής ταφής, αποθήκες πυρηνικών αποβλήτων κ.α. διασφαλίζοντας την μακροχρόνια προστασία των υπόγειων υδάτων από ενδεχόμενες ρυπαίνουσες ουσίες), ως πληρωτικό, σταθεροποιητικό ή επεκτατικό σε κόλλες, χρώματα, καλλυντικά, φάρμακα κ.λπ., σε φυτοφάρμακα και λιπάσματα, στις ζωοτροφές ως παράγοντας συγκόλλησης, στον καθαρισμό πετρελαίου και λυμάτων, στις άμμους υγιεινής κατοικιδίων κ.λπ. (Patterson & Murray, 1983, Kuzvart, 1984, Hosterman & Patterson, 1992, Hanchar et al., 2004). Επίσης, ως συνδετικό υλικό, άμμου χρησιμοποιείται για την κατασκευή καλουπιών, αλλά και σιδηρομεταλλεύματος για την κατασκευή σφαιριδίων (Περράκη-Λοϊσίου, 2007). Επιπλέον, λόγω της υδατοστεγανότητάς του περιορίζει την προσβολή δοχείων από το νερό για πάνω από 1000 χρόνια, ελαττώνοντας την τοξικότητα των αποβλήτων στο 1% της αρχικής τιμής του. Τέλος, χάρη στην ιοντοαλλακτική του ικανότητα αυξάνει το χρόνο που απαιτείται για να διασχίσουν οι ραδιενεργές ουσίες το στρώμα του από  $10^4$  χρόνια σε  $10^6$  χρόνια. Με αποτέλεσμα η τοξικότητα των περιεχόμενων αποβλήτων μετά το πέρας των 10000 χρόνων να αντιστοιχεί σε αυτή των φυσικών πετρωμάτων (Χριστίδης, 2012).

Για γεωργικούς σκοπούς ο μπεντονίτης χρησιμοποιείται ως ανταλλάκτης ιόντων για την βελτίωση και την προετοιμασία του εδάφους καθώς έχει τη δυνατότητα να κατακρατεί διάφορα ιχνοστοιχεία απαραίτητα για την ανάπτυξη της βλάστησης και τη διατήρηση της οργανικής ύλης. Η ικανότητα ιοντοανταλλαγής των μπεντονιτών τους καθιστά κατάλληλους για την κατακράτηση των θρεπτικών συστατικών και των πρόσθετων συστατικών των λιπασμάτων έτσι ώστε να μη διαφεύγουν από το έδαφος μετά από βροχή. Τέλος, οι μπεντονίτες έχουν την ιδιότητα να προσροφούν και να κατακρατούν το νερό με αποτέλεσμα να διατηρείται περισσότερο η υγρασία στις ρίζες των φυτών (Νικητάκη, 2004).

### 2.3.3: Παλιγοροσκίτης $((\text{Mg,Al})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_4\text{H}_2\text{O})$



Εικόνα 8: Παλιγοροσκίτης (www.orykta.gr).

Ο παλιγοροσκίτης πήρε το όνομα του από την περιοχή Πάλιγοροσκ της Ρωσίας, στην οποία βρέθηκαν κοιτάσματα του εν λόγω ορυκτού. Ωστόσο είναι γνωστός και με την ονομασία ατταπουλγίτης, λόγω του ότι βρέθηκαν εξίσου μεγάλα κοιτάσματά του στην περιοχή Ατταπούλγκους των Η.Π.Α. Για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε από τους Ινδιάνους πριν από 800 χρόνια περίπου με την ονομασία λευκή γη για την παρασκευή κεραμικών. Το 1940, καθώς οι έρευνες συνεχίζονταν, ο Bradley ανακάλυψε μέσω ηλεκτρονικού μικροσκοπίου την ινώδη μορφή του. Με το πέρασμα των χρόνων οι έρευνες συνεχίζονται κυρίως από τις βιομηχανίες με στόχο την αξιοποίηση των ποικίλων ιδιοτήτων του (Κουκάκης, 2016). Οι κυριότερες χώρες παραγωγής παλιγοροσκίτη είναι οι Η.Π.Α., Σενεγάλη, Ελλάδα, Τουρκία, Ισπανία, Ινδία, Ρωσία, Κίνα, Ιαπωνία, Γαλλία και Αυστραλία (Χριστίδης, 2012).

Ο παλιγοροσκίτης αποτελεί ένα αργιλομαγνησιούχο πυριτικό ορυκτό, έχει χρώμα λευκό, υπόλευκό-υποκίτρινο, γκρίζο ή γκριζοπράσινο, ειδικό βάρος  $2,4 \text{ gr.cm}^3$  και σκληρότητα 2 κατά κλίμακα Mohs. (Χαλβατζή, 2015). Κρυσταλλώνεται στο ρομβικό και στο μονοκλινές σύστημα, ενώ υπάρχουν τρεις ποικιλίες με μονοκλινή συμμετρία (Galan, 1996) (G.F. Heivilin, 1994).

Τα περιβάλλοντα σχηματισμού του παλιγοροσκίτη διακρίνονται σε θαλάσσια, λιμναία ηπειρωτικά και εδάφη ερημικών περιοχών, ενώ η γένεση του σχετίζεται άμεσα με Μεσογειακά κλίματα δηλαδή ξηρό και θερμό καλοκαίρι και ήπιο και υγρό χειμώνα. Δημιουργείται επίσης, από εξαλλοίωση ηφαιστειακού γυαλιού ή ηφαιστειακοκλαστικών ιζημάτων. Ο παλιγοροσκίτης είτε αντικαθιστά προϋπάρχουσες

φάσεις είτε καθιζάνει απευθείας από το υδροθερμικό διάλυμα. Σε θαλάσσια περιβάλλοντα δεν ευνοείται ο σχηματισμός μεγάλων κοιτασμάτων με εξαίρεση αυτό της Γεωργίας-Φλόριντας των Η.Π.Α. Η δημιουργία τους οφείλεται στην αντίδραση μεταξύ σμεκτίτη και διοξειδίου του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ), το οποίο συνήθως προέρχεται από πυριτικούς σχηματισμούς. Το αργίλιο και ο σίδηρος προέρχονται από το σμεκτίτη και το μαγνήσιο από το ρευστό των πόρων που είναι κυρίως θαλάσσιο νερό. Στα λιμναία περιβάλλοντα παρατηρείται ζωνώδης κατανομή διαφόρων ορυκτολογικών τύπων, ανάλογα με τη θέση στη λεκάνη ιζηματογένεσης. Ουσιαστικά, παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης των μαγνησιοπυριτικών ορυκτών και ελάττωση των κλαστικών ορυκτών σχηματίζοντας την ορυκτολογική ακολουθία: καολινίτης-σμεκτίτης-ιλλίτης-χλωρίτης-παλιγορσκήτης-σεπιόλιθος (Κουκάκης, 2016).

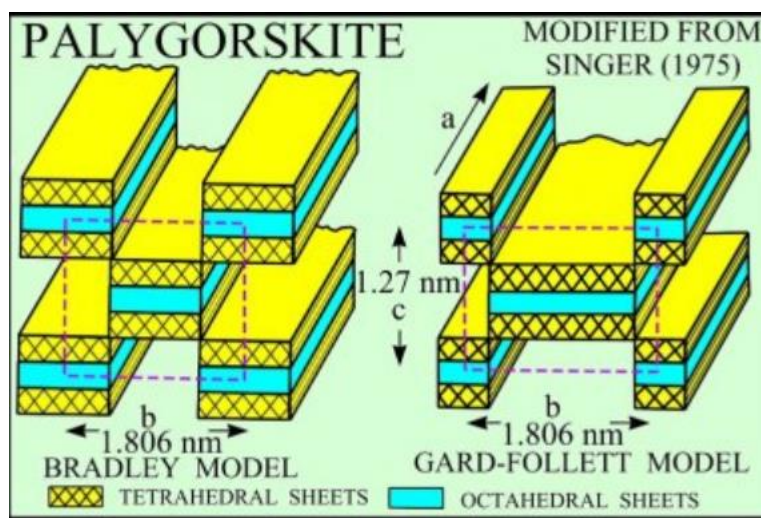
Σε ηπειρωτικό περιβάλλον και ασβεστούχα εδάφη, ο παλιγορσκήτης μπορεί να καθιζάνει απευθείας από το υγρό των πόρων ή να αντικαθιστά σμεκτίτη, καολινίτη και μαρμαρυγίες. Το μαγνήσιο που απαιτείται για το σχηματισμό των ινωδών ορυκτών, προέρχεται από την μετατροπή του δολομίτη. Αρχικά, το μετεωρικό νερό διεισδύει σε βαθύτερους εδαφικούς ορίζοντες, διαλύοντας τα άλατα και τα πυριτικά ορυκτά, τα οποία καθιζάνουν όταν εξατμισθεί το εδαφικό νερό. Επίσης, ένας ακόμη τρόπος σχηματισμού παλιγορσκήτη, σε αυτό το περιβάλλον, είναι όταν αναπτύσσεται εις βάρος του μαγνησίτη. Η αντικατάσταση είναι πιο έντονη στα όρια της λιμναίας λεκάνης, με ανάμιξη νερού της λίμνης το οποίο είναι πλούσιο σε διοξείδιο του πυριτίου και του εδαφικού νερού που προέρχεται από τους οφιολίθους. Σημαντικός παράγοντας σε αυτή την διαδικασία είναι η διακύμανση της επιφάνειας της λίμνης, που επιτρέπει την ανάμιξη δυο τύπων υδάτων. Απαντάται, επίσης, σε ιζηματογενείς αποθέσεις συνοδευόμενος συνήθως από σμεκτίτες, χαλαζία και άλλα ορυκτά. Αν και η παρουσία τους συνδέεται με την παρουσία ιζηματογενών αποθέσεων, η παρουσία μαγνησίου θεωρείται απαραίτητη για το σχηματισμό του παλιγορσκήτη (Schwint, 1997).

Η εξόρυξη του παλιγορσκήτη πραγματοποιείται με επιφανειακές μεθόδους ενώ η επεξεργασία του περιλαμβάνει λειοτρίβηση, ξήρανση και λείανση. Το λειοτριβημένο υλικό ξηραίνεται απευθείας, σε μερικές περιπτώσεις προστίθεται  $\text{MgO}$  για να βελτιωθεί το ιξώδες. Ανάλογα με την τελική χρήση των πρώτων υλών η ξήρανση γίνεται σε θερμοκρασίες από  $200^\circ\text{C}$  έως  $600^\circ\text{C}$ . Όταν προσδιορίζεται στην βιομηχανία γεωτρήσεων ξηραίνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες ενώ όταν



χρησιμοποιείται ως προσροφητικό υλικό ξηραίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες (Christidis, 2011).

Ορισμένες από τις βασικές του ιδιότητες είναι η προσροφητική του ικανότητα, η διασπορά στο νερό, η αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, η θιξοτροπία, η ικανότητα δέσμευσης νερού, μεγάλη ειδική επιφάνεια, προσροφητική ικανότητα κ.λπ. Επίσης, ο συνδυασμός ινώδους δομής, καναλιών, μικροπόρων και χαμηλής κοκκομετρίας εξασφαλίζει στο ορυκτό μεγάλη ειδική επιφάνεια καθιστώντας το ισχυρά προσροφητικό ακόμα και στη φυσική του μορφή. (Murray, 2000).

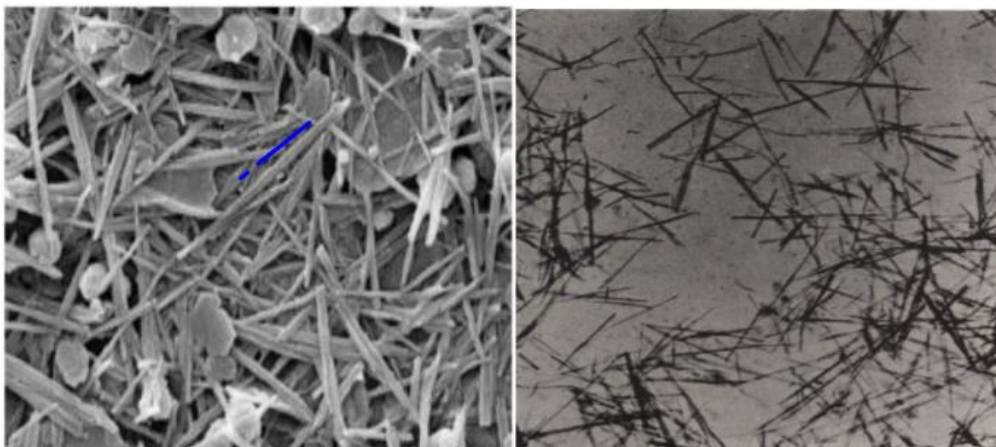


Εικόνα 9: Κρυσταλλική δομή Παλιγκορσκίτη (πηγή: [www.orykta.gr](http://www.orykta.gr)).

Είναι ένα ορυκτό με δομή 2:1 συνδεδεμένων πυριτικών τετράεδρων η οποία περιέχει μια στρώση κατιόντων  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{+2}$ , σε οκταεδρική διάταξη. Οι ταινίες με δομή 2:1 ενώνονται μεταξύ τους με αναστροφή των τετράεδρων  $SiO_4$  διαμέσου δεσμών Si-O-Si. Η αναστροφή των τετράεδρων πυριτίου ευθύνεται για την παρουσία καναλιών (που πληρώνονται με μόρια νερού) παράλληλα προς τον άξονα a και διατρέχουν το μήκος της ίνας, γεγονός που την καθιστά πολύ σημαντική για τις εφαρμογές των ορυκτών. Η οκταεδρική στοιβάδα κατά μήκος του άξονα b έχει περιορισμένη έκταση γεγονός που διαφοροποιεί τη δομή του παλιγκορσκίτη και του προσδίδει ινώδες σχήμα. Στο εσωτερικό των καναλιών του παλιγκορσκίτη, υπάρχουν δυο είδη νερού το ζεολιθικό και το κρυσταλλικό. Σε συνθήκες περιβάλλοντος το ζεολιθικό νερό βρίσκεται ελεύθερο ενώ το κρυσταλλικό προσδεμένο στο οκταεδρικό φύλλο. Επίσης, όταν το ορυκτό υποβληθεί σε κατάλληλες συνθήκες (θερμοκρασίας, κενού κ.λπ.) οι



οποίες μπορούν να προκαλέσουν αποβολή των διαφόρων ειδών νερού, προκαλείται μεταβολή της δομής του και ανακατανομή του κρυσταλλικού νερού.



Εικόνα 10: Κρύσταλλοι Παλιγκορσκή με την χαρακτηριστική ινώδη μορφή (πηγή: Christidis, 2011).

Οι βασικές του χρήσεις σχετίζονται με την κεραμική, τη ρύθμιση του ιξώδους σε «πολφούς» γεωτρήσεων, την απορρύπανση εδαφών και υπόγειων νερών και την απορρόφηση βαρέων μετάλλων και τοξικών ρυπαντών χάρη στο πορώδες του. Λόγω του ινώδους σχήματός του, σχηματίζει πυκνά εναιωρήματα λιπασμάτων τα οποία παραμένουν σταθερά για 1-2 μήνες. Επίσης, χάρη στις κολλοειδείς του ιδιότητες, σχηματίζει πηκτώματα με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται σε βαφές ελαιοχρωματισμού, σε συγκολλητικά υλικά όπως αυτά που χρησιμοποιούνται για να καλύψουν τα κενά των ρωγμών. Τέλος, βρίσκει εφαρμογή ακόμη και στην φαρμακευτική, ως αντιδιαροϊκό, αντιόξινο και προστατευτικό του γαστρεντερικού σωλήνα χάρη στην μεγάλη ειδική επιφάνειά του (Murray, 2000).

Όσο αφορά τη γεωργία, ο παλιγκορσκήτης χάρη στο πορώδες του και στην εξαιρετικά υψηλή δέσμευση νερού και την οργανική ύλη μπορεί να ενισχύσει τα εδάφη, ρυθμίζοντας το ποσοστό της υγρασίας και των θρεπτικών συστατικών. Σε περιπτώσεις ξηρασίας, ελαχιστοποιεί τις απώλειες υγρασίας ενώ σε υγρά περιβάλλοντα προστατεύει το ριζικό σύστημα και τον απαιτούμενο αερισμό. Οι αποδόσεις των καλλιεργειών κατά τη χρήση του αυξήθηκαν έως και 100%, ενώ παρατηρήθηκε μεγαλύτερη και ταχύτερη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, μείωση του ποτίσματος λόγω της συγκράτησης του νερού καθώς και σταδιακή αποδέσμευση των θρεπτικών συστατικών από το έδαφος στο φυτό (Θεοφίλου, 2019).

### Κεφάλαιο 3: Πειραματική Διαδικασία.

Αρχικά ζυγίστηκαν 100 γραμμάρια εδάφους, κομπόστ, φωσφορικού καλίου, καολινίτη, μπεντονίτη, παλιγορσκήτη τα οποία κοσκινίστηκαν σε κόσκινο κάτω των 63  $\mu\text{m}$ . Στη συνέχεια, ζυγίστηκαν 50 γραμμάρια λιπάσματος και ορυκτών με αναλογία 1 (ορυκτό) : 2 (κομπόστ ή φωσφορικό κάλιο) και πραγματοποιήθηκε ομογενοποίηση στον Πλανητικό Σφαιρόμυλο για 2 ώρες στις 100 στροφές, ο λόγος που επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος σφαιρόμυλος, οφείλεται στο λεπτόκοκκο μέγεθος των δειγμάτων.

Δημιουργήθηκαν έτσι, έξι διαφορετικά είδη λιπάσματος, συγκεκριμένα:

- Κομποστ με Καολινίτη
- Κομποστ με Παλιγορσκήτη
- Κομποστ με Μπεντονίτη
- Φωσφορικό Κάλιο με Καολινίτη
- Φωσφορικό Κάλιο με Παλιγορσκήτη
- Φωσφορικό Κάλιο με Μπεντονίτη



Εικόνα 11: Πλανητικός Σφαιρόμυλος Εργαστηρίου Εμπλουτισμού Πολυτεχνείου Κρήτης.

### 3.1: Ορυκτολογική Ανάλυση

Με τη χρήση περιθλασίμετρου ακτίνων-Χ, προσδιορίζεται ποιοτικά και ποσοτικά η ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων με αποτέλεσμα να λαμβάνουμε μια πρώτη ένδειξη για τις μηχανικές και φυσικοχημικές ιδιότητες των υποεξέταση δειγμάτων. Η μέθοδος XRD (X-ray diffraction) επιτρέπει την απευθείας μέτρηση των ανακλάσεων των ακτίνων-Χ που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως καθώς και των γωνιών πρόσπτωσης. (Κωστάκης, 2005).

Τα σύγχρονα περιθλασίμετρα αποτελούνται από:

- Μια μονάδα παραγωγής υψηλής τάσεως.
- Μια λυχνία ακτίνων-Χ.
- Ένα γωνιόμετρο.
- Έναν απαριθμητή ακτίνων-Χ.
- Μια μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής κρούσεων.
- Μια μονάδα υπολογιστή, μέσω του οποίου καταγράφονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα.



Εικόνα 12: Περιθλασίμετρο ακτίνων-Χ (XRD).

Σύμφωνα με τον Bragg, η περίθλαση των ακτίνων-Χ στους κρυστάλλους συμβαίνει όταν αυτές προσπίπτουν υπό ορισμένη γωνία στα πλεγματικά επίπεδα του κρυστάλλου. Εάν θεωρηθεί ότι το πλέγμα ενός κρυστάλλου αποτελείται από ομάδες πλεγματικών επιπέδων, τα οποία σε κάθε ομάδα είναι παράλληλα και διαδέχεται το

ένα το άλλο, πάντα στην ίδια απόσταση, τότε σύμφωνα με την εξίσωση Bragg ισχύει (Κωστάκης, 2005):

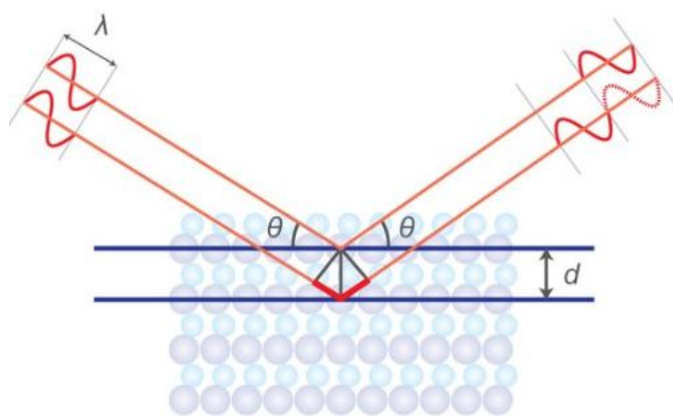
$$n \cdot \lambda = 2d \eta\mu\theta$$

Όπου:  $n$  = η τάξη της ανάκλασης

$\lambda$  = το μήκος κύματος

$d$  = η πλεγματική απόσταση των επιπέδων ανάκλασης του κρυστάλλου

$\theta$  = η γωνία πρόσπτωσης



Εικόνα 13: Ανάκλαση των ακτίνων-X σύμφωνα με την εξίσωση Bragg (πηγή: [www.materials.uoc.gr](http://www.materials.uoc.gr)).

Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ειδικούς δειγματοφορείς και κατανεμήθηκαν ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια έτσι ώστε αυτή να είναι λεία και επίπεδη. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται με μορφή ακτινογραφημάτων που περιέχουν κορυφές, οι οποίες αντιστοιχούν στα επίπεδα ανάκλασης του κρυσταλλικού πλέγματος των ορυκτών του δείγματος.

Η ορυκτολογική ανάλυση πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας του Πολυτεχνείου Κρήτης. Ο ποιοτικός προσδιορισμός των ορυκτών φάσεων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Diffrac Plus (Brucker AXS) και τη βάση δεδομένων JCPDS. Η ακτινοσκόπηση των δειγμάτων έγινε με τη χρήση λυχνίας Cu, καταμετρητή Lynx-Eye, φίλτρο νικελίου, τάση λυχνίας  $U=35\text{ Kw}$ , ένταση ρεύματος  $I=35\text{ mA}$  στην περιοχή των γωνιών  $2\theta$  μεταξύ  $4-70^\circ$ , με βήμα  $0.019^\circ$  και χρόνο  $31.8\text{ s/ανά βήμα}$  (Νάνου, 2016).

### 3.2: Χημική ανάλυση.

Η μέθοδος φθορισμού ακτίνων-Χ, είναι μια μη καταστρεπτική μέθοδος ανάλυσης στερεών και υγρών δειγμάτων. Το δείγμα ακτινοβολείται με μια δέσμη ακτίνων-Χ, η οποία προκαλεί την εκπομπή «δευτερευόντων» ακτίνων-Χ, που χαρακτηρίζονται ως φθορίζουσες. Οι εκπεμπόμενες ακτίνες ανιχνεύονται με ανιχνευτές εκπεμπόμενης διασποράς ή διασποράς μήκους κύματος. Η ενέργεια και τα μήκη κύματος των εκπεμπόμενων ακτίνων-Χ χρησιμοποιούνται για να αναγνωριστούν τα χημικά στοιχεία που υπάρχουν στο υπό ανάλυση δείγμα, ενώ οι συγκεντρώσεις των στοιχείων καθορίζονται από την ένταση των ακτίνων-Χ. Η ανάλυση των κύριων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων γεωλογικών δειγμάτων με XRF, είναι δυνατή εξαιτίας της συμπεριφοράς των ατόμων όταν αλληλεπιδρούν με ακτινοβολία ακτίνων-Χ. Το δείγμα ακτινοβολείται από μια δέσμη ακτίνων-Χ, γνωστή ως προσπίπτουσα δέσμη, ένα μέρος της ενέργειας της δέσμης διασκορπίζεται και ένα άλλο μέρος της ενέργειας απορροφάται από το δείγμα με τρόπο που εξαρτάται από την σύσταση του.



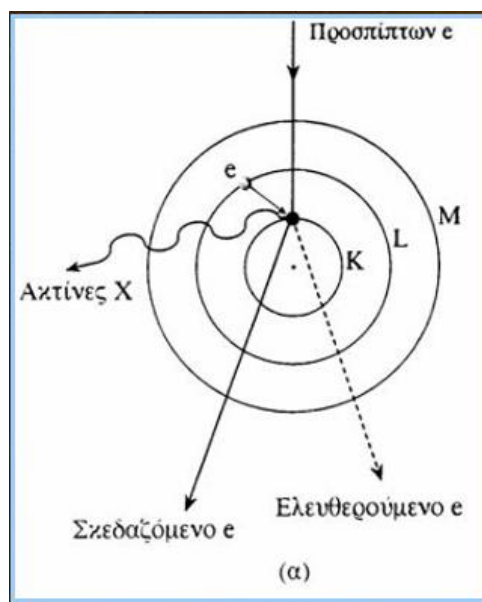
Εικόνα 14: Φασματοσκόπιο ακτίνων-Χ φθορισμού εργαστηρίου Γεωχημείας Πολυτεχνείου Κρήτης της εταιρίας Brucker S2 Ranger.



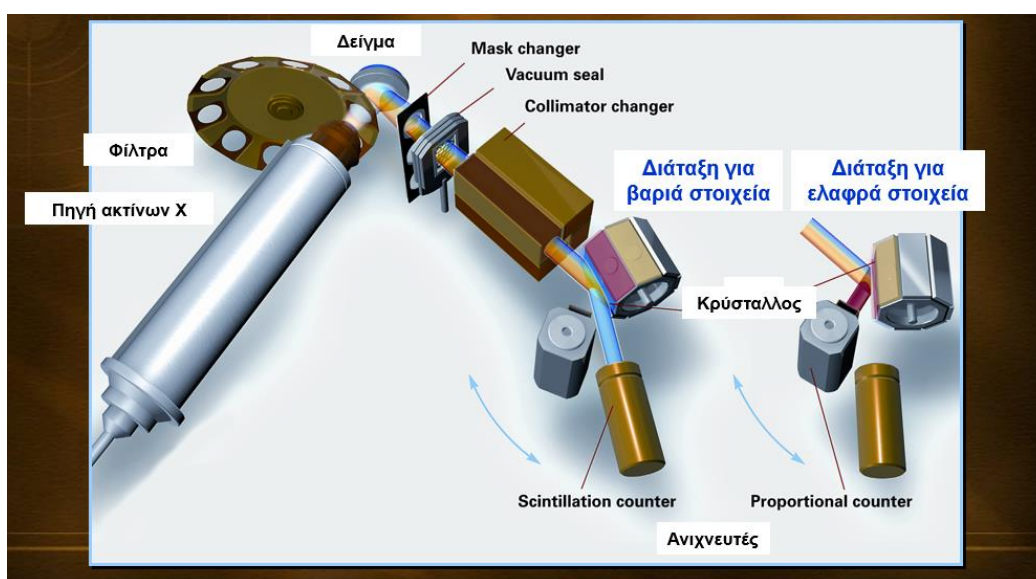
Εικόνα 15: Μέθοδος φθορισμού ακτίνων-Χ.

Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία ακτίνων-Χ είναι μικρότερης ενέργειας από την αρχική προσπίπτουσα ακτινοβολία ακτίνων-Χ και ονομάζεται ακτινοβολία φθορισμού ή φθορίζουσα ακτινοβολία. Η ακτινοβολία αυτή είναι χαρακτηριστική του στοιχείου από το οποίο εκπέμπεται και δίνει πληροφορίες για τη χημική σύσταση του δείγματος. Πιο συγκεκριμένα, οι πρωτογενείς ακτίνες-Χ<sub>1</sub> που εκπέμπονται από την πηγή, προκαλούν εκπομπή δευτερογενών ακτίνων-Χ<sub>2</sub>, εξαρτώνται από τα στοιχεία που περιέχει το δείγμα και είναι μικρότερες από τις πρωτογενείς ακτίνες-Χ<sub>1</sub>. Η δέσμη των δευτερογενών ακτίνων-Χ<sub>2</sub> φθορισμού, διέρχεται από τον ευθυγραμμιστή, γίνεται παράλληλη και προσπίπτει στον αναλυτή κρύσταλλο όπου και περιθλάται. Η περιθλώμενη ακτινοβολία συλλέγεται από τον ανιχνευτή και μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα το οποίο καταγράφεται (Εικ. 17). Το είδος των στοιχείων του δείγματος (ποιοτική ανάλυση) προσδιορίζεται από το μήκος των ακτίνων-Χ, ενώ η σύσταση τους προσδιορίζεται από την ένταση των ακτίνων-Χ (ποσοτική ανάλυση).





Εικόνα 16: Ακτινοβολία ακτίνων-X



Εικόνα 17: Μέρη φασματοφωτόμετρου φθορισμού ακτίνων-X.

Ουσιαστικά, η μέθοδος αυτή εκμεταλλεύεται το γεγονός ότι οι ενέργειες των φωτονίων που εκπέμπει ένα ραδιενεργό άτομο κατά την αποδιέγερσή του είναι χαρακτηριστικές για το είδος του ατόμου και οδηγούν στον προσδιορισμό του. Οι βασικές μονάδες ενός συστήματος φασματοσκοπίας ακτίνων-X φθορισμού, είναι μια λυχνία παραγωγής πρωτογενούς ακτινοβολίας, ένα φίλτρο πρωτογενούς

ακτινοβολίας, ένας ευθυγραμμιστής, ο αναλυτής κρύσταλλος και ο ανιχνευτής (Κωστάκης, 2005).

Με τη μέθοδο αυτή, μπορούν να αναλυθούν όλα τα στοιχεία του περιοδικού συστήματος από το βηρύλλιο (Be) έως το Ουράνιο (U). Τα δείγματα μπορούν να είναι είτε στερεά (σε μορφή σκόνης) είτε υγρά. Για τη μέτρηση των κύριων στοιχείων κατασκευάζονται υαλοποιημένα δισκία. Τα δείγματα σε μορφή σκόνης, αναμειγνύονται με ειδικά αντιδραστήρια (συνήθως με βορικές ενώσεις λιθίου) και τήκονται σε θερμοκρασίες από 1100° C – 1200° C σε ειδική συσκευή σύντηξης. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα ομογενές υαλοποιημένο δισκίο.

Πριν την παρασκευή των υαλοποιημένων δισκίων προσδιορίζεται η απώλεια πύρωσης. Η απώλεια πύρωσης των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε μετά από τοποθέτηση 10 γραμμαρίων από το κάθε υλικό σε ειδικές πορσελάνινες κάψες και πύρωση στον κλίβανο για τέσσερις ώρες στους 1050° C (Εικ. 18). Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα υπό κενό για να μην προσροφήσουν εκ νέου υγρασία.



Εικόνα 18: Δημιουργία υαλοποιημένων δισκίων στη συσκευή τήξης τύπου Claisse M4.





Εικόνα 19: Κλίβανος έψησης εργαστηρίου Πετρολογίας.

Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκε 1,5 γραμμάρια δείγματος που είχε προηγουμένως πυρωθεί για τέσσερις ώρες στους 1050 °C, το οποίο αναμίχθηκε με 7,5 γραμμάρια μίγματος τετραβορικού λιθίου και τοποθετήθηκε σε ειδική κάψα λευκόχρυσου μαζί με μερικές σταγόνες βρωμιούχου λιθίου. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η σύντηξη του δείγματος σε αυτοματοποιημένη μηχανή σύντηξης Claisse M4, σε θερμοκρασία 1100 °C. Το τέλος της διαδικασίας σύντηξης περιλαμβάνει την αυτοματοποιημένη χύτευση του δείγματος σε αντίστοιχο εκμαγείο λευκόχρυσου και στη συνέχεια την ψύξη. Το δείγμα λαμβάνεται υπό μορφή υάλινου δισκίου το οποίο αναλύεται χημικά στο φασματοφωτόμετρο ακτίνων-Χ φθορισμού. Το XRF που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο Γεωχημείας Πολυτεχνείου Κρήτης είναι της εταιρίας Brucker S2 Ranger.

### 3.3 Κινητικά Πειράματα

Για την πραγματοποίηση των κινητικών πειραμάτων δημιουργήθηκαν 8 διαφορετικά δείγματα τα οποία αποτελούνταν από:

- Φωσφορικό Κάλιο
- Φωσφορικό Κάλιο με Καολινίτη
- Φωσφορικό Κάλιο με Παλιγορσκήτη
- Φωσφορικό Κάλιο με Μπεντονίτη
- Κομπόστ
- Κομπόστ με Καολινίτη
- Κομπόστ με Παλιγορσκήτη
- Κομπόστ με Μπεντονίτη

Τα δείγματα που περιλαμβάνουν δυο συστατικά ζυγίστηκαν με αναλογία 1:2, δηλαδή ένα μέρος ορυκτού με δυο μέρη φωσφορικού καλίου ή κομπόστ και ομογενοποιήθηκαν στον πλανητικό σφαιρόμυλο του εργαστηρίου Εμπλουτισμού του Πολυτεχνείου Κρήτης με λειοτρίβηση για 2 ώρες στις 100 στροφές. Στη συνέχεια ζυγίστηκαν 0,125 γραμμάρια από τα παραπάνω ομογενοποιημένα δείγματα σε φιαλίδια των 100 ml στα οποία προστέθηκαν 50 ml απιονισμένου νερού. Τα φιαλίδια με το υλικό, τοποθετήθηκαν σε οριζόντιο αναταράκτη και αφέθηκαν να κινούνται για τους εξής χρόνους: 0 λεπτά, 15 λεπτά, 30 λεπτά, 1 ώρα, 3 ώρες, 5 ώρες, 12 ώρες, 24 ώρες, 3 ημέρες, 5 ημέρες, 10 ημέρες, 20 ημέρες και 30 ημέρες (Εικ. 20). Σε ορισμένους χρόνους πραγματοποιήθηκαν επαναληπτικά δείγματα για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων.



Εικόνα 20: Αναταράκτης εργαστηρίου Γεωχημείας Πολυτεχνείου Κρήτης.

Μετά την ολοκλήρωση των χρόνων, τα δείγματα διηθήθηκαν υπό κενό, με διπλούς ηθμούς No. 1 της εταιρίας Whatman, για να διαχωριστεί η στερεή από την υγρή φάση (Εικ 21). Μετά την διήθηση τα υγρά υπολείμματα τοποθετήθηκαν εκ νέου σε φιαλίδια με πώμα και τοποθετήθηκαν στο ψυγείο.



Εικόνα 21: Διήθηση υπό κενό.

### 3.4: Δοκιμές με στήλες- Πειράματα εκρόφησης Καλίου, Μαγνησίου, Φωσφόρου

Για την εκτέλεση του πειράματος με τις στήλες απαραίτητη προϋπόθεση ήταν η ακριβής προσομοίωση της βροχής σε εργαστηριακό επίπεδο. Η πειραματική διάταξη παρουσιάζεται στην εικόνα 22. Για την προετοιμασία της συνθετικής βροχής, χρησιμοποιήθηκαν 1,75 g  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ένυδρου θειικού ασβεστίου (Calsium Sulfate Dinydrate), 0,049 g KCl Χλωριούχου Καλίου (Potassium Chloride), 0,42 g  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ένυδρου Χλωριούχου Μαγνησίου (Magnesium Chloride Hexahydrate) και 0,81 g  $\text{NaNO}_3$  Νιτρικού Νατρίου (Sodium Nitrate). Σε μια ογκομετρική φιάλη του ενός λίτρου τοποθετήθηκαν τα παραπάνω συστατικά μαζί με 800 ml απιονισμένο νερό και αναδεύτηκαν σε μαγνητικό αναδευτήρα έως ότου να διαλυθούν. Στη συνέχεια προστέθηκαν άλλα 200 ml απιονισμένο νερό μέχρι τη χαραγή της ογκομετρικής φιάλης. Πριν τη χρήση του το διάλυμα αραιώθηκε 100 φορές για την ακριβή προσομοίωση της βροχής.



Εικόνα 22: Δοκιμές στηλών, Στήλες- Αντλία.

Οι στήλες που χρησιμοποιήθηκαν είναι κατασκευασμένες από Plexiglas έχουν ύψος 25 εκατοστά και εσωτερική διάμετρο 3 εκατοστά (Εικ. 23). Στο κάτω μέρος των στηλών τοποθετήθηκε υαλοβάμβακας με στόχο την αποφυγή απομάκρυνσης λεπτομερών σωματιδίων στην απορροή.



Εικόνα 23: Στήλη από Plexiglas του εργαστηρίου Γεωχημείας.

Για να υπολογίσουμε την ποσότητα συνθετικής βροχής ακολουθήσαμε την παρακάτω μεθοδολογία. Θεωρήθηκε ότι ο μέσος όρος ετήσιας βροχής στην περιοχή των Χανίων είναι 600 χιλιοστά δηλαδή 60 εκατοστά. Το εμβαδόν επιφάνειας του κυλίνδρου ισούται με  $E = \pi * R^2 = 3,14 * 1,5^2 = 7,065$  τετραγωνικά εκατοστά. Επομένως, χρειάζονται  $7,065 * 60 = 423,9$  κυβικά εκατοστά συνθετικής βροχής.

Χρησιμοποιήθηκαν 420 ml συνθετικής βροχής σε κάθε στήλη. Η βροχή προστέθηκε στις στήλες με το έδαφος μέσω αντλίας ρυθμιζόμενης παροχής της εταιρίας Gilson (Εικ. 24). Η συγκεκριμένη αντλία παρέχει τη δυνατότητα νοτίσματος σε 1-4 στήλες, ταυτόχρονα καθώς και την ρύθμιση της ροής εμποτισμού ανάλογα με την ανάγκες της πειραματικής διαδικασίας. Η ροή που επιλέχθηκε για το συγκεκριμένο πείραμα είναι 5 ml ανά ώρα (0.10 rpm) για να αποφευχθούν οι αυλακώσεις στο έδαφος.



Εικόνα 24: Αντλία νερού της εταιρίας Gilson.

Δημιουργήθηκαν εννέα στήλες οι οποίες περιείχαν:

1. Έδαφος
2. Κομπόστ
3. Κομπόστ- Μπεντονίτης
4. Κομπόστ- Παλιγορσκήτης
5. Κομπόστ- Καολινίτης
6. Φωσφορικό Κάλιο
7. Φωσφορικό Κάλιο- Μπεντονίτης
8. Φωσφορικό Κάλιο- Παλιγορσκήτης
9. Φωσφορικό Κάλιο- Καολινίτης

Συνολικά στη στήλη τοποθετήθηκαν 50 γραμμάρια δείγματος (έδαφος και λίπασμα) εκ των οποίων τα 45,3 αντιστοιχούν στο έδαφος και τα 4,7 γραμμάρια αντιστοιχούν στο λίπασμα. Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε όταν διήλθε από τη στήλη η πρώτη σταγόνα και τελείωσε όταν απορροφήθηκαν τα 420 ml συνθετικής βροχής από το έδαφος. Η πρώτη σταγόνα στα δείγματα με κομπόστ διήλθε στις 3,5 ώρες, στα δείγματα με Φωσφορικό Κάλιο σε 4,5 ώρες και στο έδαφος στις 3 ώρες. Οι χρόνοι δειγματοληψίας ήταν οι 3 ώρες, 6 ώρες, 9 ώρες, 12 ώρες, 16 ώρες, 24 ώρες,

30 ώρες και 42 ώρες μετά τη διέλευση της πρώτης σταγόνας. Στη συνέχεια τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε πλαστικά μπουκάλια με πώμα και τοποθετήθηκαν στο ψυγείο.



Εικόνα 25: Αποθήκευση δειγμάτων από τις δοκιμές με στήλες.

### 3.5: Αναλυτικές μέθοδοι.

#### 3.5.1: Φασματομετρία ατομικής απορρόφησης



Εικόνα 26: Φασματοφωτόμετρο Ατομικής Απορρόφησης εργαστηρίου Γεωχημείας.

Για τον προσδιορισμό των συγκεντρώσεων καλίου, μαγνησίου των κινητικών πειραμάτων και των πειραμάτων των στηλών χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της

φασματομετρίας ατομικής απορρόφησης (Εικ. 26). Η ιδιότητα που μετράται είναι η απορρόφηση από μια ένωση του υπό προσδιορισμό στοιχείου. Όταν από διάλυμα μια ουσίας, που απορροφά, διέρχεται μονοχρωματική ακτινοβολία, η ισχύς της ακτινοβολίας μειώνεται. Η μείωση της ισχύος εξαρτάται από την συγκέντρωση της ουσίας που απορροφά και από την απόσταση που διανύει η δέσμη της ακτινοβολίας μέσα στο διάλυμα (Πεντάρη, 2017).

$$A = \log(P_0/P) = -\log T = e \cdot b \cdot c$$

Όπου: A : η απορρόφηση της ακτινοβολίας από το δείγμα

$I_0$ : η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

$I_t$  : η ένταση της εξερχόμενης ακτινοβολίας

T : η διαπερατότητα

b : η απόσταση που διανύει η δέσμη της ακτινοβολίας (μέσα στο διάλυμα)

e : η μοριακή απορροφητικότητα (σταθερά αναλογίας)

c : η συγκέντρωση της ουσίας σε moles ανά λίτρο

Στην πράξη η συγκέντρωση της ουσίας που απορροφά υπολογίζεται μέσω καμπύλης αναφοράς, η οποία δημιουργείται μέσω πρότυπων διαλυμάτων τα οποία μετρώνται αρχικά, σχηματίζοντας μια καμπύλη. (Πεντάρη, 2017).

Το φασματόμετρο ατομικής απορρόφησης αποτελείται από μια πηγή χαρακτηριστικής ακτινοβολίας, έναν ατομοποιητή για τη δημιουργία ελεύθερων ατόμων, ένα μονοχρωμάτορα για την απομόνωση μια στενής περιοχής από την εκπεμπόμενη ακτινοβολία, έναν ανιχνευτή για τη μέτρηση του ποσοστού ακτινοβολίας και ένα ηλεκτρονικό όργανο επεξεργασίας σήματος (Πεντάρη, 2017).

Για την προετοιμασία των μετρήσεων από αρχικό διάλυμα καλίου και μαγνησίου των 10 ppm παρασκευάστηκαν πρότυπα συγκέντρωσης 0,5 ppm, 1 ppm και 2 ppm πρότυπα μαγνησίου συγκέντρωσης 0,1 ppm, 0,2 ppm και 0,5 ppm. Στη συνέχεια παρασκευάστηκαν τα διαλύματα των δειγμάτων τα οποία αραιώθηκαν με στόχο η



απορρόφηση να είναι εντός των προτύπων αναφοράς. Στα πρότυπα και στα αραιωμένα δείγματα προστέθηκε λανθάνιο (La). Επίσης το τυφλό διάλυμα που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από λανθάνιο (10 ml) και συμπληρώθηκε με απιονισμένο νερό, μέχρι την χαραγή ογκομετρικής φιάλης 50 ml.

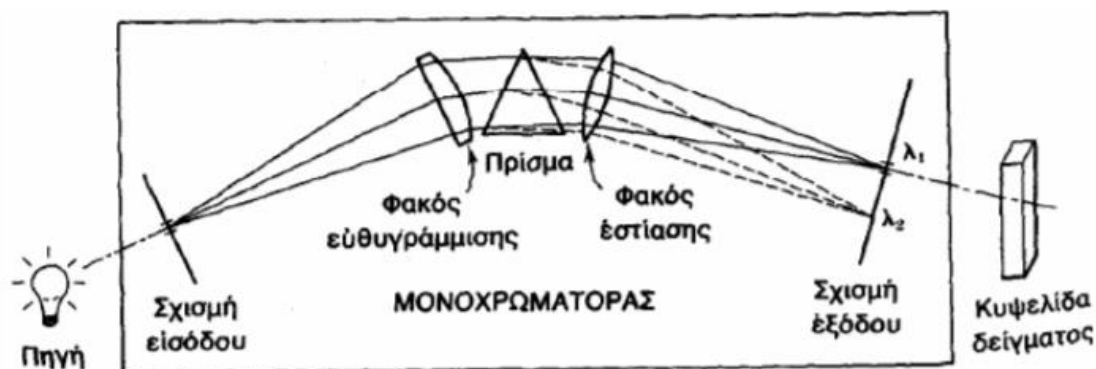
### 3.5.2: Προετοιμασία μέτρησης Φωσφόρου



Εικόνα 27: Φασματόμετρο Hach DR 4000/U εργαστηρίου Γεωχημείας, Πολυτεχνείου Κρήτης.

Για τον προσδιορισμό του φωσφόρου, των κινητικών πειραμάτων και των δοκιμών των στηλών χρησιμοποιήθηκε το φασματόμετρο Hach DR 4000/U. Ο προσδιορισμός του φωσφόρου πραγματοποιείται με τον σχηματισμό ενός κίτρινου συμπλόκου του μολυβδοβαναδοφωσφορικού οξέος και μέτρηση της απορρόφησης της ακτινοβολίας σε μήκος κύματος 460 nm. Η απορροφούσα αυτή ουσία παρασκευάζεται με συμπλοκοποίηση του φωσφόρου χρησιμοποιώντας βαναδικό αμμώνιο και μολυβδαινικό αμμώνιο και διάλυμα φωσφορικών (Πεντάρη, 2017). Επίσης, παρασκευάστηκε ένα τυφλό διάλυμα με 10 ml διαλύματος φωσφορικών που συμπληρώθηκε με απιονισμένο νερό μέχρι τη χαραγή ογκομετρικής φιάλης 50 ml. Οι μετρήσεις που λαμβάνονται αφορούν τη συγκέντρωση των δειγμάτων σε  $P_2O_5$ , βάση του οποίου εν τέλει υπολογίζεται η τιμή συγκέντρωσης του φωσφόρου.

Το φασματόμετρο αποτελείται από μια πηγή ακτινοβολίας, μια σχισμή εισόδου, ένα φακό ευθυγράμμισης, ένα πρίσμα, ένα φακό εστίασης, μια κυψελίδα και έναν ανιχνευτή (Εικ. 28).



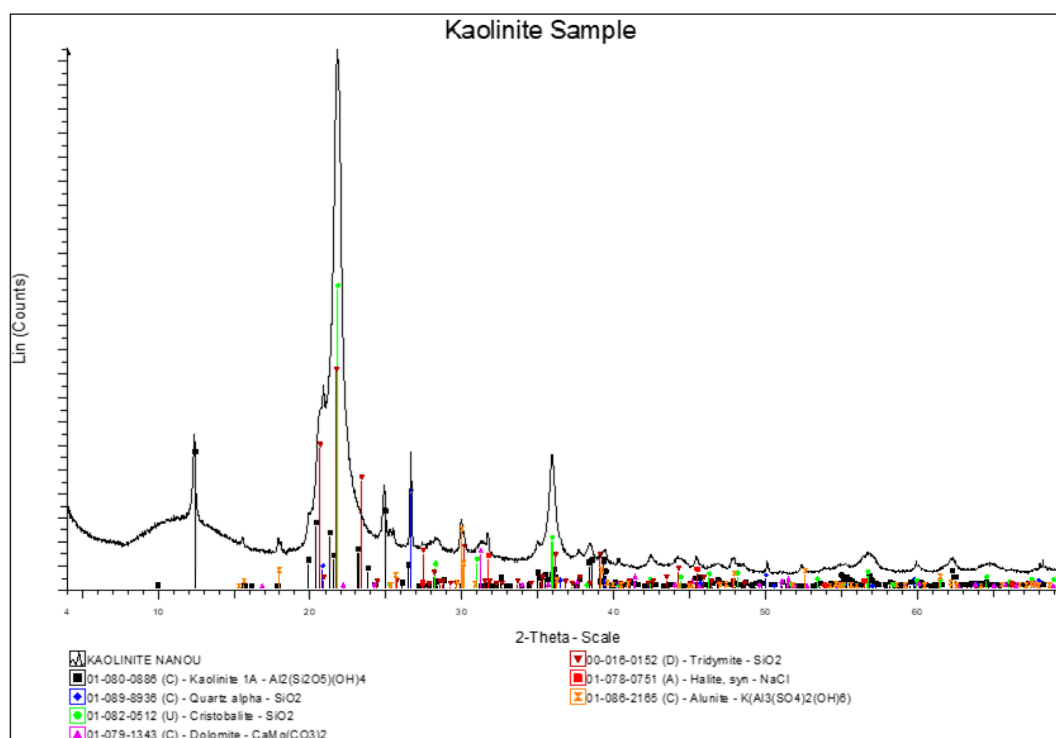
Εικόνα 28: Τα μέρη που αποτελείται το φασματόμετρο.

Τα πρότυπα που παρασκευάστηκαν αποτελούνται από 1 ml, 3 ml και 5 ml φωσφορικού διαλύματος  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 2,5 ml νιτρικού οξέος, 5 ml βαναδικού αμμωνίου και 10 ml μολυβδαινικού αμμωνίου που συμπληρώθηκαν με απιονισμένο νερό μέχρι τη χαραγή των ογκομετρικών φιαλών των 50 ml. Αντίστοιχα παρασκευάστηκαν και τα διαλύματα των δειγμάτων μας με τη διαφορά ότι αντί για διάλυμα φωσφορικών περιείχαν 25 ml από τα αρχικά διαλύματα των δειγμάτων που προέκυψαν από τα κινητικά πειράματα και τα πειράματα στηλών. Τα διαλύματα των δειγμάτων που δημιουργήθηκαν για την μέτρηση του φωσφόρου αραιώθηκαν έτσι ώστε οι τιμές απορρόφησης  $\text{P}_2\text{O}_5$  να είναι εντός ορίου των τιμών των πρότυπων διαλυμάτων. Αξίζει να σημειωθεί ότι όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα των διαλυμάτων σε φώσφορο, τόσο πιο έντονο κίτρινο χρώμα έχουν.

## Κεφάλαιο 4: Επεξεργασία Αποτελεσμάτων.

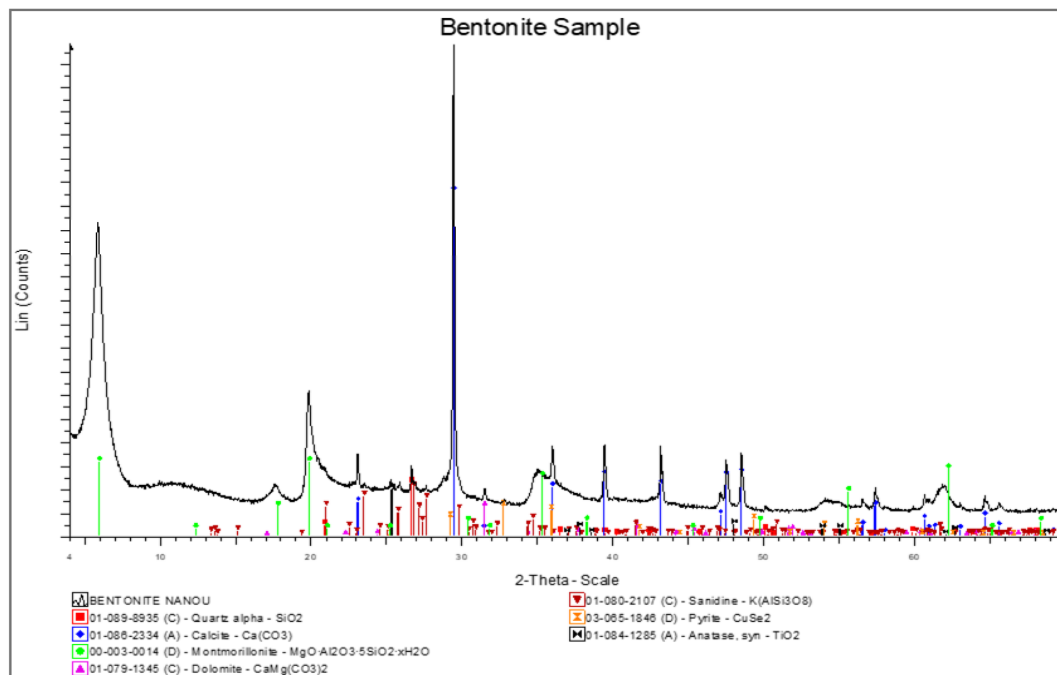
### 4.1: Ορυκτολογική Ανάλυση.

Στην παράγραφο αυτή παρατίθενται τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης του καολίνη, του μπεντονίτη του παλιγκορσκήτη και του εδάφους. Η ορυκτολογική ανάλυση του παλιγκορσκήτη ήταν γνωστή γι' αυτό δεν χρειάστηκε η χρήση αυτής της μεθόδου. Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται η ορυκτολογική ανάλυση του καολίνη, Το δείγμα αποτελείται από καολινίτη, οπάλιο-CT (χριστοβαλίτη και τρίδυμη), αλουνίτη και αλίτη.



Σχήμα 1: Ποιοτική Ορυκτολογική Ανάλυση Καολινίτη.

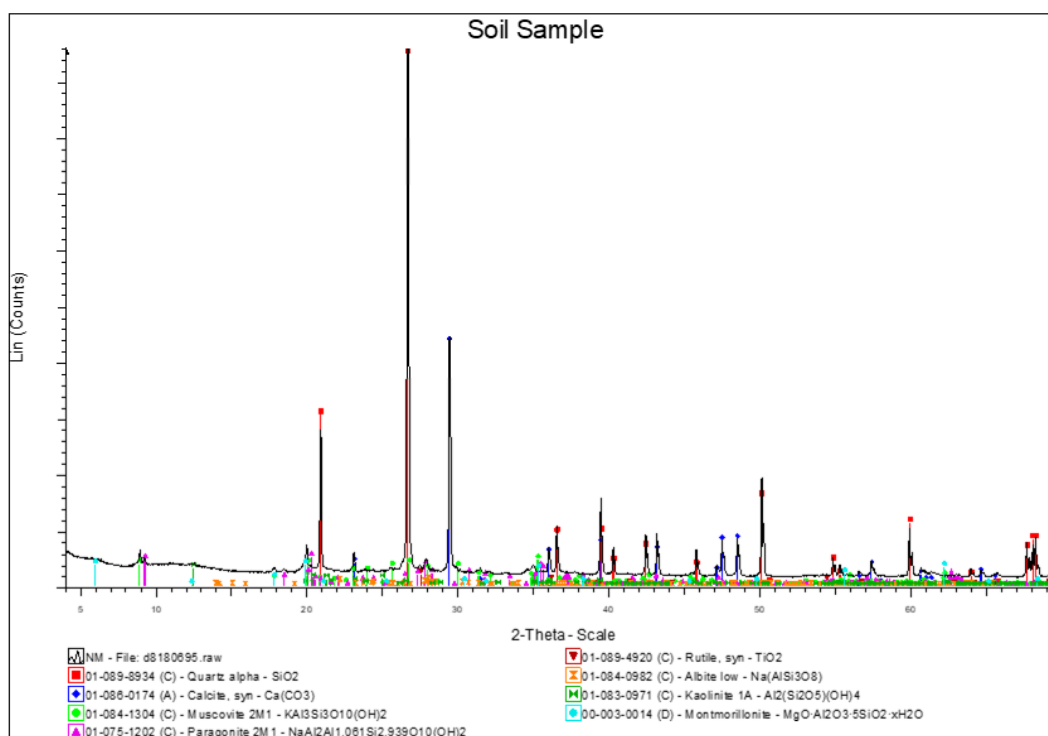
Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η ορυκτολογική σύσταση του μπεντονίτη. Το δείγμα αποτελείται από σμεκτίτη (μοντμοριλονίτη), χαλαζία, ασβεσίτη, δολομίτη, Κ-άστριο (σανίδινο), σιδηροπυρίτη και ανατάση.



Σχήμα 2: Ποιοτική Ορυκτολογική Ανάλυση Μπεντονίτη.

Στο σχήμα 3, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης του παλιγκορσκήτη. Το δείγμα αποτελείται από παλιγκορσκήτη, χαλαζία, λιζαρδίτη, κεροσίλβη, σμεκτίτη (νοτρονίτη) και γκαιτίτη.





Σχήμα 4: Ορυκτολογική Ανάλυση Εδάφους.

## 4.2: Χημική Ανάλυση.

Στον παρακάτω πίνακα 4, παρουσιάζεται η χημική ανάλυση των ορυκτών δειγμάτων μας. Παρατηρούμε ότι και τα τρία δείγματα μας αποτελούνται κατά ένα μεγάλο ποσοστό από  $\text{SiO}_2$  λόγω της αφθονίας πυριτικών ορυκτών.

Πίνακας 4: Χημική Ανάλυση των ορυκτών δειγμάτων (το LOI εκφράζει την απώλεια πύρωσης).

<u>Οξείδια (%)</u>	<u>Μπεντονίτης</u>	<u>Παλιγορσκήτης</u>	<u>Καολίνης</u>
$\text{SiO}_2$	42.85	47.81	80.76
$\text{TiO}_2$	0.91	0.28	0.38
$\text{Al}_2\text{O}_3$	15.05	4.16	8.43

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.40	9.44	0.14
MnO	0.05	0.23	0
MgO	2.18	12.72	0.21
CaO	12.33	0.54	0.19
Na <sub>2</sub> O	1.58	2.68	1.57
K <sub>2</sub> O	0.22	0.26	0.20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.23	0	0.05
LOI	20.14	20.81	7.11

Ο μπεντονίτης εκτός του SiO<sub>2</sub>, έχει υψηλό περιεχόμενο σε Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, λόγω του σμεκτίτη και του Κ-αστρίου και CaO λόγω της παρουσίας ασβεστίτη. Σε μικρότερα ποσοστά απαντούν Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> που συμμετέχει στο σμεκτίτη και το σιδηροπυρίτη, MgO λόγω της παρουσίας στο σμεκτίτη και το δολομίτη καθώς και πολύ χαμηλά ποσοστά άλλων προσμίξεων όπως: Na<sub>2</sub>O, MnO, K<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub> και P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Ο παλιγορσκήτης, περιέχει υψηλό ποσοστό MgO που συμμετέχει στον παλιγορσκήτη και το δολομίτη, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> που συμμετέχει στον παλιγορσκήτη και σε Fe-οξειδία ενώ σε μικρότερα ποσοστά περιέχει Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, CaO, TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, MnO. Τέλος, ο καολίνης περιέχει σε μεγαλύτερα ποσοστά Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, ενώ σε μικρότερα ποσοστά εμφανίζει TiO<sub>2</sub>, CaO, K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MgO. Το υψηλό ποσοστό SiO<sub>2</sub> στον καολίνη συνδέεται με την υψηλή περιεκτικότητα οπάλιου C-T. Τα ποσοστά των προσμίξεων τα οποία είναι χαμηλά δεν επηρεάζουν τις ιδιότητες των αργιλικών δειγμάτων.

#### 4.3: Αποτελέσματα Κινητικών Πειραμάτων και Πειραμάτων Στηλών.

##### 4.3.1: Αποδέσμευση καλίου - Κινητικά Πειράματα.

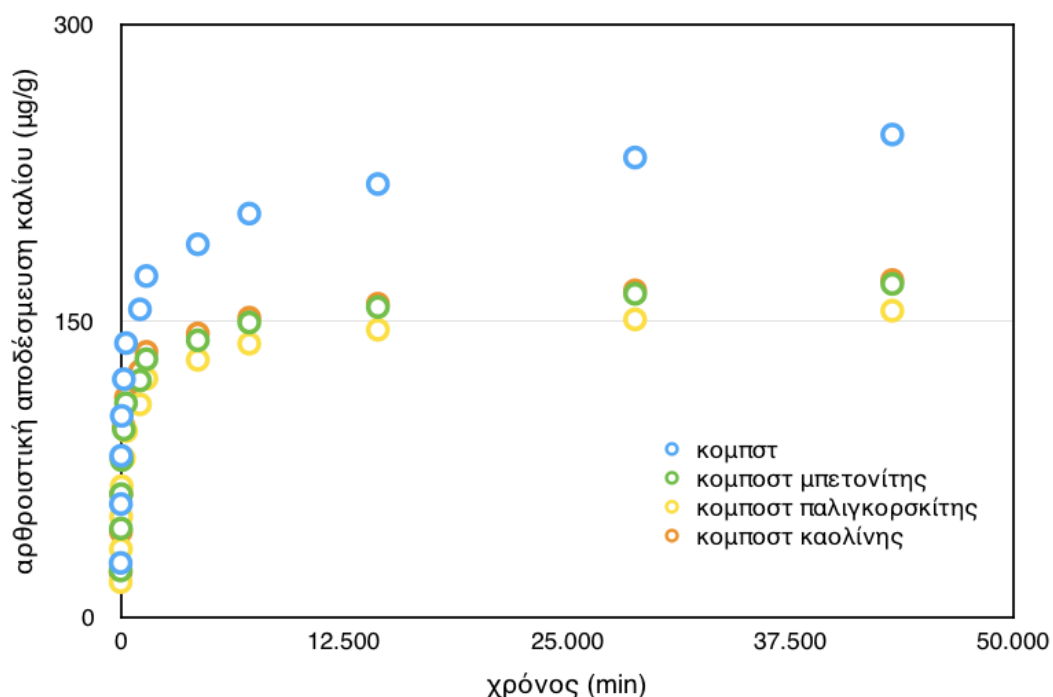
Τα αποτελέσματα απελευθέρωσης καλίου των δειγμάτων με κομπόστ, κομπόστ μπεντονίτη, κομπόστ παλιγορσκήτη και κομπόστ καολινίτη τα οποία προέκυψαν από τα κινητικά πειράματα, για το διάστημα των 30 ημερών παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. Επίσης, αναλυτικά, τα αποτελέσματα για το κάθε δείγμα ξεχωριστά παρουσιάζονται στο παράρτημα.

Πίνακας 5: Αθροιστική απελευθέρωση καλίου (μg/g) από λιπάσματα με κομπόστ στα κινητικά πειράματα.

Χρόνος (min)	Κομπόστ (μg/g)	Κομπόστ- Μπεντονίτης (μg/g)	Κομπόστ- Παλιγορσκήτης (μg/g)	Κομπόστ- Καολινίτης (μg/g)
0	27,30	23,46	17,60	22,53
15	57,13	44,75	34,36	43,07
30	81,56	62,12	50,71	62,22
60	101,77	79,35	66,13	80,07
180	120,34	94,85	80,36	96,34
300	138,62	108,25	94,03	111,13
1080	155,69	119,72	107,62	124,42
1440	172,59	130,46	120,61	134,18
4320	188,66	140,04	130,12	143,48
7200	204,19	149,03	138,32	151,49
14400	219,15	156,87	145,38	158,55
28800	232,58	163,57	150,62	165,31
43200	244,22	168,59	155,01	170,54

Παρατηρούμε στον πίνακα 5 ότι το κομπόστ χωρίς προσθήκη ορυκτών αποδεσμεύει μεγαλύτερες ποσότητες καλίου σε όλη τη διάρκεια των πειραμάτων, ωστόσο η απελευθέρωση βαίνει μειούμενη με το χρόνο. Στα πρώτα λεπτά ανέρχεται στα 30 μg/g στη συνέχεια, στα 30 λεπτά μειώνεται στα 24 μg/g, στη μια ώρα μεταβάλλεται στα 20 μg/g καταλήγοντας στις 20 ημέρες να φτάνει τα 12 μg/g. Επίσης, το λίπασμα με έδαφος και παλιγορσκήτη εμφανίζει την μικρότερη απελευθέρωση καλίου συγκριτικά με τα υπόλοιπα σε όλο το διάστημα των 30 ημερών. Στα πρώτα λεπτά η απελευθέρωση είναι 17 μg/g, το πρώτο 24ωρο ελαττώνεται στα 13 μg/g, ενώ στις 5-30 ημέρες, σταδιακά καταλήγει στα 5 μg/g. Στο λίπασμα με καολινίτη, η απελευθέρωση καλίου μέχρι τα πρώτα 30 λεπτά είναι 19 μg/g, τις πρώτες ώρες είναι 18 μg/g στις 24 ώρες ελαττώνεται σταδιακά περίπου στα 10 μg/g, ενώ στο διάστημα 10,20 και 30 ημέρες μειώνεται ακόμα περισσότερο στα 5 - 7 μg/g. Τέλος, στο λίπασμα με μπεντονίτη, κατά το πρώτο 24ωρο απελευθερώνονται περισσότερα από 10 μg/g καλίου, στις 3 ημέρες απελευθερώνονται 10 μg/g, μετά τις 5 ημέρες 7 μg/g, καταλήγοντας μετά τις 20 ημέρες στα 5 μg/g.





Σχήμα 5: Αθροιστική απελευθέρωση καλίου των κινητικών πειραμάτων με κομπόστ.

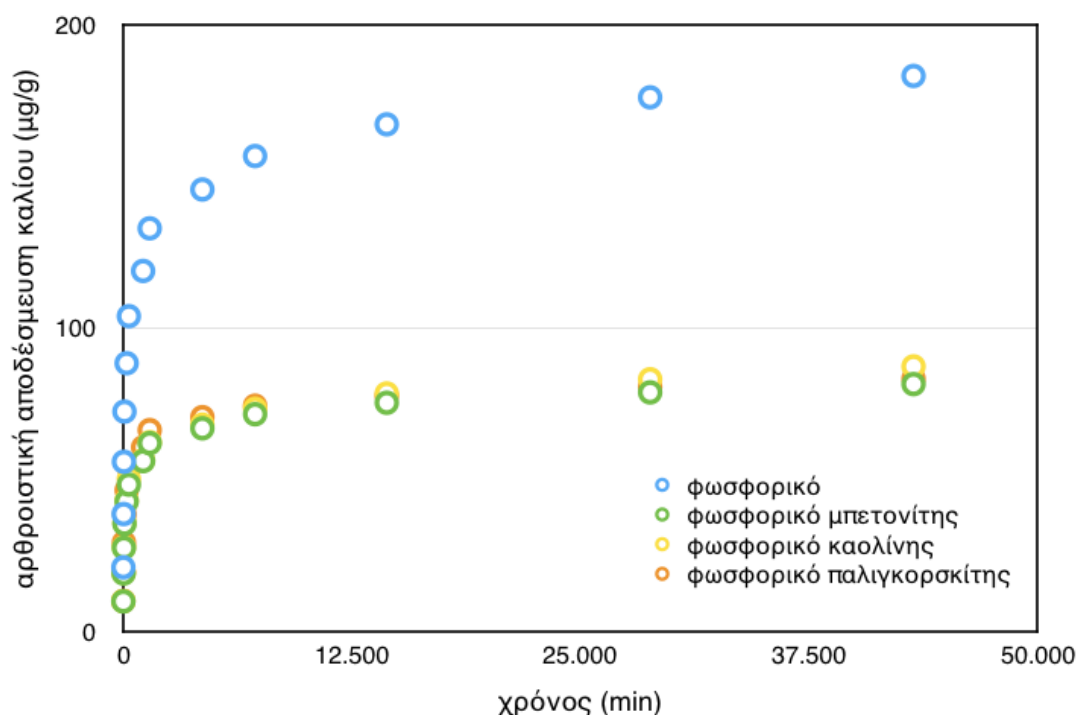
Σύμφωνα με το σχήμα 5, η ανάμιξη του κομπόστ με τα αργιλικά υλικά, οδηγεί σε σημαντική επιβράδυνση της απελευθέρωσης καλίου. Στο διάστημα των πρώτων ωρών οι τιμές απελευθέρωσης καλίου αυξάνονται σημαντικά ενώ στην συνέχεια τείνουν να σταθεροποιούνται. Επίσης, τα λιπάσματα με κομπόστ-μπετονίτη και κομπόστ-καολινίτη απελευθερώνουν παρόμοιες τιμές καλίου κι έτσι οι καμπύλες τείνουν να ταυτιστούν, με ελαφρά μικρότερες τιμές απελευθέρωσης καλίου στο λίπασμα του κομπόστ με μπετονίτη. Το λίπασμα με κομπόστ και παλιγορσκήτη, εμφανίζει μικρότερη απελευθέρωση καλίου απ' ό,τι τα άλλα δυο λιπάσματα.

Τα αποτελέσματα απελευθέρωσης καλίου των κινητικών πειραμάτων για τα φωσφορικά λιπάσματα, παρουσιάζονται στον παραπάνω πίνακα 6. Το φωσφορικό κάλιο απελευθερώνει σχεδόν την διπλάσια ποσότητα καλίου συγκριτικά με τα λιπάσματα τα οποία περιέχουν ορυκτά. Το λίπασμα με φωσφορικό κάλιο και μπετονίτη παρουσιάζει τις μικρότερες τιμές απελευθέρωσης καλίου. Τα πρώτα λεπτά η αποδέσμευση καλίου είναι ~ 10 μg/g, ενώ από τα 15 λεπτά μέχρι τις 3 ώρες μειώνεται στα 6-8 μg/g. Μετά το πρώτο 24ωρο η απελευθέρωση καλίου μειώνεται περεταίρω στα 4 μg/g για να καταλήξει μετά τις 10 ημέρες έως τις 30 ημέρες στα 3 μg/g. Το λίπασμα με φωσφορικό κάλιο και καολινίτη, τα πρώτα 15 λεπτά απελευθερώνει 9 μg/g κάλιο, τα οποία μειώνονται μετά τα 30 λεπτά έως τις 3 ώρες

στα 8  $\mu\text{g/g}$ . Μετά τις 5 ώρες έως τις 2 ημέρες η ποσότητα καλίου που απελευθερώνεται ανέρχεται σε 6  $\mu\text{g/g}$  για να μειωθεί στα 5  $\mu\text{g/g}$  μεταξύ 5 και 10 ημερών και στα 4  $\mu\text{g/g}$  στις 20 - 30 ημέρες. Τέλος, το λίπασμα με παλιγορσκήτη, μέχρι την πρώτη ώρα απελευθερώνει περίπου 9  $\mu\text{g/g}$ , μετά τις 5 ώρες μέχρι το πρώτο 24ωρο 6  $\mu\text{g/g}$ , το διάστημα 1-3 ημέρες 4  $\mu\text{g/g}$  και μετά τις 10 ημέρες και μέχρι το τέλος των πειραμάτων 3  $\mu\text{g/g}$ . Συνοπτικά, το λίπασμα με παλιγορσκήτη εμφανίζει τις μικρότερες τιμές απελευθέρωσης καλίου στη χρονική διάρκεια του πειράματος. Τέλος, τα λιπάσματα με φωσφορικό κάλιο και μπεντονίτη ή καολινίτη απελευθερώνουν σχεδόν ίδιες ποσότητες καλίου μέχρι τα πρώτα 15 λεπτά, ενώ το ίδιο συμβαίνει και με το λίπασμα φωσφορικού καλίου με μπεντονίτη και καολινίτη για τα 15 λεπτά και τα 30 λεπτά πρώτα λεπτά. Οι διαφορές στην απελευθέρωση καλίου μεταξύ των τριών ορυκτών λιπασμάτων είναι μικρές.

Πίνακας 6: Αθροιστική απελευθέρωση καλίου ( $\mu\text{g/g}$ ) από το φωσφορικό λίπασμα στα κινητικά πειράματα.

Χρόνος (min)	Φωσφορικό κάλιο ( $\mu\text{g/g}$ )	Φωσφορικό κάλιο-Μπεντονίτης ( $\mu\text{g/g}$ )	Φωσφορικό κάλιο-Καολίνης ( $\mu\text{g/g}$ )	Φωσφορικό κάλιο-Παλιγορσκήτης ( $\mu\text{g/g}$ )
0	21,15	9,92	10,04	10,08
15	38,69	19,12	19,32	19,73
30	55,90	27,56	27,79	29,34
60	72,43	35,46	35,89	38,61
180	88,38	42,81	43,22	46,54
300	73,13	48,39	50,24	54,12
1080	118,74	56,13	56,41	60,69
1440	132,77	62,04	62,36	66,34
4320	145,56	66,92	68,14	70,60
7200	156,57	71,56	73,37	74,38
14400	167,01	75,34	78,40	77,59
28800	175,90	78,75	83,08	80,54
43200	182,96	81,48	87,31	83,27



Σχήμα 6: Αθροιστική αποδέσμευση καλίου των κινητικών πειραμάτων για τα φωσφορικά λιπάσματα.

Στο σχήμα 6, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της απελευθέρωσης καλίου για τα φωσφορικά λιπάσματα. Στο διάστημα των πρώτων ωρών η συγκέντρωση καλίου που απελευθερώνεται αυξάνεται, για να σταθεροποιηθεί στη συνέχεια. Οι καμπύλες απελευθέρωσης καλίου των λιπασμάτων με φωσφορικό κάλιο και καολίνη και παλιγορσκήτη, ουσιαστικά ταυτίζονται σε χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 10 ημερών. Οι συγκεντρώσεις καλίου που απελευθερώνονται από το φωσφορικό λίπασμα με μπεντονίτη είναι μικρότερες σε σχέση με τα αντίστοιχα λιπάσματα που περιέχουν καολίνη και παλιγορσκήτη.

#### 4.3.2: Αποδέσμευση καλίου-Πειράματα Στηλών.

Στον πίνακα 7, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα απελευθέρωσης καλίου στα πειράματα με στήλες. Το δείγμα που περιείχε μόνο έδαφος εμφάνισε σχεδόν διπλάσια απελευθέρωση καλίου συγκριτικά με τα δείγματα του εδάφους με κομπόστ και ορυκτά. Η επόμενη μεγαλύτερη απελευθέρωση καλίου παρατηρήθηκε στο δείγμα εδάφους με κομπόστ, το οποίο ωστόσο παρουσιάζει μεγαλύτερη ποσότητα απελευθέρωσης καλίου τις πρώτες ώρες συγκριτικά με το δείγμα που περιείχε σκέτο έδαφος. Τα λιπάσματα με τα ορυκτά, παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά στην

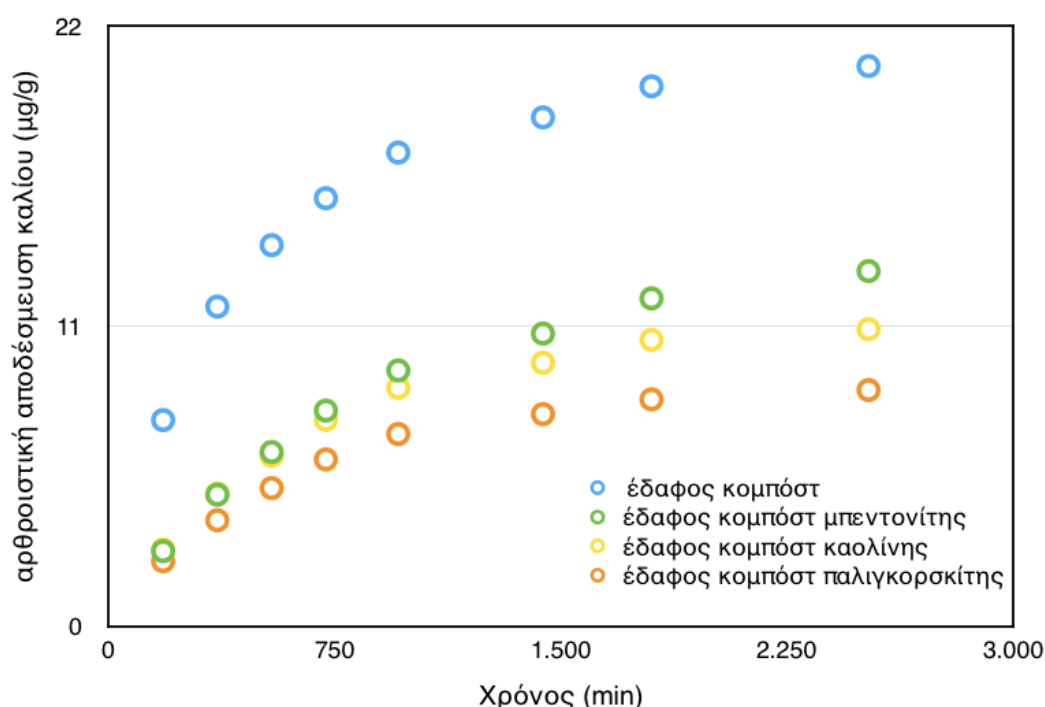
απελευθέρωση καλίου με το λίπασμα με παλιγορσκήτη να εμφανίζει τη μικρότερη απελευθέρωση. Πιο αναλυτικά, το έδαφος με κομπόστ και μπεντονίτη, μέχρι τις πρώτες έξι ώρες απελευθερώνει περίπου 2 μg/g κάλιο, στη συνέχεια μέχρι τις 16 ώρες 1.5 μg/g, στο διάστημα 24-30 ώρες 1.3 μg/g, ενώ μετά τις 30 ώρες έως τις 42 ώρες 1 μg/g. Το έδαφος με κομπόστ και καολινίτη, τις πρώτες 6 ώρες απελευθερώνει περίπου 2 μg/g, μετά τις 6 ώρες έως τις 12 ώρες 1,3 μg/g, στις 16 ώρες 1.17 μg/g. Μετά τις 24 ώρες είναι 0.92 μg/g, στις 30 ώρες είναι 0.84 μg/g και στις 42 ώρες είναι 0.39 μg/g. Επίσης, το έδαφος με κομπόστ και παλιγορσκήτη μέχρι τις 6 πρώτες ώρες απελευθερώνει περίπου 1,5 μg/g, μέχρι τις 12 πρώτες ώρες η απελευθέρωση του καλίου είναι περίπου 1 μg/g. Στις 16 ώρες είναι 0.93 μg/g, στις 24 ώρες είναι 0.73 μg/g, στις 30 ώρες είναι 0.54 μg/g και τέλος, στις 42 ώρες είναι 0.34 μg/g. Αξίζει να σημειωθεί ότι, το έδαφος με κομπόστ και μπεντονίτη παρουσιάζει τις μεγαλύτερες διαφορές μεταξύ των τιμών απελευθέρωσης ενώ οι συγκεντρώσεις καλίου που απελευθερώνονται είναι μεγαλύτερες από τα άλλα δυο είδη ορυκτών λιπασμάτων. Το κομπόστ- παλιγορσκήτη εμφανίζει τις μικρότερες διαφορές μεταξύ των τιμών απελευθέρωσης καλίου αλλά και τις μικρότερες συγκεντρώσεις καλίου.

Πίνακας 7: Αθροιστική απελευθέρωση καλίου (μg/g) στα πειράματα με στήλες.

Χρόνος (min)	Έδαφος- Κομπόστ (μg/g)	Έδαφος - Κομπόστ- Μπεντονίτης (μg/g)	Έδαφος- Κομπόστ- Καολίνης (μg/g)	Έδαφος- Κομπόστ- Παλιγορσκήτης (μg/g)
180	7,55	2,75	2,81	2,38
360	11,71	4,82	4,86	3,88
540	13,96	6,38	6,24	5,06
720	15,68	7,90	7,56	6,11
960	17,35	9,37	8,73	7,04
1440	18,64	10,72	9,65	7,77
1800	19,78	12,01	10,49	8,31
2520	20,52	13,01	10,88	8,65

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 7, το έδαφος χωρίς την προσθήκη λιπάσματος παρουσιάζει την μεγαλύτερη απώλεια καλίου. Στη συνέχεια το έδαφος με κομπόστ φαίνεται να έχει μικρότερη απελευθέρωση καλίου από το σκέτο έδαφος, αλλά μεγαλύτερη από αυτή των ορυκτών λιπασμάτων. Επίσης, το έδαφος με το κομπόστ αρχικά παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές απελευθέρωσης καλίου συγκριτικά με το σκέτο

έδαφος για τις πρώτες 6 ώρες. Όσον αφορά τα ορυκτά λιπάσματα, τις πρώτες 9 ώρες, οι τιμές απελευθέρωσης καλίου σχεδόν ταυτίζονται, στη συνέχεια όμως, το κομπόστ με τον μπεντονίτη παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές απελευθέρωσης καλίου. Το κομπόστ με τον παλιγκορσκήτη εμφανίζει τη μικρότερη απελευθέρωση (Σχήμα 7).



Σχήμα 7: Αποτελέσματα αποδέσμευσης καλίου των πειραμάτων στηλών για τα δείγματα με κομπόστ.

Στον Πίνακα 8, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αποδέσμευσης καλίου των φωσφορικών λιπασμάτων, στα πειράματα με στήλες. Παρατηρούμε ότι το σκέτο έδαφος παρουσιάζει σχεδόν διπλάσιες τιμές απελευθέρωσης συγκριτικά με το έδαφος με φωσφορικό κάλιο ενώ με τα ορυκτά λιπάσματα η διαφορά είναι ακόμη μεγαλύτερη. Στο σκέτο έδαφος οι τιμές απελευθέρωσης καλίου είναι 3-5 μg/g, ενώ στο έδαφος με φωσφορικό κάλιο οι τιμές κυμαίνονται από 0.03 μg/g έως 2,31 μg/g. Όσο αφορά τα ορυκτά φωσφορικά λιπάσματα, ξεκινώντας από το από το φωσφορικό λίπασμα με παλιγκορσκήτη παρατηρούμε γενικά πολύ χαμηλές τιμές απελευθέρωσης καλίου μετά τις 12 ώρες. Συγκεκριμένα, τις πρώτες 6 ώρες η αποδέσμευση είναι της τάξης των 0.67 μg/g, στις 9 ώρες μειώνεται στα 0.25 μg/g και στις 12-16 ώρες ελαττώνεται στα 0.14 μg/g. Μετά το πρώτο 24ωρο οι τιμές απελευθέρωσης καλίου μειώνονται στα 0,07 μg/g, ενώ στις 30 ώρες και στις 42 ώρες στα 0.03 μg/g. Στο

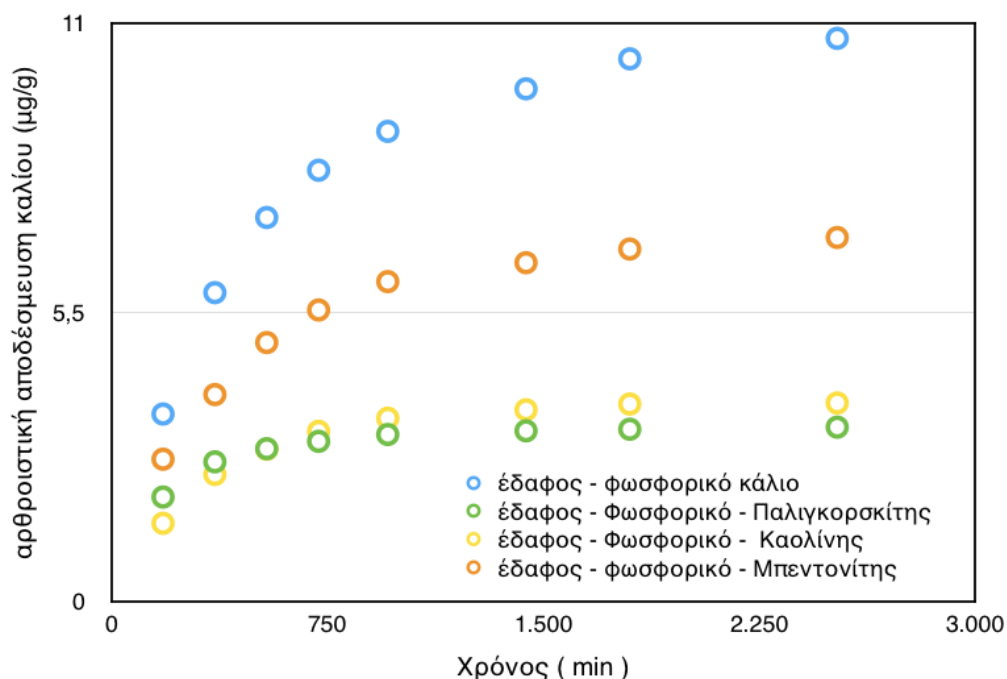
φωσφορικό λίπασμα με καολίνη, παρατηρούμε τις χαμηλότερες τιμές απελευθέρωσης καλίου στις πρώτες 9 ώρες. Πιο αναλυτικά, η διαφορά των τιμών απελευθέρωσης μέχρι τις 6 ώρες είναι 0.93 μg/g, στις 9 ώρες είναι 0.48 μg/g, στις 12 ώρες είναι 0,34 μg/g, στις 16 ώρες είναι 0,25 μg/g, ενώ μετά τις 24 ώρες έως τις 30 ώρες ελαττώνεται στα 0.16 μg/g και 0.11 μg/g αντίστοιχα. Επίσης, στις 42 ώρες παρατηρούμε τη χαμηλότερη τιμή απελευθέρωσης συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα, 0.02 μg/g. Τέλος, το φωσφορικό λίπασμα με μπεντονίτη έχει τις μεγαλύτερες τιμές απελευθέρωσης καλίου συγκριτικά με τα άλλα δυο ορυκτά φωσφορικά λιπάσματα, δηλαδή μέχρι τις πρώτες 6 ώρες η διαφορά των τιμών απελευθέρωσης είναι ίση με 1.23 μg/g, στις 9 ώρες ελαττώνεται στα 0.99 μg/g, στις 12 ώρες είναι ίσο με 0,62 μg/g, στις 16 ώρες 0,54 μg/g και στις 24 ώρες 0,36 μg/g. Τέλος, στις 30 ώρες και στις 42 ώρες η απελευθέρωση φτάνει τη χαμηλότερη τιμή δηλαδή, 0,24 μg/g και 0,22 μg/g αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί ότι, ενώ το λίπασμα με παλιγορσκήτη έχει τις μικρότερες τιμές απελευθέρωσης καλίου, οι διαφορές των τιμών απελευθέρωσης καλίου του λιπάσματος με καολινίτη είναι μικρότερη.

Πίνακας 8: Αθροιστική απελευθέρωση καλίου (μg/g) στα πειράματα στηλών για τα φωσφορικά λιπάσματα.

Χρόνος (min)	Έδαφος- Φωσφορικό κάλιο (μg/g)	Έδαφος- Φωσφορικό κάλιο- Παλιγορσκήτης (μg/g)	Έδαφος- Φωσφορικό κάλιο- Καολίνης (μg/g)	Έδαφος- Φωσφορικό κάλιο- Μπεντονίτης (μg/g)
180	3,56	1,98	1,48	2,70
360	5,87	2,65	2,41	3,93
540	7,30	2,90	2,89	4,92
720	8,20	3,04	3,23	5,54
960	8,94	3,17	3,48	6,08
1440	9,75	3,24	3,64	6,44
1800	10,32	3,27	3,75	6,70
2520	10,71	3,31	3,77	6,92

Στο σχήμα 8, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των κινητικών πειραμάτων με τα φωσφορικά λιπάσματα. Το σκέτο έδαφος όπως ήταν αναμενόμενο παρουσίασε την μεγαλύτερη απελευθέρωση καλίου συγκριτικά με τα υπόλοιπα φωσφορικά λιπάσματα, όπως και το έδαφος με σκέτο φωσφορικό. Όσον αφορά τα ορυκτά φωσφορικά λιπάσματα, την μεγαλύτερη απελευθέρωση παρουσιάζει ο μπεντονίτης.

Στο δείγμα με φωσφορικό κάλιο με καολινίτη και παλιγκορσκίτη, οι καμπύλες αποδέσμευσης τείνουν να ταυτιστούν.



Σχήμα 8: Αποτελέσματα αποδέσμευσης καλίου των φωσφορικών λιπασμάτων των πειραμάτων των στηλών.

#### 4.3.2: Αποδέσμευση μαγνησίου – Κινητικά Πειράματα.

Στον πίνακα 9, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αποδέσμευσης μαγνησίου των κινητικών πειραμάτων, των λιπασμάτων με κομπόστ. Το σκέτο κομπόστ εμφανίζει σχεδόν τετραπλάσια απελευθέρωση μαγνησίου μετά τα 30 πρώτα λεπτά μέχρι τις 30 ημέρες. Στα ορυκτά λιπάσματα μικρότερη απελευθέρωση τα πρώτα λεπτά εμφανίζει το λίπασμα με παλιγκορσκίτη ενώ μετά τις 3 ώρες και μέχρι την ολοκλήρωση των 30 ημερών, το κομπόστ με καολίνη εμφανίζει τη μικρότερη απελευθέρωση. Πιο αναλυτικά, στο κομπόστ με τον μπεντονίτη, η αποδέσμευση από τα πρώτα λεπτά έως τις 5 ώρες είναι της τάξης των 5 μg/g, ενώ στις 18 ώρες μέχρι τις 5 ημέρες μειώνεται στα 3 μg/g. Επίσης, στο διάστημα 5-20 ημέρες η συγκέντρωση μαγνησίου ανέρχεται σε 2 μg/g και στις 30 ημέρες καταλήγει στα 0.93 μg/g. Όσον αφορά στο κομπόστ με παλιγκορσκίτη, παρατηρούμε οι συγκεντρώσεις μαγνησίου παραμένουν σταθερές στα 4 μg/g σε όλο το χρονικό διάστημα των 30 ημερών που διήρκεσε το πείραμα. Επίσης, μέχρι την πρώτη ώρα αποδεσμεύει τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις μαγνησίου. Τέλος, το λίπασμα με καολίνη αποδεσμεύει τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις μαγνησίου καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος εκτός από τα πρώτα

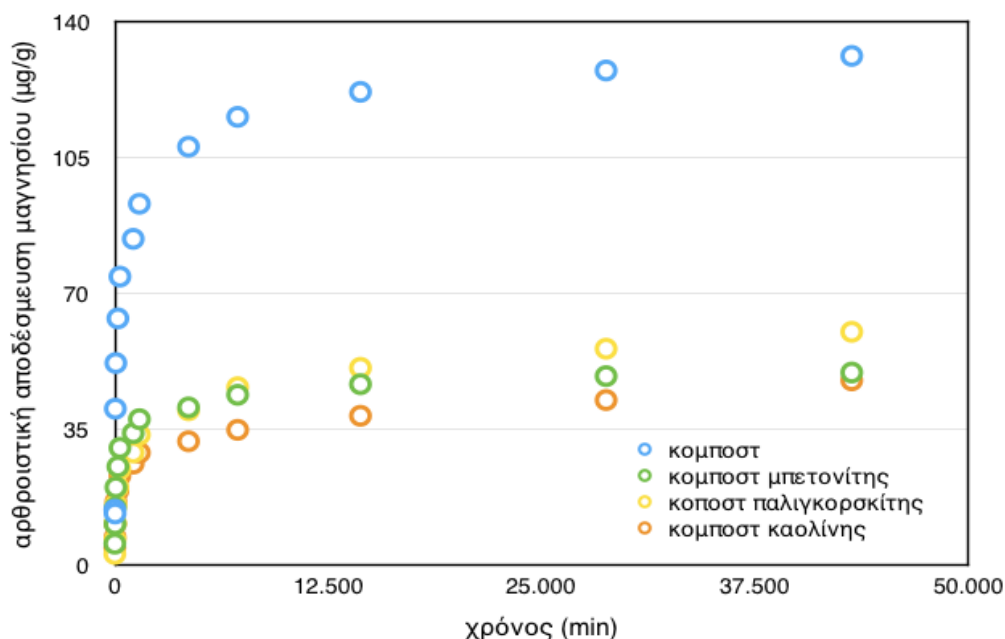
30 λεπτά. Επίσης, παρατηρούμε ότι η τιμές των συγκεντρώσεων του μαγνησίου μεταξύ των χρονικών διαστημάτων κυμαίνεται από 3  $\mu\text{g/g}$  έως 4  $\mu\text{g/g}$ .

Πίνακας 9: Αθροιστική απελευθέρωση μαγνησίου ( $\mu\text{g/g}$ ) των λιπασμάτων με κομπόστ για τα κινητικά πειράματα.

Χρόνος (min)	Κομπόστ ( $\mu\text{g/g}$ )	Κομπόστ-Μπεντονίτης ( $\mu\text{g/g}$ )	Κομπόστ-Παλιγορσκήτης ( $\mu\text{g/g}$ )	Κομπόστ-Καολίνης ( $\mu\text{g/g}$ )
0	14,28	5,50	2,84	4,46
15	13,29	10,54	6,50	7,20
30	40,30	14,70	10,88	10,60
60	52,09	20,03	15,58	16,36
180	63,61	25,39	20,06	19,13
300	74,39	30,22	24,75	23,06
1080	84,13	33,99	29,02	26,15
1440	93,18	37,62	33,61	28,96
4320	107,90	40,65	39,91	31,91
7200	115,60	43,90	45,86	34,86
14400	122,05	46,64	50,86	38,49
28800	127,56	48,72	55,79	42,54
43200	131,32	49,65	60,15	47,63

Στο σχήμα 9, παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων των κινητικών πειραμάτων αποδέσμευσης μαγνησίου για τα λιπάσματα με κομπόστ. Όλα τα είδη λιπάσματος, ελαττώνουν σημαντικά την αποδέσμευση μαγνησίου σε σύγκριση με το σκέτο κομπόστ. Το λίπασμα με μπεντονίτη συγκριτικά με τα υπόλοιπα ορυκτά λιπάσματα, παρουσιάζει μεγαλύτερη απελευθέρωση μαγνησίου στα πειράματα μέχρι τις 3 ημέρες η οποία στη συνέχεια φθίνει σε αντίθεση με το λίπασμα με παλιγορσκήτη το οποίο αρχικά παρουσιάζει μικρότερη αποδέσμευση μαγνησίου η οποία αυξάνεται μετά τις 3 ημέρες. Τέλος, το λίπασμα με καολίνη, αποδεσμεύει τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις μαγνησίου σε όλο το χρονικό διάστημα των 30 ημερών που εκτελέστηκε το πείραμα.





Σχήμα 9: Αθροιστική αποδέσμευση μαγνησίου των κινητικών πειραμάτων των λιπασμάτων με κομποστ.

Στον πίνακα 10, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των κινητικών πειραμάτων με φωσφορικά λιπάσματα. Οι συγκεντρώσεις μαγνησίου που απελευθερώνονται από το σκέτο φωσφορικό λίπασμα είναι μεγαλύτερες από αυτές των ορυκτών φωσφορικών λιπασμάτων. Το σκέτο φωσφορικό λίπασμα καθ' όλη τη χρονική διάρκεια των 30 ημερών, απελευθερώνει 2-4  $\mu\text{g/g}$  μαγνησίου. Τα ορυκτά φωσφορικά λιπάσματα εμφανίζουν σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις συγκριτικά με τα αποτελέσματα καλίου που αναφέρθηκαν στην παραπάνω ενότητα αλλά και σε σχέση με το σκέτο φωσφορικό λίπασμα. Το λίπασμα με καολίνη, αποδεσμεύει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μαγνησίου σε σύγκριση με το λίπασμα του μπετονίτη και του παλιγκορσκίτη. Επίσης η διαφορά των συγκεντρώσεων του μαγνησίου από τα πρώτα λεπτά έως τις 30 ημέρες κυμαίνεται από 1,17  $\mu\text{g/g}$  έως 1,5  $\mu\text{g/g}$  διατηρώντας μια σχετικά σταθερή αναλογία απελευθέρωσης σε όλο το χρονικό διάστημα εκτέλεσης του πειράματος. Το φωσφορικό λίπασμα με το μπετονίτη αποδεσμεύει την μικρότερη συγκέντρωση μαγνησίου καθ' όλη τη διάρκεια εκτέλεσης του πειράματος. Από τα 0-30 λεπτά η απελευθέρωση μαγνησίου είναι πολύ χαμηλή από 0,4-0,25  $\mu\text{g/g}$ . Μετά τα 30 λεπτά η απελευθέρωση αυξάνεται σε μικρό βαθμό διατηρώντας μια αναλογική απελευθέρωση της τάξης των 0,7  $\mu\text{g/g}$  περίπου. Επίσης, από τις 18 ώρες

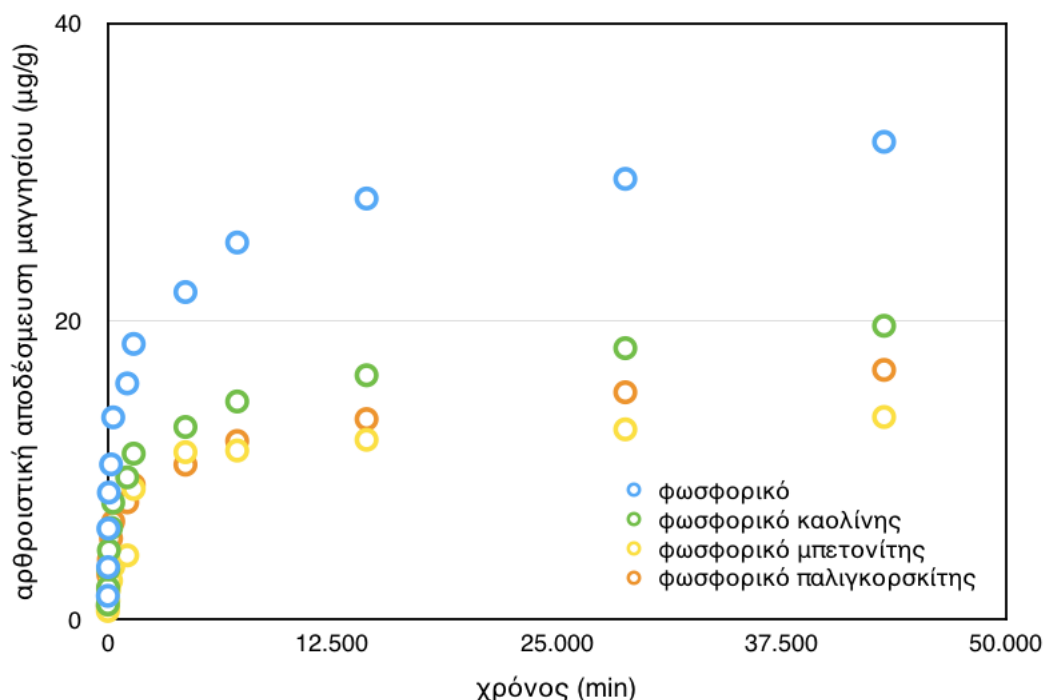
έως τις 3 ημέρες οι συγκεντρώσεις μαγνησίου είναι 2,5  $\mu\text{g/g}$  και 4  $\mu\text{g/g}$  αντίστοιχα, οι οποίες και πάλι είναι αρκετά χαμηλές. Στο λίπασμα με παλιγορσκήτη μέχρι τα πρώτα 60 λεπτά η συγκέντρωση μαγνησίου είναι περίπου 1  $\mu\text{g/g}$ , ενώ στη συνέχεια αυξάνεται ελαφρά (1,5  $\mu\text{g/g}$ ), για να παραμείνει σταθερή για όλο το χρονικό διάστημα των 30 ημερών. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι τα λίπασμα με καολίνη και το λίπασμα με παλιγορσκήτη, εμφανίζουν συγκρίσιμες συγκεντρώσεις αποδέσμευσης, με τον παλιγορσκήτη να παρέχει μικρότερες συγκεντρώσεις μαγνησίου σε σχέση με τον καολίνη.

Πίνακας 10: Αθροιστική απελευθέρωση μαγνησίου ( $\mu\text{g/g}$ ) από τα φωσφορικά λιπάσματα για τα κινητικά πειράματα.

Χρόνος (min)	Φωσφορικό κάλιο ( $\mu\text{g/g}$ )	Φωσφορικό κάλιο- Καολίνης ( $\mu\text{g/g}$ )	Φωσφορικό κάλιο- Μπεντονίτης ( $\mu\text{g/g}$ )	Φωσφορικό Κάλιο- Παλιγορσκήτης ( $\mu\text{g/g}$ )
0	1,55	0,98	0,54	0,84
15	3,48	2,10	0,94	1,99
30	6,06	3,33	1,23	2,96
60	8,48	4,61	1,95	4,00
180	10,37	6,12	2,57	5,40
300	13,53	7,81	3,51	6,55
1080	15,81	9,51	4,27	7,83
1440	18,46	11,10	8,73	9,01
4320	21,94	12,89	11,20	10,36
7200	25,27	14,60	11,31	11,95
14400	28,22	16,36	12,03	13,42
28800	29,54	18,18	12,73	15,22
43200	32,03	19,68	13,56	16,72

Στο σχήμα 10, παρουσιάζεται το διάγραμμα της απελευθέρωσης μαγνησίου από τα φωσφορικά λιπάσματα για τα κινητικά πειράματα. Οι αποδεσμευμένες συγκεντρώσεις μαγνησίου αρχικά αυξάνονται και στη συνέχεια σταθεροποιούνται και στα τέσσερα είδη λιπασμάτων. Πιο συγκεκριμένα, η καμπύλη του λιπάσματος με σκέτο φωσφορικό λίπασμα αποκλίνει σημαντικά από τα ορυκτά φωσφορικά λιπάσματα. Το φωσφορικό κάλιο με τον καολίνητη, εμφανίζει την αμέσως επόμενη μεγαλύτερη απελευθέρωση μαγνησίου. Τέλος, το φωσφορικό με τον παλιγορσκήτη, αρχικά παρουσιάζει σχετικά χαμηλή αποδέσμευση μαγνησίου, ενώ μετά από τις 5

ημέρες όμως ο ρυθμός αποδέσμευσης αυξάνεται ελάχιστα ξεπερνώντας αυτόν του φωσφορικού με τον μπεντονίτη.



Σχήμα 10: Αθροιστική αποδέσμευση μαγνησίου (μg/g) των κινητικών πειραμάτων των φωσφορικών λιπασμάτων.

#### 4.4.4: Αποδέσμευση μαγνησίου – Πειράματα Στηλών

Στον πίνακα 11, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των συγκεντρώσεων μαγνησίου των πειραμάτων των στηλών. Το σκέτο έδαφος παρουσιάζει αρκετά υψηλό ρυθμό αποδέσμευσης μαγνησίου, σχεδόν διπλάσιο από αυτές του εδάφους με κομπόστ. Ο ρυθμός απελευθέρωσης κυμαίνεται από περίπου 3 μg/g τις πρώτες ώρες έως 1.28 μg/g τα τελευταία χρονικά διαστήματα. Το έδαφος με κομπόστ, εμφανίζει σχεδόν διπλάσιο ρυθμό απελευθέρωσης μαγνησίου συγκριτικά με τα ορυκτά λιπάσματα. Τις πρώτες έξι ώρες ο ρυθμός απελευθέρωσης είναι 0.87 μg/g βαίνοντας σταδιακά ελαττούμενος σε 0.35 μg/g στις 9 ώρες, 0.32 μg/g στις 12 ώρες, 0.22 μg/g στις 16 ώρες, 0.22 μg/g στις 24 ώρες, 0.14 μg/g στις 30 ώρες και 0.11 μg/g στις 42 ώρες. Όσο αφορά τα ορυκτά λιπάσματα, το λίπασμα με το μπεντονίτη, απελευθερώνει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις μαγνησίου καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Οι συγκεντρώσεις μαγνησίου μειώνονται σταδιακά με το πέρασμα του χρόνου, γεγονός που συμβαίνει και με τα υπόλοιπα ορυκτά λιπάσματα. Στις 6 ώρες η απελευθέρωση μαγνησίου είναι 0.65 μg/g, στις 9 ώρες 0.58 μg/g, στις 12 ώρες 0.5

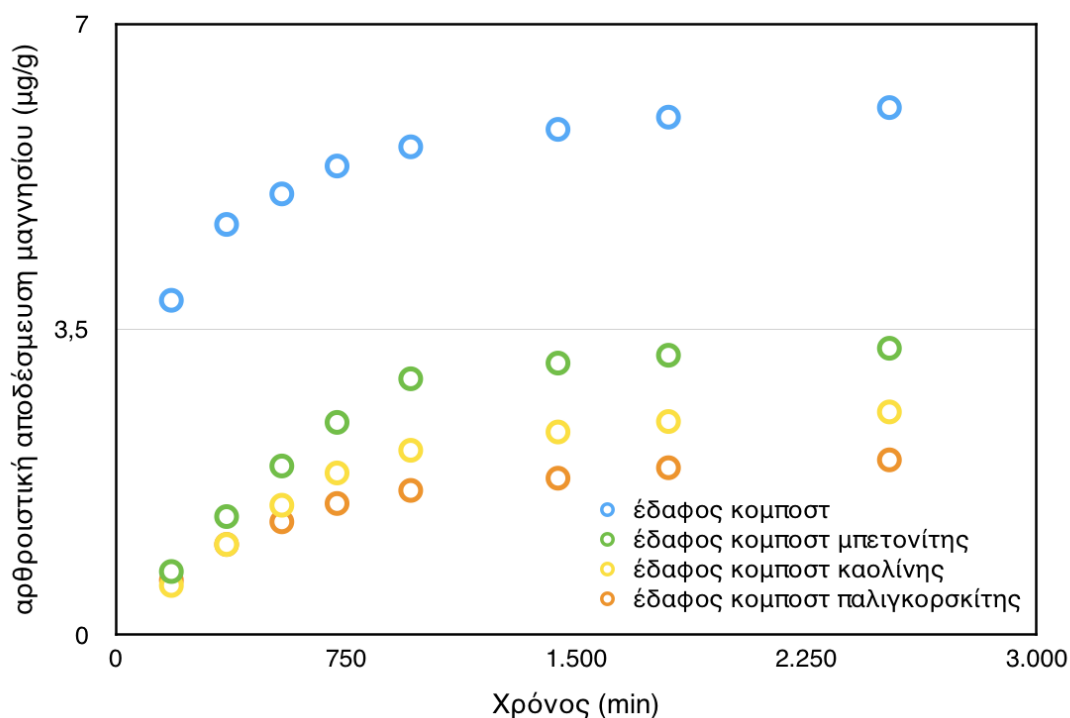
μg/g, στις 16 ώρες ελαττώνεται σημαντικά στα 0.18 μg/g, στις 24 ώρες είναι 0.09 και καταλήγει τις 42 ώρες με 0.08 μg/g. Το λίπασμα με καολίνη αρχικά απελευθερώνει τις μικρότερες συγκεντρώσεις μαγνησίου τις πρώτες 3 ώρες, οι οποίες όμως στη συνέχεια αυξάνονται. Πιο αναλυτικά, αποδεσμεύονται 0.46 μg/g στις 6 ώρες, 0.45 μg/g στις 9 ώρες, 0.37 μg/g στις 12 ώρες, 0.26 μg/g στις 16 ώρες και 0.21 μg/g στις 24 ώρες. Μετά τις 24 ώρες, η αποδέσμευση του μαγνησίου μειώνεται σημαντικά, 30 ώρες είναι 0.12 μg/g και 0.11 μg/g στις 42 ώρες. Το λίπασμα με παλιγορσκήτη αποδεσμεύει τις μικρότερες συγκεντρώσεις μαγνησίου καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος εκτός από τις πρώτες ώρες. Πιο αναλυτικά, τις πρώτες 6 ώρες οι συγκεντρώσεις είναι 0.44 μg/g, στις 9 ώρες είναι 0.26 μg/g και στις 12 ώρες είναι 0.21 μg/g. Μετά τις 12 ώρες ελαττώνεται περαιτέρω δηλαδή, στις 16 ώρες είναι 0.15 μg/g, στις 24 ώρες 0.14 μg/g, στις 30 ώρες 0.12 μg/g και στις 42 ώρες είναι 0.09 μg/g. Επίσης, στις 6 ώρες οι συγκεντρώσεις της αποδέσμευσης μαγνησίου από τα λιπάσματα με καολίνη και παλιγορσκήτη ταυτίζονται. Αν και το λίπασμα με καολίνη έχει μικρότερες συγκεντρώσεις μαγνησίου συγκριτικά με το λίπασμα του παλιγορσκήτη ωστόσο το δεύτερο έχει μικρότερες τιμές απελευθέρωσης μεταξύ των χρονικών διαστημάτων γι' αυτό έχει μικρότερα αποτελέσματα.

Πίνακας 11: Αθροιστική απελευθέρωση μαγνησίου (μg/g) των λιπασμάτων με κομπόστ στα πειράματα με στήλες.

Χρόνος (min)	Έδαφος- Κομπόστ (μg/g)	Έδαφος- Κομπόστ- Μπεντονίτης (μg/g)	Έδαφος- Κομπόστ- Καολίνης (μg/g)	Έδαφος- Κομπόστ- Παλιγορσκήτης (μg/g)
180	3,83	0,72	0,56	0,62
360	4,70	1,35	1,03	1,03
540	5,05	1,93	1,48	1,29
720	5,37	2,43	1,85	1,50
960	5,59	2,93	2,11	1,65
1440	5,79	3,11	2,32	1,79
1800	5,93	3,20	2,44	1,91
2520	6,04	3,28	2,55	2,00

Στο σχήμα 11, παρουσιάζονται τα διαγράμματα των αποδέσμευσης του μαγνησίου για τα πειράματα με τις στήλες από τα λιπάσματα με κομπόστ. Η αποδέσμευση μαγνησίου από το έδαφος είναι υψηλή συγκριτικά με αυτή των λιπασμάτων. Το έδαφος με κομπόστ εμφανίζει τις αμέσως επόμενες μεγαλύτερες συγκεντρώσεις

μαγνησίου. Η αποδέσμευση μαγνησίου τις πρώτες 3 ώρες είναι σχεδόν ταυτόσημη στα ορυκτά λιπάσματα. Η αποδέσμευση μαγνησίου από τα ορυκτά λιπάσματα και το κομπόστ σχεδόν σταθεροποιείται από τις πρώτες κιόλας ώρες.



Σχήμα 11: Αποτελέσματα αποδέσμευσης μαγνησίου (μg/g) στα πειράματα των στηλών από τα λιπάσματα με κομπόστ.

Στον πίνακα 12, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των κινητικών πειραμάτων αποδέσμευσης μαγνησίου από τα φωσφορικά λιπάσματα για τα πειράματα με τις στήλες. Το σκέτο έδαφος παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αποδέσμευση μαγνησίου. Η συγκέντρωση του αποδεσμευμένου μαγνησίου κυμαίνεται από 3.26 μg/g τις πρώτες ώρες έως 1.28 μg/g. Το έδαφος με φωσφορικό κάλιο αποδεσμεύει σχεδόν τις υποδιπλάσιες συγκεντρώσεις μαγνησίου συγκριτικά με το σκέτο το έδαφος. Πιο αναλυτικά, οι συγκεντρώσεις αποδέσμευσης μαγνησίου από το φωσφορικό κάλιο στις 6 πρώτες ώρες είναι 1.87 μg/g, στις 9 ώρες 1.23 μg/g, στις 12 ώρες 0.85 μg/g, στις 16 ώρες 0.77 μg/g, στις 24 ώρες 0.69, στις 30 ώρες 0.65 μg/g και στις 42 ώρες είναι 0.58 μg/g. Τα ορυκτά φωσφορικά λιπάσματα, παρουσιάζουν χαμηλές συγκεντρώσεις αποδέσμευσης μαγνησίου. Πιο αναλυτικά, το φωσφορικό λίπασμα με παλιγκορσκήτη, το οποίο φαίνεται να αποδεσμεύει τις μεγαλύτερες ποσότητες μαγνησίου συγκριτικά με τα άλλα δυο φωσφορικά λιπάσματα, τις πρώτες 6 ώρες

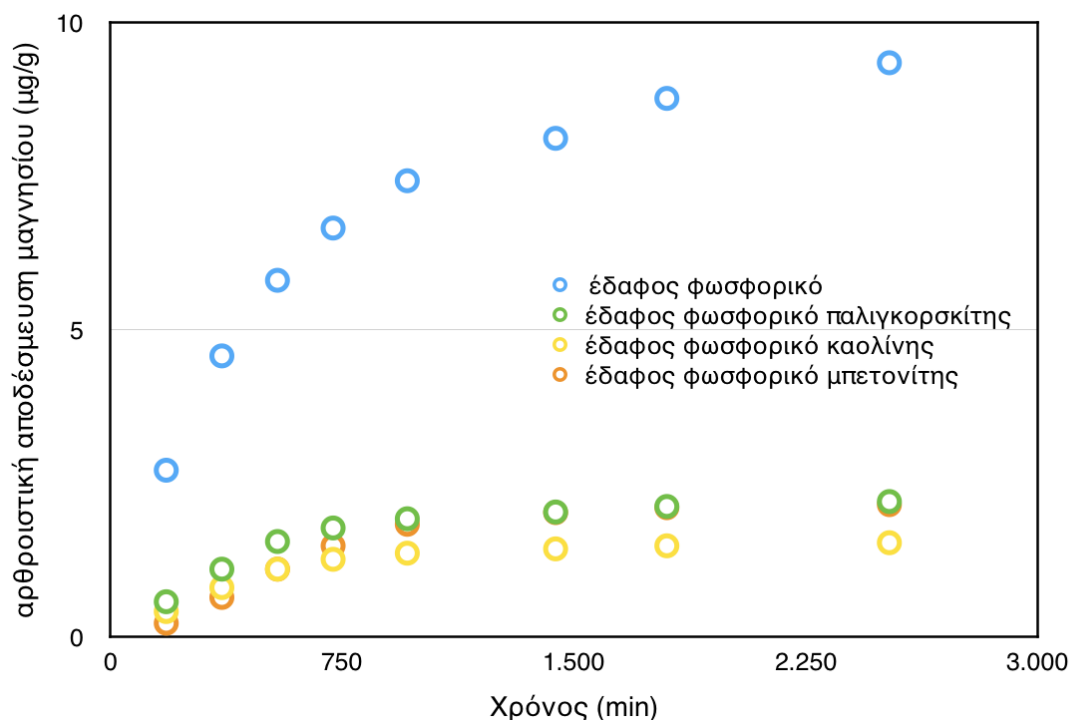
αποδεσμεύει 0.53  $\mu\text{g/g}$  μαγνησίου, στις 9 ώρες ο ρυθμός αποδέσμευσης μειώνεται σε 0.45  $\mu\text{g/g}$ . Μετά τις 12 ώρες ο ρυθμός αποδέσμευσης μαγνησίου ελαττώνεται σχεδόν στο μισό στα 0.22  $\mu\text{g/g}$ , στις 16 ώρες στα 0.15  $\mu\text{g/g}$ , στις 24 ώρες στα 0.11  $\mu\text{g/g}$ , στις 30 ώρες στα 0.09  $\mu\text{g/g}$  και στις 42 ώρες στα 0.08  $\mu\text{g/g}$ . Στο λίπασμα με καολινίτη, ο ρυθμός αποδέσμευσης μαγνησίου τις πρώτες 6 ώρες είναι 0.39  $\mu\text{g/g}$  και στις 9 ώρες 0.30  $\mu\text{g/g}$ . Μετά τις 12 ώρες ελαττώνεται σχεδόν κατά το ήμισυ και είναι ίση με 0.16  $\mu\text{g/g}$ , στις 16 ώρες ισούται με 0.10  $\mu\text{g/g}$ , στις 24 ώρες είναι 0.07  $\mu\text{g/g}$  και στις 30 και τις 42 ώρες 0.05  $\mu\text{g/g}$ . Τέλος, το λίπασμα με μπεντονίτη, τις πρώτες 6 ώρες αποδεσμεύει 0.46  $\mu\text{g}$  μαγνησίου ανά γραμμάριο λιπάσματος, στις 9 ώρες 0.42  $\mu\text{g/g}$ , στις 12 ώρες 0.38  $\mu\text{g/g}$ , στις 16 ώρες 0.35  $\mu\text{g/g}$ . Μετά τις 24 ώρες η αποδέσμευση μαγνησίου ελαττώνεται αισθητά στα 0.19  $\mu\text{g/g}$ , στις 30 ώρες στα 0.08  $\mu\text{g/g}$  και τέλος στις 42 ώρες στα 0.05  $\mu\text{g/g}$ . Συμπερασματικά, και τα τρία ορυκτά λιπάσματα απελευθερώνουν χαμηλές συγκεντρώσεις μαγνησίου, συγκριτικά η μικρότερη ανήκει στο λίπασμα με τον καολινίτη ενώ η μεγαλύτερη στο λίπασμα με τον παλιγορσκήτη.

Πίνακας 12: Αθροιστική απελευθέρωση μαγνησίου ( $\mu\text{g/g}$ ) από τα φωσφορικά λιπάσματα στα πειράματα με στήλες.

Χρόνος (min)	Έδαφος- Φωσφορικό κάλιο ( $\mu\text{g/g}$ )	Έδαφος- Φωσφορικό κάλιο- Παλιγορσκήτης ( $\mu\text{g/g}$ )	Έδαφος- Φωσφορικό κάλιο- Καολίνης ( $\mu\text{g/g}$ )	Έδαφος- Φωσφορικό κάλιο- Μπεντονίτης ( $\mu\text{g/g}$ )
180	2,71	0,57	0,41	0,22
360	4,57	1,10	0,80	0,64
540	5,80	1,55	1,10	1,10
720	6,65	1,77	1,26	1,48
960	7,42	1,92	1,36	1,83
1440	8,11	2,03	1,43	2,02
1800	8,76	2,12	1,48	2,10
2520	9,34	2,20	1,53	2,15

Στο σχήμα 12, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αποδέσμευσης του μαγνησίου από τα φωσφορικά λιπάσματα. Παρατηρούμε ότι το έδαφος εμφανίζει μεγαλύτερη αποδέσμευση συγκριτικά με τα λιπάσματα ακολουθούμενο από το έδαφος με φωσφορικό. Οι συγκεντρώσεις αποδέσμευσης του μαγνησίου από τα ορυκτά

λιπάσματα είναι συγκρίσιμες και τείνουν να σταθεροποιηθούν με την εξέλιξη του πειράματος.



Σχήμα 12: Αποτελέσματα αποδέσμευσης μαγνησίου (μg/g) από τα φωσφορικά λιπάσματα στα πειράματα με στήλες.

#### 4.4.5: Αποδέσμευση Φωσφόρου- Κινητικά Πειράματα

Στον πίνακα 13, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα αποδέσμευσης φωσφόρου των λιπασμάτων με κομπόστ από τα κινητικά πειράματα. Τα λιπάσματα με σκέτο κομπόστ εμφανίζουν τη μεγαλύτερη αποδέσμευση φωσφόρου. Τα πρώτα 30 λεπτά η αποδέσμευση είναι της τάξης των 6 μg/g, μέχρι τις 2 ώρες ελαττώνεται στα 5 μg/g και στη συνέχεια μέχρι το πέρας του πειράματος, η αποδέσμευση του φωσφόρου μειώνεται στα 3 μg/g. Όσον αφορά στα ορυκτά λιπάσματα, η απελευθέρωση μαγνησίου από το κομπόστ με καολινίτη, είναι περίπου της τάξης των 2 μg/g καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, εκτός από τις 6 ώρες όπου αυξάνεται στα 9 μg/g. Το λίπασμα με παλιγκορσκήτη, εμφανίζει τη μικρότερη αποδέσμευση φωσφόρου μέχρι την πρώτη ώρα (2 μg/g), ενώ από την πρώτη ώρα και μέχρι τις 24 ώρες η αποδέσμευση κυμαίνεται από 5 μg/g έως περίπου 9 μg/g. Μετά τις 24 ώρες η αποδέσμευση μειώνεται και πάλι από περίπου 4 μg/g στα 1.36 μg/g μετά τις 20

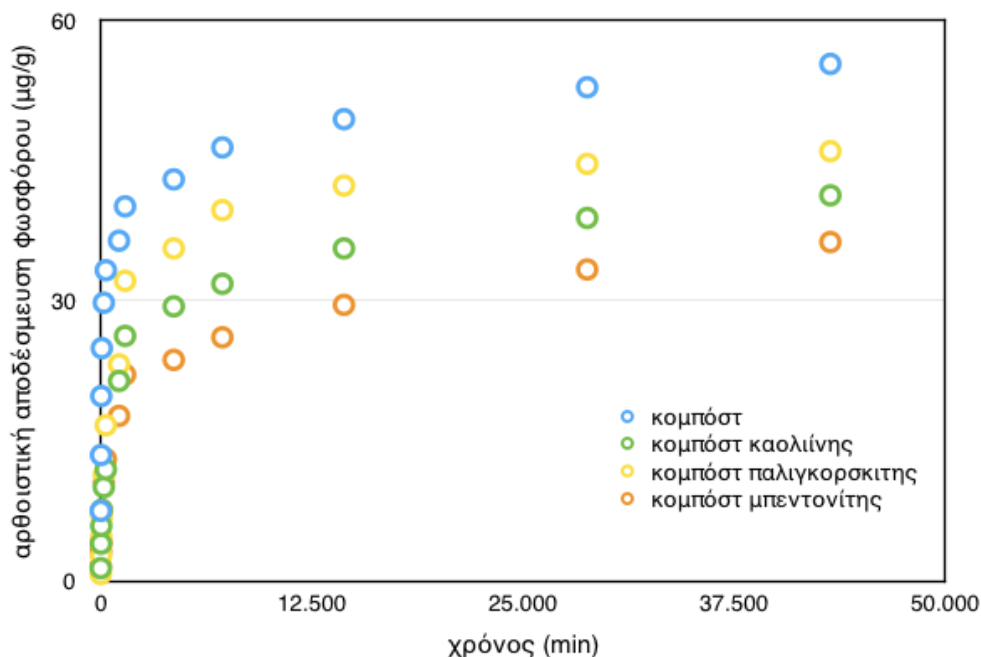
ημέρες. Επομένως το λίπασμα με παλιγορσκήτη αρχικά εμφανίζει τη χαμηλότερη αποδέσμευση φωσφόρου και καταλήγει στην αποδέσμευση των μεγαλύτερων συγκεντρώσεων φωσφόρου στο πέρας της πειραματικής διαδικασίας. Τέλος, το λίπασμα με μπεντονίτη, αποδεσμεύει τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις φωσφόρου μετά το πρώτο 24ωρο. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι στην συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία, το λίπασμα με μπεντονίτη παρουσιάζει τη μικρότερη αποδέσμευση μαγνησίου.

Πίνακας 63: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου από τα λιπάσματα με κομπόστ στα κινητικά πειράματα.

Χρόνος (min)	Κομπόστ (μg/g)	Κομπόστ-Καολίνης (μg/g)	Κομπόστ-Παλιγορσκήτης (μg/g)	Κομπόστ-Μπεντονίτης (μg/g)
0	7,49	1,36	0,73	1,57
15	13,47	3,99	2,68	3,15
30	19,79	5,89	4,73	4,10
60	24,92	7,62	6,83	7,57
180	29,78	10,04	11,36	10,52
300	33,27	11,94	16,67	13,04
1080	36,42	21,41	23,19	17,67
1440	40,11	26,24	32,14	22,09
4320	43,00	29,40	35,61	23,67
7200	46,42	31,82	39,71	26,09
14400	49,44	35,61	42,34	29,56
28800	52,86	38,87	44,66	33,35
43200	55,36	41,29	46,02	36,29

Στο σχήμα 13, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των κινητικών πειραμάτων συγκεντρωτικά. Την μεγαλύτερη αποδέσμευση φωσφόρου έχει ξεκάθαρα το σκέτο κομπόστ, έπεται το κομπόστ με καολίνη, στη συνέχεια στο κομπόστ με παλιγορσκήτη και τελευταίο είναι το κομπόστ με μπεντονίτη. Επίσης, τα δείγματα μας αρχικά τείνουν να έχουν αυξητικές τάσεις αποδέσμευσης ενώ στη συνέχεια αποδέσμευση τείνει να σταθεροποιηθεί.





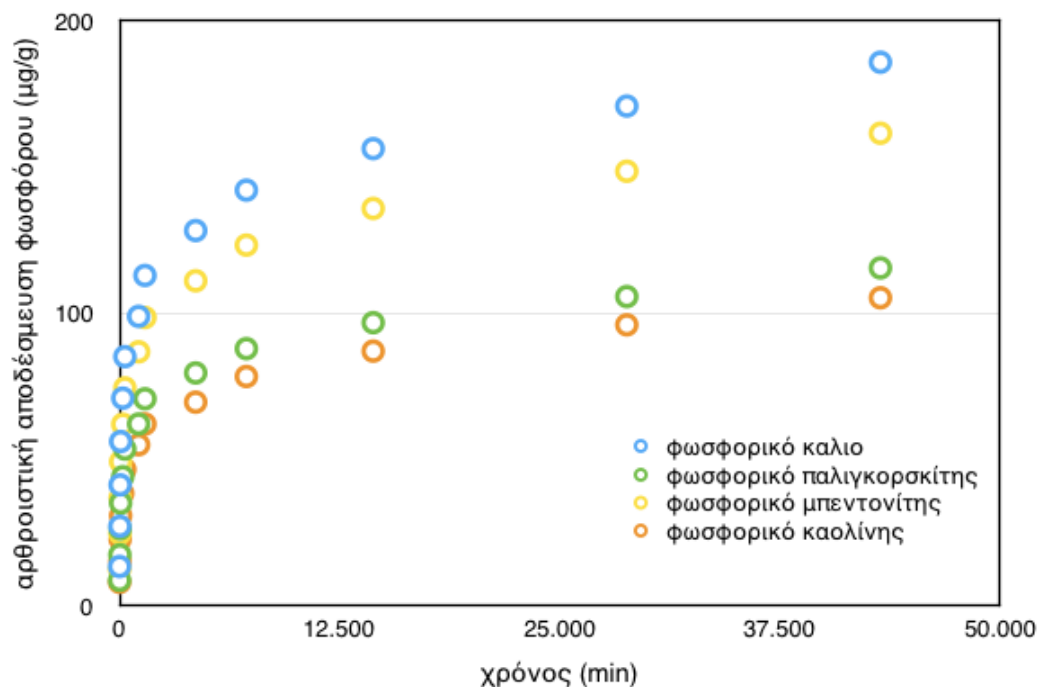
Σχήμα 13: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου των κινητικών πειραμάτων των λιπασμάτων με κομπόστ.

Στον πίνακα 14, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των κινητικών πειραμάτων για τα φωσφορικά λιπάσματα. Το σκέτο φωσφορικό κάλιο εμφανίζει τη μεγαλύτερη αποδέσμευση καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος 14-15  $\mu\text{g/g}$ . Όσον αφορά τα ορυκτά φωσφορικά λιπάσματα, ξεκινώντας από το φωσφορικό με παλιγκορσκήτη παρατηρούμε ότι τη πρώτη ώρα η απελευθέρωση φωσφόρου είναι 8  $\mu\text{g/g}$ , μετά τη μια ώρα και μέχρι τις 18 ώρες αυξάνεται στα 9-9,5  $\mu\text{g/g}$ , ενώ μετά τις 24 ώρες και ως τις 10 ημέρες ελαττώνεται και πάλι στα 8,5  $\mu\text{g/g}$ . Τις τελευταίες 20 ημέρες παρατηρείται μια μικρή αύξηση και πάλι στα 8,94  $\mu\text{g/g}$  και στις 30 ημέρες στα 9,79  $\mu\text{g/g}$ . Το φωσφορικό με μπεντονίτη, εμφανίζει τη μεγαλύτερη αποδέσμευση φωσφόρου. Συγκεκριμένα καθ' όλη τη χρονική διάρκεια του πειράματος αποδεσμεύονται περίπου 12  $\mu\text{g/g}$  ενώ τις τελευταίες 20-30 ημέρες αποδεσμεύονται 13  $\mu\text{g/g}$ . Τέλος, το φωσφορικό με καολίνη, εμφανίζει τη χαμηλότερη αποδέσμευση φωσφόρου συγκριτικά με τα υπόλοιπα δυο ορυκτά λιπάσματα. Πιο αναλυτικά, μέχρι τα πρώτα 30 λεπτά η αποδέσμευση φωσφόρου είναι περίπου 7  $\mu\text{g/g}$ , αυξανόμενη στη συνέχεια και μέχρι το πρώτο 24ωρο περίπου στα 8  $\mu\text{g/g}$ . Μετά το πρώτο 24ωρο μέχρι τις 3 ημέρες μειώνεται και πάλι στα 7  $\mu\text{g/g}$ , ενώ από τις 5 ημέρες μέχρι τις 20 ημέρες η αποδέσμευση φωσφόρου αυξάνεται στα 8,8  $\mu\text{g/g}$  ενώ στις 30 ημέρες αυξάνεται περαιτέρω στα 9,26  $\mu\text{g/g}$ .

Πίνακας 14: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου (μg/g) από τα φωσφορικά λιπάσματα στα κινητικά πειράματα.

Χρόνος (min)	Φωσφορικό κάλιο (μg/g)	Φωσφορικό κάλιο- Παλιγορσκήτης (μg/g)	Φωσφορικό κάλιο- Μπεντονίτης (μg/g)	Φωσφορικό κάλιο- Καολίνης (μg/g)
0	13,36	8,62	12,36	7,94
15	27,14	17,38	24,64	15,20
30	41,29	26,27	36,84	22,67
60	56,12	35,06	49,21	30,77
180	70,96	44,08	62,04	38,40
300	85,16	53,55	74,46	46,55
1080	98,94	62,12	86,82	55,02
1440	112,94	70,75	98,55	62,12
4320	128,30	79,59	111,12	69,59
7200	142,13	87,90	123,33	78,38
14400	156,34	96,79	135,87	87,06
28800	170,91	105,73	148,60	96,05
43200	185,90	115,52	161,60	105,31

Στο σχήμα 14, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αποδέσμευσης φωσφόρου από τα φωσφορικά λιπάσματα στα κινητικά πειράματα. Η αποδέσμευση φωσφόρου αυξάνεται γρήγορα τις πρώτες ώρες ενώ μετά το 24ωρο τείνει να σταθεροποιηθεί και στα τέσσερα είδη λιπασμάτων. Το σκέτο φωσφορικό κάλιο, εμφανίζει τη μεγαλύτερη αποδέσμευση ακολουθούμενο από το φωσφορικό με τον μπεντονίτη, έπεται το φωσφορικό με τον παλιγορσκήτη και τέλος το φωσφορικό με τον καολίνη.



Σχήμα 14: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου (μg/g) των κινητικών πειραμάτων των φωσφορικών λιπασμάτων.

#### 4.4.6: Αποτελέσματα φωσφόρου-Πειράματα Στηλών

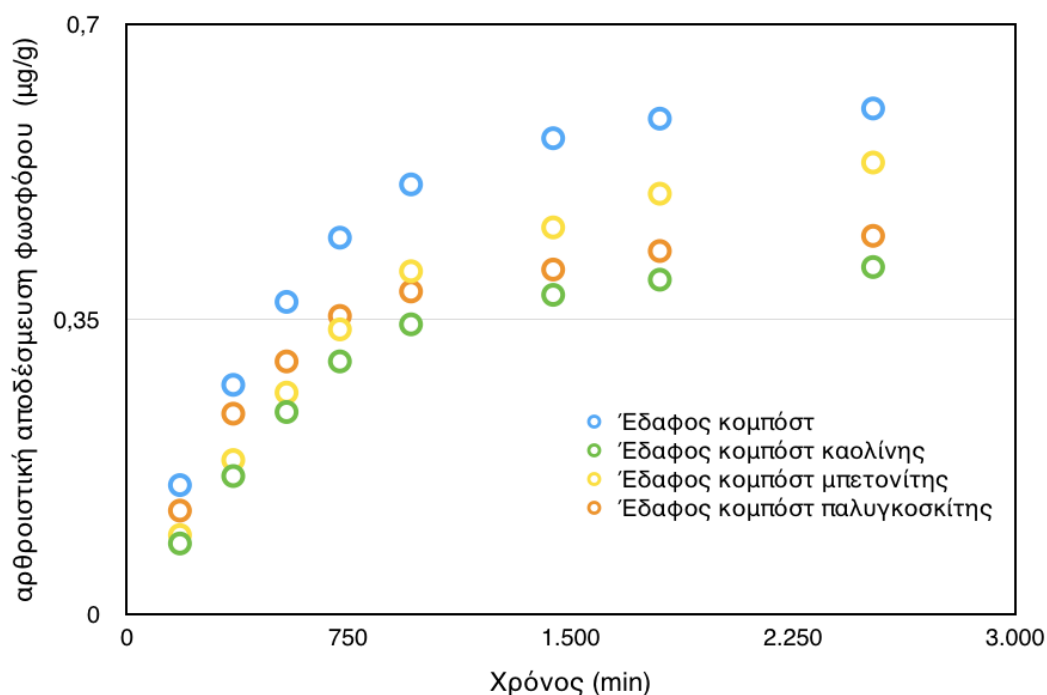
Στον πίνακα 15, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων σε στήλες για τα λιπάσματα με κομπόστ. Το σκέτο κομπόστ εμφανίζει τη μεγαλύτερη αποδέσμευση. Συγκεκριμένα τις πρώτες 6 ώρες η αποδέσμευση φωσφόρου είναι 0,12 μg/g, στις 9 ώρες 0,1 μg/g, μετά τις 12 ώρες και ως τις 16 ώρες ελαττώνεται στα 0,07 μg/g, στις 24 ώρες είναι 0,05 μg/g ενώ στις 30 ώρες και τις 42 ώρες μειώνεται ακόμη περισσότερο στα 0,02 μg/g. Όσον αφορά τα ορυκτά λιπάσματα, το λίπασμα με κομπόστ και καολίνη, εμφανίζει τη μικρότερη αποδέσμευση. Πιο αναλυτικά, τις πρώτες 6 ώρες η αποδέσμευση φωσφόρου είναι 0,08 μg/g, στις 9 ώρες 0,076 μg/g, στις 12 ώρες 0,06 μg/g, στις 16 ώρες ισούται με 0,044 μg/g, στις 24 ώρες είναι 0,036 μg/g, ενώ στις 30 ώρες μειώνεται στα 0,012 μg/g και στις 42 ώρες στα 0,015 μg/g. Το λίπασμα με κομπόστ και μπεντονίτη, στις 6 ώρες εμφανίζει αποδέσμευση φωσφόρου 0,089 μg/g, στις 9 ώρες 0,08 μg/g, στις 12 ώρες 0,075 μg/g, στις 16 ώρες 0,069 μg/g, στις 24 ώρες 0,052 μg/g, στις 30 ώρες 0,04 μg/g και στις 42 ώρες 0,037 μg/g. Τέλος, το λίπασμα με παλιγκορσκίτη εμφανίζει επίσης μεγάλη αποδέσμευση φωσφόρου και συγκεκριμένα τις πρώτες 6 ώρες 0,115 μg/g, στις 9 ώρες 0,062 μg/g και στις 12 ώρες

0,054  $\mu\text{g/g}$ . Μετά τις 12 ώρες η αποδέσμευση μειώνεται αρκετά και στις 16 ώρες είναι 0,029  $\mu\text{g/g}$ , στις 24 ώρες 0,026  $\mu\text{g/g}$ , στις 30 ώρες 0,022  $\mu\text{g/g}$  και στις 42 ώρες 0,018  $\mu\text{g/g}$ . Συμπερασματικά, παρατηρούμε ότι τα ορυκτά λιπάσματα, έχουν χαμηλότερες τιμές απελευθέρωσης συγκριτικά με το σκέτο κομπόστ καθ' όλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας. Επίσης, το λίπασμα με καολίνη εμφανίζει τη χαμηλότερη αποδέσμευση σε αντίθεση με το λίπασμα με παλιγκορσκήτη το οποίο εμφανίζει μεγαλύτερη αποδέσμευση.

Πίνακας 7: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου ( $\mu\text{g/g}$ ) από τα λιπάσματα με κομπόστ στα πειράματα με στήλες.

Χρόνος (min)	Έδαφος-Κομπόστ ( $\mu\text{g/g}$ )	Έδαφος-Κομπόστ- Καολίνης( $\mu\text{g/g}$ )	Έδαφος-Κομπόστ- Μπεντονίτης ( $\mu\text{g/g}$ )	Έδαφος-Κομπόστ- Παλιγκορσκήτης ( $\mu\text{g/g}$ )
180	0,15	0,084	0,094	0,123
360	0,27	0,164	0,183	0,238
540	0,37	0,240	0,263	0,300
720	0,44	0,300	0,338	0,354
960	0,51	0,344	0,407	0,383
1440	0,56	0,379	0,459	0,409
1800	0,58	0,397	0,499	0,431
2520	0,60	0,412	0,536	0,449

Στο παρακάτω σχήμα 15, φαίνονται τα αποτελέσματα αποδέσμευσης φωσφόρου από τα λιπάσματα με κομπόστ στα πειράματα με στήλες. Η αποδέσμευση αυξάνεται τις πρώτες ώρες ενώ στην πορεία τείνει να σταθεροποιηθεί. Το σκέτο κομπόστ εμφανίζει τη μεγαλύτερη αποδέσμευση, έπεται το κομπόστ με το μπεντονίτη, στη συνέχεια τα κομπόστ με παλιγκορσκήτη, το οποίο μέχρι τις 12 ώρες εμφανίζει μεγαλύτερη αποδέσμευση φωσφόρου από τον μπεντονίτη και τελευταίο είναι το κομπόστ με καολίνη.



Σχήμα 15: Αποτελέσματα αποδέσμευσης φωσφόρου (μg/g) από τα λιπάσματα με κομπόστ στα πειράματα με στήλες.

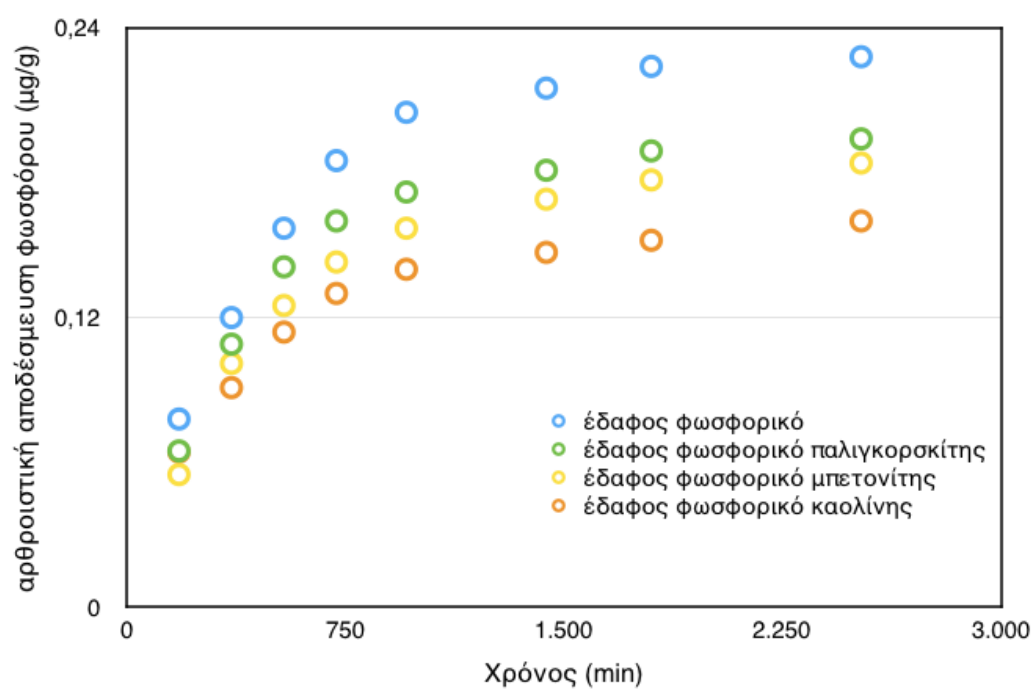
Στον πίνακα 16, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων σε στήλες για τα φωσφορικά λιπάσματα. Το έδαφος με σκέτο φωσφορικό κάλιο εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές αποδέσμευσης φωσφόρου, 0.042 μg/g στις 6 ώρες, 0.037 μg/g στις 9 ώρες, 0.028 μg/g στις 12 ώρες, 0.02 μg/g στις 16 ώρες, 0.01 μg/g στις 24 ώρες, 0.009 μg/g στις 30 ώρες και 0.004 μg/g στις 42 ώρες. Όσον αφορά στα ορυκτά λιπάσματα, ξεκινώντας από το λίπασμα με παλιγκορσκήτη, βλέπουμε ότι η αποδέσμευση φωσφόρου στις 6 ώρες είναι 0,0442 μg/g, στις 9 ώρες 0,032 μg/g, στις 12 ώρες 0,019 μg/g, στις 24 ώρες 0,009 μg/g, στις 30 ώρες 0,008 μg/g και στις 42 0,007 μg/g. Στο λίπασμα με μπεντονίτη, τις πρώτες 6 ώρες είναι 0,046 μg/g, στις 9 ώρες 0,024 μg/g, στις 12 ώρες 0,018 μg/g, στις 16 ώρες 0,014 μg/g, στις 24 ώρες 0,012 μg/g, στις 30 ώρες 0,008 μg/g και στις 42 ώρες 0,007 μg/g. Τέλος, το λίπασμα με καολίνη, εκτός από τις πρώτες 3 ώρες, όλο το υπόλοιπο χρονικό διάστημα του πειράματος εμφανίζει τη χαμηλότερη αποδέσμευση. Πιο αναλυτικά, τις πρώτες 6 ώρες η αποδέσμευση φωσφόρου είναι 0,0267 μg/g, στις 9 ώρες 0,023 μg/g, στις 12 ώρες είναι 0,016 μg/g, στις 16 ώρες ισούται με 0,01 μg/g, στις 24 ώρες είναι 0,007 μg/g, στις 30 ώρες 0,005 μg/g και στις 42 ώρες είναι 0,004 μg/g. Συμπερασματικά, το λίπασμα με τον καολίνη εμφανίζει τη χαμηλότερη αποδέσμευση, καθ' όλη τη διάρκεια

του χρονικού πειράματος. Επίσης, παρατηρούμε ότι στο λίπασμα με παλιγκορσκήτη, μετά τις 9 ώρες μειώνεται σημαντικά η αποδέσμευση φωσφόρου.

Πίνακας 16: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου (μg/g) από τα φωσφορικά λιπάσματα στα πειράματα με στήλες.

Χρόνος (min)	Έδαφος - φωσφορικό κάλιο (μg/g)	Έδαφος - φωσφορικό κάλιο- Παλιγκορσκήτης (μg/g)	Έδαφος - φωσφορικό κάλιο- Μπεντονίτης (μg/g)	Έδαφος φωσφορικό κάλιο- Καολίνης (μg/g)
180	0,078	0,0648	0,055	0,0643
360	0,120	0,109	0,101	0,091
540	0,157	0,141	0,125	0,114
720	0,185	0,160	0,143	0,130
960	0,205	0,172	0,157	0,140
1440	0,215	0,181	0,169	0,147
1800	0,224	0,189	0,177	0,152
2520	0,228	0,194	0,184	0,160

Στο σχήμα 18, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων με τα φωσφορικά λιπάσματα σε στήλες. Το σκέτο φωσφορικό κάλιο εμφανίζει τη μεγαλύτερη αποδέσμευση φωσφόρου σε σχέση με τα ορυκτά φωσφορικά λιπάσματα, ιδιαίτερα, μετά τις πρώτες 6 ώρες. Το επόμενο φωσφορικό λίπασμα με την αμέσως μεγαλύτερη αποδέσμευση είναι αυτό που περιέχει παλιγκορσκήτη, στη συνέχεια έρχεται το φωσφορικό με τον μπεντονίτη και τέλος το φωσφορικό με τον καολίνη. Τέλος, όλα τα είδη λιπασμάτων τις πρώτες ώρες εμφανίζουν αυξητική τάση αποδέσμευσης φωσφόρου, η οποία στη συνέχεια τείνει να σταθεροποιηθεί.



Σχήμα 16: Αποτελέσματα αποδέσμευσης φωσφόρου (μg/g) από τα φωσφορικά λιπάσματα στα πειράματα με στήλες.

## Κεφάλαιο 5: Σύνθεση-Συμπεράσματα

Στην παρούσα ερευνητική εργασία, παρασκευάστηκαν 6 διαφορετικοί τύποι λιπασμάτων αργής απελευθέρωσης θρεπτικών συστατικών, τα οποία αποτελούνταν από κομπόστ ή φωσφορικό κάλιο και αναμείχθηκαν με καολίνη, μπεντονίτη και παλιγκορσκήτη. Εξετάζοντας τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας, ελέγχθηκε η αποτελεσματικότητα τους ως προς τον ρυθμό απελευθέρωσης των θρεπτικών συστατικών συγκριτικά με τα κοινά λιπάσματα.

Στα αποτελέσματα των κινητικών πειραμάτων των λιπασμάτων αποδέσμευσης καλίου από τα λιπάσματα με κομπόστ παρατηρήθηκε ότι τη μικρότερη αποδέσμευση είχε το λίπασμα που αποτελούνταν από παλιγκορσκήτη καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος απελευθερώνοντας συνολικά 155.01  $\mu\text{g/g}$ . Μεταξύ των άλλων δυο ορυκτών, την αμέσως επόμενη χαμηλότερη αποδέσμευση καλίου μέχρι τα πρώτα 15 λεπτά έχει το κομπόστ με τον καολίνη το οποίο αποδεσμεύει 22.53  $\mu\text{g/g}$ , ενώ από τα 30 λεπτά έως τις 30 ημέρες μικρότερη αποδέσμευση καλίου εμφανίζει το κομπόστ με μπεντονίτη αποδεσμεύοντας 168.59  $\mu\text{g/g}$  και τελευταίο το κομπόστ με καολίνη με αποδέσμευση συνολικά 170.54  $\mu\text{g/g}$ . Όσο αφορά τα φωσφορικά λιπάσματα, το φωσφορικό κάλιο με μπεντονίτη εμφάνισε τη χαμηλότερη αποδέσμευση καλίου ίση με 81.48  $\mu\text{g/g}$  καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, ενώ μεταξύ των άλλων δυο φωσφορικών ορυκτών λιπασμάτων την αμέσως επόμενη χαμηλότερη αποδέσμευση είχε το φωσφορικό κάλιο με καολίνη έως τις 5 ημέρες αποδεσμεύοντας 73.37  $\mu\text{g/g}$  ενώ από τις 10 ημέρες έως τις 30 ημέρες τη χαμηλότερη αποδέσμευση καλίου είχε το φωσφορικό κάλιο με παλιγκορσκήτη αποδεσμεύοντας συνολικά 83.27  $\mu\text{g/g}$ .

Στα πειράματα με στήλες, τη μικρότερη αποδέσμευση καλίου εμφάνισε το κομπόστ με παλιγκορσκήτη απελευθερώνοντας συνολικά 8.65  $\mu\text{g/g}$ . Μεταξύ των άλλων δυο ορυκτών λιπασμάτων, το κομπόστ με μπεντονίτη είχε τη χαμηλότερη αποδέσμευση καλίου έως τις 6 ώρες ίση με 4.82  $\mu\text{g/g}$ , ενώ από τις 9 ώρες έως τις 42 ώρες το κομπόστ με καολίνη είχε μικρότερη αποδέσμευση η οποία ισούται με 10.88  $\mu\text{g/g}$ . Για τα φωσφορικά λιπάσματα, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μέχρι τις 9 ώρες τη χαμηλότερη αποδέσμευση καλίου είχε το φωσφορικό με καολίνη η οποία ισοδυναμεί 2.89  $\mu\text{g/g}$ , στις 12 ώρες το φωσφορικό κάλιο με παλιγκορσκήτη το οποίο αποδεσμεύει 3.04  $\mu\text{g/g}$ , ενώ το φωσφορικό κάλιο με μπεντονίτη είχε τη μεγαλύτερες τιμές



απελευθέρωσης καλίου, σε όλο το εύρος των 42 ωρών που διήρκησε το πείραμα αποδεσμεύοντας συνολικά 6.92  $\mu\text{g/g}$ .

Τα αποτελέσματα αποδέσμευσης μαγνησίου για τα κινητικά πειράματα των λιπασμάτων με κομπόστ, έδειξαν ότι τη χαμηλότερη τιμή αποδέσμευσης έως τα πρώτα 15 λεπτά είχε το κομπόστ με παλιγορσκήτη η οποία ισοδυναμεί με 6.50  $\mu\text{g/g}$ , ενώ από τα 30 λεπτά έως τις 30 ημέρες το κομπόστ με καολίνη το οποίο αποδεσμεύει συνολικά 47.63  $\mu\text{g/g}$ . Το κομπόστ με μπεντονίτη, είχε τις υψηλότερες τιμές αποδέσμευσης έως τις 5 ημέρες αποδεσμεύοντας 40.65  $\mu\text{g/g}$ , ενώ από τη 5 ημέρες έως τις 30 ημέρες μειώνεται αποδεσμεύοντας συνολικά 49.65  $\mu\text{g/g}$ , σε αντίθεση με το κομπόστ με παλιγορσκήτη του οποίου η αποδέσμευση αυξάνεται από τις 5 έως τις 30 ημέρες καταλήγοντας στην μεγαλύτερη αποδέσμευση μαγνησίου ίση με 60.15  $\mu\text{g/g}$ . Όσο αφορά την αποδέσμευση μαγνησίου των κινητικών πειραμάτων των φωσφορικών λιπασμάτων, τη χαμηλότερη αποδέσμευση εμφανίζει το λίπασμα με φωσφορικό κάλιο και μπεντονίτη το οποίο αποδεσμεύει συνολικά 13.56  $\mu\text{g/g}$ . Το αμέσως επόμενο ορυκτό λίπασμα με χαμηλότερη απελευθέρωση μαγνησίου είναι το φωσφορικό κάλιο με παλιγορσκήτη απελευθερώνοντας συνολικά 16.72  $\mu\text{g/g}$  και τελευταίο, με τη μεγαλύτερη αποδέσμευση μαγνησίου είναι το φωσφορικό κάλιο με καολίνη το οποίο απελευθερώνει συνολικά 19.68  $\mu\text{g/g}$ .

Στα πειράματα με στήλες, το λίπασμα με κομπόστ και καολίνη είχε τη μικρότερη απελευθέρωση μαγνησίου για τα πρώτα λεπτά ίση με 0.56  $\mu\text{g/g}$ . Στις 6 ώρες, το κομπόστ με καολίνη και το κομπόστ με παλιγορσκήτη, έχουν ακριβώς την ίδια αποδέσμευση 1.03  $\mu\text{g/g}$ , ωστόσο μετά τις 6 ώρες το κομπόστ με παλιγορσκήτη εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές αποδέσμευσης μέχρι την ολοκλήρωση των 42 ωρών που διήρκησε το πείραμα αποδεσμεύοντας συνολικά 2.00  $\mu\text{g/g}$ , στη συνέχεια το κομπόστ με καολίνη αποδεσμεύοντας 2.55  $\mu\text{g/g}$  και τελευταίο το κομπόστ με μπεντονίτη, απελευθερώνοντας συνολικά 3.28  $\mu\text{g/g}$ . Τα αποτελέσματα των φωσφορικών λιπασμάτων, έδειξαν ότι τις πρώτες 6 ώρες τη μικρότερη αποδέσμευση μαγνησίου είχε το λίπασμα με φωσφορικό κάλιο και μπεντονίτη απελευθερώνοντας 0.64  $\mu\text{g/g}$ . Στις 9 ώρες ωστόσο, το φωσφορικό κάλιο με μπεντονίτη και το φωσφορικό κάλιο με καολίνη εμφανίζουν ταυτόσημη αποδέσμευση μαγνησίου ίση με 1.10  $\mu\text{g/g}$ . Στις 12 ώρες τις χαμηλότερες τιμές απελευθέρωσης εμφανίζει το φωσφορικό κάλιο με καολίνη έως τις 42 ώρες αποδεσμεύοντας συνολικά 1.53  $\mu\text{g/g}$ , ενώ τις υψηλότερες τιμές αποδέσμευσης είχε το φωσφορικό κάλιο με παλιγορσκήτη απελευθερώνοντας συνολικά 2.20  $\mu\text{g/g}$ .

Τα αποτελέσματα αποδέσμευσης φωσφόρου των κινητικών πειραμάτων των λιπασμάτων με κομπόστ, έδειξαν ότι τη χαμηλότερη αποδέσμευση μέχρι τα πρώτα 15 λεπτά είχε το κομπόστ με παλιγορσκήτη απελευθερώνοντας 2.68 μg/g, από τα 15 λεπτά έως τα 30 λεπτά τη μικρότερη απελευθέρωση φωσφόρου είχε το κομπόστ με μπεντονίτη αποδεσμεύοντας 4.10 μg/g, στη 1 ώρα το κομπόστ με παλιγορσκήτη απελευθερώνει 6.83 μg/g, στις 3 ώρες έως τις 5 ώρες το κομπόστ με καολίνη αποδεσμεύει 11.94 μg/g και μετά τις 18 ώρες έως τις 30 ημέρες το κομπόστ με μπεντονίτη εμφανίζει τη χαμηλότερη αποδέσμευση φωσφόρου ίση με 36.29 μg/g. Τη αμέσως επόμενη μεγαλύτερη αποδέσμευση φωσφόρου είχε το κομπόστ με καολίνη το οποίο αποδεσμεύει συνολικά 41.29 μg/g και τελευταίο το κομπόστ με παλιγορσκήτη απελευθερώνοντας 46.02 μg/g. Όσο αφορά τα φωσφορικά λιπάσματα, τη μικρότερη αποδέσμευση είχε το φωσφορικό κάλιο με καολίνη απελευθερώνοντας συνολικά 105.31 μg/g, ενώ την υψηλότερη αποδέσμευση είχε το φωσφορικό με μπεντονίτη με συνολικά αποδέσμευση ίση με 161.60 μg/g.

Στα πειράματα με στήλες, το κομπόστ με καολίνη έδειξε τη χαμηλότερη αποδέσμευση φωσφόρου καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος απελευθερώνοντας συνολικά 0.412 μg/g. Ανάμεσα στα άλλα δυο ορυκτά λιπάσματα, από τις 3 ώρες έως τις 12 ώρες τις χαμηλότερες τιμές αποδέσμευσης είχε το κομπόστ με μπεντονίτη απελευθερώνοντας 0.338 μg/g, ενώ από τις 16 ώρες έως τις 42 ώρες το κομπόστ με παλιγορσκήτη αποδεσμεύει συνολικά 0.449 μg/g. Όσο αφορά τα φωσφορικά λιπάσματα, τη χαμηλότερη αποδέσμευση φωσφόρου για τις πρώτες 3 ώρες είχε το φωσφορικό κάλιο με μπεντονίτη απελευθερώνοντας 0.055 μg/g, ενώ μετά τις 6 ώρες έως τις 42 ώρες τη μικρότερη απελευθέρωση φωσφόρου είχε το φωσφορικό κάλιο με καολίνη αποδεσμεύοντας συνολικά 0.160 μg/g. Στη συνέχεια το αμέσως επόμενο ορυκτό λίπασμα με τις χαμηλότερες τιμές αποδέσμευσης είναι το φωσφορικό κάλιο με μπεντονίτη με συνολική απελευθέρωση ίση με 0.184 μg/g και τελευταίο το φωσφορικό κάλιο με παλιγορσκήτη αποδεσμεύοντας συνολικά 0.194 μg/g.

Στα κινητικά πειράματα για τα λιπάσματα με κομπόστ, χαμηλότερη αποδέσμευση καλίου είχε το κομπόστ με παλιγορσκήτη (0.155 μg/g), χαμηλότερη αποδέσμευση μαγνησίου είχε το κομπόστ με καολίνη (47.63 μg/g) και χαμηλότερη αποδέσμευση φωσφόρου το κομπόστ με μπεντονίτη (36.29 mg/g). Για τα φωσφορικά λιπάσματα, αντίστοιχα, παρατηρούμε ότι, χαμηλότερη αποδέσμευση καλίου (81.48 μg/g) και μαγνησίου (13.56 μg/g) είχε το φωσφορικό κάλιο με μπεντονίτη ενώ χαμηλότερη απελευθέρωση φωσφόρου έχει το φωσφορικό κάλιο με καολίνη (105.31 μg/g). Στα

πειράματα με στήλες τη χαμηλότερη αποδέσμευση καλίου (8.65  $\mu\text{g/g}$ ) και μαγνησίου (2.00  $\mu\text{g/g}$ ) είχε το κομπόστ με παλιγορσκίτη ενώ τη χαμηλότερη αποδέσμευση φωσφόρου έχει το κομπόστ με καολίνη (0.412  $\mu\text{g/g}$ ). Αντίστοιχα, για τα φωσφορικά λιπάσματα, τη χαμηλότερη αποδέσμευση καλίου έχει το φωσφορικό κάλιο με παλιγορσκίτη (3.31  $\mu\text{g/g}$ ), ενώ τη μικρότερη αποδέσμευση μαγνησίου (1.53  $\mu\text{g/g}$ ) και φωσφόρου (0.160 m είχε το φωσφορικό κάλιο με καολίνη.

Βάση των αποτελεσμάτων της πειραματικής διαδικασίας για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης ερευνητικής εργασίας, προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Η χρήση καολίνη, παλιγορσκίτη και μπεντονίτη σε συνδυασμό με κομπόστ και φωσφορικό κάλιο συντελούν στην αργή αποδέσμευση καλίου, του μαγνησίου και του φωσφόρου στο έδαφος και στον εμπλουτισμό του με θρεπτικά συστατικά.
2. Και τα 6 είδη λιπασμάτων συντέλεσαν στην αργή αποδέσμευση των θρεπτικών συστατικών, δηλαδή μαγνησίου, φωσφόρου και καλίου, ενώ οι σχετικές διαφορές μεταξύ των τιμών τους ήταν μικρές. Αντίθετα, στα λιπάσματα χωρίς ορυκτά, όπου οι διαφορές στην αποδέσμευση ήταν μεγάλες.
3. Γενικά παρατηρούμε ότι τόσο στα κινητικά πειράματα, όσο και στα πειράματα με στήλες τα λιπάσματα με κομπόστ εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές αποδέσμευσης καλίου συγκριτικά με τα φωσφορικά λιπάσματα. Η χρήση ορυκτών ωστόσο μειώνει αισθητά την αποδέσμευση καλίου και στα δυο είδη λιπασμάτων.
4. Στα φωσφορικά λιπάσματα παρατηρούμε μικρότερη αποδέσμευση μαγνησίου συγκριτικά με τα λιπάσματα με κομπόστ τόσο στα κινητικά πειράματα όσο και στα πειράματα με στήλες. Με τη χρήση ορυκτών η αποδέσμευση μειώνεται κατακόρυφα, τόσο για το κομπόστ όσο και για το φωσφορικό. Επίσης, οι διαφορές στην αποδέσμευση από τα δυο λιπάσματα μετά την προσθήκη ορυκτών είναι πολύ μικρές.
5. Όσο αφορά την αποδέσμευση φωσφόρου, το φωσφορικά λιπάσματα εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές απελευθέρωσης συγκριτικά με τα λιπάσματα με κομπόστ στα κινητικά πειράματα ενώ στα πειράματα των στηλών συμβαίνει το αντίθετο αν και η διαφορά των τιμών τους είναι πολύ μικρή, μετά την προσθήκη ορυκτών. Επίσης, τα φωσφορικά λιπάσματα τείνουν να συγκρατούν περισσότερο κάλιο, μαγνήσιο και φώσφορο συγκριτικά με τα λιπάσματα με κομπόστ.

6. Γενικότερα, συμπεραίνουμε ότι η χρήση των αργιλικών ορυκτών στα λιπάσματα παίζει καθοριστικό ρόλο στην αργή απελευθέρωση των θρεπτικών συστατικών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία κατάλληλων λιπασμάτων αργής αποδέσμευσης τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη της γεωργικής παραγωγής και κατ' επέκταση των καλλιεργειών.

## Βιβλιογραφία

- Rossati A. (2007). *Physiological effects of Kaolin Particle film technology. Functional Plant Science and Biotechnology. Global Science Books, Spolieto, 101-105*
- Firew E., Diriba M., Delelegn W. (2016). " Phosphate solubilization potential of Rhizosphere fungi isolated from plants in Jimma zone, Southwest Ethiopia. *International Journal of Microbiology. Addis Ababa, 1-11*
- Amany S. A. E., Sameera O. B., Abdulmoneam A.T. (2016). *Effect of Chemical, Organic and Bio Fertilizers on Germination, Growth. Agriculture and biology journal of North America. Kingdom of Saudi Arabia, 121-133*
- Balasubramanian G., J. S. (1989). *Effect of slow release fertilizer nitrogen and neem products in the control of steborer of rice. Indian Journal of plant protection.*
- Christidis, G. E. (2011). *Industrial Clays. European Mineralogical Union Notes in Mineralogy. Vol 9, Chapter 9, Chania 341-414*
- E Hutchinson, E. S. (2003). "Testing of controlled release fertilizers programs for seep irrigated irish potato. *Journal of Plant Nutrition, Florida, 1709-1723*
- Elias, F. (2016). *Phosphate Solubilization Potential of Rhizosphere Fungi Isolated from Plants in Jimma Zone, Southwest Ethiopia. International Journal of Microbiology, Addis Ababa, 1-11*
- Espinosa Moreno, Jorge A., Araceli Gaytan Acuna E., Enrique Becerril Roman A., Contreras D.J., Lopez C.T. (2000). *Chemical and biological fertilization of Phalnenopsis (Orchidaceae) under greenhouse conditions. Institute of Genetic Resources and Productivity, Mexico state, 125-131*
- Heivelin G.F. and Murray H.H., (1994). *Hormites: Palygorskite (attapulgate) and sepiolite. Industrial mineral and rocks, Michigan, 249-254*
- Galan, E. (1996). "Properties and applications of palygorskite-sepiolite clays." *Clay minerals, Seville, 443-453*
- George E. Christidis and Huff W. D. (1996). "Geological Aspects and Genesis of Bentonites.". *Elements, Chania and Cincinnati, 93-98*
- Group, T. G. (1979). "Mineral Fertilizers". *The Great Soviet Encyclopedia.*
- D. R. Haug (1985). " Slow Release and Bioinhibitor-amended Nitrogen Fertilizers". *Fertilizer Technology and Use (3rd Edition), Alabama, 293*

- [http://www.aapfco.org/presentations/2018/2018\\_MY\\_cfia\\_micronutrients.pdf](http://www.aapfco.org/presentations/2018/2018_MY_cfia_micronutrients.pdf). (X.X.).
- [http://www.moa.gov.cy/moa/agrokypros.nsf/0/C93889D91BE687FBC2257BBE002866D9/\\$file/Symvouleytikh%20lipansh.pdf](http://www.moa.gov.cy/moa/agrokypros.nsf/0/C93889D91BE687FBC2257BBE002866D9/$file/Symvouleytikh%20lipansh.pdf)
- <https://www.ima-na.org/default.aspx>.
- <https://www.wisegeek.com/what-are-the-different-types-of-fertilizer.htm>. (X.X.).
- J.M. Hanchar, S. S. Gascoyne and L. Browning (2004). "Scientific basis for nuclear waste management". Materials research society, San Fransisco and California.
- J. N. Chianu, J. Chianu and F. Mairura (2012). "Mineral fertilizers in the farming systems of sub-Saharan Africa. A review". *Agronomy of Susatainable Development*, Nairobi, 545-566
- J. W. Hosterman, S. Patterson. (1992). "Bentonite and Fuller's earth resources of the United States. USGS Publocations Warehouse. Washington, 10-50
- K. Morgan, K. E. Cushman and S. Sato (2009). *Release Mechanisms for Slow- and Controlledrelease Fertilizers and Strategies for Their Use in Vegetable reactions*. Southwest Florida Research and Education Center, Immokalee, 10-12
- T. C. Knowles, B. W. Hipp and M. A. Hegemann (1993). *Container medium and slow-release nitrogen fertilizer influence growth and quality of Salvia farinacca*. *HortScience*, Dallas, 623-625
- A. Komosa, A. Golez, E. Rokossowska (1998). "Application of slow and fast acting fertilizers in cultivation of pepper. *Agricultura*, 153-158
- Kotze W. A., M. Joubert (1992). *Effect of different organic materials for soil improvement, mulching and fertilization on the performance of apricot trees*. *Journal of South Africa Society for horticultural science*, 31-35
- Kuzvart, M. (1984). "Bentonite and Montmorilonite Clay". *Industrial Mineral and rocks. Development in economic geology* 18. Elsevier, Amsterdam. 280-287
- M. J. Fernández-Sanjurjo, E. A. Rodriguez, A. N. Delgado and M. L. Fernadez- Marcos (2014). *Nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium release*. *Solid Earth discussions*, Lugo, Spain, 1351-1360
- Maegawa H. and Minegishi M. (1991). "The effect of fertillizer during floral induction in strawberries. *Bullctin of Nara*, 43-48
- Khan M.N., Mobin M., Zahid A., Alamri S.(2018). *Fertilizers and Their Contaminants in Soils, Surface and Groundwater*. *Elvesier Inc., Tabuk*, 228-240

- Mahato A., Bharati V., Bhavana P. S. (2014). *Bio-Fertilizers in Organic Agriculture*. P.T.O., Sriniketan. 1-16
- Murray, H. (2000). *Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview*. *Applied Clay Science*, Vol 17: 207-221
- Naz, H. (2019) " *Fertilizers types and their applications*". Agripedia, India. Ανάκτηση από [www.krishijagran.com/agripedia/fertilizers-types-and-their-applications](http://www.krishijagran.com/agripedia/fertilizers-types-and-their-applications).
- Ombodi A., Suigusa M. and Shibuya K. (1998). " *Effect of single basal application of polyefin coated fertilizer on growth and yield of green peppers*. *Tohoku Journal of Agricultural Research*. Vol 49. No 1/2: 101-109
- Panhwar A. Q., Shamsuddin J., Umme A. N., Radziah O., Mohd I. R. (2013). " *Application of potential phosphate -solubilizing bacteria and organic acids on phosphate solubilization from phosphate rock in aerobic rice*". *The scientific world journal*, Vol. 2013: 1-10
- Peacock C. H., Dipaola J. M. (1992). *Bermudagrass response to reactive layer coated fertilizers*. *Agronomy Journal* 84 (6): 946-950
- Prince T. L., Tayama H. K., Prince T. A., Bhat N. R., Carver S. A. (1990). *Production of postproduction quality of potted chrysanthemums under controlled- release fertilizer regimes*. *Ohio Florists Association Bulletin* No 728: 4-7
- Chase A. R. (1989). *Effect of fertilizer rate on growth of Ficus lyrata and susceptibility of Pseudomonas cichorii*. *Agris Journal*. Vol 23: 151-152
- Buresh R.J., Sanchez P.A., Calhoun F. (1997). *Replenishing Soil Fertility in Africa*. SSSA Special Publication Number 51, Soil Science Society of America , American Society of Agronomy Madison, Wiscosin, 1-264
- Schwint C. H. (1997). " *Industrial clays in the 21st century: A perspective of exploration, technology and utilization*. USA.
- Seffer, M. (2005). " *Bentonite, kaolin and selected Clay Minerals*". Ottava
- Patterson S. H. and Murray H. H. (1983). *Industrial Minerals and Rocks*. Lafond (Ed.) *Clays*, fifth ed., vol 1. New York, 585-651
- Shady A. M., Khalil A. E. and Shawky S. M. *Imptact Of Certain Mineral Fertilizers (NPK) On Meloidogyne incognita on potato in egypt*". *Nematology department, plant pathology research institute, Agricultural research*. Giza, 582-598

- Siddiqui, Z. A. (2001). " Effects of *Pseudomonas fluorescens* and fertilizers on the reproduction of *Meloidogyne incognita* and growth of tomato".
- Southey, J. (1978). *Plant Nematology*. Great Britain. Ministry of Agriculture, Fiskeries and Food. Third ed. London. 362-430
- Tajer, A. (2016). *The function of potassium in plants*. Greenway biotech, Inc.
- Tajer, A. (2018). *Why monopotassium phosphate is a great choice for plant health*. Greenway biotech, Inc.
- Thomson W. H., Legee P. B. (1997). "Test Methods for the Examination of Composting and Compost. Bethesda, Md.: US Composting Counsil. Maryland, U.S.A.
- Alburqueque J. A., Salazar P., Barron V., Torrent J., Maria del Carmen del Campillo, Gallardo A., Villar R., (2013). *Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels*. *Agronomy for sustainable development*, Vol 33, Issue 3, 445-484. University of Cordoba, University of Seville.
- Waddington, D. V., (1990). "Turfgrass Nitrogen Sources". Dept. of Agronomy, Penn State University, University park, PA 16802, 8p
- Wehner D. J., Martin L. D. (1989). " Melamine/urea and oxamide fertilization of Kentucky bluegrass. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, Vol 20, Issue 15-16, 1659- 1673
- [www.dedisa.gr](http://www.dedisa.gr)
- Αντωνάρης, Α. (2015). *Χαρακτηρισμός σμεκτιτών σε εμπορικούς μπεντονίτες. Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.*
- Μιχόπουλος Α., (2010). *Ισόθερμες προσρόφησης του Cu, Zn, Ni και Cd από Καολινίτη καθώς και από δύο έδαφη της τάξεως των Alfisols. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίηση Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Τόμεας Εδαφολογίας και Γεωργικής Χημείας Μεταπτυχιακή Μελέτη, Αθήνα.*
- Γαλαμπούλου, Σ. (2009). *Ορυκτολογία-Γεωχημεία Εδαφών. Τμήμα Δασοπονίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος, ΤΕΙ Λαμίας.*
- Γκιοκά, Α. (2014). " *Ορυκτολογική και χημική μελέτη ιζημάτων από Νεογενείς λεκάνες της Κρήτης. Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.*
- Γασπαράτος Δ. (2016). *Η Στρατηγική της Ορθολογικής Διαχείρισης των Φωσφορικών Λιπασμάτων ενάντια στην μείωση των παγκοσμίων αποθεμάτων φωσφόρου. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωπονίας, Θεσσαλονίκη*



- Θεοφίλου, Ν. (2019). "Ατταπουλγίτης: ένα ορυκτό με μεγάλο οικονομικό αντίκτυπο για την Ελληνική γεωργία".
- Κουκάκης, Π. (2016). Ατταπουλγίτης Βεντζίων Γρεβενών, ως υπόστρωμα στη σύνθεση άμορφων νανοσωλήνων άνθρακα. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων- Μεταλλουργών, Τμήμα Γεωλογικών Επιστημών, Αθήνα.
- Κωστάκης, Γ. (2003). Εισαγωγή στην αξιολόγηση των βιομηχανικών ορυκτών. Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Κωστάκης, Γ. (2005). Γενική Ορυκτολογία . Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Λοϊσίου, Π. (2007). " Βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα (Σημειώσεις), Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Αθηνών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών.
- Κατερινόπουλος Α., και Σταματάκης Μ., (1995). Εφαρμοσμένη Ορυκτολογία-Πετρολογία: Τα βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα και οι χρήσεις τους. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας
- Μιχαλοπούλου, Κ., (2011). Θρεπτική κατάσταση συμβατικών και βιολογικών καλλιεργειών ελιάς στο Νομό Ηλείας. Πτυχιακή Εργασία, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Καλαμάτας, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής
- Μπουρουγιάννης, Σ. Δ. (2016). Αποτελεσματικότητα αξιοποίησης του αζώτου σε ποικιλίες βυνοποιήσιμου κριθαριού κατά την εφαρμογή δυο τύπων αζωτούχων λιπασμάτων (βραδείας απελευθέρωσης και άμεσης πρόσληψης). Μεταπτυχιακή Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Επιστήμης Φυτικής Παραγωγής, Εργαστήριο Γεωργίας, Αθήνα.
- Νικητάκη Ο.,(2004). Επίδραση Αλκαλικού Περιβάλλοντος Στην Κρυσταλλική Δομή Και Τις Φυσικές Ιδιότητες του Μπετονίτη της Μήλου. Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Νικολάου, Α. Η χρησιμοποίηση του φωσφόρου και καλίου στη γεωργική παραγωγή.
- Π. Τσώλη- Καταγά, Παπούλης Δ., (2010-2011). Κρυσταλλοχημεία και Συστηματική των Ορυκτών. Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 7<sup>η</sup> Διάλεξη, Πάτρα.
- Παπαδάκης, Μ., (2014). Μελέτη κινητικότητας βαρέων μετάλλων σε εδάφη με προσθήκη βιοεξανθρακωμάτων (biochars) με πειράματα στηλων. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Τεχνολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος, Χανιά.

- Παρακευή Λαμπροπούλου, Παπούλης Δ. (2016). Ορυκτολογία. Συστηματική Ταξινόμηση των Ορυκτών. Εκδ. Δισίγμα, 168
- Πασσά, Κ.-Σ. (2007). "Βιομηχανικά Ορυκτά για Περιβαλλοντικές Χρήσεις: Μελέτη Φυσικών, Χημικών και Ορυκτολογικών Ιδιοτήτων του Περλίτη της Νήσου Μήλου. Διπλωματική Εργασία Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- Πεντάρη, Δ. (2017). " Εργαστηριακές Ασκήσεις Γεωχημείας (Σημειώσεις). Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Ταούκης, Δ. (2003). " Αξιολόγηση Λιπασμάτων Βραδείας Απελευθέρωσης με Εργαστηριακές και Αγρονομικές Τεχνικές. Διαδακτορική Διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής, Τομέας Εδαφολογίας και Γεωργικής Χημείας, Αθήνα
- Χαλβατζή Σ., (2015). Μελέτη της επίδρασης του επεξεργασμένου ατταπουλγίτη στις αποδόσεις αυγοπαραγωγών ορνίθων κατά τα πρώτα στάδια ανάπτυξης-ωοτοκίας μετά από προσθήκη του στην τροφή τους. Διαδακτορική Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Επιστημών Υγείας, Τμήμα Κτηνιατρικής, Τομέας ζωικής παραγωγής, ιχθυολογίας, οικολογίας και προστασίας περιβάλλοντος, Θεσσαλονίκη
- Χρηστίδης Γ.,(2012). Κοιτασματολογία II, Σημειώσεις Μαθήματος «Βιομηχανικά Ορυκτά και Πετρώματα. Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Σαριδάκης Χ., (2011). Αξιολόγηση κομποστ αστικών στερεών αποβλήτων με ή χωρίς τη χρήση λίπανσης σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια πιπεριάς και τομάτας. Πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ Κρήτης, Τμήμα Βιολογικών θερμοκηπιακών καλλιεργειών και ανθοκομίας, Ηράκλειο.
- Χριστάκης Π. Α., (2008). Εισροές λιπασμάτων και εφαρμοζόμενη λιπαντική αγωγή στις κυριότερες θερμοκηπιακές καλλιέργειες του Νομού Ηλείας. Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα Θερμοκηπιακών καλλιεργειών και ανθοκομίας, Καλαμάτα.

## Παράρτημα

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τα κινητικά πειράματα για το κάλιο, το μαγνήσιο και το φώσφορο αντίστοιχα.

### Κάλιο

Πίνακας 8: Αθροιστική αποδέσμευση καλίου στο σκέτο κομπόστ στα κινητικά πειράματα.

ΧΡΟΝΟΣ	Κ μg/ml	Κ μg/ml	Κ μg/ml	Μέσος όρος	μg	μg/g (κομπόστ)
0	2,266	2,266	2,266	2,266	2,266	27,3012048192771
15	2,486	2,466	4,742	2,476	2,476	57,1325301204819
30	2,028	2,028	6,77	2,028	2,028	81,566265060241
60	1,675	1,679	8,447	1,677	1,677	101,771084337349
180	1,555	1,529	9,989	1,542	1,542	120,349397590361
300	1,517	1,517	11,506	1,517	1,517	138,626506024096
1080	1,417	1,417	12,923	1,417	1,417	155,698795180723
1440	1,404	1,4	14,325	1,402	1,402	172,590361445783
4320	1,334	1,334	15,659	1,334	1,334	188,66265060241
7200	1,289	1,289	16,948	1,289	1,289	204,192771084337
14400	1,244	1,239	18,1895	1,2415	1,2415	219,150602409639
28800	1,117	1,113	19,3045	1,115	1,115	232,584337349398
43200	0,989	0,944	20,271	0,9665	0,9665	244,228915662651

Πίνακας 9: Αθροιστική αποδέσμευση καλίου στα κινητικά πειράματα του λιπάσματος με κομπόστ με καολίνη .

Χρόνος	κάλιο σε μg/ml	κάλιο σε μg/ml	κάλιο σε μg/ml	μg	μg	μg/g
0	1,87	1,87	1,87	1,87	1,87	22,5301204819277
15	1,705	1,705	1,705	1,705	3,575	43,0722891566265
30	1,59	1,59	1,59	1,59	5,165	62,2289156626506
60	1,485	1,478	1,4815	1,4815	6,6465	80,0783132530121
180	1,331	1,37	1,3505	1,3505	7,997	96,3493975903614
300	1,227	1,227	1,227	1,227	9,224	111,132530120482
1080	1,103	1,103	1,103	1,103	10,327	124,421686746988
1440	0,81	0,81	0,81	0,81	11,137	134,180722891566
4320	0,774	0,77	0,772	0,772	11,909	143,481927710843
7200	0,655	0,675	0,665	0,665	12,574	151,493975903614
14400	0,587	0,585	0,586	0,586	13,16	158,55421686747
28800	0,561	0,561	0,561	0,561	13,721	165,313253012048
43200	0,432	0,437	0,4345	0,4345	14,1555	170,548192771084

Πίνακας 10: Αθροιστική αποδέσμευση καλίου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος κομπόστ με μπεντονίτη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μέσος όρος	μg/ml	μg	μg/g
0	1,952	1,944	1,948	1,948	1,948	23,4698795180723
15	1,816	1,717	1,7665	3,7145	3,7145	44,7530120481928
30	1,442	1,442	1,442	5,1565	5,1565	62,1265060240964
60	1,430	1,430	1,430	6,5865	6,5865	79,355421686747
180	1,285	1,288	1,2865	7,873	7,873	94,855421686747
300	1,112	1,112	1,112	8,985	8,985	108,253012048193
1080	0,952	0,952	0,952	9,937	9,937	119,722891566265
1440	0,888	0,895	0,8915	10,8285	10,8285	130,463855421687
4320	0,795	0,795	0,795	11,6235	11,6235	140,042168674699
7200	0,717	0,775	0,746	12,3695	12,3695	149,030120481928
14400	0,651	0,651	0,651	13,0205	13,0205	156,873493975904
28800	0,552	0,561	0,5565	13,577	13,577	163,578313253012
43200	0,416	0,416	0,416	13,993	13,993	168,590361445783

Πίνακας 11: Αθροιστική αποδέσμευση καλίου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος με κομπόστ και παλιγορσκήτη.

Χρόνος	K (μg/ml)	K (μg/ml)	μέσος όρος	K (μg/ml)	μg	μg/g
0	1,461	1,461	1,461	1,461	1,461	17,6024096385542
15	1,391	1,391	1,391	2,852	1,391	34,3614457831325
30	1,364	1,351	1,3575	4,2095	1,3575	50,7168674698795
60	1,251	1,308	1,2795	5,489	1,2795	66,1325301204819
180	1,181	1,181	1,181	6,67	1,181	80,3614457831325
300	1,13	1,139	1,1345	7,8045	1,1345	94,0301204819277
1080	1,128	1,128	1,128	8,9325	1,128	107,620481927711
1440	1,107	1,05	1,0785	10,011	1,0785	120,614457831325
4320	0,784	0,794	0,789	10,8	0,789	130,120481927711
7200	0,681	0,681	0,681	11,481	0,681	138,325301204819
14400	0,586	0,586	0,586	12,067	0,586	145,385542168675
28800	0,435	0,435	0,435	12,502	0,435	150,626506024096
43200	0,364	0,364	0,364	12,866	0,364	155,012048192771

Πίνακας 12: Αθροιστική αποδέσμευση καλίου των κινητικών πειραμάτων για το λίπασμα με σκέτο φωσφορικό κάλιο.

Χρόνος	K μg/ml	K μg/ml	μέσος όρος	K μg/ml	μg	μg/g
0	0,878	0,878	0,878	0,878	1,756	21,1566265060241
15	0,728	0,728	0,728	1,606	3,212	38,6987951807229
30	0,714	0,714	0,714	2,32	4,64	55,9036144578313
60	0,686	0,686	0,686	3,006	6,012	72,433734939759
180	0,661	0,661	0,661	3,667	7,334	88,3614457831325
300	0,643	0,643	0,643	3,035	6,07	73,1325301204819
1080	0,618	0,618	0,618	4,928	9,856	118,746987951807
1440	0,582	0,582	0,582	5,51	11,02	132,771084337349
4320	0,531	0,531	0,531	6,041	12,082	145,566265060241
7200	0,457	0,457	0,457	6,498	12,996	156,578313253012
14400	0,433	0,433	0,433	6,931	13,862	167,012048192771
28800	0,369	0,369	0,369	7,3	14,6	175,903614457831
43200	0,293	0,293	0,293	7,593	15,186	182,963855421687

Πίνακας 13: Αθροιστική αποδέσμευση καλίου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος με φωσφορικό κάλιο και μπεντονίτη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μέσος όρος	μg	μg	μg/g
0	0,824	0,824	0,824	0,824	0,824	9,92771084337349
15	0,753	0,773	0,763	1,587	0,763	19,1204819277108
30	0,701	0,701	0,701	2,288	0,701	27,566265060241
60	0,656	0,656	0,656	2,944	0,656	35,4698795180723
180	0,61	0,61	0,61	3,554	0,61	42,8192771084337
300	0,586	0,586	0,586	4,017	0,586	48,3975903614458
1080	0,519	0,519	0,519	4,659	0,519	56,1325301204819
1440	0,491	0,491	0,491	5,15	0,491	62,0481927710843
4320	0,405	0,405	0,405	5,555	0,405	66,9277108433735
8640	0,385	0,385	0,385	5,94	0,385	71,566265060241
14400	0,3	0,327	0,3135	6,2535	0,3135	75,3433734939759
28800	0,283	0,283	0,283	6,5365	0,283	78,7530120481928
43200	0,227	0,227	0,227	6,7635	0,227	81,4879518072289

Πίνακας 14: Αθροιστική αποδέσμευση καλίου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος με φωσφορικό κάλιο και καολινίτη.

Χρόνος	κάλιο μg/ml	κάλιο μg/ml	μέσος όρος	μg	μg	μg/g
0	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834	10,0481927710843
15	0,770	0,770	0,770	0,770	1,604	19,3253012048193
30	0,703	0,703	0,703	0,703	2,307	27,7951807228916
60	0,672	0,672	0,672	0,672	2,979	35,8915662650602
180	0,605	0,612	0,6085	0,6085	3,5875	43,2228915662651
300	0,583	0,583	0,583	0,583	4,1705	50,2469879518072
1080	0,512	0,512	0,512	0,512	4,6825	56,4156626506024
1440	0,492	0,495	0,4935	0,4935	5,176	62,3614457831325
4320	0,480	0,480	0,480	0,480	5,656	68,144578313253
8640	0,434	0,434	0,434	0,434	6,09	73,3734939759036
14400	0,418	0,418	0,418	0,418	6,508	78,4096385542169
28800	0,388	0,388	0,388	0,388	6,896	83,0843373493976
43200	0,351	0,351	0,351	0,351	7,247	87,3132530120482

Πίνακας 15: Αθροιστική αποδέσμευση καλίου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος με φωσφορικό κάλιο και παλιγορσκήτη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μέσος όρος	μg	μg	μg/g
0	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	10,0843373493976
15	0,801	0,801	0,801	0,801	1,638	19,7349397590361
30	0,798	0,798	0,798	0,798	2,436	29,3493975903614
60	0,769	0,769	0,769	0,769	3,205	38,6144578313253
180	0,661	0,655	0,658	0,658	3,863	46,5421686746988
300	0,629	0,629	0,629	0,629	4,492	54,1204819277108
1080	0,546	0,546	0,546	0,546	5,038	60,6987951807229
1440	0,469	0,469	0,469	0,469	5,507	66,3493975903614
4320	0,364	0,342	0,353	0,353	5,86	70,6024096385542
7200	0,314	0,314	0,314	0,314	6,174	74,3855421686747
14400	0,266	0,266	0,266	0,266	6,44	77,5903614457831
28800	0,245	0,245	0,245	0,245	6,685	80,5421686746988
43200	0,227	0,227	0,227	0,227	6,912	83,2771084337349

## Μαγνήσιο

Πίνακας 16: Αθροιστική αποδέσμευση μαγνησίου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος με σκέτο κομπόστ.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μέσος όρος	μg	μg	μg/g
0	1,186	1,186	1,186	1,186	1,186	14,289156626506
15	1,104	1,103	1,1035	1,1035	1,1035	13,2951807228916
30	1,056	1,056	1,056	1,056	3,3455	40,3072289156626
60	0,982	0,975	0,9785	0,9785	4,324	52,0963855421687
180	0,956	0,956	0,956	0,956	5,28	63,6144578313253
300	0,895	0,895	0,895	0,895	6,175	74,3975903614458
1080	0,803	0,813	0,808	0,808	6,983	84,1325301204819
1440	0,765	0,738	0,7515	0,7515	7,7345	93,1867469879518
4320	0,722	1,722	1,222	1,222	8,9565	107,909638554217
7200	0,673	0,605	0,639	0,639	9,5955	115,60843373494
14400	0,535	0,535	0,535	0,535	10,1305	122,05421686747
28800	0,453	0,462	0,4575	0,4575	10,588	127,566265060241
43200	0,312	0,312	0,312	0,312	10,9	131,325301204819

Πίνακας 17: Αθροιστική αποδέσμευση μαγνησίου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος με κομπόστ και μπεντονίτη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μέσος όρος	μg	μg	μg/ml
0	0,457	0,457	0,457	0,457	0,457	5,50602409638554
15	0,423	0,414	0,4185	0,4185	0,8755	10,5481927710843
30	0,445	0,445	0,445	0,445	1,3205	15,9096385542169
60	0,442	0,442	0,442	0,442	1,7625	21,2349397590361
180	0,345	0,345	0,345	0,345	2,1075	25,3915662650602
300	0,401	0,401	0,401	0,401	2,5085	30,2228915662651
1080	0,313	0,313	0,313	0,313	2,8215	33,9939759036145
1440	0,301	0,301	0,301	0,301	3,1225	37,6204819277108
4320	0,286	0,217	0,2515	0,2515	3,374	40,6506024096385
7200	0,24	0,241	0,2405	0,2405	3,6145	43,5481927710843
14400	0,227	0,227	0,227	0,227	3,8415	46,2831325301205
28800	0,18	0,165	0,1725	0,1725	4,014	48,3614457831325
43200	0,077	0,077	0,077	0,077	4,091	49,289156626506

Πίνακας 18: Αθροιστική αποδέσμευση μαγνησίου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος με κομπόστ και παλιγορσκήτη

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μέσος όρος	μg	μg	μg/g
0	0,636	0,636	0,636	0,636	0,636	7,66265060240964
15	0,575	0,533	0,554	0,554	1,19	14,3373493975904
30	0,559	0,468	0,5135	0,5135	1,7035	20,5240963855422
60	0,539	0,539	0,539	0,539	2,2425	27,0180722891566
180	0,435	0,508	0,4715	0,4715	2,714	32,6987951807229
300	0,409	0,409	0,409	0,409	3,123	37,6265060240964
1080	0,384	0,354	0,369	0,369	3,492	42,0722891566265
1440	0,301	0,381	0,341	0,341	3,833	46,1807228915663
4320	0,295	0,281	0,288	0,288	4,121	49,6506024096386
7200	0,254	0,294	0,274	0,274	4,395	52,9518072289157
14400	0,115	0,115	0,115	0,115	4,51	54,3373493975904
28800	0,109	0,109	0,109	0,109	4,619	55,6506024096386
43200	0,062	0,062	0,062	0,062	4,681	56,3975903614458

Πίνακας 19: Αθροιστική αποδέσμευση μαγνησίου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος με κομπόστ και καολινίτη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μέσος όρος	μg	μg	μg/g
0	0,371	0,371	0,371	0,371	0,371	4,46987951807229
15	0,227	0,227	0,227	0,227	0,598	7,20481927710843
30	0,135	0,430	0,2825	0,2825	0,8805	10,6084337349398
60	0,478	0,478	0,478	0,478	1,3585	16,3674698795181
180	0,230	0,230	0,230	0,230	1,5885	19,1385542168675
300	0,326	0,326	0,326	0,326	1,9145	23,066265060241
1080	0,290	0,223	0,2565	0,2565	2,171	26,1566265060241
1440	0,233	0,233	0,233	0,233	2,404	28,9638554216867
4320	0,245	0,245	0,245	0,245	2,649	31,9156626506024
7200	0,245	0,245	0,245	0,245	2,894	34,8674698795181
14400	0,301	0,301	0,301	0,301	3,195	38,4939759036144
28800	0,323	0,350	0,3365	0,3365	3,5315	42,5481927710843
43200	0,422	0,422	0,422	0,422	3,9535	47,6325301204819

Πίνακας 20: Αθροιστική αποδέσμευση μαγνησίου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος με σκέτο φωσφορικό κάλιο.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μέσος όρος	μg	μg	μg/g
0	0,129	0,129	0,129	0,129	0,129	1,55421686746988
15	0,160	0,160	0,160	0,160	0,289	3,48192771084337
30	0,177	0,252	0,2145	0,2145	0,5035	6,06626506024096
60	0,201	0,201	0,201	0,201	0,7045	8,48795180722892
180	0,157	0,157	0,157	0,157	0,8615	10,3795180722892
300	0,262	0,262	0,262	0,262	1,1235	13,5361445783133
1080	0,189	0,189	0,189	0,189	1,3125	15,8132530120482
1440	0,220	0,220	0,220	0,220	1,5325	18,4638554216867
4320	0,289	0,289	0,289	0,289	1,8215	21,9457831325301
7200	0,276	0,276	0,276	0,276	2,0975	25,2710843373494
14400	0,245	0,245	0,245	0,245	2,3425	28,2228915662651
28800	0,324	0,324	0,324	0,324	2,452	29,5421686746988
43200	0,193	0,193	0,193	0,193	2,6585	32,0301204819277

Πίνακας 21: Αθροιστική αποδέσμευση μαγνησίου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος με φωσφορικό κάλιο και μπεντονίτη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μέσος όρος	μg	μg	μg/g
0	0,036	0,018	0,045	0,045	0,045	0,542168674698795
15	0,020	0,027	0,0335	0,0335	0,0785	0,94578313253012
30	0,016	0,016	0,024	0,024	0,1025	1,23493975903614
60	0,039	0,042	0,06	0,06	0,1625	1,9578313253012
180	0,028	0,046	0,051	0,051	0,2135	2,57228915662651
300	0,052	0,052	0,078	0,078	0,2915	3,51204819277108
1080	0,042	0,042	0,063	0,063	0,3545	4,2710843373494
1440	0,247	0,247	0,3705	0,3705	0,725	8,73493975903614
4320	0,158	0,064	0,19	0,19	0,915	11,0240963855422
8640	0,016	0,016	0,024	0,024	0,939	11,3132530120482
14400	0,032	0,055	0,0595	0,0595	0,9985	12,0301204819277
28800	0,036	0,045	0,0585	0,0585	1,057	12,7349397590361
43200	0,046	0,046	0,069	0,069	1,126	13,566265060241

Πίνακας 22: Αθροιστική αποδέσμευση μαγνησίου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος με φωσφορικό κάλιο και παλιγορσκήτη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μέσος όρος	μg	μg	μg/g
0	0,070	0,094	0,082	0,082	0,082	0,987951807228916
15	0,078	0,108	0,093	0,093	0,175	2,10843373493976
30	0,081	0,122	0,1015	0,1015	0,2765	3,33132530120482
60	0,088	0,125	0,1065	0,1065	0,383	4,6144578313253
180	0,107	0,144	0,1255	0,1255	0,5085	6,12650602409638
300	0,130	0,151	0,1405	0,1405	0,649	7,81927710843373
1080	0,123	0,158	0,1405	0,1405	0,7895	9,51204819277108
1440	0,123	0,152	0,1375	0,1375	0,927	11,1686746987952
4320	0,121	0,165	0,143	0,143	1,07	12,8915662650602
8640	0,133	0,152	0,1425	0,1425	1,2125	14,6084337349398
14400	0,142	0,150	0,146	0,146	1,3585	16,3674698795181
28800	0,147	0,154	0,1505	0,1505	1,509	18,1807228915663
43200	0,125	0,125	0,125	0,125	1,634	19,6867469879518

Πίνακας 23: Αθροιστική αποδέσμευση μαγνησίου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος με φωσφορικό κάλιο και καολινίτη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μέσος όρος	μg	μg	μg/g
0	0,698	0,698	0,698	0,0698	0,0698	0,840963855421687
15	0,854	1,062	0,958	0,0958	0,1656	1,99518072289157
30	0,808	0,808	0,808	0,0808	0,2464	2,96867469879518
60	0,861	0,861	0,861	0,0861	0,3325	4,00602409638554
180	0,994	1,336	1,165	0,1165	0,449	5,40963855421687
300	0,954	0,954	0,954	0,0954	0,5444	6,55903614457831
1080	1,059	1,059	1,059	0,1059	0,6503	7,83493975903614
1440	0,983	0,983	0,983	0,0983	0,7486	9,01927710843373
4320	1,078	1,149	1,1135	0,11135	0,85995	10,360843373494
7200	1,319	1,319	1,319	0,1319	0,99185	11,95
14400	1,221	1,221	1,221	0,1221	1,11395	13,4210843373494
28800	1,494	1,494	1,494	0,1494	1,26335	15,2210843373494
43200	1,25	1,25	1,25	0,125	1,38835	16,7271084337349



## Φώσφορος

Πίνακας 24: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος με σκέτο κομπόστ.

Χρόνος	P205 µg/ml	P205 µg/ml	Μέσος όρος	P205 µg	P µg	P µg	P µg/g κομπόστ
0	0,057	0,057	0,057	1,425	0,622183098591549	0,622183098591549	7,49618191074156
15	0,049	0,042	0,0455	1,1375	0,496654929577465	1,11883802816901	13,4799762430002
30	0,048	0,048	0,048	1,2	0,523943661971831	1,64278169014084	19,7925504836246
60	0,036	0,042	0,039	0,975	0,425704225352113	2,06848591549296	24,921517054132
180	0,037	0,037	0,037	0,925	0,40387323943662	2,47235915492958	29,7874596979467
300	0,027	0,026	0,0265	0,6625	0,289260563380282	2,76161971830986	33,2725267266248
1080	0,024	0,024	0,024	0,6	0,261971830985915	3,02359154929577	36,428813846937
1440	0,028	0,028	0,028	0,7	0,305633802816901	3,32922535211268	40,1111488206346
4320	0,022	0,022	0,022	0,55	0,240140845070422	3,5693661971831	43,0044120142542
7200	0,026	0,026	0,026	0,65	0,283802816901408	3,85316901408451	46,4237230612591
14400	0,023	0,023	0,023	0,575	0,251056338028169	4,10422535211268	49,448498218225
28800	0,026	0,026	0,026	0,65	0,283802816901408	4,38802816901408	52,8678092652299
43200	0,019	0,019	0,019	0,475	0,207394366197183	4,59542253521127	55,3665365688104

Πίνακας 25: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος κομπόστ με μπεντονίτη.

Χρόνος	P205 µg/ml	P205 µg/ml	μέσος όρος	P205 µg	P µg	P µg	P µg/g
0	0,015	0,015	0,015	0,3	0,130985915492958	0,130985915492958	1,57814356015612
15	0,009	0,009	0,009	0,18	0,078591549295774	0,261971830985915	3,15628712031223
30	0,033	0,033	0,033	0,66	0,288169014084507	0,34056338028169	4,10317325640591
60	0,035	0,021	0,028	0,56	0,244507042253521	0,628732394366197	7,57508908874936
180	0,024	0,024	0,024	0,48	0,209577464788732	0,873239436619718	10,5209570677074
300	0,044	0,044	0,044	0,88	0,384225352112676	1,08281690140845	13,0459867639572
1080	0,042	0,042	0,042	0,84	0,366760563380282	1,46704225352113	17,6752078737485
1440	0,015	0,015	0,015	0,3	0,130985915492958	1,83380281690141	22,0940098421856
4320	0,023	0,023	0,023	0,46	0,200845070422535	1,96478873239437	23,6721534023418
7200	0,031	0,035	0,033	0,66	0,288169014084507	2,1656338028169	26,0919735279145
14400	0,036	0,036	0,036	0,72	0,314366197183099	2,45380281690141	29,5638893602579
28800	0,028	0,028	0,028	0,56	0,244507042253521	2,76816901408451	33,3514339046326
43200	0,023	0,023	0,023	0,46	0,200845070422535	3,01267605633803	36,2973018835907

Πίνακας 26: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος κομπόστ με καολινίτη.

Χρόνος	P205 µg/ml	P205 µg/ml	Μέσος όρος	P205µg	P µg	P µg	P µg/g
0	0,013	0,013	0,013	0,26	0,113521126760563	0,113521126760563	1,36772441880197
15	0,023	0,027	0,025	0,5	0,21830985915493	0,331830985915493	3,99796368572883
30	0,018	0,018	0,018	0,36	0,157183098591549	0,489014084507042	5,89173595791617
60	0,017	0,016	0,0165	0,33	0,144084507042254	0,633098591549296	7,6276938740879
120	0,023	0,023	0,023	0,46	0,200845070422535	0,833943661971831	10,0475139996606
300	0,018	0,018	0,018	0,36	0,157183098591549	0,99112676056338	11,941286271848
1080	0,09	0,09	0,09	1,8	0,785915492957746	1,77704225352113	21,4101476327847
1440	0,046	0,046	0,046	0,92	0,40169014084507	2,1787323943662	26,2497878839301
4320	0,027	0,033	0,03	0,6	0,261971830985915	2,44070422535211	29,4060750042423
7200	0,023	0,023	0,023	0,46	0,200845070422535	2,64154929577465	31,825895129815
14400	0,036	0,036	0,036	0,72	0,314366197183099	2,95591549295775	35,6134396741897
28800	0,031	0,031	0,031	0,62	0,270704225352113	3,22661971830986	38,874936365179
43200	0,023	0,023	0,023	0,46	0,200845070422535	3,42746478873239	41,2947564907517

Πίνακας 27: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος κομπόστ με παλιγκορσκήτη.

Χρόνος	P205 µg/ml	P205 µg/ml	μέσος όρος	P205 µg	P µg	P µg	P µg/g
0	0,007	0,007	0,007	0,14	0,061126760563380	0,061126760563380	0,736466994739521
15	0,022	0,015	0,0185	0,37	0,161549295774648	0,222676056338028	2,6828440522654
30	0,019	0,020	0,0195	0,39	0,170281690140845	0,392957746478873	4,73443068046835
60	0,020	0,020	0,020	0,400	0,175	0,567605633802817	6,83862209400984
180	0,043	0,043	0,043	0,86	0,375492957746479	0,943098591549296	11,362633633124
300	0,050	0,051	0,0505	1,01	0,440985915492958	1,38408450704225	16,6757169523163
1080	0,042	0,042	0,042	0,84	0,366760563380282	1,75084507042254	21,0945189207534
1440	0,055	0,055	0,055	1,1	0,480281690140845	2,23112676056338	26,8810453079925
4320	0,027	0,029	0,028	0,56	0,244507042253521	2,4756338028169	29,8269132869506
7200	0,019	0,019	0,019	0,38	0,165915492957746	2,64154929577465	31,825895129815
14400	0,025	0,025	0,025	0,5	0,21830985915493	2,85985915492958	34,4561343967419
28800	0,016	0,018	0,017	0,34	0,148450704225352	3,00830985915493	36,2446970982522
43200	0,013	0,013	0,013	0,26	0,113521126760563	3,12183098591549	37,6124215170541

Πίνακας 28: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος με σκέτο φωσφορικό κάλιο.

Χρόνος	P205 µg/ml	P205 µg/ml	μέσος όρος	P205 µg	P µg	P µg	P µg/g
0	0,254	0,254	0,254	2,54	1,10901408450704	1,10901408450704	13,3616154759885
15	0,262	0,262	0,262	2,62	1,14394366197183	2,25295774647887	27,1440692346852
30	0,268	0,270	0,269	2,69	1,17450704225352	3,42746478873239	41,2947564907517
60	0,282	0,282	0,282	2,82	1,2312676056338	4,6587323943662	56,1293059562192
180	0,282	0,282	0,282	2,82	1,2312676056338	5,89	70,9638554216867
300	0,270	0,270	0,270	2,700	1,179	7,06887323943662	85,1671474630918
1080	0,262	0,262	0,262	2,62	1,14394366197183	8,21281690140845	98,9496012217886
1440	0,266	0,266	0,266	2,66	1,16140845070423	9,37422535211268	112,942474121839
4320	0,295	0,289	0,292	2,92	1,27492957746479	10,6491549295775	128,303071440692
7200	0,266	0,260	0,263	2,63	1,14830985915493	11,7974647887324	142,138129984728
14400	0,270	0,270	0,270	2,700	1,179	12,976338028169	156,341422026133
28800	0,275	0,279	0,277	2,77	1,20943661971831	14,1857746478873	170,912947564908
43200	0,285	0,285	0,285	2,85	1,2443661971831	15,4301408450704	185,905311386391

Πίνακας 29: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος με φωσφορικό κάλιο και παλιγκορσκήτη.

Χρόνος	P205 µg/ml	P205 µg/ml	μέσος όρος	P205 µg	P µg	P µg	P µg/g
0	0,164	0,164	0,164	1,64	0,716056338028169	0,716056338028169	8,62718479552011
15	0,166	0,167	0,1665	1,665	0,726971830985916	1,44302816901408	17,3858815543866
30	0,169	0,169	0,169	1,69	0,737887323943662	2,18091549295775	26,2760902765994
60	0,167	0,167	0,167	1,67	0,729154929577465	2,91007042253521	35,0610894281351
180	0,170	0,173	0,1715	1,715	0,748802816901408	3,65887323943662	44,0828101136942
300	0,180	0,180	0,180	1,800	0,786	4,44478873239437	53,5516714746309
1080	0,163	0,163	0,163	1,63	0,71169014084507	5,15647887323944	62,1262514848125
1440	0,164	0,164	0,164	1,64	0,716056338028169	5,87253521126761	70,7534362803326
4320	0,168	0,168	0,168	1,68	0,733521126760563	6,60605633802817	79,5910402172069
7200	0,158	0,158	0,158	1,58	0,689859154929578	7,29591549295775	87,9025963006957
14400	0,169	0,169	0,169	1,69	0,737887323943662	8,03380281690141	96,7928050229086
28800	0,170	0,170	0,170	1,700	0,742	8,77605633802817	105,73561853046
43200	0,186	0,186	0,186	1,86	0,812112676056338	9,58816901408451	115,520108603428

Πίνακας 30: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος με φωσφορικό κάλιο και καολινίτη.

Χρόνος	P205 µg/ml	P205 µg/ml	μέσος όρος	P205 µg	P µg	P µg	P µg/g
0	0,151	0,151	0,151	1,51	0,659295774647887	0,659295774647887	7,94332258611912
15	0,138	0,138	0,138	1,38	0,602535211267606	1,26183098591549	15,2027829628373
30	0,143	0,141	0,142	1,42	0,62	1,88183098591549	22,6726624809096
60	0,154	0,154	0,154	1,54	0,672394366197183	2,55422535211268	30,7737994230443
180	0,145	0,145	0,145	1,45	0,633098591549296	3,18732394366197	38,4014932971322
300	0,155	0,155	0,155	1,55	0,676760563380282	3,86408450704225	46,5552350246055
1080	0,161	0,161	0,161	1,61	0,702957746478873	4,56704225352113	55,02460546411
1440	0,135	0,135	0,135	1,35	0,58943661971831	5,15647887323944	62,1262514848125
4320	0,145	0,139	0,142	1,42	0,62	5,77647887323944	69,5961310028848
7200	0,167	0,167	0,167	1,67	0,729154929577465	6,5056338028169	78,3811301544205
14400	0,168	0,162	0,165	1,65	0,720422535211268	7,22605633802817	87,0609197352791
28800	0,171	0,171	0,171	1,71	0,746619718309859	7,97267605633803	96,056338028169
43200	0,176	0,176	0,176	1,76	0,768450704225352	8,74112676056338	105,314780247752

Πίνακας 31: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου των κινητικών πειραμάτων του λιπάσματος με φωσφορικό κάλιο και μπεντονίτη.

Χρόνος	P205 µg/ml	P205 µg/ml	μέσος όρος	P205 µg	P µg	P µg	P µg/g
0	0,235	0,235	0,235	2,35	1,02605633802817	1,02605633802817	12,3621245545563
15	0,236	0,231	0,2335	2,335	1,01950704225352	2,04556338028169	24,6453419311047
30	0,234	0,230	0,232	2,32	1,01295774647887	3,05852112676056	36,8496521296453
60	0,235	0,235	0,235	2,35	1,02605633802817	4,08457746478873	49,2117766842016
180	0,244	0,244	0,244	2,44	1,06535211267606	5,14992957746479	62,0473443068047
300	0,236	0,236	0,236	2,36	1,03042253521127	6,18035211267606	74,4620736466995
1080	0,235	0,235	0,235	2,35	1,02605633802817	7,20640845070422	86,8241982012557
1440	0,223	0,223	0,223	2,23	0,973661971830986	8,18007042253521	98,5550653317495
4320	0,239	0,239	0,239	2,39	1,04352112676056	9,22359154929577	111,12760902766
7200	0,232	0,232	0,232	2,32	1,01295774647887	10,2365492957746	123,331919226201
14400	0,237	0,240	0,2385	2,385	1,04133802816901	11,2778873239437	135,878160529442
28800	0,242	0,242	0,242	2,42	1,05661971830986	12,3345070422535	148,608518581368
43200	0,247	0,247	0,247	2,47	1,07845070422535	13,4129577464789	161,601900559986

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα καλίου, μαγνησίου και φωσφόρου των πειραμάτων των στηλών.

## Κάλιο

Πίνακας 32: Αθροιστική αποδέσμευση καλίου των πειραμάτων των στηλών για το σκέτο έδαφος.

ΧΡΟΝΟΣ	μg/ml	μg/ml	μg	μg/g
180	0,487	0,487	48,7	5,18085106382979
360	0,475	0,962	96,2	10,2340425531915
540	0,460	1,422	142,2	15,1276595744681
720	0,401	1,823	182,3	19,3936170212766
960	0,361	2,184	218,4	23,2340425531915
1440	0,368	2,552	255,2	27,1489361702128
1800	0,346	2,898	289,8	30,8297872340426
2520	0,306	3,204	320,4	34,0851063829787

Πίνακας 33: Αθροιστική αποδέσμευση καλίου των πειραμάτων των στηλών για το λίπασμα με σκέτο φωσφορικό κάλιο.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μg	μg/g
180	1,675	1,675	33,5	3,56382978723404
360	1,088	2,763	55,26	5,87872340425532
540	0,67	3,433	68,66	7,30425531914894
720	0,424	3,857	77,14	8,2063829787234
960	0,345	4,202	84,04	8,94042553191489
1440	0,384	4,586	91,72	9,75744680851064
1800	0,265	4,851	97,02	10,3212765957447
2520	0,185	5,036	100,72	10,7148936170213

Πίνακας 34: Αθροιστική αποδέσμευση καλίου των πειραμάτων των στηλών του λιπάσματος με φωσφορικό κάλιο και καολινίτη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μg	μg/g
180	1,392	1,392	13,92	1,48085106382979
360	0,878	2,27	22,7	2,41489361702128
540	0,455	2,725	27,25	2,89893617021277
720	0,317	3,042	30,42	3,23617021276596
960	0,235	3,277	32,77	3,48617021276596
1440	0,150	3,427	34,27	3,64574468085106
1800	0,101	3,528	35,28	3,7531914893617
2520	0,025	3,553	35,53	3,77978723404255

Πίνακας 35: Αθροιστική αποδέσμευση καλίου των πειραμάτων των στηλών για το λίπασμα με φωσφορικό κάλιο και μπεντονίτη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μg	μg/g
180	2,540	2,540	25,400	2,702
360	1,155	3,695	36,95	3,93085106382979
540	0,932	4,627	46,27	4,92234042553192
720	0,586	5,213	52,13	5,54574468085106
960	0,509	5,722	57,22	6,08723404255319
1440	0,336	6,058	60,58	6,44468085106383
1800	0,245	6,303	63,03	6,70531914893617
2520	0,210	6,513	65,13	6,92872340425532

Πίνακας 36: Αθροιστική αποδέσμευση καλίου των πειραμάτων των στηλών του λιπάσματος με φωσφορικό κάλιο και παλιγορσκίτη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μg	μg/g
180	1,863	1,863	18,63	1,98191489361702
360	0,637	2,5	25	2,65957446808511
540	0,228	2,728	27,28	2,90212765957447
720	0,133	2,861	28,61	3,0436170212766
960	0,122	2,983	29,83	3,17340425531915
1440	0,064	3,047	30,47	3,24148936170213
1800	0,036	3,083	30,83	3,27978723404255
2520	0,034	3,117	31,17	3,31595744680851

Πίνακας 37: Αθροιστική αποδέσμευση καλίου των πειραμάτων των στηλών του λιπάσματος με σκέτο κομπόστ.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μg	μg/g
180	1,421	1,421	71,05	7,55851063829787
360	0,782	2,203	110,15	11,718085106383
540	0,422	2,625	131,25	13,9627659574468
720	0,324	2,949	147,45	15,686170212766
960	0,314	3,263	163,15	17,3563829787234
1440	0,242	3,505	175,25	18,6436170212766
1800	0,214	3,719	185,95	19,781914893617
2520	0,14	3,859	192,95	20,5265957446809

Πίνακας 38: Αθροιστική αποδέσμευση καλίου των πειραμάτων των στηλών για το λίπασμα με κομπόστ και καολινίτη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μg	μg/g
180	2,644	2,644	26,44	2,81276595744681
360	1,930	4,574	45,74	4,86595744680851
540	1,294	5,868	58,68	6,24255319148936
720	1,244	7,112	71,12	7,56595744680851
960	1,102	8,214	82,14	8,73829787234042
1440	0,866	9,08	90,8	9,65957446808511
1800	0,785	9,865	98,65	10,4946808510638
2520	0,364	10,229	102,29	10,881914893617

Πίνακας 39: Αθροιστική αποδέσμευση των πειραμάτων των στηλών του λιπάσματος με κομπόστ και μπεντονίτη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μg	μg/g
180	2,591	2,591	25,91	2,7563829787234
360	1,941	4,532	45,32	4,82127659574468
540	1,473	6,005	60,05	6,38829787234043
720	1,423	7,428	74,28	7,90212765957447
960	1,386	8,814	88,14	9,37659574468085
1440	1,271	10,085	100,85	10,7287234042553
1800	1,211	11,296	112,96	12,0170212765957
2520	1,023	12,319	123,19	13,1053191489362

Πίνακας 40: Αθροιστική αποδέσμευση καλίου των πειραμάτων των στηλών του λιπάσματος με κομπόστ και παλιγορσκήνη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μg	μg/g
180	2,240	2,240	22,400	2,383
360	1,413	3,653	36,53	3,88617021276596
540	1,108	4,761	47,61	5,06489361702128
720	0,989	5,75	57,5	6,11702127659574
960	0,871	6,621	66,21	7,0436170212766
1440	0,691	7,312	73,12	7,77872340425532
1800	0,505	7,817	78,17	8,31595744680851
2520	0,321	8,138	81,38	8,65744680851064

## Μαγνήσιο

Πίνακας 41: Αθροιστική αποδέσμευση μαγνησίου των πειραμάτων των στηλών για το σκέτο έδαφος.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μg	μg/g (έδαφος)
180	0,518	0,518	51,8	5,51063829787234
360	0,307	0,825	82,5	8,77659574468085
540	0,267	1,092	109,2	11,6170212765957
720	0,238	1,33	133	14,1489361702128
960	0,218	1,548	154,8	16,468085106383
1440	0,143	1,691	169,1	17,9893617021277
1800	0,151	1,842	184,2	19,5957446808511
2520	0,120	1,962	196,2	20,8723404255319

Πίνακας 42: Αθροιστική αποδέσμευση μαγνησίου των πειραμάτων των στηλών του λιπάσματος με σκέτο φωσφορικό κάλιο.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μg	μg/g
180	0,511	0,511	25,55	2,71808510638298
360	0,349	0,86	43	4,57446808510638
540	0,231	1,091	54,55	5,8031914893617
720	0,161	1,252	62,6	6,65957446808511
960	0,144	1,396	69,8	7,42553191489362
1440	0,130	1,526	76,3	8,11702127659574
1800	0,122	1,648	82,4	8,76595744680851
2520	0,108	1,756	87,8	9,34042553191489

Πίνακας 43: Αθροιστική αποδέσμευση μαγνησίου των πειραμάτων των στηλών του λιπάσματος με φωσφορικό κάλιο και μπεντονίτη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μg	μg/g
180	0,209	0,209	2,09	0,222340425531915
360	0,401	0,61	6,1	0,648936170212766
540	0,426	1,036	10,36	1,10212765957447
720	0,364	1,4	14	1,48936170212766
960	0,323	1,723	17,23	1,83297872340425
1440	0,182	1,905	19,05	2,02659574468085
1800	0,069	1,974	19,74	2,1
2520	0,048	2,022	20,22	2,15106382978723

Πίνακας 44: Αθροιστική αποδέσμευση μαγνησίου των πειραμάτων των στηλών του λιπάσματος με φωσφορικό κάλιο και παλιγορσκήτη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μg	μg/g
180	0,539	0,539	5,39	0,573404255319149
360	0,5	1,039	10,39	1,10531914893617
540	0,421	1,46	14,6	1,5531914893617
720	0,210	1,67	16,7	1,77659574468085
960	0,141	1,811	18,11	1,92659574468085
1440	0,104	1,915	19,15	2,03723404255319
1800	0,086	2,001	20,01	2,12872340425532
2520	0,072	2,073	20,73	2,20531914893617

Πίνακας 45: Αθροιστική αποδέσμευση μαγνησίου των πειραμάτων των στηλών του λιπάσματος με φωσφορικό κάλιο και καολινίτη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μg	μg/g
180	0,193	0,193	3,86	0,41063829787234
360	0,187	0,38	7,6	0,808510638297872
540	0,138	0,518	10,36	1,10212765957447
720	0,078	0,596	11,92	1,26808510638298
960	0,044	0,64	12,8	1,36170212765957
1440	0,036	0,676	13,52	1,43829787234043
1800	0,024	0,7	14	1,48936170212766
2520	0,023	0,723	14,46	1,53829787234043

Πίνακας 46: Αθροιστική αποδέσμευση μαγνησίου των πειραμάτων των στηλών του λιπάσματος με σκέτο κομπόστ.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μg	μg/g
180	0,720	0,720	36,000	3,830
360	0,164	0,884	44,2	4,70212765957447
540	0,066	0,95	47,5	5,0531914893617
720	0,060	1,01	50,5	5,37234042553191
960	0,042	1,052	52,6	5,59574468085106
1440	0,038	1,09	54,5	5,79787234042553
1800	0,026	1,116	55,8	5,93617021276596
2520	0,020	1,136	56,8	6,04255319148936



Πίνακας 47: Αθροιστική αποδέσμευση μαγνησίου των πειραμάτων των στηλών για το λίπασμα με κομπόστ και καολινίτη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μg	μg/g
180	0,534	0,534	5,34	0,568085106382979
360	0,439	0,973	9,73	1,03510638297872
540	0,424	1,397	13,97	1,48617021276596
720	0,351	1,748	17,48	1,85957446808511
960	0,241	1,989	19,89	2,11595744680851
1440	0,199	2,188	21,88	2,32765957446808
1800	0,113	2,301	23,01	2,44787234042553
2520	0,104	2,405	24,05	2,55851063829787

Πίνακας 48: Αθροιστική αποδέσμευση μαγνησίου των πειραμάτων των στηλών του λιπάσματος με κομπόστ και μπεντονίτη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μg	μg/g
180	0,682	0,682	6,82	0,725531914893617
360	0,588	1,27	12,7	1,35106382978723
540	0,545	1,815	18,15	1,93085106382979
720	0,477	2,292	22,92	2,43829787234043
960	0,456	2,748	27,48	2,92340425531915
1440	0,181	2,929	29,29	3,11595744680851
1800	0,084	3,013	30,13	3,20531914893617
2520	0,071	3,084	30,84	3,28085106382979

Πίνακας 49: Αθροιστική αποδέσμευση μαγνησίου των πειραμάτων των στηλών του λιπάσματος με κομπόστ και παλιγορσκήτη.

Χρόνος	μg/ml	μg/ml	μg	μg/g
180	0,592	0,592	5,92	0,629787234042553
360	0,381	0,973	9,73	1,03510638297872
540	0,241	1,214	12,14	1,29148936170213
720	0,205	1,419	14,19	1,50957446808511
960	0,140	1,559	15,59	1,65851063829787
1440	0,132	1,691	16,91	1,79893617021277
1800	0,107	1,798	17,98	1,91276595744681
2520	0,086	1,884	18,84	2,00425531914894

## Φώσφορος

Πίνακας 50: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου των πειραμάτων των στηλών του σκέτου εδάφους.

Χρόνος	P205 $\mu\text{g/ml}$	P205	P205 $\mu\text{g}$	P $\mu\text{g}$	P $\mu\text{g/g}$
180	0,080	0,080	2,000	0,873	0,093
360	0,079	0,159	3,975	1,73556338028169	0,184634402157627
540	0,076	0,235	5,875	2,56514084507042	0,272887323943662
720	0,074	0,309	7,725	3,37288732394366	0,358817800419538
960	0,073	0,382	9,55	4,16971830985915	0,443587054240336
1440	0,072	0,454	11,35	4,9556338028169	0,527195085406053
1800	0,07	0,524	13,1	5,71971830985916	0,608480671261612
2520	0,069	0,593	14,825	6,47288732394366	0,688605034462092

Πίνακας 51: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου των πειραμάτων των στηλών του λιπάσματος με σκέτο φωσφορικό κάλιο.

Χρόνος	P205 $\mu\text{g/ml}$	P205 $\mu\text{g/ml}$	P205 $\mu\text{g}$	P $\mu\text{g}$	P $\mu\text{g/g}$
180	1,682	1,682	1,682	0,734394366197183	0,078127060233742
360	0,907	2,589	2,589	1,13040845070423	0,120256218160024
540	0,810	3,399	3,399	1,48407042253521	0,157879832184597
720	0,588	3,987	3,987	1,74080281690141	0,185191789032065
960	0,439	4,426	4,426	1,93247887323944	0,205582858855259
1440	0,218	4,644	4,644	2,02766197183099	0,215708720407552
1800	0,191	4,835	4,835	2,11105633802817	0,224580461492358
2520	0,075	4,91	4,91	2,14380281690141	0,228064129457597

Πίνακας 52: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου των πειραμάτων των στηλών του λιπάσματος με φωσφορικό κάλιο και μπεντονίτη.

Χρόνος	P205 $\mu\text{g/ml}$	P205 $\mu\text{g/ml}$	P205 $\mu\text{g}$	P $\mu\text{g}$	P $\mu\text{g/g}$
180	1,202	1,202	1,202	0,524816901408451	0,055831585256218
360	0,993	2,195	2,195	0,958380281690141	0,101955349115972
540	0,516	2,711	2,711	1,18367605633803	0,125922984716812
720	0,372	3,083	3,083	1,3460985915493	0,143201977824393
960	0,298	3,381	3,381	1,47621126760563	0,15704375187294
1440	0,266	3,647	3,647	1,59235211267606	0,169399160922985
1800	0,183	3,83	3,83	1,67225352112676	0,177899310758166
2520	0,152	3,982	3,982	1,73861971830986	0,184959544501049

Πίνακας 53: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου των πειραμάτων των στηλών του λιπάσματος με φωσφορικό κάλιο και παλιγορσκήτη.

Χρόνος	P205 µg/ml	P205 µg/ml	P205µg	P µg	P µg/g
180	1,396	1,396	1,396	0,609521126760563	0,064842673059634
360	0,967	2,363	2,363	1,0317323943662	0,109758765358106
540	0,688	3,051	3,051	1,33212676056338	0,141715612825892
720	0,400	3,451	3,451	1,50677464788732	0,160295175307162
960	0,260	3,711	3,711	1,62029577464789	0,172371890919988
1440	0,202	3,913	3,913	1,70849295774648	0,18175456997303
1800	0,162	4,075	4,075	1,77922535211268	0,189279292777944
2520	0,114	4,189	4,189	1,829	0,194574468085106

Πίνακας 54: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου των πειραμάτων των στηλών του λιπάσματος με φωσφορικό κάλιο και καολινίτη.

Χρόνος	P205 µg/ml	P205 µg/ml	P205 µg	P µg	P µg/g
180	1,385	1,385	1,385	0,604718309859155	0,064331735091399
360	0,577	1,962	1,962	0,856647887323944	0,091132753970632
540	0,496	2,458	2,458	1,07321126760563	0,114171411447408
720	0,345	2,803	2,803	1,22384507042254	0,130196284087504
960	0,230	3,033	3,033	1,3242676056338	0,140879532514234
1440	0,149	3,182	3,182	1,38932394366197	0,147800419538508
1800	0,138	3,32	3,32	1,44957746478873	0,154210368594546
2520	0,129	3,449	3,449	1,5059014084507	0,160202277494756

Πίνακας 55: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου των πειραμάτων των στηλών του λιπάσματος με σκέτο κομπόστ.

Χρόνος	P205 µg/ml	P205 µg/ml	P205 µg	P µg	P µg/g κομπόστ
180	0,165	0,165	3,3	1,44084507042254	0,153281390470482
360	0,128	0,293	5,86	2,55859154929577	0,272190590350614
540	0,106	0,399	7,98	3,48422535211268	0,370662271501349
720	0,082	0,481	9,62	4,20028169014085	0,446838477674558
960	0,068	0,549	10,98	4,79408450704225	0,510008990110878
1440	0,059	0,608	12,16	5,30929577464789	0,564818699430626
1800	0,025	0,633	12,66	5,52760563380282	0,588043152532215
2520	0,013	0,646	12,92	5,64112676056338	0,60011986814504

Πίνακας 56: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου των πειραμάτων των στηλών του λιπάσματος με κομπόστ και καολινίτη.

Χρόνος	P205 µg/ml	P205 µg/ml	P205 µg	P µg	P µg/g
180	0,090	0,090	1,800	0,786	0,084
360	0,087	0,177	3,54	1,5456338028169	0,164429127959245
540	0,082	0,259	5,18	2,26169014084507	0,240605334132454
720	0,064	0,323	6,46	2,82056338028169	0,30005993407252
960	0,048	0,371	7,42	3,23971830985916	0,34465088402757
1440	0,037	0,408	8,16	3,56281690140845	0,37902307461792
1800	0,020	0,428	8,56	3,73746478873239	0,397602637099191
2520	0,016	0,444	8,88	3,87718309859155	0,412466287084207

Πίνακας 57: Αθροιστική αποδέσμευση Αποτελέσματα φωσφόρου των πειραμάτων των στηλών του λιπάσματος με κομπόστ και μπεντονίτη.

Χρόνος	P205 µg/ml	P205 µg/ml	P205 µg	P µg	P µg/g
180	0,102	0,102	2,04	0,890704225352113	0,094755768654480
360	0,096	0,198	3,96	1,72901408450704	0,183937668564579
540	0,086	0,284	5,68	2,48	0,263829787234043
720	0,080	0,364	7,28	3,17859154929578	0,338148037159125
960	0,075	0,439	8,78	3,83352112676056	0,40782139646389
1440	0,056	0,495	9,9	4,32253521126761	0,459844171411447
1800	0,043	0,538	10,76	4,69802816901409	0,499790230746179
2520	0,039	0,577	11,54	5,03859154929577	0,536020377584657

Πίνακας 58: Αθροιστική αποδέσμευση φωσφόρου του πειράματος των στηλών του λιπάσματος με κομπόστ και παλιγοροσκήτη.

Χρόνος	P205 µg/ml	P205 µg/ml	P205 µg	P µg	P µg/g
180	0,133	0,133	2,66	1,16140845070423	0,12355409050045
360	0,124	0,257	5,14	2,24422535211268	0,238747377884327
540	0,067	0,324	6,48	2,82929577464789	0,300988912196584
720	0,058	0,382	7,64	3,33577464788732	0,354869643392269
960	0,031	0,413	8,26	3,60647887323944	0,383667965238238
1440	0,028	0,441	8,82	3,85098591549296	0,409679352712017
1800	0,024	0,465	9,3	4,06056338028169	0,431974827689542
2520	0,0	0,465	9,3	4,06056338028169	0,431974827689542