ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Τα πυριγενή πετρώματα αποτελούν τα πρώτα πετρώματα που σχηματίζονται από την ψύξη και στερεοποίηση του μάγματος ή της λάβας. Η δημιουργία τους συνδέεται άμεσα με τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό της Γης και αντανακλά τη χημική σύσταση, τη θερμοκρασία και τις συνθήκες κρυστάλλωσης του μάγματος. Για τον λόγο αυτό, η μελέτη τους παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την εξέλιξη του γήινου φλοιού και τη δυναμική του εσωτερικού του πλανήτη.

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι μηχανισμοί σχηματισμού των πυριγενών πετρωμάτων, η ορυκτολογική και χημική τους σύσταση, η υφή τους, καθώς και τα κυριότερα συστήματα ταξινόμησης. Η κατανόηση των πυριγενών πετρωμάτων αποτελεί βασικό εργαλείο για την ερμηνεία των γεωδυναμικών διεργασιών που διαμορφώνουν τη Γη.



Εισαγωγή στα πυριγενή πετρώματα

Τα πυριγενή πετρώματα αποτελούν την πρωτογενή κατηγορία πετρωμάτων της Γης, καθώς σχηματίζονται κατεξοχήν από την ψύξη και κρυστάλλωση ενός πυριτικού τήγματος, του μάγματος. Αποτελούν το βασικό δομικό υλικό του γήινου φλοιού και του ανώτερου μανδύα και διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη του πλανήτη, στη δημιουργία του φλοιού και στη διαμόρφωση των γεωλογικών διεργασιών.

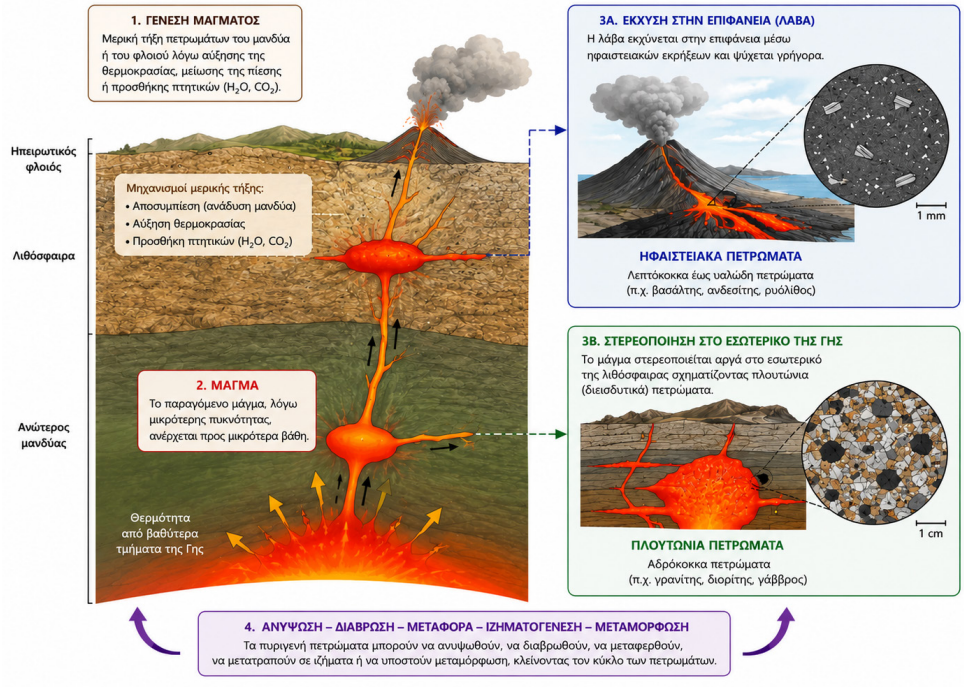
Το μάγμα δημιουργείται σε μεγάλα βάθη, όταν πετρώματα του μανδύα ή του κατώτερου φλοιού υποστούν μερική τήξη. Η γένεσή του συνδέεται κυρίως με την αύξηση της θερμοκρασίας, τη μείωση της πίεσης ή την προσθήκη πτητικών συστατικών, κυρίως νερού, τα οποία μειώνουν το σημείο τήξης των πετρωμάτων. Λόγω της μικρότερης πυκνότητάς του σε σχέση με τα περιβάλλοντα πετρώματα, το μάγμα τείνει να ανέρχεται προς μικρότερα βάθη, όπου είτε στερεοποιείται στο εσωτερικό της λιθόσφαιρας είτε εκχύνεται στην επιφάνεια μέσω ηφαιστειακών εκρήξεων.

Η χημική σύσταση του μάγματος, η θερμοκρασία, η πίεση, η περιεκτικότητα σε πτητικά συστατικά και ο ρυθμός ψύξης αποτελούν τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την ορυκτολογική σύσταση, την υφή και τη δομή των πυριγενών πετρωμάτων. Έτσι, μάγματα με παρόμοια χημική σύσταση μπορούν να παράγουν πετρώματα με διαφορετική εμφάνιση και διαφορετικές υφές, ανάλογα με τις συνθήκες κάτω από τις οποίες κρυσταλλώθηκαν.

Τα πυριγενή πετρώματα διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, ανάλογα με το περιβάλλον στερεοποίησης του μάγματος. Όταν η κρυστάλλωση πραγματοποιείται στο εσωτερικό της Γης σχηματίζονται τα πλουτώνια πετρώματα, τα οποία χαρακτηρίζονται συνήθως από αδρόκοκκη υφή λόγω της αργής ψύξης. Αντίθετα, όταν το μάγμα εκχύνεται στην επιφάνεια ως λάβα και ψύχεται ταχύτατα, σχηματίζονται τα ηφαιστειακά (ή εκρηξιγενή) πετρώματα, τα οποία είναι λεπτόκοκκα ή ακόμη και υαλώδη.

Η μελέτη των πυριγενών πετρωμάτων επιτρέπει την ανασύσταση των φυσικοχημικών συνθηκών που επικρατούσαν κατά τη γένεση και εξέλιξη των μαγμάτων. Η ορυκτολογική και χημική σύστασή τους, οι υφές τους και οι σχέσεις μεταξύ των ορυκτών παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό της Γης, για το τεκτονικό περιβάλλον σχηματισμού τους και για την εξέλιξη του γήινου φλοιού και του μανδύα.

Στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι βασικές αρχές της Πετρολογίας των πυριγενών πετρωμάτων, από τη γένεση και την εξέλιξη των μαγμάτων έως τις υφές, την ταξινόμηση και τα σημαντικότερα πυριγενή πετρώματα.



Σχήμα 4.1. Σχηματική αναπαράσταση του σχηματισμού των πυριγενών πετρωμάτων. Η μερική τήξη πετρωμάτων του μανδύα ή του φλοιού οδηγεί στη δημιουργία μάγματος, το οποίο, λόγω της μικρότερης πυκνότητάς του, ανέρχεται προς μικρότερα βάθη. Η στερεοποίηση του μάγματος στο εσωτερικό της Γης οδηγεί στον σχηματισμό πλουτώνιων (διεισδυτικών) πετρωμάτων, ενώ η έκχυσή του στην επιφάνεια ως λάβα οδηγεί στον σχηματισμό ηφαιστειακών (εκχυτικών) πετρωμάτων.

Το μάγμα και η γένεσή του

Ορισμός του μάγματος

Το μάγμα είναι ένα φυσικό πυριτικό τήγμα υψηλής θερμοκρασίας που σχηματίζεται στο εσωτερικό της Γης και αποτελείται από τρία βασικά συστατικά:

- υγρή φάση (πυριτικό τήγμα),
- στερεή φάση (κρύσταλλοι ορυκτών),
- αέρια ή πτητική φάση.

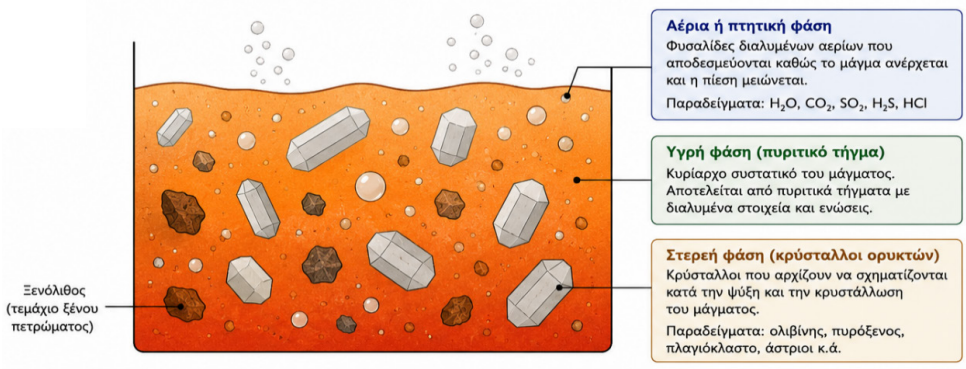
Η σχετική αναλογία των τριών αυτών φάσεων μεταβάλλεται συνεχώς κατά την άνοδο και την ψύξη του μάγματος. Σε υψηλές θερμοκρασίες κυριαρχεί η υγρή φάση, ενώ κατά την ψύξη αρχίζει η κρυστάλλωση των ορυκτών, με αποτέλεσμα να αυξάνεται σταδιακά το ποσοστό της στερεής φάσης. Παράλληλα, η μείωση της πίεσης κατά την άνοδο του μάγματος ευνοεί την αποδέσμευση των διαλελυμένων πτητικών συστατικών και τον σχηματισμό φυσαλίδων αερίων.

Η θερμοκρασία των φυσικών μαγμάτων κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 650 και 1300 °C, ανάλογα με τη χημική τους σύσταση. Τα όξινα μάγματα έχουν γενικά χαμηλότερες θερμοκρασίες κρυστάλλωσης, ενώ τα βασικά και υπερβασικά μάγματα χαρακτηρίζονται από σημαντικά υψηλότερες θερμοκρασίες.

Η χημική σύσταση των περισσότερων μαγμάτων κυριαρχείται από οξυγόνο και πυρίτιο, τα οποία σχηματίζουν το τετραεδρικό ανιόν SiO_4^{4-}, τη θεμελιώδη δομική μονάδα των πυριτικών ορυκτών. Εκτός από το Si και το O, σημαντική συμμετοχή έχουν τα χημικά στοιχεία Al, Fe, Mg, Ca, Na και K, ενώ σε μικρότερες συγκεντρώσεις απαντούν Ti, Mn, P και άλλα ιχνοστοιχεία.

Τα πτητικά συστατικά αποτελούνται κυρίως από H_2O, CO_2, SO_2, H_2S, HCl, HF και μικρότερες ποσότητες άλλων αερίων. Η παρουσία τους επηρεάζει σημαντικά τη θερμοκρασία τήξης, το ιξώδες του μάγματος και τον τρόπο εκδήλωσης της ηφαιστειακής δραστηριότητας.

Το μάγμα δεν αποτελεί ένα ομοιογενές υγρό, αλλά ένα δυναμικό πολυφασικό σύστημα, στο οποίο συνυπάρχουν τήγμα, κρύσταλλοι και αέρια σε διαφορετικές αναλογίες. Η εξέλιξη αυτών των φάσεων καθορίζει τη σύσταση, την υφή και τις ιδιότητες των πυριγενών πετρωμάτων που θα προκύψουν μετά την πλήρη στερεοποίησή του.



Σχήμα 4.2. Σχηματική απεικόνιση των συστατικών ενός μάγματος.

Χημική σύσταση των μαγμάτων

Η χημική σύσταση των μαγμάτων αποτελεί τον σημαντικότερο παράγοντα που καθορίζει τα ορυκτά που θα κρυσταλλωθούν, τις φυσικές ιδιότητες του μάγματος και, τελικά, το είδος του πυριγενούς πετρώματος που θα σχηματιστεί. Τα περισσότερα φυσικά μάγματα είναι πυριτικά και αποτελούνται κυρίως από οξείδια χημικών στοιχείων, με κυρίαρχο το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2).

Τα κύρια οξείδια που συμμετέχουν στη σύσταση των πυριτικών μαγμάτων είναι τα SiO_2, Al_2O_3, FeO, Fe_2O_3, MgO, CaO, Na_2O, K_2O και TiO_2. Από αυτά, το SiO_2

αποτελεί το σημαντικότερο συστατικό, καθώς η περιεκτικότητά του επηρεάζει άμεσα το ιξώδες, τη θερμοκρασία κρυστάλλωσης και την ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων.

Ανάλογα με την περιεκτικότητα σε SiO_2, τα μάγματα διακρίνονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες **(Πίνακας 4.1)**:

- **υπερβασικά** (<45 wt.% SiO_2),
- **βασικά** (45–52 wt.% SiO_2),
- **ενδιάμεσα** (52–63 wt.% SiO_2),
- **όξινα** (>63 wt.% SiO_2).

Η αύξηση της περιεκτικότητας σε διοξείδιο του πυριτίου κατεξοχήν συνοδεύεται από αύξηση του ιξώδους και μείωση της θερμοκρασίας κρυστάλλωσης του μάγματος. Αντίθετα, τα βασικά και υπερβασικά μάγματα χαρακτηρίζονται από μικρότερο ιξώδες, υψηλότερες θερμοκρασίες και ευκολότερη ροή.

Εκτός από τα κύρια οξείδια, τα μάγματα περιέχουν μικρές ποσότητες ολιγοστοιχείων όπως τα οξείδια MnO και P_2O_5, και ιχνοστοιχείων, όπως Rb, Sr, Ba, Zr, Nb, Y, Cr και Ni, καθώς και στοιχεία των σπανίων γαιών (Rare Earth Elements, REE). Παρότι οι συγκεντρώσεις τους είναι μικρές, αποτελούν ιδιαίτερα χρήσιμους γεωχημικούς δείκτες για τη διερεύνηση της προέλευσης, της εξέλιξης και του τεκτονικού περιβάλλοντος γένεσης των μαγμάτων.

Η χημική σύσταση ενός μάγματος εκφράζεται συνήθως ως ποσοστό κατά βάρος των κυρίων οξειδίων, ενώ η θεωρητική ορυκτολογική του σύσταση μπορεί να υπολογιστεί με το δείκτη CIPW (CIPW norm). Η μέθοδος αυτή μετατρέπει τη χημική ανάλυση του πετρώματος σε ένα ιδανικό σύνολο ορυκτών, επιτρέποντας τη σύγκριση πετρωμάτων διαφορετικής υφής ή βαθμού κρυστάλλωσης. Ο δείκτης CIPW χρησιμοποιείται ευρέως στη Γεωχημεία και την Πετρολογία, κυρίως για την ταξινόμηση και ερμηνεία μαγματικών πετρωμάτων.

Πίνακας 4.1. Ταξινόμηση μαγμάτων και πυριγενών πετρωμάτων.

Τύπος μάγματος	Υπερμαφικό	Μαφικό	Ενδιάμεσο	Φελσικό
SiO_2	<45	45-52	52-63	>63
$MgO + FeO + MnO + Fe_2O_3$	35-46	15-28	10-21	<3
$Na_2O + K_2O$	<1	2-3.5	3-6	5-10
Κύρια ορυκτά	Ολιβίνης + πυρόξενος	Πλαγιόκλαστο + πυρόξενος	Πυρόξενος + πλαγιόκλαστο + αμφίβολος	Αλκαλικός άστριος + χαλαζίας
Ηφαιστειακό	Κοματιΐτης	Βασάλτης	Ανδεσίτης	Ρυόλιθος
Υπο-αββυσικό	Κοματιΐτης	Διαβάσης		
Πλουτώνιο	Περιδοτίτης	Γάββρος	Διορίτης	Γρανίτης