



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΕΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ

**« Διδακτική της Χημείας, Νέες Εκπαιδευτικές Τεχνολογίες και
Εκπαίδευση για την Αειφόρο Ανάπτυξη
(ΔιΧηNET-ΕΑΑ)»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ορυκτοί πόροι, χρήσεις και ιδιότητες υλικών, η σημασία τους στην
καθημερινή ζωή. Μια διδακτική προσέγγιση σε μαθητές Γυμνασίου
μέσω μουσειακών εκθεμάτων.**

**ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ
ΧΗΜΙΚΟΣ**

**ΑΘΗΝΑ
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2022**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ορυκτοί πόροι, χρήσεις και ιδιότητες υλικών, η σημασία τους στην καθημερινή ζωή. Μια διδακτική προσέγγιση σε μαθητές Γυμνασίου μέσω μουσειακών εκθεμάτων.

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ
ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ ΒΑΣΙΛΙΚΗ

A.M.: 201106

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Μπουρουσιάν Μιρτάτ
(Αναπληρωτής καθηγητής , Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.)

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Μιρτάτ Μπουρουσιάν Αναπληρωτής Καθηγητής	Μεθενίτης Κωνσταντίνος	Σταμπάκη-Χατζηπαναγιώτη Δέσποινα
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ 19/10/2022

Στον Παύλο και τη Βάλια

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπωντα καθηγητή μου κ. Μιρτάτ Μπουρουσιάν για την επιστημονική βοήθειά του και την καθοδήγησή του. Ο ρόλος του ήταν καθοριστικός και νιώθω ευγνώμων για τη συνεργασία μαζί του. Πέρα από καθηγητής είναι ένας ευγενικός και με ήθος άνθρωπος που με ενθάρρυνε να συνεχίσω όταν ήμουν απογοητευμένη.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Κωνσταντίνο Μεθενίτη και στα υπόλοιπα μέλη του ΔιΧηNET για την επικοινωνιακή συνεργασία και συμβολή τους καθόλη τη διάρκεια της φοίτησής μου.

Οφείλω ιδιαίτερα να ευχαριστήσω την ομάδα του μουσείου Ορυκτολογίας και Πετρολογίας ΕΚΠΑ για την πολύτιμη συνεργασία τους. Χωρίς τη βοήθεια τους το εγχείρημα αυτό εν μέσω της πανδημίας δεν θα ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθεί. Καθώς και τους συμφοιτητές μου αλλά και τους συναδέλφους εκπαιδευτικούς του 1^{ου} Γυμνασίου Βύρωνα για τις πολύτιμες συμβουλές τους.

Τέλος ευχαριστώ πολύ την οικογένειά μου και τους γονείς μου για την συναισθηματική στήριξη που μου πρόσφεραν αυτά τα δύο χρόνια.

Περίληψη

Το σύγχρονο εκπαιδευτικό πεδίο, ιδιαίτερα όσον αφορά στην τυπική εκπαίδευση έχει θέσει ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις όσον αφορά το περιεχόμενο των διδασκόμενων μαθημάτων όπως επίσης και το μέγεθος και την ποιότητα του περιεχομένου τους. Στην εποχή της πληροφορίας το περιεχόμενο αυτό έχει γίνει πιο σύνθετο, πιο εξειδικευμένο και συνάμα πιο πολύπλοκο. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητη η αξιοποίηση όλων των δυνατών διδακτικών μέσων για την καλύτερη κατανόηση και αφομοίωσή του από τους εκπαιδευόμενους. Τα μουσεία, ως άτυποι χώροι μάθησης έχουν αναγνωρισθεί από την ερευνητική και τη διδακτική κοινότητα ως ιδιαίτερα σημαντικά στη βελτίωση της κατανόησης των μαθητών και την αύξηση της εμπλοκής τους στη μάθηση.

Η παρούσα εργασία εστιάζοντας στα ορυκτά ως μέρος της ύλης της Χημείας στο Γυμνάσιο, παρουσιάζει τον σχεδιασμό και τη διενέργεια διδακτικής παρέμβασης στο Μουσείο Ορυκτολογίας και Πετρολογίας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Παράλληλα, στο ερευνητικό της μέρος, παρουσιάζει τον σχεδιασμό και τη διενέργεια πρωτογενούς έρευνας μεταξύ των συμμετεχόντων μαθητών στην παρέμβαση εστιάζοντας στην αξιολόγηση της χρήσης του μουσείου ως χώρο μάθησης και στη δυνατότητα που αυτό παρέχει στην καλύτερη κατανόηση της θεωρίας του μαθήματος.

Τα αποτελέσματα της εξέτασης των δεδομένων της έρευνας έδειξαν αφενός μια ιδιαίτερα θετική αντίδραση των συμμετεχόντων στην παρέμβαση σε σχέση με την επικοινωνιακή της επίδραση στα πλαίσια του μαθήματος, αφετέρου μια ιδιαίτερα θετική αποτίμηση της αξιοποίησης του μουσείου ως άτυπο χώρο για την περαιτέρω εκπαίδευσή τους. Επίσης διεφάνει ότι η χρήση των μουσείων εν γένει, αλλά και η αξιοποίηση διαδραστικών παρεμβάσεων κατά την επίσκεψη σε αυτά, έχει ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα όσον αφορά στην ποιότητα και ποσότητα γνώσης που αποκτούν οι μαθητές.

Λέξεις – κλειδιά

Ορυκτά, Ορυκτολογία, Επικοινωνιακός, Μουσεία, Άτυπη μάθηση

Abstract

The modern educational field, especially with regard to formal education, has set particularly high standards regarding the content of the instructed courses as well as the size and quality of their content. In the information age and with the advent of the knowledge society, this content has become more complex, and at the same time more specialized. Consequently, it is necessary to utilize all possible teaching tools for a better understanding and assimilation of knowledge by the trainees. Museums, as informal learning spaces, have been recognized by the research and teaching community as particularly important in improving students' understanding and increasing their engagement with learning.

The present thesis, focusing on minerals as part of the subject matter of Chemistry in High School, presents the planning and implementation of a didactic intervention at the Museum of Mineralogy and Petrology of the National and Kapodistrian University of Athens involving an inquiry among the participating students focusing on the evaluation of the use of the museum as a learning space and the possibility that provides a better understanding of the theory of the course.

The results of the examination of the research data showed, on the one hand, a particularly positive reaction of the participants to the intervention in relation to its constructive effect in the context of the course, as well as a particularly positive evaluation of the utilization of the museum as an informal space for their further learning. It is also clear that the use of museums in general, but also the utilization of interactive interventions when visiting them, has particularly positive effect in terms of the knowledge quality which the students receive.

Keywords

Minerals, Mineralogy, Constructivism, Museums, Informal learning

Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων.....	11
Κατάλογος Εικόνων.....	11
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	13
Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας.....	13
Σκοπός και στόχοι.....	13
Μεθοδολογία.....	13
Καινοτομία.....	14
Δομή	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΟΡΥΚΤΑ.....	15
1.1 Οι ονομασίες των ορυκτών.....	16
1.2 Εμφάνιση και σχηματισμός.....	16
1.3 Η δομή των ορυκτών.....	17
1.3.1 Μορφολογία.....	17
1.3.2 Εσωτερική δομή.....	19
1.3.3 Πολυμορφισμός.....	21
1.4 Φυσικές ιδιότητες.....	22
1.4.1 Κρυσταλλική μορφή (τροπισμός) και Συσσωμάτωση Κρυστάλλων.....	22
1.4.2 Στιλπνότητα (Lustre).....	24
1.4.3 Χρώμα.....	24
1.5 Κατηγοριοποίηση ορυκτών.....	25
1.5.1 Φυσικά Στοιχεία.....	26
1.5.2 Σουλφίδια.....	27
1.5.3 Σουλφοάλατα.....	28
1.5.4 Οξειδία και Υδροξείδια.....	28
1.5.5 Αλογονίδια.....	29
1.5.6 Ανθρακικά.....	30
1.5.7 Νιτρικά.....	31
1.5.8 Βορικά.....	31
1.5.9 Θειικά.....	32
1.5.10 Φωσφορικά άλατα.....	32
1.5.11 Πυριτικά.....	32
1.6 Τα ορυκτά στον Ελλαδικό χώρο.....	34
1.7 Διεργασίες επεξεργασίας ορυκτών με ιδιαίτερη σημασία στην Ελλάδα.....	37
1.7.1 Εξαγωγή αλουμινίου από βωξίτη. Μέθοδος Bayer.....	37
1.7.2 Εξαγωγή αργύρου από γαληνίτη.....	48
1.7.3 Παραγωγή διπτανθρακικού νατρίου.....	49
1.7.4 Μέθοδοι ανάκτησης μαγγανίου και χρυσού.....	51
1.7.5 Μπετονίτης.....	54
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΕΠΟΙΚΟΔΟΜΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΟΥΣΕΙΑ.....	56

2.1	Εποικοδομητισμός.....	56
2.2	Άτυπες μορφές μάθησης και ο ρόλος τους για τους εκπαιδευτές και εκπαιδευομένους - Εστίαση στις φυσικές επιστήμες	59
2.3	Τα μουσεία και η μάθηση.....	60
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ	67
3.1	Η σύνδεση της θεωρίας μέσω της επίσκεψης σε μουσείο	67
3.2	Το Μουσείο Ορυκτολογίας και Πετρολογίας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών	67
3.3	Η Διδακτική προσέγγιση	69
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΈΡΕΥΝΑΣ	78
4.1	Ερευνητικά ερωτήματα	78
4.2	Σχεδιασμός έρευνας	78
4.3	Πληθυσμός στόχος και μεθοδολογία συγκέντρωσης δεδομένων	78
4.4	Εργαλεία έρευνας.....	79
4.5	Ηθική και δεοντολογία έρευνας.....	80
4.6	Μέθοδοι επεξεργασίας δεδομένων.....	80
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΈΡΕΥΝΑΣ	81
5.1	Το μουσείο ως μαθησιακό περιβάλλον (1 ^ο επίπεδο έρευνας).....	81
5.1.1	Δημογραφικά χαρακτηριστικά	81
5.1.2	Κλίμακες αξιολόγησης μουσείου ως μαθησιακό περιβάλλον M-CLES	83
5.2	Η χρήση διαδραστικών δράσεων στα μουσεία και η επίδραση στην μαθησιακή διαδικασία (2 ^ο επίπεδο έρευνας)	97
6	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΕΡΩΤΗΜΑΤΩΝ ...	99
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	101
7.1	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	101
	Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές	103
	Παράρτημα Α Ενημερωτική παρουσίαση για την επίσκεψη στο μουσείο	110
	Παράρτημα Β Εργαλείο συγκέντρωσης δεδομένων πρώτου επιπέδου έρευνας	116
	Παράρτημα Γ Εργαλείο συγκέντρωσης δεδομένων δευτέρου επιπέδου έρευνας.....	119

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1Α Μεταλλευτικά ορυκτά ή μεταλλεύματα	34
Πίνακας 2Α Ορυκτές ύλες – Χρήσεις υλικών	35
Πίνακας 3Α Γεωλογία Ελλάδας - Γεωτεκτονικές ζώνες και μάζες.....	36
Πίνακας 1 Κατανομή δείγματος με βάση το φύλο.....	81
Πίνακας 2 Κατανομή δείγματος με βάση την ηλικία.....	82
Πίνακας 3 Υπολογισμός δείκτη εσωτερικής αξιοπιστίας των απαντήσεων του δείγματος .	83
Πίνακας 4 Αποτελέσματα περιγραφικής ανάλυσης του άξονα Συνάφεια προγράμματος σπουδών.....	84
Πίνακας 5 Αποτελέσματα περιγραφικής ανάλυσης του άξονα Προσωπική συνάφεια	87
Πίνακας 6 Αποτελέσματα περιγραφικής ανάλυσης του άξονα Αβεβαιότητα Επιστήμης....	90
Πίνακας 7 Αποτελέσματα περιγραφικής ανάλυσης του άξονα Κριτική φωνή	92
Πίνακας 8 Αποτελέσματα περιγραφικής ανάλυσης του άξονα Διαπραγμάτευση.....	94
Πίνακας 9 Αξιολόγηση μουσείων ως μαθησιακό περιβάλλον.....	88
Πίνακας 10 Συνολικός αριθμός σφαλμάτων ανά ερώτημα για τα πρώτα 7 ερωτήματα του εργαλείου έρευνας.....	97
Πίνακας 11 Συνολικός αριθμός σφαλμάτων ανά ερώτημα για τα υπόλοιπα ερωτήματα του εργαλείου έρευνας.....	97

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Στοιχεία συμμετρίας όπως εκφράζονται από τη μορφολογία των κρυστάλλων. (Α) Εξαπλός άξονας περιστροφής (6). (Β) Τετραπλός άξονας στροφοαναστροφής (4). (Γ) Κέντρο συμμετρίας (i). (Δ) Επίπεδο κατοπτρισμού (m). (Encyclopædia Britannica, 2020)	18
Εικόνα 2 Παράδειγμα διδύμων κρυστάλλων (Geology in, https://www.geologyin.com/2014/07/crystal-twinning.html)	19
Εικόνα 3 Ένα δείγμα wulfenite, ένα ορυκτό με καλή κρυσταλλική μορφή, από το Μεξικό.	20
Εικόνα 4 Ένα δείγμα ροζ χαλαζία, ένα ορυκτό με καλή κρυσταλλική μορφή, από την πολιτεία Minas Gerais, Braz.....	20
Εικόνα 5 Ένα δείγμα αμαζονίτη, μια πρασινωπό μπλε ποικιλία μικροκλινικού άστριου, με σκούρο γκρι χαλαζία. Ο άστριος μικροκλίνης είναι ένα παράδειγμα ορυκτού που εμφανίζει καλή κρυσταλλική μορφή	21
Εικόνα 6 Οι διαφορές στην δομή του γραφίτη (δεξιά) και του διαμαντιού (αριστερά) (Wikipedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diamond_and_graphite2.jpg).....	22
Εικόνα 7 Κοινές κρυσταλλικές συσσωματώσεις και συνήθειες.(Encyclopædia Britannica, 2020).....	23
Εικόνα 8 Ομάδα μαθητών κατά την ώρα της διάλεξης στο μουσείο	70

Εικόνα 9 Εκθέματα που παρουσιάστηκαν κατά την επίσκεψη	71
Εικόνα 10 Εκθέματα που παρουσιάστηκαν κατά την επίσκεψη	72
Εικόνα 11 Εκθέματα που παρουσιάστηκαν κατά την επίσκεψη	73
Εικόνα 12 Εκθέματα που παρουσιάστηκαν κατά την επίσκεψη	74
Εικόνα 13 Προετοιμασία για το διαδραστικό παιχνίδι με την αντίστοιχη ομάδα μαθητών..	75
Εικόνα 14 Αντιστοίχιση υλικών με τα αντικείμενα της πραγματικής ζωής στο διαδραστικό παιχνίδι	76
Διάγραμμα 1 Γραφική αναπαράσταση της κατανομής του δείγματος με βάση το φύλο	82
Διάγραμμα 2 Γραφική αναπαράσταση της κατανομής του δείγματος με βάση την ηλικία .	83
Διάγραμμα 3 Διακύμανση μέσων όρων των δύο φύλων όσον αφορά στον πρώτο άξονα	85
Διάγραμμα 4 Διακύμανση μέσων όρων των ηλικιών όσον αφορά στον πρώτο άξονα	86
Διάγραμμα 5 Διακύμανση μέσων όρων των ηλικιών όσον αφορά στο τελευταίο ερώτημα του πρώτου άξονα	86
Διάγραμμα 6 Διακύμανση μέσων όρων των δύο φύλων όσον αφορά στον δεύτερο άξονα	88
Διάγραμμα 7 Διακύμανση μέσων όρων των ηλικιών όσον αφορά στον δεύτερο άξονα	89
Διάγραμμα 8 Διακύμανση μέσων όρων των ηλικιών όσον αφορά στο δεύτερο ερώτημα του δεύτερου άξονα	89
Διάγραμμα 9 Διακύμανση μέσων όρων των ηλικιών όσον αφορά στο τέταρτο ερώτημα του δεύτερου άξονα	90
Διάγραμμα 10 Διακύμανση μέσων όρων των δύο φύλων όσον αφορά στον τρίτο άξονα .	91
Διάγραμμα 11 Διακύμανση μέσων όρων των ηλικιών όσον αφορά στον δεύτερο άξονα ..	92
Διάγραμμα 12 Διακύμανση μέσων όρων των δύο φύλων όσον αφορά στον τέταρτο άξονα	93
Διάγραμμα 13 Διακύμανση μέσων όρων των ηλικιών όσον αφορά στον δεύτερο άξονα ..	94
Διάγραμμα 14 Διακύμανση μέσων όρων των δύο φύλων όσον αφορά στον πέμπτο άξονα	95
Διάγραμμα 15 Διακύμανση μέσων όρων των ηλικιών όσον αφορά στον πέμπτο άξονα...	96

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση των μουσείων ως μαθησιακών χώρων άτυπης μάθησης παράλληλα με τις ρυθμίσεις της τυπικής μάθησης στο σχολικό περιβάλλον έχει περιγραφεί στη συναφή βιβλιογραφία ως ιδιαίτερα αποδοτική, υπό την προϋπόθεση του σωστού σχεδιασμού αντίστοιχων παρεμβάσεων. Ανάλογα με το επιστημονικό πεδίο που θα αφορά στη σχεδιαζόμενη εκπαιδευτική παρέμβαση, οι εκπαιδευτικοί καλούνται να συνεργαστούν με το μουσείο για τον σχεδιασμό αυτό ώστε να προκύψουν τα βέλτιστα δυνατά αποτελέσματα.

Παράλληλα, η χρήση και αξιοποίηση διαδραστικών παρεμβάσεων κατά τη μάθηση σε μουσεία έχει επίσης σημειωθεί στη συναφή βιβλιογραφία ως ιδιαίτερα αποδοτική και εν γένει υπάρχει η πρόταση και προτροπή για την χρήση αντίστοιχων πρακτικών. Η μάθηση μέσω αυτού του τρόπου δόμησης της εκπαιδευτικής διαδικασίας έχει σημειωθεί ότι παρέχει ιδιαίτερα θετικά αποτελέσματα ως προς την μάθηση αλλά και την ικανοποίηση και συμμετοχή των μαθητών.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Η Χημεία αποτελεί βασικό μάθημα του γυμνασίου, και τα ορυκτά αποτελούν σημαντικό πεδίο αυτής. Είναι απαραίτητη η μάθηση των ιδιοτήτων, των χαρακτηριστικών και των χρήσεων των ορυκτών καθώς και η σύνδεση τους με την καθημερινότητα. Ωστόσο, το βιβλίο και η αντίστοιχη ύλη του μαθήματος έχουν χρονικά σε σχέση με τις παραδόσεις στην τάξη αρκετά μεγάλη απόσταση, με αποτέλεσμα να είναι σχετικά δύσκολη η σύνδεση των επιμέρους τμημάτων της ύλης. Το μουσείο ως μαθησιακό περιβάλλον θα μπορούσε να βοηθήσει στη συγκέντρωση όλων αυτών των δεδομένων και στη σύνδεση τους με την καθημερινότητα με στόχο την καλύτερη κατανόηση και μάθηση των μαθητών.

Σκοπός και στόχοι

Στην παρούσα εργασία, εξετάζεται ο σχεδιασμός και η εφαρμογή κατάλληλης εκπαιδευτικής παρέμβασης σε μουσείο ορυκτολογίας με σκοπό τη σύνδεση της εκπαιδευτικής δραστηριότητας με το σχολείο. Βασικός στόχος της σχεδιαζόμενης παρέμβασης είναι η καλύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων και χρήσεων των ορυκτών από τους μαθητές.

Μεθοδολογία

Η Μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία αφορούσε σε εργασία σε δύο παράλληλα επίπεδα. Αφενός, τη διερεύνηση της συναφούς βιβλιογραφίας τόσο όσον αφορά στα ορυκτά όσο και όσον αφορά στην αξιοποίηση των μουσείων ως μαθησιακών χώρων. Παράλληλα, και με βάση τα ευρήματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, σχεδιάστηκε και πραγματοποιήθηκε σχετική διδακτική παρέμβαση στο μουσείο Ορυκτολογίας και Πετρολογίας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Αντίστοιχα, στα πλαίσια της διδακτικής παρέμβασης σχεδιάστηκε και διεξήχθη ποσοτική έρευνα που αφορούσε τόσο στην αξιολόγηση των μουσείων ως μαθησιακών χώρων μέσω της εξέτασης των απόψεων των μαθητών – επισκεπτών στο εν λόγω μουσείο, όσο και στην αξιολόγηση εν γένει της σημασίας της αξιοποίησης των διαδραστικών μέσων σε επισκέψεις στα μουσεία μέσω της διενέργειας «τεστ» γνώσεων στους μαθητές που έλαβαν

μέρος στην παρέμβαση. Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν έτυχαν στατιστικής επεξεργασίας και τα αποτελέσματα αυτής αξιοποιήθηκαν για την απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων της εργασίας.

Καινοτομία

Η χρήση των μουσείων ως άτυπων χώρων μάθησης και εκπαίδευσης έχει εξεταστεί στη διεθνή βιβλιογραφία σε ικανό βαθμό τα τελευταία έτη. Ωστόσο, αφενός η σύνδεση με τα οροκτά και την μάθηση πάνω σε αυτά δεν έχει εξεταστεί εν γένει, αφετέρου, αντίστοιχες έρευνες στην ελληνική βιβλιογραφία υπάρχουν σχετικά λίγες. Η παρούσα εργασία επιχειρεί να προσθέσει τα αποτελέσματα της έρευνας που διεξήχθη στα υπάρχοντα της διεθνούς βιβλιογραφίας αλλά και της αντίστοιχης ελληνικής βιβλιογραφίας⁸¹, τόσο σε σχέση με την αξιοποίηση των μουσείων ως άτυπων χώρων μάθησης όσο και στην διδασκαλία των θετικών επιστημών μέσω των επισκέψεων στα μουσεία με την εστίαση στα οροκτά.

Δομή

Η δομή της εργασίας έχει ως εξής:.

Το πρώτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζει το θεωρητικό υπόβαθρο που αφορά στα οροκτά εν γένει εστιάζοντας στην ονομασία, την δομή, τις φυσικές ιδιότητες και την κατηγοριοποίηση. Επίσης παρουσιάζονται τα κύρια οροκτά που απαντώνται στον Ελλαδικό χώρο, καθώς και οι κύριες και σημαντικότερες διεργασίες επεξεργασίας που αξιοποιούνται.

Το δεύτερο κεφάλαιο, εστιάζει στην χρήση των μουσείων ως χώρων άτυπης μάθησης, εξετάζοντας και παρουσιάζοντας το θεωρητικό υπόβαθρο ως προς αυτή, ήτοι σε σχέση με τον εποικοδομητισμό. Επιπλέον εξετάζονται με εστίαση στις φυσικές επιστήμες οι άτυπες μορφές μάθησης και ο ρόλος τους στην εκπαίδευσης τόσο εν γένει όσο και με εστίαση στα μουσεία.

Το τρίτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζει αναλυτικά την διδακτική παρέμβαση που σχεδιάστηκε και έλαβε χώρα στα πλαίσια αυτής, εστιάζοντας στην προσπάθεια για την σύνδεση της θεωρίας για τα οροκτά στο μάθημα της Χημείας μέσω της επίσκεψης στο Μουσείο Οροκτολογίας και Πετρολογίας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, το μουσείο καθώς και την ίδια την διδακτική προσέγγιση.

Το τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας εστιάζει στην παρουσίαση του σχεδιασμού και της μεθοδολογίας της πρωτογενούς έρευνας που σχεδιάστηκε και έλαβε χώρα, παρουσιάζοντας τα κύρια και χαρακτηριστικά στοιχεία αυτής.

Το πέμπτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζει τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων της πρωτογενούς έρευνας και τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτά.

Το έκτο κεφάλαιο αποτελεί την συζήτηση της εργασίας όπου απαντώνται τα ερευνητικά ερωτήματα που τέθηκαν κατά τον σχεδιασμό της πρωτογενούς έρευνας βάση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης των δεδομένων και σε αντιπαράβολή με ευρήματα από αντίστοιχες έρευνες της συναφούς βιβλιογραφίας.

Η εργασία κλείνει με την παρουσίαση των τελικών συμπερασμάτων καθώς και προτάσεων για μελλοντική έρευνα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΟΡΥΚΤΑ

Τα ορυκτά είναι φυσικώς απαντώμενα ομοιογενή στερεά με καθορισμένη χημική σύσταση και εξαιρετικά διατεταγμένη ατομική διάταξη. Σχηματίζονται συνήθως με ανόργανες διεργασίες. Υπάρχουν πολλές χιλιάδες γνωστά ορυκτά είδη, περίπου εκατό από τα οποία αποτελούν τα κύρια ορυκτά συστατικά των πετρωμάτων ^{44,53}.

Ένα ορυκτό, το οποίο εξ ορισμού πρέπει να σχηματιστεί μέσω φυσικών διεργασιών, διαφέρει από τα συνθετικά ισοδύναμα που παράγονται στο εργαστήριο. Οι ανθρωπογενείς εκδόσεις ορυκτών, συμπεριλαμβανομένων των σμαραγδιών, των ζαφειριών, των διαμαντιών και άλλων πολύτιμων λίθων, παράγονται τακτικά σε βιομηχανικές και ερευνητικές εγκαταστάσεις και συχνά είναι σχεδόν πανομοιότυπες με τις φυσικές αντίστοιχες μορφές τους ^{44,53}.

Με τον ορισμό του ως ομοιογενές στερεό, ένα ορυκτό αποτελείται από μια ενιαία στερεή ουσία ομοιόμορφης σύνθεσης που δεν μπορεί να διαχωριστεί φυσικά σε απλούστερες ενώσεις. Η ομοιογένεια προσδιορίζεται σε σχέση με την κλίμακα στην οποία ορίζεται. Ένα δείγμα που μακροσκοπικά φαίνεται ομοιογενές, για παράδειγμα, μπορεί να αποκαλύψει πολλά συστατικά κάτω από ένα μικροσκόπιο ή κατά την έκθεση σε τεχνικές περίθλασης ακτίνων Χ. Τα περισσότερα πετρώματα αποτελούνται από πολλά διαφορετικά ορυκτά. π.χ., ο γρανίτης αποτελείται από άστροιο, χαλαζία και άλλα ορυκτά. Επιπλέον, τα αέρια και τα υγρά εξαιρούνται από μια αυστηρή ερμηνεία του παραπάνω ορισμού ενός ορυκτού. Ο πάγος, η στερεά κατάσταση του νερού (H₂O), θεωρείται ορυκτό, αλλά το νερό σε υγρή μορφή δεν είναι. Ο υγρός υδράργυρος, αν και μερικές φορές βρίσκεται σε κοιτάσματα μεταλλευμάτων υδραργύρου, δεν ταξινομείται επίσης ως ορυκτό. Τέτοιες ουσίες που μοιάζουν με ορυκτά στη Χημεία και στην εμφάνιση ονομάζονται *ορυκτοειδή* και περιλαμβάνονται στο γενικό πεδίο της ορυκτολογίας ^{44,53}.

Τα ορυκτά εμφανίζουν μια εξαιρετικά διατεταγμένη αλληλουχία που έχει μια κανονική γεωμετρική μορφή. Λόγω αυτού του χαρακτηριστικού, τα ορυκτά ταξινομούνται ως κρυσταλλικά στερεά. Κάτω από ευνοϊκές συνθήκες, τα κρυσταλλικά υλικά μπορεί να εκφράζουν το διατεταγμένο εσωτερικό τους πλαίσιο με μια καλά ανεπτυγμένη εξωτερική μορφή, που συχνά αναφέρεται ως κρυσταλλική μορφή ή *μορφολογία*. Τα στερεά που δεν παρουσιάζουν τέτοια διατεταγμένη εσωτερική διάταξη ονομάζονται άμορφα. Πολλά άμορφα φυσικά στερεά, όπως το γυαλί, κατηγοριοποιούνται ως ορυκτοειδή ^{44,53}.

Παραδοσιακά, τα ορυκτά έχουν περιγραφεί ότι προέρχονται αποκλειστικά από ανόργανες διεργασίες. Ωστόσο, η τρέχουσα ορυκτολογική πρακτική συχνά περιλαμβάνει ως ορυκτά εκείνες τις ενώσεις που παράγονται οργανικά αλλά ικανοποιούν όλες τις άλλες απαιτήσεις σε σχέση με τον ορισμό των ορυκτών. Ο αραγωνίτης (CaCO₃) είναι ένα παράδειγμα ορυκτού που σχηματίζεται με ανόργανες διαδικασίες όπου όμως έχει επίσης ένα οργανικά παραγόμενο, αλλά κατά τα άλλα πανομοιότυπο, αντίστοιχο: το κέλυφος (και το μαργαριτάρι, εάν υπάρχει) ενός στρειδιού αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από οργανικά σχηματισμένο αραγωνίτη. Κάποια ορυκτά παράγονται και από το ανθρώπινο σώμα: ο υδροξυλαπατίτης [Ca₅(PO₄)₃(OH)] είναι το κύριο συστατικό των οστών και των δοντιών και οι λίθοι είναι συσσωρεύσεις ορυκτών ουσιών που βρίσκονται στο ουροποιητικό σύστημα.

44,53

1.1 Οι ονομασίες των ορυκτών

Ενώ τα ορυκτά ταξινομούνται επιστημονικά με λογικό τρόπο σύμφωνα με τα κύρια ανιοντικά (αρνητικά φορτισμένα) χημικά συστατικά τους σε ομάδες όπως οξειδία, πυριτικά και νιτρικά, οι κοινά χρησιμοποιούμενες ονομασίες τους προκύπτουν με πολύ λιγότερο επιστημονικό ή συνεπή τρόπο. Τα ονόματα μπορεί να αντιστοιχούν σε μια φυσική ή χημική ιδιότητα, όπως το χρώμα, ή μπορεί να προέρχονται από διάφορα θέματα που κρίνονται κατάλληλα, όπως, για παράδειγμα, μια τοποθεσία, δημόσιο πρόσωπο ή ορυκτολόγος. Ακολουθούν ορισμένα παραδείγματα ονομάτων ορυκτών και των παραγώγων τους: ο *αλβίτης* ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) προέρχεται από τη λατινική λέξη (*albus*) που σημαίνει «λευκό» σε σχέση με το χρώμα του. Ο *γκοετίτης* ($\text{FeO} \cdot \text{OH}$) ονομάστηκε προς τιμήν του Johann Wolfgang von Goethe, του Γερμανού ποιητή. Ο *μαγγανίτης* ($\text{MnO} \cdot \text{OH}$) αντανακλά τη σύσταση του ορυκτού. Ο *φραγκλινίτης* (ZnFe_2O_4) πήρε το όνομά του από τον Franklin, N.J., Η.Π.Α., όπου εμφανίστηκε ως το κυρίαρχο ορυκτό μεταλλεύματος για την παραγωγή ψευδάργυρου (Zn) και ο *σιλιμανίτης* (Al_2SiO_4) ονομάστηκε προς τιμή του Αμερικανού χημικού Benjamin Silliman. Από το 1960 μια διεθνής επιτροπή ονοματολογίας έχει αναθεωρήσει τις περιγραφές νέων ορυκτών και τις αντίστοιχες προτάσεις για νέες ονομασίες υπάρχοντων ορυκτών και έχει προσπαθήσει να άρει τις ασυνέπειες. Οποιαδήποτε νέα ονομασία ορυκτού πρέπει να εγκριθεί από αυτήν την επιτροπή και το ορυκτό πλέον συνήθως αποθηκεύεται σε μουσεία ή πανεπιστημιακές συλλογές^{13,16}.

1.2 Εμφάνιση και σχηματισμός

Τα ορυκτά σχηματίζονται σε όλα τα γεωλογικά περιβάλλοντα και επομένως κάτω από ένα ευρύ φάσμα χημικών και φυσικών συνθηκών, όπως η μεταβαλλόμενη θερμοκρασία και πίεση. Οι τέσσερις κύριες κατηγορίες σχηματισμού ορυκτών είναι

(1) πυριγενή ή μαγματικά, στα οποία τα ορυκτά κρυσταλλώνονται από ένα τήγμα.

(2) ιζηματογενή, στα οποία τα ορυκτά είναι το αποτέλεσμα των διαδικασιών διάβρωσης και καθίζησης.

(3) μεταμορφικά, στα οποία σχηματίζονται νέα ορυκτά στη θέση προϋπαρχόντων λόγω των επιπτώσεων περιβαλλοντικών αλλαγών - συνήθως αυξανόμενης θερμοκρασίας ή πίεσης ή και των δύο - σε κάποιο υπάρχοντα τύπο πετρώματος (τα μεταμορφωμένα ορυκτά είναι το αποτέλεσμα της ανάπτυξης νέων ορυκτών σε στερεά κατάσταση χωρίς τη παρέμβαση τήγματος, όπως σε πυριγενείς διεργασίες).

και (4) υδροθερμικά, στα οποία τα ορυκτά κατακρημνίζονται χημικά από θερμά διαλύματα εντός της Γης^{13,16}.

Οι τρεις πρώτες διεργασίες γενικά οδηγούν σε ποικιλίες πετρωμάτων στα οποία διαφορετικοί κόκκοι ορυκτών αναπτύσσονται στενά σε ένα συμπλεκόμενο «ύφασμα». Τα *υδροθερμικά* διαλύματα, ακόμη και τα διαλύματα σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, τείνουν να ακολουθούν ζώνες θραύσης σε πετρώματα που μπορεί να παρέχουν ανοιχτούς χώρους για τη χημική καθίζηση ορυκτών από το διάλυμα. Από τέτοιους ανοιχτούς χώρους,

μερικώς γεμάτους από ορυκτά που εναποτίθενται από διαλύματα, έχουν συλληχθεί τα περισσότερα από τα πιο θεαματικά δείγματα ορυκτών. Εάν ένα ορυκτό που βρίσκεται σε διαδικασία ανάπτυξης (ως αποτέλεσμα της καθίζησης) αφηθεί να αναπτυχθεί σε έναν ελεύθερο χώρο, θα εμφανίσει γενικά μια καλά ανεπτυγμένη κρυσταλλική μορφή, η οποία προσθέτει στην αισθητική ομορφιά ενός δείγματος. Ομοίως, τα *γεώδη*, τα οποία είναι στρογγυλεμένα, κοίλα ή μερικώς κούφια σώματα που βρίσκονται συνήθως σε ασβεστόλιθους, μπορεί να περιέχουν καλοσχηματισμένους κρυστάλλους που επικαλύπτουν την κεντρική κοιλότητα. Τα γεώδη σχηματίζονται ως αποτέλεσμα της εναπόθεσης ορυκτών από διαλύματα όπως τα υπόγεια ύδατα ^{13,16}.

1.3 Η δομή των ορυκτών

Η δομή των ορυκτών συχνά χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη κρυστάλλων. Η δομή των ορυκτών μπορεί να επηρεαστεί από τη θερμοκρασία και την πίεση έτσι ώστε ορυκτά με την ίδια χημική σύνθεση να μπορούν να εξελιχθούν σε εντελώς διαφορετικές μορφές. Ακόμα κι έτσι, η Χημεία του ορυκτού καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη δομή του. Επιπλέον, οι φυσικές ιδιότητες ενός δεδομένου ορυκτού, και επομένως η ταυτότητά του, μπορούν συχνά να προσδιοριστούν χρησιμοποιώντας μια σειρά σχετικά απλών δοκιμών ^{13,16}.

1.3.1 Μορφολογία

Σχεδόν όλα τα ορυκτά έχουν την εσωτερική διατεταγμένη διάταξη ατόμων και ιόντων που αποτελεί το καθοριστικό χαρακτηριστικό των κρυσταλλικών στερεών. Κάτω από ευνοϊκές συνθήκες, τα ορυκτά μπορούν να αναπτυχθούν ως καλοσχηματισμένοι κρύσταλλοι, που χαρακτηρίζονται από τις λείες επίπεδες επιφάνειές τους και τις κανονικές γεωμετρικές τους μορφές. Η ανάπτυξη αυτού του εξωτερικού σχήματος είναι σε μεγάλο βαθμό ένα τυχαίο αποτέλεσμα της ανάπτυξης και δεν επηρεάζει τις βασικές ιδιότητες ενός κρυστάλλου. Ως εκ τούτου, ο όρος κρύσταλλος χρησιμοποιείται συχνότερα από τους επιστήμονες υλικών αναφορικά με οποιοδήποτε στερεό με διατεταγμένη εσωτερική διάταξη, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η παρουσία ή η απουσία εξωτερικών όψεων ^{13,16}.

Στοιχεία συμμετρίας

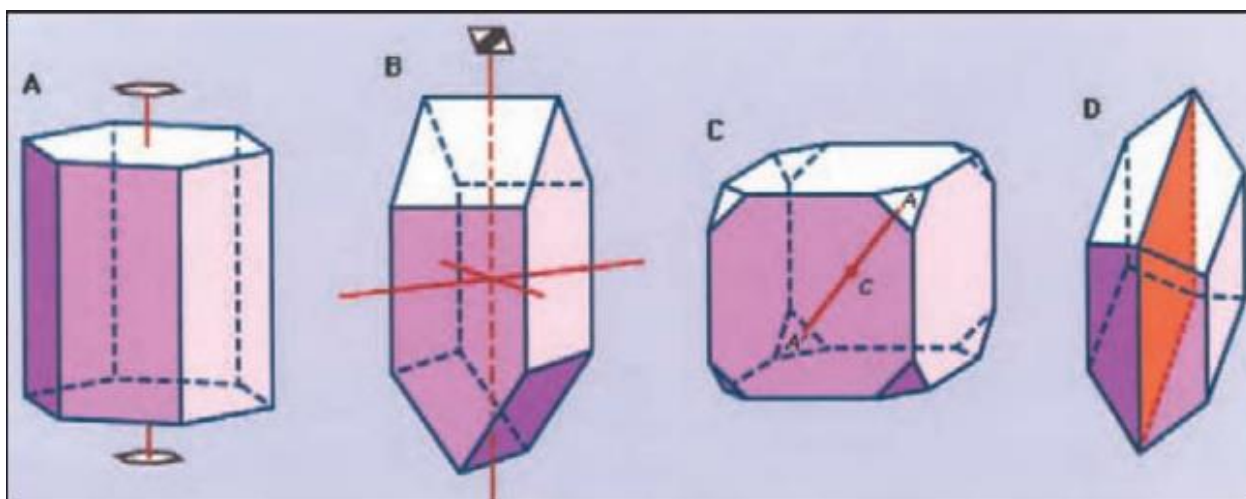
Το εξωτερικό σχήμα ή μορφολογία ενός κρυστάλλου γίνεται αντιληπτό ως η αισθητική του ομορφιά και η γεωμετρία του αντανακλά την εσωτερική ατομική διάταξη. Το εξωτερικό σχήμα των καλοσχηματισμένων κρυστάλλων εκφράζει την παρουσία ή την απουσία ενός αριθμού στοιχείων συμμετρίας. Τέτοια στοιχεία συμμετρίας περιλαμβάνουν άξονες περιστροφής, άξονες περιστροφικής αντιστροφής (στροφοαναστροφής), κέντρο συμμετρίας και επίπεδα κατοπτρισμού ^{13,16}.

Ένας άξονας περιστροφής είναι μια νοητή γραμμή διαμέσου ενός κρυστάλλου γύρω από την οποία μπορεί να περιστραφεί και να επαναληφθεί σε εμφάνιση μία, δύο, τρεις, τέσσερις ή έξι φορές κατά τη διάρκεια μιας πλήρους περιστροφής. Όταν περιστρέφεται γύρω από αυτόν τον άξονα, ο κρύσταλλος επαναλαμβάνεται κάθε 60° (έξι φορές σε περιστροφή 360°) (εικ. 1) ^{13,16}.

Ένας άξονας περιστροφικής αναστροφής συνδυάζει την περιστροφή γύρω από έναν άξονα περιστροφής με την αναστροφή. Οι άξονες περιστροφικής αντιστροφής

συμβολίζονται ως 1, 2, 3, 4 και 6: το 1 ισοδυναμεί με κέντρο συμμετρίας (ή αντιστροφή, i), το 2 ισοδυναμεί με ένα επίπεδο κατοπτρισμού, το 3 ισοδυναμεί με ένα τριπλό άξονα περιστροφής συν ένα κέντρο της συμμετρίας, το 4 είναι μοναδικό, και το 6 είναι ισοδύναμο με έναν τριπλό άξονα περιστροφής με ένα επίπεδο καθρεπτισμού κάθετο στον άξονα (εικ. 1) Ένα κέντρο συμμετρίας υπάρχει σε έναν κρύσταλλο εάν μια φανταστική γραμμή μπορεί να επεκταθεί από οποιοδήποτε σημείο η επιφάνειά μέσω του κέντρου του σε ένα παρόμοιο σημείο σε ίση απόσταση από το κέντρο (εικ. 1). Υπάρχει μια σχετικά απλή διαδικασία για την αναγνώριση ενός κέντρου συμμετρίας σε έναν καλά σχηματισμένο κρύσταλλο. Με το κρύσταλλο (ή ένα ξύλινο ή γύψινο μοντέλο του) να είναι τοποθετημένο σε οποιαδήποτε επιφάνεια σε ένα τραπέζι, η παρουσία μιας όψης ίσου μεγέθους και σχήματος, αλλά ανεστραμμένη, σε οριζόντια θέση στην κορυφή του κρυστάλλου, αποδεικνύει την ύπαρξη ενός κέντρου συμμετρίας ^{13,16}.

Το επίπεδο κατοπτρισμού είναι ένα φανταστικό επίπεδο που χωρίζει έναν κρύσταλλο στην μέση έτσι ώστε, σε έναν τέλεια ανεπτυγμένο κρύσταλλο, τα δύο μισά αποτελούν κατοπτρικά είδωλα το ένα του άλλου. Ένας απλός καθρέφτης σε έναν κρύσταλλο ονομάζεται επίσης επίπεδο συμμετρίας (εικ 1) ^{13,16}.



Εικόνα 1 Στοιχεία συμμετρίας όπως εκφράζονται από τη μορφολογία των κρυστάλλων. (Α) Εξαπλός άξονας περιστροφής (6). (Β) Τετραπλός άξονας στροφοαναστροφής και επιπλέον άξονες 2^{ης} τάξης (4). (Γ) Κέντρο συμμετρίας (i). (Δ) Επίπεδο κατοπτρισμού (m). (Encyclopædia Britannica, 2020)

Διδυμία

Εάν δύο ή περισσότεροι κρύσταλλοι σχηματίζουν μια συμμετρική σύμφυση, αναφέρονται ως δίδυμοι κρύσταλλοι. Μια νέα λειτουργία συμμετρίας (που ονομάζεται δίδυμο στοιχείο), η οποία λείπει από έναν μόνο μη διπλωμένο κρύσταλλο, συσχετίζει τους μεμονωμένους κρυστάλλους στην αντίστοιχη θέση. Υπάρχουν τρία στοιχεία διδυμίας που μπορεί να συσχετίσουν τους κρυστάλλους ενός διδύμου: (1) ανάκλαση περί ένα επίπεδο κατοπτρισμού (δίδυμο επίπεδο), (2) περιστροφή γύρω από μια κατεύθυνση κρυστάλλου κοινή και στους δύο (δίδυμος άξονας) με τη γωνιακή περιστροφή συνήθως 180°, και (3) αναστροφή γύρω από ένα σημείο (δίδυμο κέντρο) ^{13,16}.



Εικόνα 2 Παράδειγμα διδύμων κρυστάλλων (Geology in, <https://www.geologyin.com/2014/07/crystal-twinning.html>)

1.3.2 Εσωτερική δομή

Η εξωτερική μορφολογία ενός ορυκτού είναι μια έκφραση της θεμελιώδους εσωτερικής αρχιτεκτονικής μιας κρυσταλλικής ουσίας - δηλαδή της κρυσταλλικής της δομής. Η κρυσταλλική δομή είναι η τρισδιάστατη, κανονική (ή διατεταγμένη) διάταξη χημικών μονάδων (άτομα, ιόντα και ανιοντικές ομάδες σε ανόργανα υλικά, μόρια σε οργανικές ουσίες). Αυτές οι χημικές μονάδες (που αναφέρονται εδώ ως μοτίβα) επαναλαμβάνονται με διάφορες μεταφορικές πράξεις και πράξεις συμμετρίας^{13,16}.

Η μορφολογία των κρυστάλλων μπορεί να μελετηθεί με γυμνό μάτι σε μεγάλους καλά ανεπτυγμένους κρυστάλλους και έχει ιστορικά εξεταστεί με μεγάλη λεπτομέρεια με οπτικές μετρήσεις μικρότερων καλοσχηματισμένων κρυστάλλων μέσω της χρήσης οπτικών γωνιομέτρων (εικ 3, 4,5)^{13,16}.



Εικόνα 3 Ένα δείγμα wulfenite, ένα ορυκτό με καλή κρυσταλλική μορφή, από το Μεξικό



Εικόνα 4 Ένα δείγμα ροζ χαλαζία, ένα ορυκτό με καλή κρυσταλλική μορφή, από την πολιτεία Minas Gerais, Braz.



Εικόνα 5 Ένα δείγμα αμαζονίτη, μια πρασινωπό μπλε ποικιλία μικροκλινικού άστριου, με σκούρο γκρι χαλαζία. Ο άστριος μικροκλίνης είναι ένα παράδειγμα ορυκτού που εμφανίζει καλή κρυσταλλική μορφή

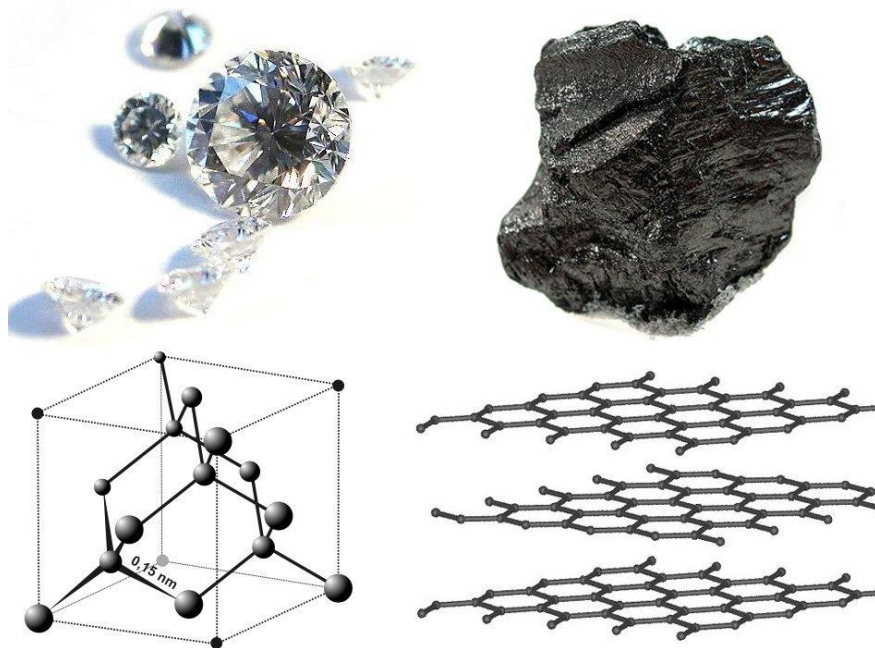
Η εσωτερική δομή των κρυσταλλικών υλικών, ωστόσο, αποκαλύπτεται από έναν συνδυασμό τεχνικών περίθλασης ακτίνων Χ, νετρονίων και ηλεκτρονίων, που συμπληρώνονται από μια ποικιλία φασματοσκοπικών μεθόδων, συμπεριλαμβανομένων των τεχνικών οπτικών υπέρυθρων, και τεχνικές Mössbauer και συντονισμού. Αυτές οι μέθοδοι, που χρησιμοποιούνται μεμονωμένα ή σε συνδυασμό, παρέχουν μια ποσοτική τρισδιάστατη ανακατασκευή της θέσης των ατόμων (ή ιόντων), των τύπων χημικών δεσμών και των θέσεων τους και της συνολικής εσωτερικής συμμετρίας της δομής. Οι επαναλαμβανόμενες αποστάσεις στις περισσότερες ανόργανες δομές και πολλά μεγέθη ατομικών και ιοντικών μοτίβων είναι της τάξης του 1 έως 10 angstroms (\AA) (1 \AA ισοδυναμεί με 10^{-8} cm) ή 10 έως 100 νανόμετρα (nm) (1 nm ισοδυναμεί με 10^{-7} cm ή 10 \AA)^{13,16}.

Στοιχεία συμμετρίας που είναι παρατηρήσιμα στην εξωτερική μορφολογία των κρυστάλλων, όπως άξονες περιστροφής και περιστροφικής αναστροφής, επίπεδα κατοπτρισμού και ένα κέντρο συμμετρίας, υπάρχουν επίσης στην εσωτερική ατομική τους δομή. Εκτός από αυτά τα στοιχεία συμμετρίας, υπάρχουν μεταφορές και πράξεις συμμετρίας σε συνδυασμό με μεταφορές. (Μεταφορά είναι η λειτουργία κατά την οποία ένα μοτίβο επαναλαμβάνεται γραμμικά ανά σε διαστήματα ίσα με την απόσταση μετατόπισης, συνήθως στο επίπεδο 1 έως 10 \AA)^{13,16}.

1.3.3 Πολυμορφισμός

Ο πολυμορφισμός είναι η ικανότητα ορισμένης χημικής ένωσης να κρυσταλλώνεται σε περισσότερες από μία μορφές. Αυτό συμβαίνει γενικά ως απόκριση σε αλλαγές θερμοκρασίας ή πίεσης ή και στα δύο. Οι διαφορετικές δομές μιας τέτοιας χημικής ουσίας ονομάζονται πολυμορφικές μορφές ή πολύμορφα. Για παράδειγμα, το στοιχείο άνθρακα (C) εμφανίζεται στη φύση σε δύο διαφορετικές (αλλοτροπικές) μορφές, ανάλογα με τις

εξωτερικές συνθήκες (πίεση και θερμοκρασία). Αυτές οι μορφές είναι ο γραφίτης, με εξαγωνική δομή, και το διαμάντι, με ισομετρική δομή (εικ. 6) ^{13,16}.



Εικόνα 6 Οι διαφορές στην δομή του γραφίτη (δεξιά) και του διαμαντιού (αριστερά) (Wikipedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Diamond_and_graphite2.jpg)

Η σύνθεση FeS_2 εμφανίζεται πιο συχνά ως *πυρίτης*, με ισομετρική δομή, αλλά απαντάται επίσης ως *μαρκασίτης*, ο οποίος έχει ορθορομβική εσωτερική διάταξη. Η σύνθεση SiO_2 βρίσκεται σε μεγάλο αριθμό πολύμορφων, μεταξύ των οποίων ο *χαλαζίας*, ο *τριδυμίτης*, ο *κρυστοβαλίτης*, ο *κοισίτης* και ο *σισοβίτης* ^{13,16}.

1.4 Φυσικές ιδιότητες

Οι φυσικές ιδιότητες των ορυκτών είναι το άμεσο αποτέλεσμα των δομικών και χημικών χαρακτηριστικών των ορυκτών. Ορισμένες ιδιότητες μπορούν να προσδιοριστούν με επιθεώρηση ενός δείγματος ή με σχετικά απλές δοκιμές σε ένα δείγμα. Άλλα, όπως αυτά που προσδιορίζονται με οπτικές τεχνικές και τεχνικές περίθλασης ακτίνων Χ, απαιτούν ειδικό και συχνά εξελιγμένο εξοπλισμό και μπορεί να περιλαμβάνουν περίπλοκη προετοιμασία δείγματος. Στα παρακάτω, δίνεται έμφαση σε εκείνες τις ιδιότητες που μπορούν να αξιολογηθούν ευκολότερα μόνο με απλές δοκιμές 20,50,54.

1.4.1 Κρυσταλλική μορφή (τροπισμός) και Συσσωμάτωση Κρυστάλλων

Το εξωτερικό σχήμα (μορφή) των καλά ανεπτυγμένων κρυστάλλων μπορεί να μελετηθεί οπτικά και να ταξινομηθεί ανάλογα με τα κρυσταλλικά συστήματα και τις κατηγορίες κρυστάλλων στις οποίες ανήκουν. Ωστόσο, η πλειονότητα των κρυστάλλων δεν είναι μέρος καλοσχηματισμένων μονοκρυστάλλων, αλλά βρίσκονται ως κρύσταλλοι που αναπτύσσονται μαζί σε συσσωματώματα. Παραδείγματα ορισμένων περιγραφικών όρων για τέτοιες συσσωματώσεις είναι: κοκκώδη (μια αλληλοανάπτυξη ορυκτών κόκκων περίπου του ίδιου μεγέθους), ελασματοειδή (πλακοειδή, φυλλόμορφα, διατεταγμένα σε

στρώσεις), λεπιδοειδή (επιμήκεις κρύσταλλοι πεπλατυσμένοι σαν λεπίδα μαχαιριού), ινώδη: (ένα σύνολο λεπτών ινών, παράλληλων ή ακτινωτών, βελονοειδή(λεπτοί, βελονοειδείς κρύσταλλοι), ακτινωτά (σχηματίζουν αστρικές ή κυκλικές ομάδες), σφαιρικά (σχηματίζουν μικρές σφαιρικές ή ημισφαιρικές ομάδες), δενδριτικά: σε λεπτά αποκλίνοντα κλαδιά, κάπως φυτόμορφα, θηλοειδή: μεγάλες ομαλά στρογγυλεμένες, μάζες που μοιάζουν με θηλές, σχηματισμένες από κρυστάλλους, βοτρυοειδή: σφαιρικές μορφές που μοιάζουν με τσαμπιά σταφυλιού, κολόμορφες: σφαιρικές μορφές που αποτελούνται από άτομα που εξακτινώνονται χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος, σταλακτικές: κρεμαστοί κύλινδροι ή κώνοι που μοιάζουν με παγάκια, ομόκεντρες: χονδρικά σφαιρικά στρώματα διατεταγμένα γύρω από ένα κοινό κέντρο (εικ 7) ^{20,50,54}.



Εικόνα 7 Κοινές κρυσταλλικές συσσωματώσεις και συνήθειες.(Encyclopædia Britannica, 2020)

1.4.2 Στιλπνότητα (Lustre)

Ο όρος στιλπνότητα αναφέρεται στη γενική εμφάνιση μιας ορυκτής επιφάνειας στο ανακλώμενο φως. Οι κύριοι τύποι στιλπνότητας, μεταλλικοί και μη μεταλλικοί, διακρίνονται εύκολα από το ανθρώπινο μάτι μετά από κάποια πρακτική, αλλά η διαφορά μεταξύ τους δεν μπορεί να ποσοτικοποιηθεί και είναι μάλλον δύσκολο να περιγραφεί. Ο μεταλλικός αναφέρεται στη στιλπνότητα μιας καθαρής μεταλλικής επιφάνειας όπως ο χρυσός, το ασήμι, ο χαλκός ή ο χάλυβας. Αυτά τα υλικά είναι αδιαφανή στο φως ανεξαρτήτως πάχους. Ο *πυρίτης* (FeS_2), ο *χαλκοπυρίτης* (CuFeS_2) και ο *γαληνίτης* (PbS) είναι κοινά ορυκτά που έχουν μεταλλική στιλπνότητα. Η μη μεταλλική στιλπνότητα είναι χαρακτηριστική των διαφανών ορυκτών. Οι ακόλουθοι όροι χρησιμοποιούνται για τη διάκριση της στιλπνότητας των μη μεταλλικών ορυκτών: υαλοειδές, που έχει τη λάμψη ενός κομματιού γυαλιού (αυτό παρατηρείται συνήθως στον χαλαζία και σε πολλά άλλα μη μεταλλικά ορυκτά). ρητινώδες, που έχει τη διαφάνεια ενός κομματιού ρητίνης (αυτό είναι συνηθισμένο στον *Σφαλερίτη* [ZnS]), μαργαριταρένιο, που έχει τη λάμψη του φιλντισιού (δηλαδή, μια ιριδίζουσα λάμψη σαν μαργαριτάρι), λιπαρή, που έχει την όψη ότι καλύπτεται με ένα λεπτό στρώμα λαδιού (αυτή η λάμψη προκύπτει από τη σκέδαση του φωτός από μια μικροσκοπικά τραχιά επιφάνεια όπως στον γαλακτώδη χαλαζία), μεταξένια, περιγραφικό της λάμψης ενός κουβαριού από μετάξι ή ενός κομματιού σατέν και χαρακτηριστικό ορισμένων ορυκτών σε ινώδη αδρανή (παράδειγμα είναι ο ινώδης γύψος [$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$]), αδαμαντίνη, με τη λαμπρή λάμψη του διαμαντιού, που παρουσιάζεται από ορυκτά με υψηλό δείκτη διάθλασης συγκρίσιμο με το διαμάντι και τα οποία διαθλούν το φως τόσο έντονα όσο το τελευταίο (παραδείγματα είναι ο *κηρουσίτης* [PbCO_3] και ο *γωνιοσίτης* [PbSO_4])^{20,50,54}.

1.4.3 Χρώμα

Τα ορυκτά υπάρχουν σε μεγάλη ποικιλία χρωμάτων. Επειδή το χρώμα ποικίλλει όχι μόνο μεταξύ ορυκτών, αλλά και μέσα στο ίδιο ορυκτό (ή ομάδα ορυκτών), ο παρατηρητής πρέπει να μάθει σε ποια ορυκτά αποτελεί μια σταθερή ιδιότητα και, επομένως, μπορεί να βασιστεί σε αυτό ως διακριτικό κριτήριο. Τα περισσότερα ορυκτά που έχουν μεταλλική στιλπνότητα διαφέρουν ελάχιστα ως προς το χρώμα, αλλά τα μη μεταλλικά ορυκτά μπορούν να παρουσιάσουν μεγάλη διακύμανση. Αν και το χρώμα μιας επιφάνειας από φρέσκο σχισμό ενός μεταλλικού ορυκτού είναι συχνά εξαιρετικά διαγνωστικό, αυτό το ίδιο ορυκτό μπορεί να αμαυρωθεί με τον καιρό. Μια τέτοια αμαύρωση μπορεί να θαμπώσει ορυκτά όπως το *γαληνίτης* (PbS), το οποίο έχει ένα λαμπερό γαλαζωπό γκρίζο χρώμα σε μια φρέσκια επιφάνεια, αλλά μπορεί να γίνει θαμπό μετά από μακρά έκθεση στον αέρα. Ο *βορνίτης* (Cu_5FeS_4), ο οποίος σε μια φρεσκοσχισμένη επιφάνεια έχει ένα καφέ χάλκινο χρώμα, μπορεί να είναι τόσο πολύ αμαυρωμένος σε μια παλαιότερη επιφάνεια που να δείχνει διαφοροποιημένα μοβ και μπλε μοτίβα. Με άλλα λόγια, κατά την ταύτιση ορυκτών με μεταλλική στιλπνότητα, είναι σημαντικό για τον παρατηρητή να έχει μια φρεσκοσχισμένη επιφάνεια για τον ακριβή προσδιορισμό του χρώματος^{20,50,54}.

Μερικά ορυκτά με μη μεταλλική λάμψη εμφανίζουν ένα σταθερό χρώμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πραγματικά διαγνωστική ιδιότητα. Παραδείγματα είναι ο *μαλαχίτης*, ο οποίος είναι πράσινος, ο *αζουρίτης*, που είναι μπλε, ο *ροδονίτης*, που είναι ροζ, το *τιρκουάζ*, που δίνει το όνομά του στο τιρκουάζ χρώμα, ένα πρασινωπό μπλε έως μπλε-

πράσινο και το θείο, που είναι κίτρινο. Πολλά μη μεταλλικά ορυκτά έχουν σχετικά στενό εύρος χρωμάτων, αν και μερικά έχουν ασυνήθιστα ευρύ φάσμα. Τα μέλη της σειράς *άστριος* κυμαίνονται από σχεδόν καθαρό λευκό έως ανοιχτό γκρι και πιο σκούρο γκρι. Τα μέλη της ομάδας των μονοκλινικών πυροξενίων κυμαίνονται από σχεδόν λευκό έως ανοιχτό πράσινο. Τα μέλη της σειράς *ορθοργοχενε (ενστατίτης έως ορθοφερροσιλίτης)* κυμαίνονται από ανοιχτό μπλε έως πιο σκούρο καφέ. Από την άλλη πλευρά, η *τουρμαλίνη* μπορεί να εμφανίζει πολλά χρώματα (κόκκινο, μπλε, πράσινο, καφέ και μαύρο) καθώς και διακριτή χρωματική ζωνοποίηση, από άχρωμο έως ροζ έως πράσινο, μέσα σε ένα μόνο κρύσταλλο. Ομοίως, πολυάριθμα ορυκτά πολύτιμων λίθων όπως το *κορούνδιο*, το *βηρύλιο* και ο *χαλαζίας* εμφανίζονται σε πολλά χρώματα. Εν ολίγοις, στα μη μεταλλικά ορυκτά διαφόρων ειδών, το χρώμα είναι μια χρήσιμη, αν και όχι μια πραγματικά διαγνωστική (και επομένως μοναδική), ιδιότητα ^{20,50,54}.

1.5 Κατηγοριοποίηση ορυκτών

Από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, τα ορυκτά ταξινομούνται με βάση τη χημική τους σύσταση. Σύμφωνα με αυτό το σχήμα, χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με το κυρίαρχο ανιόν ή την ανιοντική τους ομάδα (π.χ. αλογονίδια, οξειδία και σουλφίδια). Διαφορετικά ορυκτά εμφανίζονται επίσης μαζί μέσα σε μια μήτρα βράχου. Ως αποτέλεσμα, η επιστήμη της πετρολογίας, η οποία επικεντρώνεται στη σύνθεση των πετρωμάτων, ασχολείται επίσης με την ταξινόμηση των ορυκτών. Τα ορυκτά και τα πετρώματα είναι συλλογές χημικών ενώσεων και αυτές οι ενώσεις υφίστανται αλλαγές φάσης καθώς αλλάζουν οι συνθήκες του περιβάλλοντος. Τέτοιες αλλαγές φάσης μπορεί να επηρεάσουν τον τρόπο συμπεριφοράς ενός ορυκτού παρουσία ενός άλλου. Κατά συνέπεια, η έννοια της ισορροπίας φάσης μεταξύ στερεών, υγρών και αέριων καταστάσεων ενός δεδομένου ορυκτού ή μεταξύ διαφορετικών ορυκτών που έρχονται σε επαφή μεταξύ τους είναι ένα σημαντικό μέρος της ορυκτολογίας και της πετρολογίας ^{20,50,54}.

Διάφοροι λόγοι δικαιολογούν τη χρήση της χημικής σύστασης ενός ορυκτού ως διακριτικού παράγοντα στο υψηλότερο επίπεδο ταξινόμησης ορυκτών. Πρώτον, οι ομοιότητες στις ιδιότητες των ορυκτών με πανομοιότυπες ανιοντικές ομάδες είναι γενικά πιο έντονες από εκείνες με το ίδιο κυρίαρχο κατιόν. Για παράδειγμα, τα ανθρακικά άλατα έχουν μεγαλύτερη ομοιότητα μεταξύ τους από τα ορυκτά του χαλκού. Δεύτερον, ορυκτά που έχουν πανομοιότυπα κυρίαρχα ανιόντα είναι πιθανό να βρεθούν στο ίδιο ή παρόμοιο γεωλογικό περιβάλλον. Επομένως, τα σουλφίδια τείνουν να εμφανίζονται μαζί σε φλέβες ή αποθέσεις αντικατάστασης, ενώ τα πετρώματα που φέρουν πυριτικά αποτελούν μεγάλο μέρος του φλοιού της Γης. Τρίτον, η τρέχουσα χημική πρακτική χρησιμοποιεί ένα σχήμα ονοματολογίας και ταξινόμησης για ανόργανες ενώσεις που βασίζεται σε παρόμοιες αρχές ^{20,50,54}.

Οι ευρύτερες διαιρέσεις της ταξινόμησης που χρησιμοποιούνται στην παρούσα συζήτηση είναι (1) φυσικά στοιχεία, (2) σουλφίδια, (3) άλατα σουλφιδίων, (4) οξειδία και υδροξειδία, (5) αλογονίδια, (6) ανθρακικά, (7) νιτρικά, (8) βορικά, (9) θειικά, (10) φωσφορικά άλατα και (11) πυριτικά.

1.5.1 Φυσικά Στοιχεία

Εκτός από τα ελεύθερα αέρια στην ατμόσφαιρα της Γης, περίπου 20 στοιχεία υπάρχουν στη φύση σε καθαρή (δηλαδή μη-συνδυαστική) ή σχεδόν καθαρή μορφή. Γνωστά ως φυσικά στοιχεία, χωρίζονται σε τρεις οικογένειες: μέταλλα, ημιμέταλλα και αμέταλλα. Τα πιο κοινά αυτοφυή μέταλλα, τα οποία χαρακτηρίζονται από απλές κρυσταλλικές δομές, αποτελούν τρεις ομάδες: την ομάδα χρυσού, που αποτελείται από το χρυσό, ασήμι, χαλκό, και το μόλυβδο, την ομάδα της πλατίνας, που αποτελείται από τη πλατίνα, το παλλάδιο, το ιρίδιο και το όσμιο, και την ομάδα σιδήρου, που περιέχει το σίδηρο και το νικέλιο. Ο υδράργυρος, το ταντάλιο, ο κασσίτερος και ο ψευδάργυρος είναι άλλα μέταλλα που έχουν βρεθεί σε φυσική κατάσταση. Τα εγγενή ημιμέταλλα χωρίζονται σε δύο ισοδομικές ομάδες (αυτά των οποίων τα μέλη έχουν κοινό τύπο δομής): (1) *αντιμόνιο*, *αρσενικό* και *βισμούθιο*, με τα δύο τελευταία να είναι πιο κοινά στη φύση και (2) το μάλλον ασυνήθιστο *σελήνιο* και *τελλούριο*. Ο άνθρακας, με τη μορφή διαμαντιού και γραφίτη, και το θείο είναι τα πιο σημαντικά αυτοφυή αμέταλλα ^{20,50,54}.

Μέταλλα

Ο χρυσός, ο άργυρος και ο χαλκός είναι μέλη της ίδιας ομάδας (στήλης) στον περιοδικό πίνακα των στοιχείων (στοιχεία μετάπτωσης) και επομένως έχουν παρόμοιες χημικές ιδιότητες. Στην μη-συνδυαστική κατάσταση, τα άτομα τους ενώνονται με έναν αρκετά αδύναμο μεταλλικό δεσμό. Αυτά τα ορυκτά μοιράζονται έναν κοινό τύπο δομής και τα άτομά τους είναι τοποθετημένα σε μια απλή κυβική πλησιέστερη διάταξη. Ο χρυσός και το ασήμι έχουν και τα δύο ατομική ακτίνα 1,44 Å, η οποία επιτρέπει τη λήψη πλήρους στερεού διαλύματος μεταξύ τους. (Κανονικά ο χρυσός θα έπρεπε να είχε μεγαλύτερη ακτίνα, αλλά είναι επηρεασμένη από τη λανθανιδική συστολή και είναι μικρότερη από την αναμενόμενη). Η ακτίνα του χαλκού είναι σημαντικά μικρότερη (1,28 Å), και ως εκ τούτου ο χαλκός υποκαθιστά μόνο σε περιορισμένο βαθμό τον χρυσό και το ασήμι. Ομοίως, ο εγγενής χαλκός περιέχει μόνο ίχνη χρυσού και αργύρου στη δομή του. Λόγω της παρόμοιας κρυσταλλικής δομής τους και του χαλαρότερου μεταλλικού δεσμού, τα μέλη της ομάδας χρυσού εμφανίζουν παρόμοιες φυσικές ιδιότητες. Όλα είναι μάλλον μαλακά, όλκιμα, εύπλαστα και ευέλικτα. Ο χρυσός, το ασήμι και ο χαλκός χρησιμεύουν ως εξαιρετικοί αγωγοί του ηλεκτρισμού και της θερμότητας και παρουσιάζουν μεταλλική λάμψη και ακανόνιστη θραύση. Αυτές οι ιδιότητες οφείλονται στη μεταλλική τους δομή. Τα ορυκτά της ομάδας χρυσού κρυσταλλώνονται και έχουν υψηλές πυκνότητες ως συνέπεια της κυβικής δομής τους ^{20,50,54}.

Εκτός από τα στοιχεία που αναφέρονται παραπάνω, η ομάδα της πλατίνας περιλαμβάνει επίσης σπάνια ορυκτά κράματα όπως η *ιριδοσμίνη*. Τα μέλη αυτής της ομάδας είναι σκληρότερα από τα μέταλλα της ομάδας του χρυσού και έχουν επίσης υψηλότερα σημεία τήξης. Τα μέταλλα της ομάδας σιδήρου έχουν μια απλή κυβική δομή. Τα μέλη της περιλαμβάνουν τον καθαρό σίδηρο, ο οποίος σπάνια βρίσκεται στην επιφάνεια της Γης, και δύο είδη νικελοσιδήρου (*καμακίτης* και *ταενίτης*), που έχουν αναγνωρισθεί ως κοινά συστατικά των μετεωριτών. Ο εγγενής σίδηρος έχει βρεθεί σε βασάλτες του νησιού Disko, στη Γροιλανδία, και ο νικελοσίδηρος στις κομητείες Josphine και Jackson, Ore. Οι ατομικές ακτίνες του σιδήρου και του νικελίου είναι και οι δύο περίπου 1,24 Å, και έτσι το νικέλιο είναι ένα συχνό υποκατάστατο του σιδήρου. Ο επίγειος πυρήνας πιστεύεται ότι αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από τέτοια κράματα σιδήρου-νικελίου ^{20,50,54}.

Ημιμέταλλα

Τα ημιμέταλλα αντιμόνιο, αρσενικό και βισμούθιο έχουν τύπο δομής διαφορετικό από τις απλές σφαίρες των μετάλλων. Σε αυτά τα ημιμέταλλα, κάθε άτομο βρίσκεται πιο κοντά σε τρία από τα γειτονικά του άτομα παρά στα υπόλοιπα. Η δομή του αντιμονίου και του αρσενικού αποτελείται από σφαίρες που τέμνονται κατά μήκος επίπεδων κυκλικών περιοχών. Ο ομοιοπολικός χαρακτήρας των δεσμών που ενώνουν κάθε άτομο με τα τρία πλησιέστερα συνδέεται με την ηλεκτραρνητική φύση των ημιμετάλλων, που αντανακλάται από τη θέση τους στον περιοδικό πίνακα. Τα μέλη αυτής της ομάδας είναι αρκετά εύθραυστα και δεν μεταφέρουν τη θερμότητα και τον ηλεκτρισμό τόσο καλά όσο τα εγγενή μέταλλα. Ο τύπος δεσμού που προκύπτει από αυτές τις ιδιότητες είναι ενδιάμεσος μεταξύ μεταλλικού και ομοιοπολικού. Κατά συνέπεια, είναι ισχυρότερος από τον καθαρό μεταλλικό δεσμό, με αποτέλεσμα των σχηματισμό λιγότερο συμμετρικών κρυστάλλων.^{20,50,54}

Αμέταλλα

Τα εγγενή μη μέταλλα, *διαμάντι*, *φουλερένιο*, *γραφίτης* και *θείο* διαφέρουν δομικά από τα μέταλλα και τα ημιμέταλλα. Η δομή του θείου (ατομική ακτίνα = 1,04 Å), συνήθως ορθορομβικής μορφής, μπορεί να περιέχει περιορισμένο στερεό διάλυμα από σεληνίο (ατομική ακτίνα = 1,16 Å). Στο διαμάντι, κάθε άτομο άνθρακα συνδέεται ομοιοπολικά σε μια τετραεδρική διάταξη, παράγοντας μια ισχυρά συνδεδεμένη και εξαιρετικά στενή δομή. Τα άτομα άνθρακα του γραφίτη, ωστόσο, είναι διατεταγμένα σε εξαμελείς δακτυλίου στους οποίους κάθε άτομο περιβάλλεται από τρεις κοντινούς γείτονες που βρίσκονται στις κορυφές ενός ισόπλευρου τριγώνου. Οι δακτύλιοι συνδέονται για να σχηματίσουν φύλλα που χωρίζονται με απόσταση μεγαλύτερη από μία ατομική διάμετρο. Οι δυνάμεις Van der Waals δρουν κάθετα στα φύλλα, προσφέροντας έναν αδύναμο δεσμό, ο οποίος, σε συνδυασμό με το ευρύ διάστημα, οδηγεί σε τέλεια διάσπαση και εύκολη ολίσθηση κατά μήκος των φύλλων. Τα φουλερένια, ένα πολύμορφο άνθρακα που ανακαλύφθηκε πρόσφατα, βρίσκονται στον μετα-ανθρακίτη, στους φουλγουρίτες και σε άργιλους από τα όρια Κρητιδικού-Τριτογενούς στη Νέα Ζηλανδία, την Ισπανία και το Τουρκμενιστάν καθώς και σε πλούσιες σε οργανικά στρώματα κοντά στο ορυχείο νικελίου Sudbury.^{20,50,54}

1.5.2 Σουλφίδια

Αυτή η σημαντική κατηγορία περιλαμβάνει τα περισσότερα από τα ορυκτά μεταλλεύματα. Τα παρόμοια αλλά πιο σπάνια σουλφαρσενίδια ομαδοποιούνται και εδώ. Τα θειούχα ορυκτά αποτελούνται από ένα ή περισσότερα μέταλλα σε συνδυασμό με θείο. Τα σουλφαρσενίδια περιέχουν αρσενικό που αντικαθιστά μέρος του θείου.^{20,50,54}

Τα σουλφίδια είναι γενικά αδιαφανή και παρουσιάζουν διακριτικά χρώματα και ραβδώσεις. Οι μη αδιαφανείς ποικιλίες (π.χ. κιννάβαρο, ρεάλγκαρ και ορπιμέντο) διαθέτουν υψηλούς δείκτες διάθλασης, μεταδίδοντας φως μόνο στις λεπτές άκρες ενός δείγματος. Λίγες γενικεύσεις μπορούν να γίνουν σχετικά με τις δομές των σουλφιδίων, αν και αυτά τα ορυκτά μπορούν να ταξινομηθούν σε μικρές ομάδες ανάλογα με τις ομοιότητες στη δομή. Ο ιονικός και ο ομοιοπολικός δεσμός βρίσκονται σε πολλά σουλφίδια, ενώ ο μεταλλικός δεσμός είναι εμφανής σε άλλα, όπως αποδεικνύεται από τις μεταλλικές τους ιδιότητες. Η

απλούστερη και πιο συμμετρική δομή σουλφιδίου βασίζεται στην αρχιτεκτονική της δομής του χλωριούχου νατρίου. Ένα κοινό θειούχο ορυκτό που κρυσταλλώνεται με αυτόν τον τρόπο είναι το ορυκτό μεταλλεύματος του μολύβδου, ο γαληνίτης. Η εξαιρετικά συμμετρική του μορφή αποτελείται από κύβους που έχουν τροποποιηθεί από οκταεδρικές όψεις στις γωνίες τους^{20,50,54}.

Η δομή του κοινού *σουλφιδοπυρίτη* (FeS_2) διαμορφώνεται επίσης σύμφωνα με τον τύπο χλωριούχου νατρίου, μια ομάδα δισουλφιδίου βρίσκεται σε θέση συντονισμού με έξι γύρω άτομα σιδήρου. Η υψηλή συμμετρία αυτής της δομής αντανάκλαται στην εξωτερική μορφολογία του πυρίτη. Σε μια άλλη δομή σουλφιδίου, τον *φαλερίτη* (ZnS), κάθε άτομο ψευδαργύρου περιβάλλεται από τέσσερα άτομα θείου σε μια τετραεδρική διάταξη συντονισμού. Σε ένα παράγωγο αυτού του τύπου δομής, η δομή του *χαλκοπυρίτη* (CuFeS_2), τα ιόντα χαλκού και σιδήρου μπορούν να θεωρηθούν ότι έχουν υποκατασταθεί τακτικά στις θέσεις ψευδαργύρου της αρχικής ατομικής διάταξης *φαληρίτη*. Ο *αρσενοπυρίτης* (FeAsS) είναι ένα κοινό σουλφαρσενίδιο που απαντάται σε πολλά κοιτάσματα μεταλλεύματος. Είναι η κύρια πηγή του στοιχείου αρσενικό^{20,50,54}.

1.5.3 Σουλφοάλατα

Υπάρχουν περίπου 100 είδη που αποτελούν τη μάλλον μεγάλη και πολύ διαφορετική κατηγορία ορυκτών σουλφοαλάτων. Τα σουλφοάλατα διαφέρουν σημαντικά από τα σουλφίδια και τα σουλφαρσενίδια όσον αφορά τον ρόλο των ημιμετάλλων, όπως το αρσενικό (As) και το αντιμόνιο (Sb), στη δομή τους. Στα σουλφαρσενίδια, τα ημιμέταλλα υποκαθιστούν μέρος του θείου στη δομή, ενώ στα σουλφοάλατα βρίσκονται στη θέση του μετάλλου. Για παράδειγμα, στον *αρσενοπυρίτη σουλφαρσενιδίου* (FeAsS), το αρσενικό αντικαθιστά το θείο σε δομή τύπου μαρκασίτη (FeS_2). Αντίθετα, ο *εναργίτης σουλφοάλατος* (Cu_3AsS_4) περιέχει αρσενικό στη θέση του μετάλλου, συντονισμένο σε τέσσερα άτομα θείου. Ένα σουλφοάλας όπως το Cu_3AsS_4 μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως διπλό σουλφίδιο, $3\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{As}_2\text{S}_5$ ^{20,50,54}.

1.5.4 Οξειδία και Υδροξειδία

Αυτές οι κατηγορίες αποτελούνται από ορυκτά που φέρουν οξυγόνο. Τα οξειδία συνδυάζουν οξυγόνο με ένα ή περισσότερα μέταλλα, ενώ τα υδροξειδία χαρακτηρίζονται από υδροξυλομάδες (OH)⁻. Τα οξειδία χωρίζονται περαιτέρω σε δύο βασικούς τύπους: απλά και πολλαπλά. Τα απλά οξειδία περιέχουν ένα μόνο μέταλλο συνδυασμένο με οξυγόνο σε μία από τις πολλές πιθανές αναλογίες μετάλλου:οξυγόνου ($\text{X}:\text{O}$): XO , X_2O , X_2O_3 , κ.λπ. Ο πάγος, H_2O , είναι ένα απλό οξείδιο του τύπου X_2O που ενσωματώνει υδρογόνο ως κατιόν. Αν και το SiO_2 (χαλαζίας και τα πολύμορφα του) είναι το πιο συχνά απαντώμενο οξείδιο, συζητείται παρακάτω στην ενότητα για τα πυριτικά άλατα επειδή η δομή του μοιάζει περισσότερο με αυτή άλλων ενώσεων πυριτίου-οξυγόνου. Δύο μη ισοδύναμες μεταλλικές θέσεις (X και Y) χαρακτηρίζουν πολλαπλά οξειδία, τα οποία έχουν τη μορφή XY_2O_4 ^{20,50,54}.

Σε αντίθεση με τα ορυκτά της κατηγορίας των σουλφιδίων, τα οποία παρουσιάζουν ιοντικούς, ομοιοπολικούς και μεταλλικούς δεσμούς, τα ορυκτά οξειδίων γενικά εμφανίζουν ισχυρούς ιοντικούς δεσμούς. Είναι σχετικά σκληρά, πυκνά και πυρίμαχα.

Τα ορυκτά οξείδια απαντώνται γενικά σε μικρές ποσότητες σε πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα και επίσης ως προϋπάρχοντες κόκκους σε ιζηματογενή πετρώματα. Πολλά οξείδια έχουν μεγάλη οικονομική αξία, συμπεριλαμβανομένων των κύριων μεταλλευμάτων σιδήρου (*αιματίτης* και *μαγνητίτης*), χρωμίου (*χρωμίτης*), μαγγανίου (*πυρολουσίτης*, καθώς και υδροξειδίων, *μαγγανίτης* και *ρωμανεχίτης*), κασσίτερου (*κασσιρίτης*) και ουρανίου (*ουρανινίτης*). Τα μέλη της ομάδας του αιματίτη είναι του τύπου X_2O_3 και έχουν δομές που βασίζονται στην εξαγωνική πλησιέστερη συσκευασία των ατόμων οξυγόνου με οκταεδρικά συντονισμένα (περιβαλλόμενα από και συνδεδεμένα με έξι άτομα) κατιόντα μεταξύ τους. Το κορούνδιο και ο αιματίτης μοιράζονται μια κοινή εξαγωνική αρχιτεκτονική. Στη δομή του ιλμενίτη, ο σίδηρος και το τιτάνιο καταλαμβάνουν εναλλακτικά στρώματα Fe-O και Ti-O ^{20,50,54}.

Τα οξείδια τύπου XO_2 χωρίζονται σε δύο ομάδες. Ο πρώτος τύπος δομής, με παράδειγμα το *ρουτίλιο*, περιέχει κατιόντα σε οκταεδρικό συντονισμό με το οξυγόνο. Το δεύτερο μοιάζει με φθορίτη (CaF_2). Κάθε οξυγόνο συνδέεται με τέσσερα κατιόντα που βρίσκονται στις γωνίες ενός αρκετά κανονικού τετραέδρου και κάθε κατιόν βρίσκεται μέσα σε έναν κύβο στις γωνίες του οποίου υπάρχουν οκτώ άτομα οξυγόνου. Αυτή η τελευταία δομή παρουσιάζεται από οξείδια ουρανίου, θορίου και δημητρίου, των οποίων η σημαντική σημασία προκύπτει από τους ρόλους τους στην πυρηνική χημεία ^{20,50,54}.

Τα ορυκτά της ομάδας σπινελών έχουν τύπο XY_2O_4 και περιέχουν άτομα οξυγόνου σε κατά προσέγγιση κυβική δομή. Τα κατιόντα που βρίσκονται εντός του πλαισίου του οξυγόνου είναι οκταεδρικά (εξαπλά) και τετραεδρικά (τετραπλάσια) συντονισμένα με το οξυγόνο.

Η ομάδα (OH)- των υδροξειδίων οδηγεί γενικά σε δομές με χαμηλότερες αντοχές δεσμού από ότι στα ορυκτά οξειδίων. Τα ορυκτά υδροξειδίου τείνουν να είναι λιγότερο πυκνά από τα οξείδια και επίσης δεν είναι τόσο σκληρά. Όλα τα υδροξειδία σχηματίζονται σε χαμηλές θερμοκρασίες και απαντώνται κυρίως ως προϊόντα διάβρωσης, όπως, για παράδειγμα, από αλλοίωση σε υδροθερμικές φλέβες. Μερικά κοινά υδροξειδία είναι ο *βρουκίτης* $[Mg(OH)_2]$, ο *μαγγανίτης* $[MnO \cdot OH]$, η *διασπορία* $[\alpha-AlO \cdot OH]$ και ο *γαιθίτης* $[\alpha-FeO \cdot OH]$. Το μέταλλο του αλουμινίου, ο βωξίτης, αποτελείται από ένα μείγμα διασπορίας, βοημίτη ($\gamma-AlO \cdot OH$ —ένα πολύμορφο της διασπορίας) και *γιβσίτη* $[Al(OH)_3]$, συν οξείδια σιδήρου ^{20,50,54}.

1.5.5 Αλογονίδια

Τα μέλη αυτής της κατηγορίας διακρίνονται από τα ανιόντα μεγάλου μεγέθους των αλογόνων χλώριο, βρώμιο, ιώδιο και φθόριο. Τα ιόντα φέρουν αρνητικό φορτίο και παραμορφώνονται εύκολα παρουσία ισχυρά φορτισμένων σωμάτων. Όταν συνδέονται με αρκετά μεγάλα, ασθενώς πολωτικά κατιόντα χαμηλού φορτίου, όπως αυτά των μετάλλων αλκαλίων, τόσο τα ανιόντα όσο και τα κατιόντα παίρνουν τη μορφή σχεδόν τέλειων σφαιρών. Οι δομές που αποτελούνται από αυτές τις σφαίρες παρουσιάζουν την υψηλότερη δυνατή συμμετρία ^{20,50,54}.

Ο καθαρός ιοντικός δεσμός παρουσιάζεται καλύτερα στα ισομετρικά αλογονίδια, καθώς κάθε σφαιρικό ιόν κατανέμει το ασθενές ηλεκτροστατικό του φορτίο σε ολόκληρη την επιφάνειά του. Αυτά τα αλογονίδια παρουσιάζουν σχετικά χαμηλή σκληρότητα και μέτρια έως υψηλά σημεία τήξης. Σε στερεά κατάσταση είναι φτωχοί θερμικοί και ηλεκτρικοί αγωγοί, αλλά όταν λιώσουν αγώγουν καλά τον ηλεκτρισμό. Τα ιόντα αλογόνου μπορούν επίσης να συνδυαστούν με μικρότερα, ισχυρότερα πολωτικά κατιόντα από τα ιόντα αλκαλιμετάλλου. Σε αυτές τις δομές επικρατεί χαμηλότερη συμμετρία και υψηλότερος βαθμός ομοιοπολικού δεσμού. Το νερό και τα ιόντα υδροξυλίου μπορούν να εισέλθουν στη δομή, όπως στον *ατακαμίτη* $[\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3]$ ^{20,50,54}.

Τα αλογονίδια αποτελούνται από περίπου 80 χημικά συγγενή ορυκτά με διαφορετικές δομές και ευρέως ποικίλες προελεύσεις. Τα πιο συνηθισμένα είναι ο *αλογονίτης* (NaCl), ο *σουλβίτης* (KCl), ο *χλωραργυρίτης* (AgCl), ο *κρυόλιθος* (Na_3AlF_6), ο *φθορίτης* (CaF_2) και ο *ατακαμίτης*. Από τη διάταξη των ιόντων, είναι προφανές ότι δεν υπάρχουν μόρια στη δομή. Κάθε κατιόν και ανιόν βρίσκονται σε οκταεδρικό συντονισμό με τους έξι πλησιέστερους γείτονές του. Η δομή του NaCl βρίσκεται στους κρυστάλλους πολλών αλογονιδίων τύπου XZ , συμπεριλαμβανομένου του *σουλβίτη* (KCl) και του *χλωραργυρίτη* (AgCl). Ορισμένα σουλφίδια και οξειδία του τύπου XZ κρυσταλλώνονται και σε αυτόν τον τύπο δομής - για παράδειγμα, η *γαληνίτη* (PbS), ο *αλαβανίτης* (MnS). Αρκετά αλογονίδια XZ_2 έχουν την ίδια δομή με τον φθορίτη (CaF_2). Στον φθορίτη, τα κατιόντα ασβεστίου είναι τοποθετημένα στις γωνίες και τα κέντρα όψεων των κυβικών μονάδων κυττάρων. Ο ουρανίτης (UO_2) και ο θοριανίτης (ThO_2) είναι δύο από τα πολλά οξειδία που έχουν δομή τύπου φθορίτη ^{20,50,54}.

1.5.6 Ανθρακικά

Τα ανθρακικά ορυκτά περιέχουν το ανιονικό σύμπλοκο $(\text{CO}_3)^{2-}$, το οποίο είναι τριγωνικό ως προς τον συντονισμό του—δηλαδή, με ένα άτομο άνθρακα στο κέντρο και ένα άτομο οξυγόνου σε κάθε μία από τις γωνίες ενός ισόπλευρου τριγώνου. Αυτές οι ανιονικές ομάδες είναι ισχυρά συνδεδεμένες, μεμονωμένες μονάδες και δεν μοιράζονται άτομα οξυγόνου μεταξύ τους. Οι τριγωνικές ανθρακικές ομάδες είναι οι βασικές δομικές μονάδες όλων των ανθρακικών ορυκτών και είναι σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνες για τις ιδιότητες που ιδιαίτερες για την κατηγορία ^{20,50,54}.

Τα κοινά άνυδρα ανθρακικά άλατα χωρίζονται σε τρεις ομάδες που διαφέρουν ως προς τον τύπο δομής: *ασβεστίτης*, *αραγωνίτης* και *δολομίτης*. Οι τα ανθρακικά του χαλκού όπως ο *αζουρίτης* και ο *μαλαχίτης* είναι οι μόνες αξιόλογες ένυδρες ποικιλίες. Ορισμένα μέλη της ομάδας ασβεστίτη μοιράζονται έναν κοινό τύπο δομής. Τα μέλη της ομάδας ασβεστίτη εμφανίζουν τέλεια ρομβοεδρική διάσπαση. Η σύνθεση CaCO_3 εμφανίζεται συνήθως σε δύο διαφορετικά πολύμορφα: ρομβοεδρικός ασβεστίτης με ασβέστιο που περιβάλλεται από έξι πλησιέστερα άτομα οξυγόνου και ορθορομβικός αραγωνίτης με ασβέστιο που περιβάλλεται από εννέα πλησιέστερα άτομα οξυγόνου. Όταν οι ομάδες CO_3 συνδυάζονται με μεγάλα δισθενή κατιόντα (γενικά με ιοντικές ακτίνες μεγαλύτερες από 1,0 Å), προκύπτουν ορθορομβικές δομές. Αυτό είναι γνωστό ως τύπος δομής αραγωνίτη. Μέλη αυτής της ομάδας περιλαμβάνουν εκείνα με μεγάλα κατιόντα: BaCO_3 , SrCO_3 και PbCO_3 . Κάθε κατιόν περιβάλλεται από εννέα πλησιέστερα άτομα οξυγόνου. Η ομάδα αραγωνίτη εμφανίζει πιο περιορισμένο στερεό διάλυμα από την ομάδα ασβεστίτη. Ο τύπος του κατιόντος που υπάρχει στα ορυκτά του αραγωνίτη είναι σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνος για

τις διαφορές στις φυσικές ιδιότητες μεταξύ των μελών της ομάδας. Το ειδικό βάρος, για παράδειγμα, είναι περίπου ανάλογο με το ατομικό βάρος των μεταλλικών ιόντων. Ο δολομίτης $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$, και ο ανκερίτης $[\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2]$ είναι δύο ισοδομικά μέλη της ομάδας των δολομιτών. Η δομή του δολομίτη μπορεί να θεωρηθεί ως δομή τύπου ασβεσίτη στην οποία κατιόντα μαγνησίου και ασβεστίου καταλαμβάνουν τις μεταλλικές θέσεις σε εναλλακτικά στρώματα. Τα ιόντα ασβεστίου και μαγνησίου διαφέρουν σε μέγεθος κατά 33 τοις εκατό, και αυτό παράγει τη σειρά κατιόντων με τα δύο κατιόντα να καταλαμβάνουν συγκεκριμένα και ξεχωριστά επίπεδα στη δομή. Ο δολομίτης έχει αναλογία ασβεστίου προς μαγνήσιο περίπου 1:1, που του δίνει μια ενδιάμεση σύνθεση μεταξύ CaCO_3 και MgCO_3 ^{20,50,54}.

1.5.7 Νιτρικά

Τα νιτρικά άλατα χαρακτηρίζονται από τις τριγωνικές $(\text{NO}_3)^-$ ομάδες τους που μοιάζουν με τις $(\text{CO}_3)^{2-}$ ομάδες των ανθρακικών, καθιστώντας τις δύο κατηγορίες ορυκτών παρόμοιες στη δομή. Το κατιόν αζώτου (N_5^+) φέρει υψηλό φορτίο και είναι έντονα πολωμένο όπως το κατιόν άνθρακα (C_4^+) της ομάδας CO_3 ^{20,50,54}.

Ένα σφιχτά δεμένο τριγωνικό σύμπλεγμα δημιουργείται από τους τρεις δεσμούς αζώτου-οξυγόνου της ομάδας NO_3^- . Αυτοί οι δεσμοί είναι ισχυρότεροι από όλους τους άλλους στον κρύσταλλο. Επειδή ο δεσμός αζώτου-οξυγόνου έχει μεγαλύτερη αντοχή από τον αντίστοιχο δεσμό άνθρακα-οξυγόνου στα ανθρακικά, τα νιτρικά άλατα αποσυντίθενται λιγότερο εύκολα παρουσία οξέων. Νιτρικές δομές ανάλογες με αυτές της ομάδας ασβεσίτη προκύπτουν όταν NO_3^- συνδυάζεται σε αναλογία 1:1 με μονοσθενή κατιόντα των οποίων οι ακτίνες μπορούν να φιλοξενήσουν έξι πλησιέστερους γείτονες οξυγόνου. Για παράδειγμα, ο νιτρίτης (NaNO_3), που ονομάζεται επίσης νιτρικό νάτριο, και ο ασβεσίτης παρουσιάζουν την ίδια δομή, κρυσταλλογραφία και διάσπαση. Τα δύο ορυκτά διαφέρουν στο ότι το νιτρικό είναι πιο μαλακό και λιώνει σε χαμηλότερη θερμοκρασία λόγω του μικρότερου φορτίου του. Επίσης, το νάτριο έχει χαμηλότερο ατομικό βάρος από το ασβέστιο, με αποτέλεσμα τα νιτρικά να έχουν χαμηλότερο ειδικό βάρος επίσης. Ομοίως, το νίτρο (KNO_3), επίσης γνωστό ως άλας, είναι ένα ανάλογο του αραγωνίτη. Αυτά είναι δύο παραδείγματα από τα επτά γνωστών νιτρικών που απαντώνται στη φύση ^{20,50,54}.

1.5.8 Βορικά

Τα ορυκτά της κατηγορίας βορικών περιέχουν ομάδες βορίου-οξυγόνου που μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους, σε ένα φαινόμενο γνωστό ως πολυμερισμός, για να σχηματίσουν αλυσίδες, φύλλα και απομονωμένες πολλαπλές ομάδες. Τα τετράεδρα πυριτίου-οξυγόνου (SiO_4) των πυριτικών αλάτων πολυμερίζονται με τρόπο παρόμοιο με τις $(\text{BO}_3)^{3-}$ τριγωνικές ομάδες των βορικών αλάτων. Ένα μεμονωμένο άτομο οξυγόνου μοιράζεται μεταξύ δύο κατιόντων βορίου (B_3^+), συνδέοντας έτσι το $(\text{BO}_3)^{3-}$ το οποίο ομαδοποιείται σε εκτεταμένες μονάδες όπως διπλά τρίγωνα, τριπλοί δακτύλιοι, φύλλα και αλυσίδες. Το άτομο οξυγόνου είναι σε θέση να φιλοξενήσει δύο άτομα βορίου επειδή το μικρό κατιόν βορίου έχει ισχύ δεσμού σε κάθε οξυγόνο που είναι ακριβώς η μισή ενέργεια δεσμού του ιόντος οξυγόνου. Αν και το βόριο βρίσκεται συνήθως σε τριγωνικό συντονισμό με τρία οξυγόνα, εμφανίζεται επίσης σε τετραπλάσιο συντονισμό σε τετραεδρικές ομάδες. Επιπλέον, το βόριο μπορεί να

υπάρχει ως μέρος πολύπλοκων ανιονικών ομάδων όπως το $[B_3O_3(OH)_3]^{2-}$, που αποτελείται από ένα τρίγωνο και δύο τετράεδρα ^{20,50,54}.

1.5.9 Θειικά

Αυτή η κατηγορία αποτελείται από μεγάλο αριθμό ορυκτών, αλλά σχετικά λίγα είναι κοινά. Τα πιο συχνά απαντώμενα θειικά είναι ο ανυδρίτης, ο γύψος και τα μέλη της ομάδας του βαρίτη (βαρίτης, σελεσίτης και αγγλεσίτης). Όλα περιέχουν ανιονικές $(SO_4)^{2-}$ ομάδες στις δομές τους. Αυτά τα ανιονικά σύμπλοκα σχηματίζονται μέσω του στενού δεσμού ενός κεντρικού ιόντος S^{6+} με τέσσερα γειτονικά άτομα οξυγόνου σε μια τετραεδρική διάταξη γύρω από το θείο. Αυτή η στενά δεμένη ομάδα δεν μπορεί να μοιραστεί οποιοδήποτε από τα κορυφαία άτομα οξυγόνου της με άλλες ομάδες $(SO_4)^{2-}$. Ως εκ τούτου, τα τετράεδρα εμφανίζονται ως μεμονωμένες, ασύνδετες ομάδες σε θειικές ορυκτές δομές. Τα μέλη της ομάδας των βαρίτη αποτελούν τα περισσότερα σημαντικά και κοινά άνυδρα θειικά. Έχουν ορθορομβική συμμετρία με μεγάλα δισθενή κατιόντα συνδεδεμένα με το θειικό ιόν. Στον βαρίτη ($BaSO_4$), κάθε ιόν βαρίου περιβάλλεται από 12 πλησιέστερα ιόντα οξυγόνου που ανήκουν σε επτά διακριτές ομάδες $(SO_4)^{2-}$ ^{20,50,54}.

Ο ανυδρίτης ($CaSO_4$) παρουσιάζει μια δομή πολύ διαφορετική από αυτή του βαρίτη καθώς η ιοντική ακτίνα του Ca^{2+} είναι σημαντικά μικρότερη από το Ba^{2+} . Κάθε κατιόν ασβεστίου μπορεί να χωρέσει γύρω του μόνο οκτώ άτομα οξυγόνου από γειτονικές ομάδες $(SO_4)^{2-}$. Ο γύψος ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) είναι το πιο σημαντικό και άφθονο ένυδρο θειικό άλας ^{20,50,54}.

1.5.10 Φωσφορικά άλατα

Αν και αυτή η κατηγορία ορυκτών είναι μεγάλη (με σχεδόν 700 γνωστά είδη), τα περισσότερα από τα μέλη της είναι αρκετά σπάνια. Από τα κοινά φωσφορικά άλατα, μόνο ο απατίτης $[Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)]$, ο πιο είναι σημαντικός και άφθονος, μπορεί να θεωρηθεί ως πραγματικά κοινός. Τα μέλη αυτής της ομάδας χαρακτηρίζονται από τετραεδρικά ανιονικά $(PO_4)^{3-}$ σύμπλοκα, τα οποία είναι ανάλογα με τις $(SO_4)^{2-}$ ομάδες των θειικών. Το ιόν του φωσφόρου, με σθένος θετικό πέντε, είναι μόνο ελαφρώς μεγαλύτερο από το ιόν του θείου, το οποίο φέρει θετικό έξι φορτίο. Τα αρσενικά και τα βαναδικά είναι παρόμοια με τα φωσφορικά ^{20,50,54}.

1.5.11 Πυριτικά

Τα πυριτικά, λόγω της αφθονίας τους στη Γη, αποτελούν τη σημαντικότερη κατηγορία ορυκτών. Περίπου το 25 % όλων των γνωστών ορυκτών και το 40 τοις εκατό των πιο κοινών είναι πυριτικά. Τα πυριγενή πετρώματα που αποτελούν περισσότερο από το 90 τοις εκατό του φλοιού της Γης αποτελούνται ουσιαστικά από όλα τα πυριτικά άλατα.

Η θεμελιώδης μονάδα σε όλες τις πυριτικές δομές είναι το τετράεδρο πυριτίου-οξυγόνου $(SiO_4)^{4-}$. Αποτελείται από ένα κεντρικό κατιόν πυριτίου (Si^{4+}) συνδεδεμένο με τέσσερα άτομα οξυγόνου που βρίσκονται στις γωνίες ενός κανονικού τετραέδρου. Ο επίγειος φλοιός συγκρατείται από τους ισχυρούς δεσμούς πυριτίου-οξυγόνου αυτών των

τετραέδρων. Περίπου 50 % ιοντικοί και 50 τοις εκατό ομοιοπολικοί, οι δεσμοί αναπτύσσονται από την έλξη αντίθετα φορτισμένων ιόντων καθώς και από την κοινή χρήση των ηλεκτρονίων τους. Το θετικό φορτίο (+4) κάθε κατιόντος πυριτίου ικανοποιείται από τους τέσσερις δεσμούς του με τα άτομα οξυγόνου. Κάθε ιόν οξυγόνου (O^{2-}), ωστόσο, συνεισφέρει μόνο το ήμισυ της συνολικής ενέργειας σύνδεσης σε έναν δεσμό πυριτίου-οξυγόνου, επομένως μπορεί επίσης να συνδεθεί με το κατιόν πυριτίου ενός άλλου τετραέδρου ^{20,50,54}.

Ως κύριο συστατικό του φλοιού της Γης, το αλουμίνιο ακολουθεί μόνο το οξυγόνο και το πυρίτιο σε σημασία. Η ακτίνα του αλουμινίου, ελαφρώς μεγαλύτερη από αυτή του πυριτίου, βρίσκεται κοντά στο άνω όριο για επιτρεπόμενο τετραπλό συντονισμό στους κρυστάλλους. Ως αποτέλεσμα, το αλουμίνιο μπορεί να περιβάλλεται από τέσσερα άτομα οξυγόνου διατεταγμένα τετραεδρικά, αλλά μπορεί επίσης να βρεθεί σε εξαπλό συντονισμό με το οξυγόνο. Η ικανότητα διατήρησης δύο ρόλων εντός της πυριτικής δομής καθιστά το αλουμίνιο μοναδικό συστατικό αυτών των ορυκτών. Οι τετραεδρικές ομάδες AlO_4 είναι περίπου ίσες σε μέγεθος με τις ομάδες SiO_4 και επομένως μπορούν να ενσωματωθούν στο σχήμα πολυμερισμού πυριτικού άλατος. Το αλουμίνιο σε εξαπλό συντονισμό μπορεί να σχηματίσει ιοντικούς δεσμούς με τα τετράεδρα SiO_4 . Έτσι, το αλουμίνιο μπορεί να καταλαμβάνει τετραεδρικές θέσεις ως αντικατάσταση των θέσεων πυριτίου και οκταεδρικών θέσεων σε στερεό διάλυμα με στοιχεία όπως το μαγνήσιο και ο δισθενής σίδηρος. Μπορεί να υπάρχουν πολλά ιόντα σε πυριτικές δομές σε οκταεδρικό συντονισμό με το οξυγόνο: Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Al^{3+} και Ti^{4+} . Όλα τα κατιόντα έχουν περίπου τις ίδιες διαστάσεις και έτσι βρίσκονται σε ισοδύναμες ατομικές θέσεις, παρόλο που τα φορτία τους κυμαίνονται από θετικά δύο έως θετικά τέσσερα. Το στερεό διάλυμα που περιλαμβάνει ιόντα διαφορετικού φορτίου επιτυγχάνεται μέσω συζευγμένων υποκαταστάσεων, διατηρώντας έτσι την ουδετερότητα των δομών ^{20,50,54}.

1.6 Τα ορυκτά στον Ελλαδικό χώρο

Στο άρθρο 2 του Ν.Δ. 210/1973 «Περί μεταλλευτικού κώδικα » κατηγοριοποιούνται στα μεταλλευτικά ορυκτά ή μεταλλεύματα συγκεκριμένες ορυκτές ύλες. Ενδεικτικά, στον πίνακα 1 αναφέρονται οι ακόλουθες κατηγορίες.

Πίνακας 1Α Μεταλλευτικά ορυκτά ή μεταλλεύματα

A/a	Κατηγορίες μεταλλευτικών ορυκτών ή μεταλλευμάτων
1.	Τα μέταλλα σε αυτοφυή κατάσταση (π.χ. χαλκός, χρυσός)
2.	Ο ενώσεις όλων των μετάλλων (π.χ. αργιλίου, αργύρου, βαρίου, κασσιτέρου, μαγνησίου, μολύβδου, νικελίου, σιδήρου, τιτανίου, υδραργύρου, χαλκού, χρυσού, χρωμίου, ψευδαργύρου)
3.	Τα ορυκτά των μετάλλων της ομάδας των σπανίων γαιών
4.	Τα ορυκτά των ραδιενεργών στοιχείων
5.	Το αυτοφύες θείον, ο γραφίτης, ο φωσφορίτης, ο φθορίτης, ο αμίαντος, ο τάλκης, ο αλουνίτης, ο μαρμαρυγίας, το ορυκτό χλωριούχο νάτριο, μαζί με τα παρακολουθούντα αυτό άλατα, οι ενώσεις βορίου, βρωμίου και ιωδίου
6.	Οι πολύτιμοι λίθοι
7.	Οι φυσικές εναποθέσεις οργανικών λιπασμάτων
8.	Οι υδρογονάνθρακες παντός είδους σε στερεά, υγρή ή αέρια κατάσταση
9.	Όλες οι στερεές καύσιμες ορυκτές ύλες,
10.	Οι ρητινώδεις ορυκτές ύλες
11.	Το αέριο ήλιο και τα γηγενή αέρια
12.	Το γεωθερμικό δυναμικό (πηγές γεωθερμικής ενέργειας)

Στο άρθρο 5 του ίδιου νομοθετικού διατάγματος, στην κατηγορία των λατομικών ορυκτών κατατάσσονται οι ακόλουθες ορυκτές ύλες: τα μάρμαρα, οι ασβεστόλιθοι παντός είδους, οι σχιστόλιθοι, οι μάργες, οι άργιλοι, οι καολίνες, οι ιλλίτες, οι μοντμοριλονίτες, οι μπεντονίτες, η κιμωλία, η γύψος, το αλάβαστρο, οι τόφφοι, οι αμφιβολίτες, οι πρασινίτες, οι χαλαζίτες, οι οφίτες, οι ολιβίνες, οι περιδοτίτες, οι σηϊνίτες, οι διορίτες, οι γρανίτες, οι τραχείτες, οι βασάλτες, οι ρυόλιθοι, οι δακίτες, οι ανδεσίτες, οι διαβάσες, οι οψιδιανοί, οι περλίτες, η κίσηρι, η θηραϊκή γή, οι ψαμμίτες και οι άμμοι.

Τα ορυκτά και βρίσκονται παντού γύρω μας, αγκαλιάζοντας την καθημερινότητα μας. Ωστόσο, η αξία τους δεν είναι τόσο αναγνωρίσιμη από το ευρύ κοινό. Μπορεί να μην το καταλαβαίνουμε αλλά ο καθένας από εμάς σε όλη την διάρκεια της ζωής του θα χρησιμοποιήσει 400 τόνους ορυκτών (HELLAS GOLD). Η χρήση των ορυκτών υλών είναι απαραίτητη σήμερα για την παραγωγή ενέργειας, τις βιομηχανίες φαρμάκων και διατροφής, τα μέσα μεταφοράς, τη νοσηλευτική, τα έντυπα και ηλεκτρονικά μέσα ενημέρωσης, τις τεχνικές κατασκευές και γενικά ό,τι κάνει τη ζωή μας πιο άνετη (Smith 1996). Σημειώνεται, ότι υπάρχουν μέταλλα και ορυκτά τα οποία χρησιμοποιούνται στην αντιμετώπιση περιβαλλοντικών προβλημάτων ή συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας των καλλιεργήσιμων εδαφών ή της ζωικής παραγωγής. Ενδεικτικά, στον πίνακα 2

αναφέρονται κατηγορίες ορυκτών υλών και τρόπων χρήσης τους μέσω υλικών της καθημερινότητας μας (Γεωργιάδης 2003).

Πίνακας 2Α Ορυκτές ύλες – Χρήσεις υλικών

Α/α	Ορυκτές ύλες	Χρήσεις υλικών στην καθημερινή ζωή
1.	Άστριος, καολίνης, χαλαζίας	Είδη υγιεινής, πλακίδια
2.	Χαλαζιακή άμμος, άστριος	Γυαλικά
3.	Ορυκτά με κοβάλτιο σε νικελιούχα μεταλλεύματα	Διακόσμηση πορσελάνης με μπλε κοβαλτίου, θερμοαντικά στοιχεία ηλεκτρικών συσκευών
4.	Βωξίτης	Αλουμίνιο, κατασκευή αεροπλάνων
5.	Γύψος	Γυψοσανίδες
6.	Τάλκης	Συνθετικό κούφωμα
7.	Ανθρακικό ασβέστιο, καολίνης, βαρύτης, τάλκης, διοξείδιο του τιτανίου	Χρώματα
8.	Βωξίτης-Ανθρακικό ασβέστιο, ελαφρόπετρα, τάλκης,	Οδοντόπαστα: αλουμινένιο σωληνάριο-κρέμα
9.	Ασβεστόλιθος	Παραγωγή ζάχαρης προς απομάκρυνση ανεπιθύμητων ουσιών
10.	Ανοξειδωτος χάλυβας, σιδηρομεταλλεύματα, χρωμίτης, νικελιούχα	Μαχαιροπήρουνα
11.	Ανοξειδωτος χάλυβας	Ξυραφάκια
12.	Διοξείδιο μαγγανίου – πυρολουσίτης	Μπαταρίες
13.	Χαλαζίας, πυρίτιο	Κινητά τηλέφωνα, Η/Υ
14.	Βόρακας, ορυκτά βορίου	Απορρυπαντικά, σκεύη μαγειρικής (πυρεξ)
15.	Ανθρακικό ασβέστιο, τάλκης, καολίνης, διοξείδιο τιτανίου	Χαρτί
16.	Φθορίτης, υδρό-χλωροφθοράνθρακες	Ψυγείο, air-condition
17.	Ασβεστόλιθος, αργιλόχωμα, γύψος	Μπετόν-τσιμέντο
18.	Χάλυβας, σιδηρομετάλλευμα	Σιδηροκατασκευές
19.	Ορυκτοβάμβακας	Μονωτικά
20.	Φωσφορίτης, μπετονίτης, περλίτης	Λιπάσματα, Φυτοφάρμακα, Βελτιωτικά

Η Ελλάδα χωρίζεται σε γεωτεκτονικές ζώνες και μάζες, με τη σύσταση της καθεμίας να αποτελείται από συγκεκριμένη διαδοχή ιζημάτων, ιδιαίτερους λιθολογικούς χαρακτήρες και ιδιαίτερη τεκτονική συμπεριφορά. Στον πίνακα 3 παρουσιάζονται οι ονομασίες και τα

ιδιαίτερα γεωγραφικά χαρακτηριστικά της κάθε ζώνης (Ελληνικός Ορυκτός Πλούτος-Γεωλογία-Ορυκτολογία-Γεωλογία Ελλάδας).

Πίνακας 3Α Γεωλογία Ελλάδας - Γεωτεκτονικές ζώνες και μάζες

A/α	Ονομασίες γεωτεκτονικών ζωνών/μαζών	Ιδιαίτερα Χαρακτηριστικά
1.	Μάζα Ροδόπης	Γνεύσιοι, μάρμαρα, σχιστόλιθοι, γρανίτες, ρυόλιθοι, ανδεσίτες, δακίτες
2.	Σερβομακεδονική Μάζα	Γνεύσιοι, μαρμαρυγικοί και αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι, μεγάλες μάζες γρανιτών
3.	Περιοδοτική ζώνη	Ψαμμίτες, χαλαζίτες, σχιστόλιθοι, ηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα, ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, φυλλίτες, μάρμαρα, γνεύσιοι
4.	Ζώνη Αξιού (επιμέρους ζώνες: Παιονίας, Πάϊκου, Αλμωπίας)	Σχιστόλιθοι, φυλλίτες, μάρμαρα, κερατόλιθοι, ψαμμίτες, ασβεστόλιθοι
5.	Πελαγονική ζώνη	Γνεύσιοι, γνευσιοσχιστόλιθοι, γρανίτες, μάρμαρα, φυλλίτες, ψαμμίτες, ασβεστόλιθοι, δολομίτες.
6.	Αττικοκυκλαδική μάζα ή Αττικοκυκλαδικό σύμπλεγμα	Γνεύσιοι, μάρμαρα, δολομίτες, μαρμαρυγικοί και αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι
7.	Ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας	Ασβεστόλιθοι και δολομίτες
8.	Ζώνη Ολωνού – Πίνδου	Ασβεστόλιθοι, δολομίτες, κερατόλιθοι, ηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα, ραδιολαρίτες, άργιλοι, ψαμμίτες, πηλίτες
9.	Ζώνη Γαβρόβου – Τριπόλεως	Ασβεστόλιθοι και δολομίτες
10.	Ιόνιος (ή Αδριατικοϊόνιος) ζώνη	Γύψοι και ορυκτά άλατα, ασβεστόλιθοι, δολομίτες, αργιλικό σχιστόλιθοι και κερατόλιθοι
11.	Ζώνη Παξών (ή Προαπούλια)	Γύψοι, δολομίτες, ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, κερατόλιθοι

1.7 Διεργασίες επεξεργασίας ορυκτών με ιδιαίτερη σημασία στην Ελλάδα

1.7.1 Εξαγωγή αλουμινίου από βωξίτη. Μέθοδος Bayer

Αν και οι ενώσεις αλουμινίου χρησιμοποιούνται εδώ και χιλιάδες χρόνια, σε μεταλλική μορφή για αντίστοιχες χρήσεις κατασκευάστηκε για πρώτη φορά πριν από περίπου 170 χρόνια. Στα 100 χρόνια από την παραγωγή των πρώτων βιομηχανικών ποσοτήτων αλουμινίου, η παγκόσμια ζήτηση για αλουμίνιο έχει αυξηθεί σε περίπου 29 εκατομμύρια τόνους ετησίως. Περίπου 22 εκατομμύρια τόνοι είναι νέο αλουμίνιο και 7 εκατομμύρια τόνοι ανακυκλωμένο σκραπ αλουμινίου. Η χρήση ανακυκλωμένου αλουμινίου είναι επιτακτική οικονομικά και περιβαλλοντικά. Χρειάζονται 14.000 kWh για να παραχθεί 1 τόνος νέου αλουμινίου. Αντίθετα, χρειάζεται μόνο το 5% αυτού για την επανατήξη και την ανακύκλωση ενός τόνου αλουμινίου. Δεν υπάρχει διαφορά ποιότητας μεταξύ παρθένων και ανακυκλωμένων κραμάτων αλουμινίου ^{43,67}.

Το καθαρό αλουμίνιο είναι μαλακό, όλκιμο, ανθεκτικό στη διάβρωση και έχει υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Χρησιμοποιείται ευρέως για καλώδια μεμβράνης και αγωγών, αλλά η δημιουργία κραμάτων με άλλα στοιχεία είναι απαραίτητη για να παρέχει τις υψηλότερες αντοχές που απαιτούνται για άλλες εφαρμογές. Το αλουμίνιο είναι ένα από τα ελαφρύτερα μέταλλα μηχανικής, με αναλογία αντοχής προς βάρος ανώτερη από τον χάλυβα. Αξιοποιώντας διάφορους συνδυασμούς των πλεονεκτικών ιδιοτήτων του, όπως αντοχή, ελαφρότητα, αντοχή στη διάβρωση, ανακυκλωσιμότητα και μορφοποίηση, το αλουμίνιο χρησιμοποιείται σε έναν ολοένα αυξανόμενο αριθμό εφαρμογών. Αυτή η σειρά προϊόντων κυμαίνεται από δομικά υλικά έως λεπτά φύλλα συσκευασίας ^{43,67}.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της χρήσης αλουμινίου συνδέονται άμεσα με τις αξιοσημείωτες ιδιότητές του. Μερικές από αυτές τις ιδιότητες είναι οι ακόλουθες ^{43,67}.

- Αναλογία δύναμης προς βάρος

Το αλουμίνιο έχει πυκνότητα γύρω στο ένα τρίτο αυτής του χάλυβα και χρησιμοποιείται επωφελώς σε εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή αντοχή και χαμηλό βάρος. Αυτό περιλαμβάνει οχήματα όπου η χαμηλή μάζα έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη χωρητικότητα φορτίου και μειωμένη κατανάλωση καυσίμου.

- Αντοχή στη διάβρωση του αλουμινίου

Όταν η επιφάνεια του μετάλλου αλουμινίου εκτίθεται στον αέρα, σχηματίζεται σχεδόν ακαριαία μια προστατευτική επίστρωση οξειδίου. Αυτό το στρώμα οξειδίου είναι ανθεκτικό στη διάβρωση και μπορεί να ενισχυθεί περαιτέρω με επιφανειακές επεξεργασίες όπως η ανοδίωση.

- Ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα αλουμινίου

Το αλουμίνιο είναι ένας εξαιρετικός αγωγός τόσο της θερμότητας όσο και του ηλεκτρισμού. Το μεγάλο πλεονέκτημα του αλουμινίου είναι ότι κατά βάρος, η αγωγιμότητα του αλουμινίου είναι περίπου διπλάσια από αυτή του χαλκού. Αυτό σημαίνει ότι το αλουμίνιο είναι πλέον το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο υλικό σε μεγάλες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Οι καλύτερες εναλλακτικές λύσεις για τον χαλκό είναι τα κράματα αλουμινίου της σειράς 1000 ή 6000. Αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για όλες τις

εφαρμογές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, συμπεριλαμβανομένης της οικιακής καλωδίωσης. Οι εκτιμήσεις βάρους σημαίνουν ότι ένα μεγάλο ποσοστό των εναέριων γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης χρησιμοποιεί πλέον αλουμίνιο και όχι χαλκό. Ωστόσο, έχουν χαμηλή αντοχή και πρέπει να ενισχυθούν με γαλβανισμένο ή επικαλυμμένο με αλουμίνιο σύρμα χάλυβα υψηλής αντοχής σε κάθε κλώνο.

- Ανακλαστικότητα φωτός και θερμότητας αλουμινίου

Το αλουμίνιο είναι ένας καλός ανακλαστήρας τόσο του ορατού φωτός όσο και της θερμότητας, καθιστώντας το ιδανικό υλικό για φωτιστικά, θερμικές κουβέρτες διάσωσης και αρχιτεκτονική μόνωση.

- Τοξικότητα του αλουμινίου

Το αλουμίνιο δεν είναι μόνο μη τοξικό αλλά επίσης δεν απελευθερώνει οσμές ή αλλοιώσεις προϊόντων με τα οποία έρχεται σε επαφή. Αυτό καθιστά το αλουμίνιο κατάλληλο για χρήση σε συσκευασίες ευαίσθητων προϊόντων όπως τρόφιμα ή φαρμακευτικά προϊόντα όπου χρησιμοποιείται φύλλο αλουμινίου.

- Ανακυκλωσιμότητα Αλουμινίου

Η ανακυκλωσιμότητα του αλουμινίου είναι απaráμιλλη. Όταν ανακυκλώνεται, δεν υπάρχει υποβάθμιση των ιδιοτήτων όταν το ανακυκλωμένο αλουμίνιο συγκρίνεται με το παρθένο αλουμίνιο. Επιπλέον, η ανακύκλωση του αλουμινίου απαιτεί μόνο περίπου το 5 τοις εκατό της εισροής ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή παρθένου μετάλλου αλουμινίου.

Οι ιδιότητες των διαφόρων κραμάτων αλουμινίου είχαν ως αποτέλεσμα το αλουμίνιο να χρησιμοποιείται σε βιομηχανίες τόσο διαφορετικές όπως οι εφαρμογές μεταφοράς, παρασκευής τροφίμων, παραγωγής ενέργειας, συσκευασίας, αρχιτεκτονικής και ηλεκτρικής μετάδοσης.

Ανάλογα με την εφαρμογή, το αλουμίνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αντικαταστήσει άλλα υλικά όπως χαλκό, χάλυβα, ψευδάργυρο, πλάκα κασσίτερου, ανοξείδωτο χάλυβα, τιτάνιο, ξύλο, χαρτί, σκυρόδεμα και σύνθετα υλικά.

Μερικά παραδείγματα των περιοχών όπου χρησιμοποιείται αλουμίνιο είναι τα κάτωθι 43,67:

- Υλικό συσκευασίας

Η αντοχή στη διάβρωση και η προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία σε συνδυασμό με τον περιορισμό της υγρασίας και των οσμών συν το γεγονός ότι το αλουμίνιο είναι μη τοξικό και δεν θα εκπλυθεί ή θα λερώσει τα προϊόντα έχει ως αποτέλεσμα την ευρεία χρήση των αλουμινόχαρτων και των φύλλων αλουμινίου στη συσκευασία και την προστασία τροφίμων. Η πιο κοινή χρήση του αλουμινίου για συσκευασία ήταν σε αλουμινένια κουτιά ποτών. Τα δοχεία αλουμινίου αντιπροσωπεύουν τώρα περίπου το 15% της παγκόσμιας κατανάλωσης αλουμινίου.

- Μεταφορές

Μετά τις πρώτες ημέρες επανδρωμένης πτήσης, η εξαιρετική αναλογία αντοχής προς βάρος του αλουμινίου το έχουν καταστήσει το κύριο υλικό για την κατασκευή αεροσκαφών. Αυτές οι ίδιες ιδιότητες του αλουμινίου σημαίνουν ότι διάφορα κράματα χρησιμοποιούνται τώρα επίσης σε επιβατικά και εμπορευματικά σιδηροδρομικά αυτοκίνητα, εμπορικά οχήματα, στρατιωτικά οχήματα, πλοία και σκάφη, λεωφορεία και πούλμαν, ποδήλατα και όλο και περισσότερο σε αυτοκίνητα. Η βιώσιμη φύση του αλουμινίου όσον αφορά την

αντοχή στη διάβρωση και την ανακυκλωσιμότητα έχει συμβάλει στην αύξηση της πρόσφατης ζήτησης για εξαρτήματα οχημάτων από αλουμίνιο.

- Θαλάσσιες Εφαρμογές Αλουμινίου

Η πλάκα και οι εξωθήσεις αλουμινίου χρησιμοποιούνται εκτενώς για τις υπερκατασκευές πλοίων. Η χρήση αυτών των υλικών επιτρέπει στους σχεδιαστές να αυξήσουν το παραπάνω μέγεθος ίσαλου γραμμής του σκάφους χωρίς να δημιουργήσουν προβλήματα σταθερότητας. Το πλεονέκτημα βάρους του αλουμινίου επέτρεψε στους αρχιτέκτονες ναυτιλίας να αποκτήσουν καλύτερες επιδόσεις από τη διαθέσιμη ισχύ χρησιμοποιώντας αλουμίνιο στις γάστρες των hovercraft, στα γρήγορα καταμαράν πολλαπλών κύτους και στα πλοία επιφανείας πλανίσματος. Το χαμηλότερο βάρος και οι μεγαλύτεροι κύκλοι ζωής έχουν δει το αλουμίνιο να γίνεται το καθιερωμένο υλικό για ελικοφόρα και δομές υποστήριξης ελικοφόρων σε υπεράκτιες εξέδρες πετρελαίου και φυσικού αερίου. Οι ίδιοι λόγοι οδήγησαν στην ευρεία χρήση του αλουμινίου σε πύργους σκάλας εξέδρας άντλησης πετρελαίου και τηλεσκοπικές γέφυρες προσωπικού.

- Αρχιτεκτονική

Η χρήση αλουμινίου σε κτίρια καλύπτει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν στέγες, μόνωση αλουμινίου, παράθυρα, επενδύσεις, πόρτες, προσόψεις καταστημάτων, κιγκλιδώματα, αρχιτεκτονικά υλικά και υδροροές. Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται επίσης συνήθως ως πλάκα πέλματος και βιομηχανικό δάπεδο.

- Φύλλα αλουμινίου

Το αλουμίνιο παράγεται σε εμπορικά φύλλα πάχους 0,0065 mm (ή 6,5 μm). Το υλικό με πάχος μεγαλύτερο από 0,2 mm ονομάζεται φύλλο ή λωρίδα. Το φύλλο αλουμινίου είναι αδιαπέραστο από το φως, τα αέρια, τα λάδια και τα λίπη, τις πτητικές ενώσεις και τους υδρατμούς. Αυτές οι ιδιότητες σε συνδυασμό με την υψηλή μορφοποίηση, την αντοχή στη θερμότητα και το κρύο, τη μη τοξικότητα, την αντοχή και την ανακλαστικότητα στη θερμότητα και το φως, χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές. Αυτές οι εφαρμογές περιλαμβάνουν:

- Φαρμακευτική συσκευασία
- Προστασία και συσκευασία τροφίμων
- Μόνωση
- Ηλεκτρική θωράκιση
- Laminates

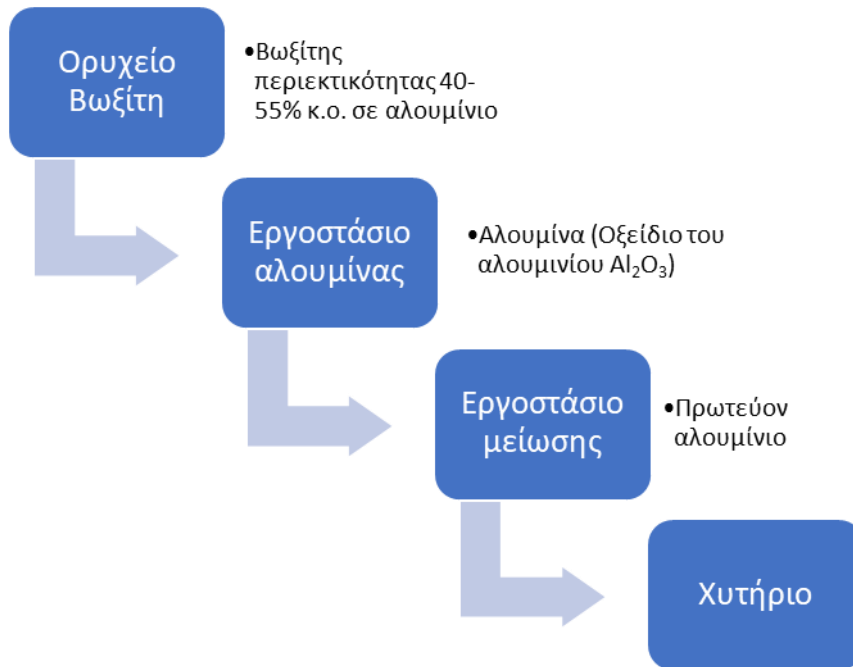
Άλλες Εφαρμογές Αλουμινίου

Οι παραπάνω εφαρμογές αντιπροσωπεύουν περίπου το 85% του αλουμινίου που καταναλώνεται ετησίως. Το υπόλοιπο 15% χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που περιλαμβάνουν:

- Σκάλες
- Φιάλες αερίου υψηλής πίεσης
- Αθλητικά είδη
- Μηχανικά κατεργασμένα εξαρτήματα
- Οδικά εμπόδια και πινακίδες
- Έπιπλα

- Λιθογραφικές τυπογραφικές πλάκες

Η εξαγωγή αλουμινίου από το μετάλλευμά του και η επακόλουθη επεξεργασία σε τελικά προϊόντα λαμβάνει χώρα σε μια σειρά διαδοχικών εργασιών, η καθεμία σε μεγάλο βαθμό ανεξάρτητη από την άλλη. Γενικά οι διάφορες διεργασίες εκτελούνται σε διαφορετικές εγκαταστάσεις εργοστασίων. Μια περίληψη των σταδίων παραγωγής από το ορυχείο βωξίτη μέχρι τη χύτευση δίνεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1 Βήματα παραγωγής αλουμινίου (Προσαρμογή από Lumley, 2010)

Το αλουμίνιο αποτελεί περίπου το 8% του φλοιού της γης, καθιστώντας το δεύτερο μόνο μετά το πυρίτιο (27,7%). Ο σίδηρος είναι τρίτος σε ποσοστό περίπου 5%. Το μεταλλικό αλουμίνιο δεν βρίσκεται στη φύση, αλλά εμφανίζεται με τη μορφή ένυδρων οξειδίων ή πυριτικών αλάτων (άργιλοι). Το κύριο μετάλλευμα από το οποίο εξάγεται το αλουμίνιο ονομάζεται βωξίτης από την πόλη Les Baux στη νότια Γαλλία όπου ανακαλύφθηκε αρχικά το μετάλλευμα. Ο βωξίτης εμφανίζεται κυρίως στις τροπικές περιοχές και σε ορισμένες μεσογειακές χώρες. Σήμερα, οι κύριες τοποθεσίες εξόρυξης βρίσκονται στη Λατινική Αμερική, την Αυστραλία, την Ινδία και την Αφρική ⁴³.

Ο βωξίτης αποτελείται από πολλές ένυδρες φάσεις οξειδίου του αργιλίου σε συνδυασμό με οξείδια σιδήρου, πυριτίου, τιτανίου και άλλες ίχνη ακαθαρσιών. Το κύριο ορυκτό που υπάρχει στον βωξίτη, ο γιββίτης ($Al(OH)_3$), ο βοημίτης ($-AlO(OH)$) και η διασπορία ($-AlO(OH)$) μια μορφή βοημίτη που παρουσιάζει μια πιο πυκνή κατάσταση. Το οξείδιο του σιδήρου που συνήθως περιέχεται στον βωξίτη, του δίνει ένα χαρακτηριστικό κοκκινοκαφέ χρώμα,. Η κρυσταλλική δομή περιέχει επίσης 12-20% κατά βάρος νερό ⁴³.

Εν γένει, ορισμένα πετρώματα παρόμοια με τον βωξίτη, αλλά με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε αλουμίνα, είναι επίσης διαθέσιμα ευρέως σε μεγάλες ποσότητες. Οι άργιλοι έγιναν πηγή αλουμίνας σε περιορισμένο βαθμό στη Γερμανία κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου. Επιπλέον, πολλοί άλλοι τύποι πετρωμάτων περιέχουν σημαντικές ποσότητες αλουμίνας, όπως καολίνη, νεφελίνη, ανδαλουσίτης, λευκίτης, λαμπραδορίτης και αλουνίτης. Για την περίπτωση ορυκτών που περιέχουν αλουμίνιο, είναι σημαντικό να σημειωθεί εάν κυριαρχεί η ορυκτολογία των γιββσιτών, των βοημιτών και της

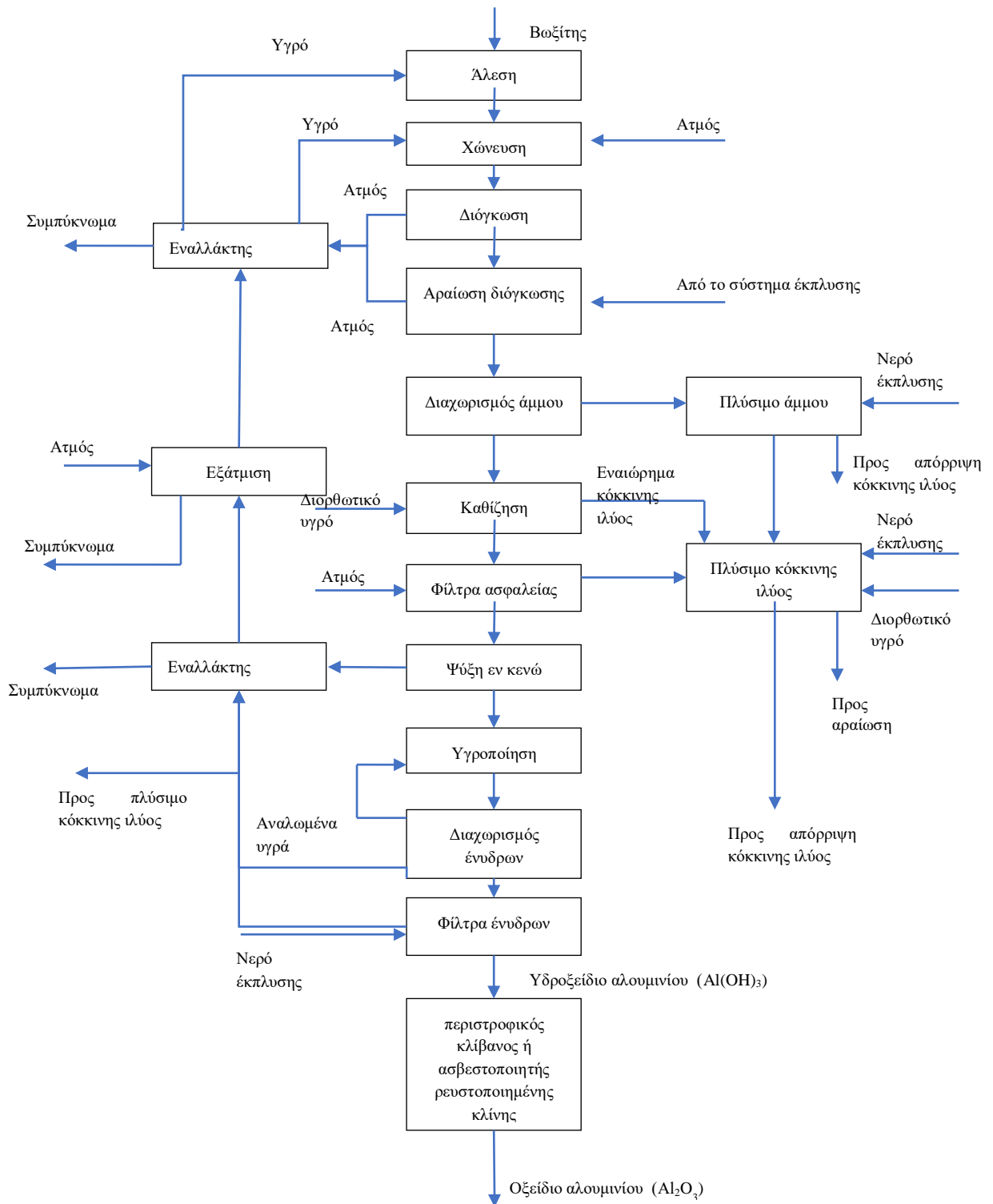
διασπορίας. Αυτό καθορίζει τον τύπο της λειτουργίας έκπλυσης που θα χρησιμοποιηθεί. Η παγκόσμια μεταλλουργική παραγωγή βωξίτη, σύμφωνα με αυτήν την ορυκτολογία, χαρακτηρίζεται από την παρουσία πυριτίου, που συνήθως ονομάζεται ενεργό, δεδομένου ότι, το ενεργό πυρίτιο καθορίζει τη διαδικασία που απαιτείται. Επειδή, η παραγωγή αλουμινίου παγκοσμίως αυξάνεται συνεχώς, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η παραγωγή βωξίτη αντίστοιχα βρίσκεται σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα ⁴³.

Η πρώτη ύλη για την ηλεκτρολυτική τήξη του αλουμινίου είναι το καθαρό, άνυδρο οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3) που ονομάζεται αλουμίνα. Στον Δυτικό Κόσμο, η διεργασία Bayer, που εφευρέθηκε τον 19ο αιώνα, είναι μακράν η πιο σημαντική διαδικασία που χρησιμοποιείται στην παραγωγή οξειδίου του αλουμινίου από βωξίτη. Η διαδικασία έχει τελειοποιηθεί και βελτιωθεί σημαντικά από την έναρξή της εφαρμογής της ⁴³.

Το σχήμα 2 δείχνει ότι η παραγωγή αλουμίνας είναι μια πολύπλοκη χημική διαδικασία. Η περιεκτικότητα των μεταλλευμάτων βωξίτη σε αλουμίνα ποικίλλει από το ένα κοίτασμα στο άλλο και οι μέθοδοι επεξεργασίας διαφέρουν ανάλογα. Αυτό σημαίνει ότι κάθε εργοστάσιο αλουμίνας είναι σχεδόν προσαρμοσμένο για να ταιριάζει σε έναν συγκεκριμένο βωξίτη. Ωστόσο, οι διαδικασίες είναι βασικά παρόμοιες, και μια γενική περιγραφή δίνεται παρακάτω.

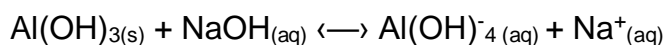
Ο βωξίτης από το ορυχείο θρυμματίζεται και αλέθεται. Η διαδικασία βοηθά στην ομοιομορφία της χημικής σύστασης του υλικού, μέσω της μείωσης του όγκου των κόκκων του. Στην συνέχεια ο βωξίτης υφίσταται περαιτέρω μείωση της κοκκομετρίας του, μετατρέπόμενος σε σωματίδια μικρότερα των 35mm σε ραβδόμυλους και σφαιρόμυλους ⁴³.

Στη συνέχεια αναμειγνύεται με ένα διάλυμα καυστικής σόδας και αντλείται σε μεγάλα αυτόκαυστα. Εκεί, υπό πίεση και σε θερμοκρασία 110–270°C, η αλουμίνα που περιέχεται στο μέταλλευμα διαλύεται για να σχηματίσει αργιλικό νάτριο.



Σχήμα 2 Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας Bayer (Προσαρμογή από Lumley, 2010)

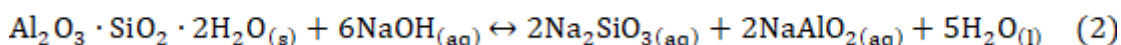
Σε αυτήν την υψηλή τιμή pH και αυξημένη θερμοκρασία και πίεση, τα υδροξείδια του αλουμινίου από τον βωξίτη διαλύονται επιλεκτικά όπως ακολουθεί η Εξ. 1 (σε αυτή την περίπτωση γιββσίτης και βαιμίτης), ενώ οι περισσότερες από τις άλλες ενώσεις παραμένουν αδιάλυτες στο υπόλειμμα έκπλυσης ή βωξίτη, τη λεγόμενη κόκκινη λάσπη. Σε αυτό το βήμα, ολοκληρώνεται ολόκληρη η διύλιση και το αλουμίνιο διαχωρίζεται από τα συνοδευτικά στοιχεία ⁴³.



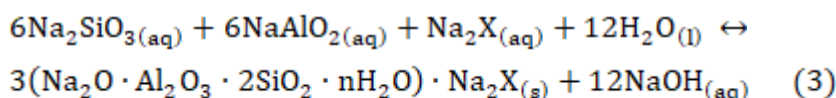
Για να εξαναγκαστεί η αντίδραση της εξίσωσης 1, απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες ανάλογα με την ορυκτολογία του επεξεργασμένου βωξίτη. Οι κύριες φάσεις αλουμινίου στον βωξίτη είναι οι τριένυδρες όπως ο γιββσίτης (επίσης γνωστός ως υδραργιλίτης) ή οι μονοϋδρικές ενώσεις όπως ο βαιμίτης και η διασπορία. Ενώ οι τριένυδροι είναι καλύτερα διαλυτοί σε θερμοκρασίες περίπου 135–150 °C, ο βοεμίτης επεξεργάζεται σε θερμοκρασίες 205–245 °C και η διασπορά χρειάζεται τις υψηλότερες θερμοκρασίες πέψης πάνω από 250 °C (Paramguru et al, 2005). Λόγω της μεταλλικής τους σύστασης, οι βωξίτες μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες: καρστικούς βωξίτες και λατεριτικούς βωξίτες. Οι λατεριτικοί βωξίτες είναι αποξηραμένα ορυκτά που περιέχουν ως επί το πλείστον gibbsite με μικρές μόνο ποσότητες βοημίτη και είναι τυπικά για τροπικά κοιτάσματα. Οι καρστικοί βωξίτες περιέχουν βαιμίτης συνοδευόμενο από μικρές ποσότητες διασποράς (Authier-Martin et al, 2001). Μπορούν να βρεθούν για παράδειγμα στην Ευρώπη ⁴³.

Το πυρίτιο στον βωξίτη αντιδρά και καθιζάνει από το διάλυμα ως νάτριο-αλουμίνιο-πυριτικό. Το οξείδιο του σιδήρου και του τιτανίου και άλλες ακαθαρσίες δεν επηρεάζονται χημικά, και ως στερεά, καθιζάνουν εκτός διαλύματος. Αυτό το απόβλητο υλικό, γνωστό ως κόκκινη λάσπη, διαχωρίζεται από το διάλυμα αργιλικού νατρίου, πλένεται για να ανακτηθεί η καυστική σόδα και στη συνέχεια αντλείται στους χώρους απόρριψης ⁴³.

Γενικά, το πυρίτιο είναι αδιάλυτο σε καυστικά διαλύματα. Η έκθεση στις καιρικές συνθήκες μετατρέπει πυριτικά άλατα, π.χ. ορυκτά της ομάδας άστριου, εν μέρει σε αργιλικά ορυκτά όπως ο καολινίτης που διαλύεται σύμφωνα με την αντίδραση στην Εξ. 2 ⁴³.



Επιπλέον, σε θερμοκρασίες υψηλής πέψης, ο χαλαζίας προσβάλλεται επίσης από τη καυστική σόδα. Το διαλυμένο πυρίτιο δεν είναι σταθερό και καθιζάνει αμέσως λόγω της αντίδρασης με καυστική σόδα και διαλυμένο αλουμίνιο όπως φαίνεται στην αντίδραση στην Εξ. 3. ¹⁸



Όπου

X: ανιόντα όπως CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , AlO_2^- , 2OH^- , 2Cl^-

Τα σχηματιζόμενα προϊόντα είναι ο σοδαλίτης, όπως φαίνεται στην αντίδραση της εξίσωσης 3, ως ενδιάμεσο προϊόν και ο κανκρινίτης ως το θερμοδυναμικά σταθερό τελικό προϊόν (Reyes et al, 2013). Ειδικά, οι Barnes et al, (1999a, et al, 1999b, 1999c) εξέτασαν την κινητική και τον μηχανισμό αντίδρασης της κατακρήμνισης σοδαλίτη και κανκρινίτη και βρήκαν ότι πρώτα ο σοδαλίτης κατακρημνίζεται ως το βήμα καθορισμού του ρυθμού και στη συνέχεια σε υψηλές θερμοκρασίες, ο κανκρινίτης με τη χαμηλότερη διαλυτότητά του σε ισορροπία σχηματίζεται με τη διάλυση και την αναδιάταξη των ενώσεων σοδαλίτη. Ωστόσο, και οι δύο ενώσεις αφήνουν τη διαδικασία μαζί με τις άλλες αδιάλυτες ενώσεις ως κόκκινη λάσπη και προκαλούν σημαντική απώλεια αλουμινίου ⁴³.

Η απόρριψη της κόκκινης λάσπης μπορεί να δημιουργήσει περιβαλλοντικό πρόβλημα απλώς και μόνο επειδή υπάρχει τόσο μεγάλη ποσότητα. Από μερικά εργοστάσια παραγωγής αλουμίνας εναποτίθεται κόκκινη λάσπη στον πυθμένα της θάλασσας υπό αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες. Μια πολύ συνηθισμένη μέθοδος απόρριψης είναι η συγκράτηση της λάσπης σε μια περιοχή που περιβάλλεται από αναχώματα. Μετά από ένα διάστημα μερικών ετών, αυτές οι λιμνούλες μπορούν να καλλιεργηθούν εκ νέου για την εξάλειψη της «οπτικής ρύπανσης». Αν και έχει καταβληθεί μεγάλη προσπάθεια για την εύρεση και ανάπτυξη διαφόρων χρήσεων για την κόκκινη λάσπη, δεν έχει ακόμη βρεθεί μαζική εφαρμογή εμπορικής αξίας ⁴³.

Η προσθήκη της ασθενούς σόδας που έχει ξεπλυθεί από την κόκκινη λάσπη στο διάλυμα αργιλικού νατρίου την αραιώνει και την ψύχει στους περίπου 100°C. Με ανάδευση και ψύξη στους 60°C, κατακρημνίζεται το υδροξείδιο του αργιλίου $\text{Al}(\text{OH})_3$ (υδραργιλίτης). Η σπορά του υγρού διαλύματος με κρυστάλλους από έναν προηγούμενο κύκλο βοηθά στον έλεγχο της κατακρήμνισης. Τα φίλτρα κενού διαχωρίζουν το ίζημα υδροξειδίου, το οποίο στη συνέχεια πλένεται με καθαρό νερό. Η στερεοποίηση σε περιστροφικούς κλιβάνους ή σε ρευστοποιημένες κλίνες στους 1100°C έως 1300°C μετατρέπει τελικά το υδροξείδιο σε ξηρή, λευκή σκόνη. Αυτή η σκόνη είναι αλουμίνα τεχνικής καθαρότητας, που περιέχει ως ακαθαρσίες το πολύ 0,01–0,02% SiO_2 , 0,01–0,03% Fe_2O_3 και 0,3–0,6% NaO_2 .

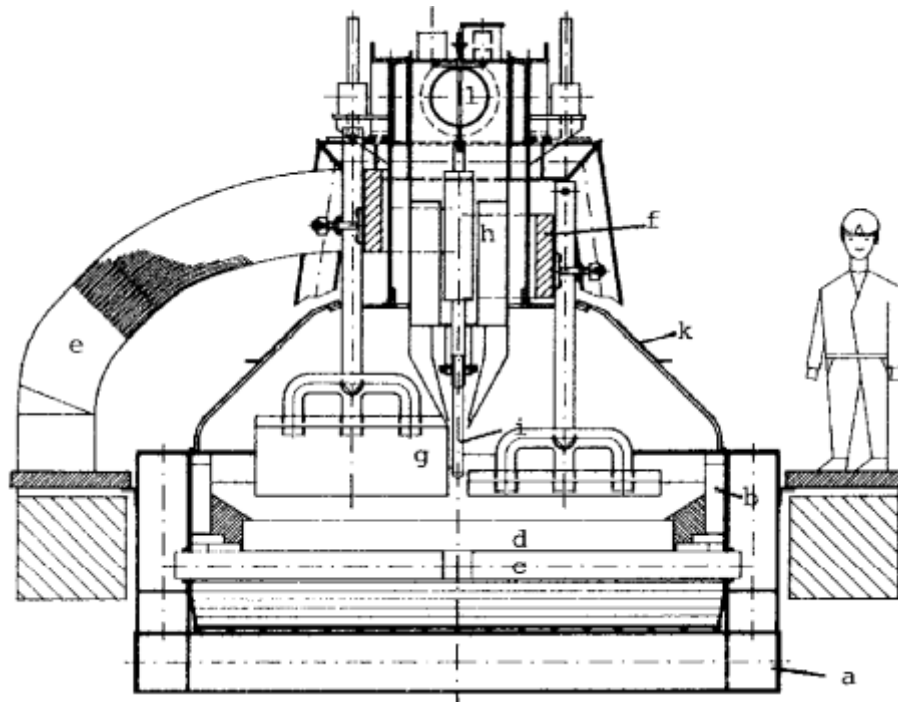
Η ποιότητα της αλουμίνας (μέγεθος σωματιδίων, και περιεκτικότητα α-, γ- Al_2O_3) μπορεί να επηρεαστεί από τις συνθήκες κατακρήμνισης και ασβεστοποίησης και είναι σύνηθες να γίνεται διάκριση μεταξύ δύο κύριων ποιοτήτων, δηλαδή της «αλευρώδους» αλουμίνας, η οποία είναι εξαιρετικά στερεοποιημένη και περιέχει ως επί το πλείστον α- Al_2O_3 , και της «αμμώδους» αλουμίνας, η οποία στερεοποιείται σε μικρότερο βαθμό με κυρίως γ- Al_2O_3 στην ένυδρη μορφή. Η αμμώδης αλουμίνα έχει μεγάλη, ενεργή επιφάνεια, γεγονός που την καθιστά κατάλληλη για χρήση σε συστήματα ξηρής έκπλυσης για τη μείωση του φθορίου σε μονάδες αναγωγής αλουμινίου. Υπάρχει σαφής τάση για παραγωγή αυξημένων ποσοτήτων αμμώδους αλουμίνας ⁴³.

Σε όλο τον κόσμο, το πρωτογενές αλουμίνιο εξακολουθεί να παράγεται με την ηλεκτρόλυση της αλουμίνας σε τετηγμένο φθοριούχο άλας. Αυτή είναι, στην ουσία, η διαδικασία που εφηύραν οι Hall και Héroult, και η οποία φέρει το όνομά τους, αλλά η αποτελεσματικότητά της έχει βελτιωθεί σημαντικά με τα χρόνια. Το εργοστάσιο ηλεκτρόλυσης - το χυτήριο αλουμινίου - χρειάζεται μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως, εκτός από τις καλές εγκαταστάσεις μεταφοράς χύδην, η άφθονη φθηνή ηλεκτρική ενέργεια είναι επίσης απαραίτητη. Επειδή η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι

μια σχετικά φθηνή και καθαρή πηγή ενέργειας, τα χυτήρια αλουμινίου κατασκευάζονται κυρίως σε χώρες με άμεσα διαθέσιμη υδροηλεκτρική ενέργεια, όπως ο Καναδάς, η Νορβηγία, η Βενεζουέλα και η Βραζιλία, ή σε χώρες με άφθονα κοιτάσματα άνθρακα χαμηλής ποιότητας. όπως η Αυστραλία ή η Δημοκρατία της Νότιας Αφρικής (RSA). Επιπλέον, στις ίδιες περιοχές δεν υπάρχει άλλη τοπική βιομηχανία για να χρησιμοποιήσει αυτή την ενέργεια και είναι αδύνατη η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε πολύ μεγάλες αποστάσεις στις βιομηχανικές περιοχές που θα μπορούσαν να τη χρησιμοποιήσουν. Λαμβάνοντας υπόψη τη μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, τα μεταλλουργεία αλουμινίου είναι σημαντικοί πελάτες που εγγυώνται σταθερό βασικό φορτίο και, ως εκ τούτου, συμβάλλουν στη μείωση του μοναδιαίου κόστους των προμηθευτών ηλεκτρικής ενέργειας. Επί του παρόντος, οι υδροηλεκτρικές πηγές παράγουν την ισχύ για περίπου τα δύο τρίτα της παγκόσμιας παραγωγής αλουμινίου, αν και η τοποθέτηση ενός μεταλλουργείου δίπλα σε ένα πυρηνικό εργοστάσιο μπορεί επίσης να είναι οικονομικά ελκυστική ⁴³.

Στη διαδικασία Hall-Héroult, ο ηλεκτρολύτης είναι λιωμένος κρυστάλλος (Na_3AlF_6) στον οποίο διαλύεται το 2–8% της αλουμίνας (Al_2O_3). Για τη μείωση του σημείου τήξης, τα βιομηχανικά μίγματα κρυστάλλου-αλουμίνας περιέχουν επίσης διάφορες ποσότητες άλλων αλάτων, όπως φθοριούχο αργίλιο (AlF_3) και φθοριούχο ασβέστιο (CaF_2). Μερικές φορές υπάρχει ανθρακικό λίθιο (Li_2CO_3) και, λιγότερο συχνά, εισάγεται φθοριούχο μαγνήσιο (MgF_2). Αυτές οι προσθήκες βελτιώνουν επίσης την απόδοση ρεύματος και μειώνουν τις απώλειες εξάτμισης. Για κάθε τόνο παραγόμενου αλουμινίου, η διαδικασία τήξης καταναλώνει, εκτός από την ηλεκτρική ενέργεια, περίπου 1,95 τόνους αλουμίνας, 0,5 τόνους οπτιάνθρακα ανόδου και μικρές ποσότητες φθοριούχων αλάτων.

Η κυψέλη ηλεκτρόλυσης ή «δοχείο», που φαίνεται σχηματικά στο σχήμα 3, έχει σχήμα σαν μια ρηχή ορθογώνια λεκάνη. Αποτελείται από ένα χαλύβδινο κέλυφος με επένδυση από πυριτικό τούβλο για θερμομόνωση, το οποίο, με τη σειρά του, είναι επενδεδυμένο με τούβλα άνθρακα για να συγκρατεί τον ηλεκτρολύτη τηγμένου άλατος. Οι ράβδοι χάλυβα μεταφέρουν το ηλεκτρικό ρεύμα μέσω των μονωτικών τούβλων στο δάπεδο της καθόδου άνθρακα της κυψέλης. Τα μπλοκ ανόδου άνθρακα αιωρούνται σε χαλύβδινες ράβδους και βυθίζονται στον ηλεκτρολύτη ⁴³.



Σχήμα 3 Αποψη της διατομής ενός στοιχείου ηλεκτρόλυσης με σημειακή τροφοδοσία: (a) κέλυφος καθόδου από χάλυβα. (b) μόνωση. (c) ράβδος αγωγού καθοδικού συλλέκτη από χάλυβα. (d) κάθοδος. (e) αγωγός ανύψωσης. (f) γέφυρα, ρυθμιζόμενη καθ' ύψος τραβέρσα ράβδος στήριξης ανόδους. (g) άνοδος. (h) χοάνη τροφοδοσίας αλουμίνας. (i) τροφοδότης σημείου· (k) κουκούλα που καλύπτει γλάστρα. (l) εξαγωγή αερίου και σκόνης σε δοχείο. (VAW) (Προσαρμογή από Lumley, 2010)

Καθώς το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μέσω του ηλεκτρολύτη, διασπά τη διαλυμένη αλουμίνα στα συστατικά στοιχεία του ως μεταλλικό αλουμίνιο και αέριο οξυγόνο. Το οξυγόνο αντιδρά με τις ανόδους του άνθρακα, σχηματίζοντας φυσαλίδες CO και CO₂. Το υγρό αλουμίνιο κατακάθεται στο κάτω μέρος της κυψέλης αφού είναι πιο πυκνό (ειδικό βάρος 2,3 στους 960°C) από τον ηλεκτρολύτη (ειδικό βάρος 2,1). Περιοδικά, αυτό το αλουμίνιο αναρροφάται με κενό σε χωνευτήρια. Για να αντικατασταθεί η αλουμίνα που καταναλώθηκε στην αντίδραση, πρέπει να προστεθεί περισσότερη αλουμίνα. Σήμερα, συσκευές που ελέγχονται από υπολογιστή που ονομάζονται τροφοδότες σημείου εγχέουν αυτόματα τη σκόνη αλουμίνας μέσω της κρούστας της πάνω επιφάνειας του στερεοποιημένου ηλεκτρολύτη. Κάθε δοχείο μπορεί να έχει δύο ή περισσότερους τροφοδότες σημείου, ανάλογα με το μέγεθός τους ⁴³.

Στα 4–4,5 βολτ ανά στοιχείο, η τάση λειτουργίας είναι σημαντικά υψηλότερη από τη θεωρητική τάση αποσύνθεσης του οξειδίου του αλουμινίου. Η διαφορά οφείλεται σε διάφορες απώλειες τάσης, οι οποίες είναι αναπόφευκτες υπό βιομηχανικές συνθήκες. Η προκύπτουσα υπερβολική ισχύς παράγει θερμότητα, η οποία διατηρεί τη θερμοκρασία του ηλεκτρολύτη. Περισσότερη θερμότητα προέρχεται από την αργή καύση των ανοδίων άνθρακα.

Η κυψέλη ελέγχεται κυρίως ρυθμίζοντας την απόσταση ανόδου/κάθοδος και το συνεχές ρεύμα, το οποίο μπορεί να είναι έως και 300.000 A στις σύγχρονες κυψέλες. Στα σύγχρονα μεταλλουργεία, οι υπολογιστές ελέγχου διεργασίας που συνδέονται με απομακρυσμένους αισθητήρες εξασφαλίζουν τη βέλτιστη λειτουργία, και αυτός είναι ένας από τους κύριους λόγους για τη σημερινή υψηλή ενεργειακή απόδοση. Οι μεμονωμένες

κυψέλες συνδέονται σε σειρά, ανεβάζοντας την τάση τροφοδοσίας σε πάνω από 1000 V, που είναι η βέλτιστη τάση λειτουργίας των τροφοδοτικών θυρίστωρ. Έτσι, ένα σύγχρονο rotline αποτελείται συνήθως από 264 κυψέλες σε σειρά, με παροχή στα 1150 V. Οι ζυγοί αλουμινίου μεταφέρουν το ρεύμα από τη μια κυψέλη στην άλλη ⁴³.

Όπως εξηγήθηκε παραπάνω, το υλικό ανόδου καταναλώνεται στην κλασική αντίδραση Hall-Héroult. Τα περισσότερα χυτήρια χρησιμοποιούν προψημένα μπλοκ ανόδου άνθρακα. Αυτά κατασκευάζονται με πρώτες πλάκες συμπίεσης από πάστα πυρωμένου οπτάνθρακα πετρελαίου και πίσσας. Παλαιότερα κατασκευασμένα με πρεσάρισμα, τα μπλοκ ήταν ανομοιόμορφης πυκνότητας και έτειναν να αστοχούν στο σέρβις. Σήμερα, η δόνηση της πάστας υπό φορτίο, και συχνά υπό κενό, παράγει μπλοκ πιο ομοιόμορφης πυκνότητας. Μετά από αυτή τη διαδικασία συμπίκνωσης, οι άνοδοι προψήνονται σε φούρνο στερεοποίησης.

Αντί για ανόδους κατασκευασμένες με αυτή τη τεχνολογία, μερικά παλαιότερα μεταλλουργεία χρησιμοποιούν ανόδους Söderberg. Αυτές σχηματίζονται συνεχώς επί τόπου τροφοδοτώντας την «πράσινη» (ακατέργαστη) πάστα στην κορυφή ενός κελύφους από φύλλο χάλυβα πάνω από το κελί. Η θερμότητα από τη διαδικασία ψήνει την πάστα σε στερεά άνοδο οπτάνθρακα. Υπάρχουν δύο παραλλαγές της διαδικασίας Söderberg. Αυτές αναφέρονται είτε ως κατακόρυφες είτε ως οριζόντιες διεργασίες καρφιών, ανάλογα με τη θέση των χαλύβδινων ακίδων που παρέχουν ηλεκτρικό ρεύμα στην άνοδο. Τα μειονεκτήματα αυτής της διαδικασίας είναι: χαμηλή απόδοση ρεύματος περίπου 86–90% (σε σύγκριση με 95% στα σύγχρονα χυτήρια προψησίματος) και περισσότερες εκπομπές αναθυμιάσεων από ό,τι με τις άλλες ανόδους. Τέτοιες αναθυμιάσεις δημιουργούν προβλήματα στην υγεία των εργαζομένων. Δεν κατασκευάζονται άλλα κελιά Söderberg και αυτά που υπάρχουν σταδιακά κλείνουν, μετατρέπονται ή αντικαθίστανται ⁴³.

Οι αναθυμιάσεις που εξέρχονται από τις κυψέλες περιέχουν κυρίως CO₂, CO και SO₂ εάν η πάστα ανόδου περιέχει θείο, μαζί με μικρότερες ποσότητες ενώσεων φθορίου και σκόνης. Το μεγαλύτερο μέρος του αερίου υπάρχει ως υδροφθόριο HF και η σκόνη είναι ως επί το πλείστον ενώσεις φθορίου όπως ο κρυόλιθος και το φθοριούχο αργίλιο, καθώς και λίγη αλουμίνα.

Κάτω από δυσμενείς συνθήκες, τα δοχεία μπορεί να παράγουν μικρές ποσότητες των ενώσεων φθοράνθρακα CF₄ και C₂F₆, οι οποίες είναι γνωστό ότι συμμετέχουν στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» της ανώτερης ατμόσφαιρας. Ωστόσο, αυτή η εκπομπή συμβαίνει μόνο κατά τη διάρκεια του λεγόμενου «φαινόμενου ανόδου», το οποίο συμβαίνει όταν η συγκέντρωση αλουμίνης πέσει κάτω από ένα κρίσιμο όριο. Κατά τη διάρκεια του φαινομένου ανόδου, η τάση του στοιχείου ανεβαίνει από τα κανονικά 4,5 βολτ σε πάνω από 40 βολτ. Στα σύγχρονα δοχεία ηλεκτρόλυσης, τα οποία είναι εξοπλισμένα με πνευματικά συστήματα μεταφοράς και τροφοδοσίας αλουμίνης, η συγκέντρωση αλουμίνης μπορεί να διατηρηθεί σε σχεδόν σταθερό επίπεδο ⁴³.

Με τη βοήθεια του σύγχρονου, ελεγχόμενου από μικροεπεξεργαστή ελέγχου, η συχνότητα των φαινομένων ανόδου, και ως εκ τούτου η εκπομπή φθορανθράκων, μπορεί να μειωθεί πολύ. Δεδομένου ότι οι εκπομπές ενώσεων φθορίου, είτε ως αέρια είτε ως σκόνη, μπορούν να βλάψουν το περιβάλλον, αυτές οι αναθυμιάσεις συλλέγονται από κουκούλες πάνω από τις σύγχρονες κυψέλες. Σε μια διαδικασία που ονομάζεται dry scrubbing, τα φθορίδια συνδέονται με την αμμώδη αλουμίνα κατά την εντατική ανάμιξη. Αυτή η φορτισμένη με φθόριο αλουμίνα πηγαίνει στη συνέχεια στους διαχωριστές σκόνης και στα

ηλεκτροστατικά φίλτρα σκόνης και τελικά επιστρέφει στο δοχείο ως υλικό τροφοδοσίας. Το υπόλοιπο χωρίς φθόριο εξαντλείται στην ατμόσφαιρα.

Αν και τεχνικά δύσκολο και εντάσεως κεφαλαίου, ο ξηρός καθαρισμός πληροί τα όρια χαμηλών εκπομπών που απαιτούνται για τα σύγχρονα μεταλλουργεία. Κατά την ανάκτηση χαμένων ενώσεων φθορίου και την ανακύκλωσή τους στο κύτταρο, το ξηρό τρίψιμο δείχνει ότι η προστασία του περιβάλλοντος και η οικονομία δεν αντιτίθενται απαραίτητα, αλλά μπορούν να στοχεύουν προς την ίδια κατεύθυνση.

Η βιομηχανία αλουμινίου έχει σημειώσει σημαντική τεχνική πρόοδο από τότε που εισήχθη η διαδικασία Hall-Héroult και εργάζεται για περαιτέρω βελτιώσεις. Η ειδική κατανάλωση ενέργειας έχει μειωθεί τα τελευταία 35 χρόνια από 21 σε σχεδόν 13 κιλοβατώρες ανά κιλό παραγόμενου αλουμινίου. Αυτό κατέστη δυνατό με προηγμένο έλεγχο από υπολογιστή όλων των σχετικών παραμέτρων στην κυψέλη ηλεκτρόλυσης. Η ανάπτυξη νέων κυψελών σήμερα περιλαμβάνει υπολογιστική μοντελοποίηση για τη βελτιστοποίηση των χημικών, ηλεκτρικών, μαγνητοϋδροδυναμικών και θερμικών συνθηκών ⁴³.

Παλαιότερα, η χειροκίνητη λειτουργία των κυψελών απαιτούσε ευρείες διαδρομές πρόσβασης για τα οχήματα μεταξύ των δοχείων, αλλά στα σύγχρονα μεταλλουργεία οι γερανοί εκτελούν τις περισσότερες εργασίες. Σε αντίθεση με τη διαμήκη ευθυγράμμιση των δοκών ανόδου σε προηγούμενες γραμμές, τα νεότερα σήματα έχουν δοκούς ανόδου διατεταγμένες εγκάρσια στη γραμμή των κυψελών. Αυτή η διάταξη έχει πολλά πλεονεκτήματα: αντισταθμίζει καλύτερα τα μαγνητικά πεδία στην κυψέλη, απαιτεί λιγότερο χώρο δαπέδου στο δοχείο και μειώνει το μήκος των αγωγών, μειώνοντας έτσι τις απώλειες αντίστασης. Η μοντελοποίηση υπολογιστή έχει δείξει ότι για τη μείωση των μαγνητικών πεδίων, οι συνδέσεις των ηλεκτρικών ζυγών θα πρέπει να γίνονται μέσω των εγκάρσιων «ανυψωτικών» και όχι όπως προηγουμένως μέσω των άκρων των δεσμών ανόδου ⁴³.

1.7.2 Εξαγωγή αργύρου από γαληνίτη

Είναι γνωστό ότι η πρώτη παραγωγή αργυρούχου μολύβδου και εξ αυτού καθαρού μεταλλικού αργύρου στο Λαύριο άρχισε πιθανότατα πριν από το 1500 π.Χ.

Το μέταλλευμα που εξόρυσσαν οι αρχαίοι στα μεταλλεία του Λαυρίου είναι ένα μέταλλευμα αργυρούχου μολύβδου. Ήταν δύο ειδών: Οξειδωμένο μέταλλευμα μολύβδου-κερουσίτη (=PbCO₃) και θειούχου μολύβδου-γαληνίτη (=PbS). Μέσα στο μόλυβδο υπήρχε-λόγω χημικής συγγένειας - κι' ένα ποσοστό αργύρου από 1 μέχρι 3 kg ανά τόνο περιεχομένου μολύβδου, ανάλογα με την ιδιαίτερη θέση των μεταλλείων.

Στο Λαύριο αναπτύχθηκαν πρωτοποριακές τεχνικές εξόρυξης και εμπλουτισμού του μεταλλεύματος, του «αργυρίτη», με αντίστοιχη παραγωγή μεταλλικού αργυρούχου μολύβδου, και στη συνέχεια μεταλλικού αργύρου και μολύβδου που ακόμη και σήμερα ξένοι και ντόπιοι ειδικοί εντυπωσιάζονται μπροστά στην έκταση, το μέγεθος και την ποιότητα των εγκαταστάσεων, που ευτυχώς, μερικές από αυτές, μέχρι σήμερα σώζονται.

Μετά την εξόρυξη, τον εμπλουτισμό επακολουθούσε η τήξη του μεταλλεύματος. Το ενδιαφέρον των αρχαίων καμινευτών επικεντρώνονταν στη μεγιστοποίηση του περιεχομένου μεταλλικού αργύρου στον παραγόμενο μόλυβδο και όχι στη μεγιστοποίηση των ποσοτήτων μεταλλικού μολύβδου, μεγάλο μέρος του οποίου χάνονταν τελικά στη παραγόμενη κατά την χύτευση σκωρία.

Στη συνέχεια ο ενσωματωμένος στον μόλυβδο άργυρος έπρεπε να διαχωριστεί. Ο διαχωρισμός αυτός γίνονταν σε καμίους κυπέλλωσης, όπου σε 950° C περίπου οξειδωναν με αέρα τον μόλυβδο, απελευθερώνοντας τον άργυρο, χρησιμοποιώντας φυσερά.

Κατά τη διάρκεια της τροφοδοσίας της καμίνου κυπέλλωσης με αργυρούχο μόλυβδο ο μόλυβδος υποχρεώνονταν να τρέχει συνεχώς έξω από την κάμινο με την μορφή οξειδίου (λιθάργυρου = PbO) και ο άργυρος, που ως γνωστόν δεν οξειδώνεται, έμενε στη βάση της καμίνου (κύπελλο της καμίνου). Τον μόλυβδο, που είχε παραχθεί με τη μορφή λιθαργύρου (PbO), κατά τη διάρκεια της κυπέλλωσης, τον ξαναέλιωναν με κάρβουνο στις καμίους τήξης ανακτώντας τον μόλυβδο απαλλαγμένο από άργυρο που διοχετεύονταν στο εμπόριο. Τα αρχαία χρόνια η πάρα πάνω διαδικασία πραγματοποιούνταν σε δύο φάσεις: Μία πρώτη φάση παραγωγής πολύ πλούσιου σε άργυρο μολύβδου και μία δεύτερη φάση παραγωγής αργύρου, σε παρόμοια γειτονική κάμινο. Πιθανότατα υπήρχε -με παρόμοιο τρόπο- και μία τρίτη φάση τελικής συστηματικής κάθαρσης του μεταλλικού αργύρου στο νομισματοκοπείο.

Αργότερα, το Λαύριο απ' τα μέσα, περίπου, του 19ου αιώνα απετέλεσε τον κατ' εξοχήν τόπο της βιομηχανικής νεοτερικής ταυτότητας της Ελλάδας. Η μεταλλευτική και μεταλλουργική βιομηχανία του Λαυρίου απετέλεσε ένα πρωτοποριακό γεγονός, την αιχμή της εκβιομηχάνισης της Ελλάδας· παράγονται σκληρός μεταλλικός αργυρούχος μόλυβδος και μεταλλεύματα πυρωμένης ψευδαργυρούχου καλαμίνας, σιδήρου και σιδηρομαγνησιούχων, αργότερα και τα υποπροϊόντα του μεταλλικού αργυρούχου μολύβδου, αρσενικώδες οξύ, μαλακός μόλυβδος, μόλυβδος σε φύλλα, λιθάργυρος, μίνιο και άργυρος.

Η παραγωγή αυτή του αργύρου έγινε με τη μέθοδο της κυπέλλωσης, όπως και στο αρχαίο Λαύριο, με τις απαραίτητες βελτιώσεις, προηγουμένως δε η προπαρασκευαστική εργασία γινόταν με τη μέθοδο της ψευδαργύρωσης (zingage) του Parkes ανακαλυφθείσα απ' αυτόν το 1852. Η βασική λογική της μεθόδου Parkes συνίστατο στην όσο το δυνατόν συγκέντρωση του αργύρου σε μικρά ποσά μολύβδου· στον τηγμένο αργυρούχο μόλυβδο σε 320-450° Κελσίου προστίθεται ψευδάργυρος 1-2%. Σχηματίζεται ένα τριπλό κράμα μόλυβδου, ψευδαργύρου και αργύρου (Pb+Zn+Ag) που είναι στερεό και επιπλέει και το οποίο ξαφρίζεται· περιέχει μέχρι και 10% άργυρο. Ο μόλυβδος παραμένει με ελάχιστο άργυρο 5 gr ανά τόνο.

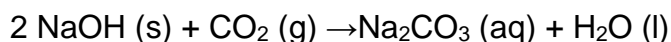
1.7.3 Παραγωγή διττανθρακικού νατρίου

Το διττανθρακικό νάτριο (NaHCO₃) είναι ένα άλας με σύσταση νατρίου και διττανθρακικών ιόντων. Άλλες κοινές ονομασίες του είναι όξινο ανθρακικό νάτριο καθώς και μαγειρική σόδα, διττανθρακικό ή διττανθρακική σόδα. Σε θερμοκρασία από 50° C και πάνω διασπάται βαθμιαία σε ανθρακικό νάτριο, νερό και διοξείδιο του άνθρακα.

Το διττανθρακικό νάτριο έχει μια πλούσια ιστορία, που εκτείνεται πριν από χιλιάδες χρόνια. Ο Γάλλος χημικός Nicolas Leblanc κατασκεύασε ανθρακικό νάτριο το 1791, το οποίο ήταν επίσης γνωστό ως ανθρακικό νάτριο. Στα τέλη του 18ου αιώνα, το διττανθρακικό νάτριο ανακαλύφθηκε ως διογκωτικός παράγοντας από τους αρτοποιούς John Dwight και Austin Church, στη Νέα Υόρκη. Το πρώτο εργοστάσιο ιδρύθηκε από αυτούς τους αρτοποιούς

στις ΗΠΑ για την παραγωγή μαγειρικής σόδας από διοξείδιο του άνθρακα και ανθρακικό νάτριο. Επί του παρόντος, βρίσκεται στη λίστα των βασικών φαρμάκων που δημοσιεύει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας.

Το διττανθρακικό νάτριο παράγεται κυρίως με τη διαδικασία Solvay. Η διαδικασία Solvay είναι αντίδραση χλωριούχου νατρίου, αμμωνίας και διοξειδίου του άνθρακα στο νερό. Το διττανθρακικό νάτριο μπορεί να παρασκευαστεί με αντίδραση διοξειδίου του άνθρακα με το υδατικό διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου. Αυτή η αντίδραση αρχικά παράγει ανθρακικό νάτριο.



Στη συνέχεια, η προσθήκη διοξειδίου του άνθρακα σε αυτή την αντίδραση παράγει όξινο ανθρακικό νάτριο.



Οι χρήσεις του διττανθρακικού νατρίου είναι πολλαπλές:

- Μαγείρεμα: χρησιμοποιείται κυρίως ως διογκωτικό στο ψήσιμο. Μερικές φορές χρησιμοποιείται για το ψήσιμο των πράσινων λαχανικών για να τους δώσει ένα έντονο πράσινο χρώμα.
- Μπέικιν πάουντερ: Χρησιμοποιείται για το μαγείρεμα. Το μπέικιν πάουντερ περιέχει υψηλό επίπεδο σύνθεσης Νακολίτη.
- Καταπολέμηση παρασίτων: μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να σκοτώσει έντομα όπως οι κασαρίδες και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της ανάπτυξης μυκήτων.
- Αφαίρεση βαφής και διάβρωσης: Χρησιμοποιείται σε μια διαδικασία που ονομάζεται ανατίναξη με σόδα για την αφαίρεση της διάβρωσης.
- Προσωπική υγιεινή: Πολλές οδοντόκρεμες περιέχουν διττανθρακικό νάτριο δίνοντας καλύτερη λεύκανση και αφαίρεση της πλάκας από την οδοντόκρεμα που δεν την έχει. Χρησιμοποιείται επίσης σε στοματικά διαλύματα. Χρησιμοποιείται επίσης ως ρυθμιστικός παράγοντας.
- Ιατρικές χρήσεις: Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θεραπεία της καούρας και της όξινης δυσπεψίας μαζί με νερό. Χρησιμοποιείται για θεραπεία σε περίπτωση υπερδοσολογίας ασπιρίνης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ανακουφιστείτε από τσιμπήματα και τσιμπήματα ορισμένων εντόμων. Το διττανθρακικό νάτριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ανακουφιστείτε από κάποια αλλεργία στα φυτά. Χρησιμοποιείται επίσης για την αφαίρεση θραυσμάτων από το δέρμα.
- Στα αθλήματα: Χρησιμοποιείται ως συμπλήρωμα για αθλητές, σε αγώνες ταχύτητας.
- Άλλες χρήσεις: Ως καθαριστικό, για αλκαλικότητα και επίσης χρησιμοποιείται ως συμπλήρωμα τροφής βοοειδών. Χρησιμοποιείται επίσης σε πυροσβεστήρα και για εξουδετέρωση οξέος και βάσεων.

1.7.4 Μέθοδοι ανάκτησης μαγγανίου και χρυσού

Οι μέθοδοι για την ανάκτηση ελεύθερου και σχετικά χονδροειδούς χρυσού μπορούν να ταξινομηθούν ως:

A. Άμεση συγχώνευση, χρησιμοποιώντας

- Ο υδράργυρος προστίθεται σε κιβώτια κονιάματος ή σφαιρόμυλους.
- Συγχωνευμένες πλάκες χαλκού.
- Συγχωνευτές τύπου δίσκου.

B. Συγκέντρωση βαρύτητας, (ακολουθούμενη από συγχώνευση) χρησιμοποιώντας

- Τυφέκια ή σούστες.
- Υδραυλικές παγίδες.
- Κυψέλες μονάδας και υδραυλικοί κώνοι.
- Jigs.
- Κοτλέ κουβέρτες.

Στην περίπτωση της μεθόδου A, ο χρυσός σχηματίζει ένα αμάλαμα, από το οποίο εξάγεται με τα ακόλουθα βήματα:

- συλλογή αμαλγάματος,
- καθαρισμός αμαλγάματος,
- συμπίεση ή διήθηση,
- απόσταξη ή απόσταξη,
- τήξη.

Στην περίπτωση των διεργασιών B, το συμπύκνωμα πρέπει να συγχωνεύεται με ειδικές μεθόδους που συνήθως περιλαμβάνουν συνδυασμό ελαφριάς λείανσης και επαφής με υδράργυρο σε λειαντικό «ταπί» ή βαρέλι αμαλγάματος. Η εξόρυξη του χρυσού ακολουθεί στη συνέχεια σύμφωνα με τις γενικές γραμμές των βημάτων που περιγράφονται παραπάνω.

Οι μεταλλουργοί μηχανικοί συμφωνούν γενικά ότι ο ελεύθερος χρυσός θα πρέπει κατά προτίμηση να ανακτάται αμέσως μόλις απελευθερωθεί με άλεση. Υπάρχουν αρκετοί καλοί λόγοι για αυτό: Ο χοντρός χρυσός τείνει να διαχωρίζεται εύκολα σε διάφορα ανεπιθύμητα μέρη του κυκλώματος φρεζαρίσματος, όπου υπόκειται σε πιθανή απώλεια ή κλοπή. Διαλύεται πιο αργά στο κυάνιο και μπορεί να απαιτήσει απαγορευτικά μεγάλες περιόδους ανάδευσης. ο χρυσός μπορεί να υπάρχει σε πολύ πυρίμαχη ή «σκουριασμένη» κατάσταση και να μην διαλυθεί πλήρως σε διάλυμα κυανίου. Εάν αφεθεί να συσσωρευτεί σε κλίνες ταξινόμησης, φρεάτια ή πλυντήρια, η ανάκτησή του συνεπάγεται σημαντική εργασία για τον καθαρισμό μεγάλου όγκου άμμου σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση ελεύθερου χρυσού αναλύονται πληρέστερα στο κεφάλαιο «Ανάκτηση χρυσού». Οι μέθοδοι βαρύτητας περιλαμβάνουν υδραυλικές παγίδες και ραβδώσεις, κοτλέ και τζινγκ.

Στην περίπτωση του χρυσού που σχετίζεται με βαριά ορυκτά όπως τα σουλφίδια των μετάλλων, οι μέθοδοι που συνήθως χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν τη συγκέντρωση βαρύτητας ή την επίπλευση. Για τον προσδιορισμό του καταλληλότερου σχήματος επεξεργασίας σε οποιαδήποτε συγκεκριμένη περίπτωση απαιτείται η στάθμιση των

πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων ενός αριθμού πιθανών φύλλων ροής. Το πρόβλημα περιπλέκεται από το γεγονός ότι συχνά τόσο ο ελεύθερος χρυσός όσο και ο χρυσός που σχετίζεται με τα σουλφίδια εμφανίζονται μαζί στο μετάλλευμα και επίσης ότι η κυανίωση είτε πριν είτε μετά τη συμπύκνωση μπορεί να είναι ένα απαραίτητο βήμα στο σχήμα επεξεργασίας για τη βέλτιστη εκχύλιση.

Ενώ η επίπλευση προσφέρει τη φθηνότερη και πιο αποτελεσματική μέθοδο συμπύκνωσης των σουλφιδίων, απαιτεί συμπληρωματικό εξοπλισμό βαρύτητας για την ανάκτηση χονδροειδούς χρυσού, εάν υπάρχει. Όπου χρησιμοποιείται επίσης η κυανίωση, περιλαμβάνει είτε δύο ξεχωριστά κυκλώματα, είτε ειδικές μεθόδους επανενεργοποίησης, όπως στην ακτή της λίμνης, μετά από κυανίωση.

Το Tabling, από την άλλη πλευρά, έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να ενσωματωθεί στο ίδιο το κύκλωμα κυανίου και, όπως χρησιμοποιείται στο Hollinger, για παράδειγμα, επιτυγχάνει τον διπλό σκοπό της ταξινόμησης και συγκέντρωσης των θειούχων, έτσι ώστε μόνο τα πιο χονδροειδή και πιο πυρίμαχα σουλφίδια αφαιρούνται από το κύκλωμα για ξεχωριστό λεπτότερο άλεσμα και κυανίωση, ενώ τα λεπτότερα σουλφίδια έχουν ήδη αλεσθεί επαρκώς για άμεση επεξεργασία με κυανιούχα.

Εάν, όπως σε πολλά εργοστάσια σήμερα, μπορεί να γίνει μια τελική ουρά για απόρριψη με επίπλευση, δεν υπάρχει αμφιβολία ότι αυτό το φύλλο ροής, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει μηχανές ή άλλο εξοπλισμό βαρύτητας για την ανάκτηση ελεύθερου χρυσού, είναι αυτό που πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Υπάρχουν προφανώς πολλά πλεονεκτήματα που πρέπει να ωφεληθούν από την ύπαρξη ενός μικρού όγκου συμπυκνώματος προς άλεση και κυανίου σε σύγκριση με την επεξεργασία ολόκληρης της ποσότητας του μεταλλεύματος που εξορύσσεται.

Riffle ή Sluice

Αυτή η κάπως πρωτόγονη συσκευή που χρησιμοποιείται από τους αρχαίους χρόνους εξακολουθεί να βρίσκει εφαρμογή ως εξοικονόμηση χρυσού για εργασίες εξόρυξης μικρών προοπτικών ή πλαστών και σε βυθοκόρους χρυσού. Το φράγμα είναι ουσιαστικά μια κεκλιμένη γούρνα ή πλυντήριο, ο πυθμένας του οποίου είναι εφοδιασμένος με εγκάρσιες λωρίδες ή ραβδώσεις, με μεταβλητή απόσταση. Υπάρχουν ατελείωτες παραλλαγές riffling. Το μείγμα άμμου και χαλικιού ξεπλένεται μέσω ενός ρεύματος νερού και τα βαριά ορυκτά, οι «μαύρες άμμοι» κ.λπ., μαζί με τον ελεύθερο χρυσό τείνουν να συγκεντρώνονται στα διαστήματα μεταξύ των ντουφεκιών, ενώ το ελαφρύτερο και πιο τραχύ υλικό είναι μετατοπισμένο πάνω από την κορυφή των ντουφεκιών. Περιοδικά η τροφοδοσία εκτρέπεται και το βαρύ συμπύκνωμα σκάβεται με το χέρι για να καθαριστεί με οποιαδήποτε από τις διάφορες μεθόδους που περιγράφηκαν αργότερα.

Υδραυλική χρυσοπαγίδα

Η υδραυλική παγίδα, μια άλλη μέθοδος σύλληψης χρυσού, περιγράφεται από τον Ernest Gayford στο Trans. 112, A.I.M.E., 1934. Είναι μια απλή συσκευή που εισάγεται στο κύκλωμα μύλου-ταξινομητή. Μερικές φορές δύο ή περισσότερα χρησιμοποιούνται σε σειρά. Στο εργοστάσιο Montezuma-Apex, στο Νάσβιλ της Καλιφόρνια, η απόρριψη 65 ματιών από καθένα από τους δύο μύλους Marcy περνούσε από πέντε υδραυλικές παγίδες, ακολουθούμενες από κοτλέ τραπέζια, ταξινομητές Dogg και επίπλευση. Οι παγίδες αιμορραγούνταν καθημερινά και καθαρίζονταν επιμελώς δύο φορές το μήνα. Το προϊόν

συγκεντρωνόταν περιοδικά σε ένα μικρό τραπέζι Wilfley. Το συμπύκνωμα στη συνέχεια αλέστηκε και συγχωνεύτηκε σε ένα βαρέλι και η ουρά επέστρεψε στο κύκλωμα του μύλου.

Κώνοι

Στο εργοστάσιο κυανίου του ορυχείου χρυσού Pickle Crow στο βόρειο Οντάριο τρεις κώνοι είναι ενσωματωμένοι στο πλυντήριο μεταξύ του μύλου και του ταξινομητή. Κάθε κώνος έχει διάμετρο 18 ίντσες με κλίση 60 μοίρες. και τοποθετείται στην κορυφή με ένα 4-in. θηλή και βαλβίδα εκκένωσης. Μια παροχή διαλύματος συνδέεται σε αυτή τη θηλή και μια ρυθμιζόμενη ροή διατηρεί το περιεχόμενο του κώνου απαλλαγμένο από λάσπη. Οι κώνοι απορρίπτονται κάθε 8 ώρες. υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, και το συμπύκνωμα που λαμβάνεται ποικίλλει από μερικές ουγγιές έως και 200 ουγγιές χρυσού ανά τόνο.

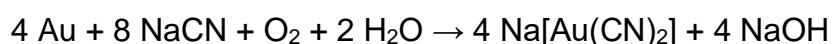
Για την εξοικονόμηση χονδροειδούς χρυσού και την ανάκτηση ελεύθερων ορυκτών σε πρώιμο στάδιο της άλεσης, ορισμένα εργοστάσια εγκατέστησαν την κυψέλη επίπλευσης Denver Equipment Sub-A και τον υδραυλικό κώνο. Η μονάδα επίπλευσης κυψέλης αποτρέπει τη συσσώρευση ελεύθερου χρυσού σε ένα κύκλωμα ταξινομητή σφαιρόμυλου αφαιρώντας το χονδρό χρυσό το συντομότερο δυνατό. Διαφορετικά, λόγω του υψηλού ειδικού βάρους του, ο χρυσός παραμένει σε αυτό το κύκλωμα μέχρι να λειανθεί. Επίσης, οι περιοδικές υπερτάσεις του ταξινομητή μπορεί να επιτρέψουν σε αυτή τη συσσώρευση χρυσού να εισέλθει στο κύκλωμα του ελαιοτριβείου με προκύπτουσα απώλεια, επειδή ο χονδρός ελεύθερος χρυσός δεν επιπλέει εύκολα και συχνά εξάγεται αργά από το κυάνιο. Επιπλέον, ο χρυσός αρκετά λεπτός ώστε να υπερχειλίσει το χείλος του ταξινομητή είναι πιθανό να επικαλυφθεί με θειούχο λάσπη κατά τη λειτουργία λείανσης, μειώνοντας την ανάκτηση με επίπλευση.

Κυανίωση χρυσού

Η κυανίωση χρυσού (γνωστή και ως διαδικασία κυανιδίου ή διαδικασία MacArthur-Forrest) είναι μια υδρομεταλλουργική τεχνική για την εξόρυξη χρυσού από μέταλλευμα χαμηλής ποιότητας με τη μετατροπή του χρυσού σε υδατοδιαλυτό σύμπλεγμα συντονισμού. Είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη διαδικασία έκπλυσης για την εξόρυξη χρυσού.

Η παραγωγή αντιδραστηρίων για την επεξεργασία ορυκτών για την ανάκτηση χρυσού αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 70% της κατανάλωσης κυανίου παγκοσμίως. Άλλα μέταλλα που ανακτώνται από τη διαδικασία περιλαμβάνουν χαλκό, ψευδάργυρο και ασήμι, αλλά ο χρυσός είναι ο κύριος μοχλός αυτής της τεχνολογίας. Λόγω της εξαιρετικά δηλητηριώδους φύσης του κυανίου, η διαδικασία είναι αμφιλεγόμενη και η χρήση του απαγορεύεται ακόμη και σε ορισμένα μέρη του κόσμου. Το κυάνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια στη βιομηχανία εξόρυξης χρυσού. Ένα βασικό χαρακτηριστικό για την ασφαλή χρήση του κυανίου είναι η εξασφάλιση επαρκούς ελέγχου του pH σε επίπεδο αλκαλικού pH άνω του 10,5. Σε βιομηχανική κλίμακα, ο έλεγχος του pH επιτυγχάνεται κυρίως με χρήση ασβέστη, ως σημαντικό αντιδραστήριο ενεργοποίησης στην επεξεργασία χρυσού.

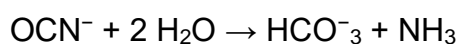
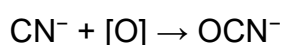
Η χημική αντίδραση για τη διάλυση του χρυσού, η «Εξίσωση Elsner», έχει ως εξής:



Το κυανιούχο κάλιο και το κυανιούχο ασβέστιο χρησιμοποιούνται μερικές φορές στη θέση του κυανιούχου νατρίου.

Ο χρυσός είναι ένα από τα λίγα μέταλλα που διαλύεται παρουσία ιόντων κυανίου και οξυγόνου. Το διαλυτό είδος χρυσού είναι το δικυανοαυρικό από το οποίο μπορεί να ανακτηθεί με προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα.

Το κυάνιο που παραμένει στις ροές των αποβλήτων είναι δυνητικά επικίνδυνο. Ως εκ τούτου, ορισμένες λειτουργίες επεξεργάζονται τις ροές αποβλήτων που περιέχουν κυάνιο σε ένα βήμα αποτοξίνωσης. Αυτό το βήμα μειώνει τις συγκεντρώσεις αυτών των κυανιούχων ενώσεων. Η διαδικασία με άδεια INCO και η διαδικασία οξέος Caro οξειδώνουν το κυάνιο σε κυανιούχο, το οποίο δεν είναι τόσο τοξικό όσο το κυανιούχο ιόν και το οποίο μπορεί στη συνέχεια να αντιδράσει για να σχηματίσει ανθρακικά και αμμωνία:



Η διεργασία Inco μπορεί τυπικά να μειώσει τις συγκεντρώσεις κυανιδίου κάτω από 50 mg/L, ενώ η διεργασία οξέος Caro μπορεί να μειώσει τα επίπεδα κυανιδίου μεταξύ 10 και 50 mg/L, με τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις να επιτυγχάνονται σε ρεύματα διαλύματος αντί για ιλύς. Το οξύ Caro - υπεροξομονοθειικό οξύ (H_2SO_5) - μετατρέπει το κυάνιο σε κυανικό. Στη συνέχεια το κυανικό υδρολύεται σε ιόντα αμμωνίου και ανθρακικού. Η διεργασία οξέος του Caro είναι σε θέση να επιτύχει επίπεδα απόρριψης WAD κάτω από 50 mg/L, το οποίο είναι γενικά κατάλληλο για απόρριψη στα απορρίμματα. Το υπεροξείδιο του υδρογόνου και η βασική χλωρίωση μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την οξειδωση του κυανίου, αν και αυτές οι προσεγγίσεις είναι λιγότερο συνηθισμένες.

1.7.5 Μπετονίτης

Ο μπετονίτης είναι το πέτρωμα που αποτελείται κυρίως από το αργιλικό ορυκτό μοντμοριλλονίτη, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, (σε ποσοστό μεγαλύτερο από 80%), και σχηματίζεται από την εξαλλοίωση όξινων ηφαιστειακών πετρωμάτων. Όταν η περιεκτικότητα σε μοντμοριλλονίτη είναι μικρότερη (60-80%), το υλικό χαρακτηρίζεται ως “μπετονιτική άργιλος”. Πήρε το όνομά του από την τοποθεσία Fort Benton της πολιτείας Wyoming των Η.Π.Α., όπου πρώτο ανακαλύφθηκε και άρχισε να εξορύσσεται.

Ο μοντμοριλλονίτης ανήκει στα αργιλικά ορυκτά, δομής 2:1, αποτελείται δηλαδή από δύο φύλλα τετραέδρων πυριτίου που εμπεριέχουν ένα φύλλο οκταέδρων αργιλίου, σιδήρου και μαγνησίου. Στο διαστρωματικό χώρο, μπορούν να προσροφηθούν κατιόντα και μεγαλομόρια νερού, γι αυτό ο μοντμοριλλονίτης έχει την ιδιότητα της διόγκωσης

Ο μοντμοριλλονίτης χαρακτηρίζεται από μεγάλη προσροφητική ικανότητα, υψηλή πλαστικότητα, δυνατότητα ιοντοανταλλαγής, θιζοτροπία σε ιξώδη αιωρήματα, δυνατότητα να δρα σαν συνδετικό υλικό. Μπορεί να απορροφήσει μεγάλο ποσοστό νερού (περίπου το 75% του όγκου του).

Χρησιμοποιείται σε γεωτρήσεις πετρελαίου (πολφός, λειαντικό, στεγανοποιητικό), σε υδρογεωτρήσεις (στεγανοποιητικό, καθαριστικό τοιχωμάτων), στη σφαιροποίηση σιδηρομεταλλεύματος, σε άμμους χυτηρίων, στην ταφή ραδιενεργών αποβλήτων (δέυση των ραδιενεργών κατιόντων), στην κατασκευή φραγμάτων (συνθετικό τσιμεντέσεων), σε διαυγαστικές και αποχρωστικές γαίες, σε κεραμικά, στη χαρτοποιία, στη βιομηχανία καλλυντικών, σε απολυμαντικά, σε λιπάσματα και φυτοφάρμακα, στη διάθεση στερεών αποβλήτων κ.α.

Τα βασικότερα κοιτάσματα είναι της Μήλου (Κώμια, Τρογαλάς) και της Κιμώλου. Ο μπεντονίτης της Μήλου περιέχει κυρίως Ca-μοντμοριλλονίτη (σε ποσοστό πάνω από 80%), χαλαζία, αστρίους, καολινίτη και αναλλοίωτο ηφαιστειακό γυαλί. Επίσης αποθέσεις μπεντονίτη υπάρχουν στη Λέσβο, τη Χίο και τον Έβρο (Μέστη, Συκορράχη). Τα ενδεικτικά αποθέματα μπεντονίτη είναι 100 εκατ. τόνοι.

Η Ελλάδα είναι η δεύτερη χώρα μετά τις Η.Π.Α. στην παραγωγή μπεντονίτη η οποία το 2011 ήταν 1,25 εκατ. τόνοι. Η εξόρυξη γίνεται κυρίως στη Μήλο από την εταιρία S&B Βιομηχανικά Ορυκτά και σε μικρότερες ποσότητες στην Κίμωλο από την εταιρία ΜΠΕΝΤΟΜΑΪΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ ΚΙΜΩΛΟΥ. Στις μέρες μας, η εταιρία S&B Βιομηχανικά Ορυκτά κατέχει την πρώτη θέση στην παραγωγή μπεντονίτη στην Ευρώπη και είναι η μεγαλύτερη εξαγωγική εταιρία μπεντονίτη στον κόσμο. Σχεδόν όλος ο μπεντονίτης (98%) εξάγεται στην Ε.Ε., στη Β. Αμερική (ΗΠΑ, Καναδά) και στην Κοινοπολιτεία Ανεξαρτήτων Κρατών (κράτη της πρώην Σοβιετικής Ένωσης), Μαρόκο, κ.α.

Η Ελληνική παραγωγή κατεργασμένου Μπεντονίτη τα τελευταία χρόνια αγγίζει τους 750.000 τόνους. Η ποιότητα του Ελληνικού Μπεντονίτη θεωρείται μια από τις καλύτερες παγκοσμίως.

Η τιμή του μπεντονίτη εξαρτάται από το βαθμό επεξεργασίας, το μέγεθος των κόκκων και τη συσκευασία.

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΕΠΟΙΚΟΔΟΜΗΤΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΟΥΣΕΙΑ

2.1 Εποικοδομητισμός

Ο εποικοδομητισμός ή κονστρουκτιβισμός¹ είναι μια φιλοσοφική προοπτική και θεωρία για τη γνώση και τη μάθηση. Το κύριο επιχείρημα της θεωρίας είναι ότι η γνώση κατασκευάζεται ενεργά - δεν μεταδίδεται - μέσω της συμμετοχής, της ερμηνείας και της εμπειρίας της δημιουργίας νοήματος του μαθητή^{26,75}. Παρόλο που ο κονστρουκτιβισμός δεν είναι ειδικά μια θεωρία διδασκαλίας, μια κονστρουκτιβιστική προσέγγιση είναι μάλλον ριζοσπαστική και αμφιλεγόμενη σε σύγκριση με την τυπική προσέγγιση της παροχής οδηγιών που χρησιμοποιείται στα περισσότερα σχολεία²⁶.

Εν ολίγοις, μια κονστρουκτιβιστική άποψη της διδασκαλίας απορρίπτει ότι η μάθηση γίνεται μέσω μετάδοσης, συμβόλων ή ακριβών αντιγράφων της διδασκαλίας των δασκάλων²⁶. Αντίθετα, σε μια κονστρουκτιβιστική τάξη, η εστίαση τείνει να μετατοπιστεί από τον δάσκαλο στους μαθητές. Σε αυτό το μοντέλο, οι δάσκαλοι γίνονται διευκολυντές και οι εκπαιδευόμενοι αναλαμβάνουν μεγαλύτερη κυριότητα των ιδεών²⁶. Ο εκπαιδευτικός παρέχει στους εκπαιδευόμενους ευκαιρίες και κίνητρα για να χτίσουν πάνω τους, και εκείνοι μπορούν να αναζητήσουν πρότυπα, να εγείρουν ερωτήσεις, να μοντελοποιήσουν, να ερμηνεύσουν και να υπερασπιστούν τις στρατηγικές και τις ιδέες τους μέσω ευκαιριών που προορίζονται να δημιουργήσουν συγκεκριμένη και ουσιαστική εμπειρία^{27,71}. Η επίπτωση της θεωρίας είναι αμφιλεγόμενη επειδή συχνά υπάρχει το μπέρδεμα ότι οι δάσκαλοι πρέπει να αποφεύγουν να δίνουν άμεσες οδηγίες στους μαθητές σε κονστρουκτιβιστικές τάξεις²⁶. Ωστόσο, οι στόχοι των κονστρουκτιβιστικών τάξεων περιλαμβάνουν την αυτονομία, την αμοιβαιότητα των κοινωνικών σχέσεων και την ενδυνάμωση²⁶.

Ο κονστρουκτιβισμός, ο οποίος επιμένει ότι μεγάλο μέρος της μάθησης προέρχεται από το εσωτερικό του παιδιού, έχει τις ρίζες του στις ιδέες του ορθολογισμού, του εμπειρισμού και του πραγματισμού⁷⁶. Οι θεωρητικοί της μάθησης έχουν συζητήσει για το πώς οι άνθρωποι αποκτούν τη γνώση για αιώνες. Οι δύο κύριες απόψεις περιλαμβάνουν τις εμπειριστικές και ορθολογιστικές απόψεις³³. Οι κύριες διαφορές μεταξύ των δύο θεωριών αφορούσαν τις απόψεις των φιλοσόφων για τον ρόλο της εμπειρίας. Οι θιασώτες της πρώτης αντίληψης (π.χ. Locke, Berkeley, και Hume) υποστήριξαν την έννοια της «καθαρής σελίδας», η οποία υποδηλώνει ότι τα ανθρώπινα όντα είναι αρχικά κενά³³. Έτσι, η γνώση, η οποία έχει την πηγή της έξω από το άτομο, αποκτάται με την εσωτερίκευση μέσω των αισθήσεων^{33,76}.

Η μόνη λειτουργία της εμπειρίας είναι η γνώση και η εμπειρία αποκτάται μέσω της παρατήρησης. Από την άλλη πλευρά, οι ορθολογιστές (π.χ. Descartes, Spinoza, και Kant) υποστήριξαν ότι ο λόγος είναι πιο σημαντικός από την αισθητηριακή εμπειρία, επειδή ο λόγος επιτρέπει στους ανθρώπους να γνωρίζουν με βεβαιότητα^{33,76}. Είναι σαφές, ότι οι ορθολογιστές δεν αρνήθηκαν την αναγκαιότητα της εμπειρίας, αλλά τόνισαν ότι οι

¹ Ο αγγλικός όρος είναι Constructivism όπου στα ελληνικά απαντάται και με τους δύο όρους.

αισθήσεις δεν μπορούσαν να παρέχουν αξιόπιστη γνώση. Ο Καντ επέμεινε ότι «δεν είμαστε λευκή σελίδα, οργανωνόμαστε, σκεφτόμαστε και αναλαμβάνουμε»³³.

Ένας από τους ιδρυτικούς φιλοσόφους του κονστρουκτιβισμού, ο Jean Piaget (1974) μελέτησε τη γνώση, με στόχο να επιλύσει τη συζήτηση μεταξύ δύο διαφορετικών απόψεων (εμπειρισμός και ορθολογισμός) χρησιμοποιώντας την επιστήμη²⁷. Αντίστοιχα, ο Piaget μελέτησε την εξέλιξη της επιστήμης για να κατανοήσει τη φύση της γνώσης. Επίσης παρατήρησε και πήρε συνεντεύξεις από παιδιά (Kamii & Ewing, 1996; Terrassa, Hubbard, Holtrop, & Higgins-Linder, 2016). Ως αποτέλεσμα 50 και πλέον ετών έρευνας, έβγαλε την έννοια της προσαρμογής - μια σχέση μεταξύ των ζωντανών οργανισμών και του περιβάλλοντός τους εκτός βιολογικού πλαισίου - και ανέπτυξε τη γενετική του επιστημολογία⁷¹.

Ο Piaget απέρριψε την ιδέα ότι η μάθηση είναι παθητική αφομοίωση δεδομένης γνώσης, αλλά υποστήριξε ότι η μάθηση είναι μια δυναμική διαδικασία που περιλαμβάνει διαδοχικά στάδια προσαρμογής στην πραγματικότητα κατά τη διάρκεια των οποίων οι μαθητές κατασκευάζουν ενεργά τη γνώση δημιουργώντας και δοκιμάζοντας τις δικές τους θεωρίες για τον κόσμο (von Glasersfeld, 2005). Έτσι, η θεωρία του Piaget χρησίμευσε ως θεμέλιο της μαθητεοκεντρικής και βασισμένης στον κονστρουκτιβισμό μάθησης, επιτρέποντας στους δασκάλους να θεωρούν το μεμονωμένο παιδί ως μαθητή που χτίζει νέες ιδέες πάνω στην προηγούμενη γνώση του για να οικοδομήσει ένα νέο νόημα για τον εαυτό του.

Παρόμοια με τον Piaget, ο Lev Vygotsky (1978) πίστευε ότι η μάθηση ήταν αναπτυξιακή και εποικοδομητική, αλλά η κύρια εστίασή του ήταν στην κοινωνική αλληλεπίδραση, τη γλώσσα και την επίδραση του πολιτισμού στη μάθηση²⁷. Ενώ ο κονστρουκτιβισμός αντιλαμβάνεται την ανθρώπινη ανάπτυξη ως μια σχετικά απομονωμένη διαδικασία που καθορίζεται από τη σχέση ενός ατόμου με τον εξωτερικό κόσμο και το περιβάλλον, ο Vygotsky υποστήριξε ότι ο κόσμος ερμηνεύεται και διαμεσολαβείται μέσω της γλώσσας, των τεχνουργημάτων και της συλλογικής ανθρώπινης δραστηριότητας⁵³.

Στην κοινωνικοπολιτισμική θεωρία του, η γλώσσα δεν είναι ένα σταθερό σύστημα και οι έννοιες των λέξεων μπορεί να αναπτυχθούν ή να αλλάξουν λόγω μιας ζωτικής ανθρώπινης αλληλεπίδρασης: του λόγου⁵³. Έτσι, ο Vygotsky τόνισε το ρόλο της αμοιβαίας ανταλλαγής της γλώσσας στη μάθηση. Συγκεκριμένα, ο Vygotsky υποστήριξε ότι η μάθηση ενός παιδιού πρέπει να λαμβάνει χώρα όταν το παιδί γίνεται ενεργός μαθητής, αλληλεπιδρώντας με το κοινωνικό περιβάλλον και συνομιλώντας, ρωτώντας, εξηγώντας και διαπραγματεύοντας το νόημα με έναν ενήλικα²⁷.

Σε αντίθεση με το επιχείρημα του Piaget ότι τα παιδιά είναι ανεξάρτητοι στοχαστές και μαθητές, ο Vygotsky τόνισε τον ρόλο της καθοδήγησης ενός ενήλικα ή ενός δασκάλου για την προώθηση της μάθησης και της ανάπτυξης των παιδιών. Κατά συνέπεια, ο Vygotsky ανέπτυξε μια θεωρία που ονομάζεται «Ζώνη Εγγύς Ανάπτυξης» σύμφωνα με την οποία οι άνθρωποι μαθαίνουν σε μια διαδικασία βήμα προς βήμα όπου η γνώση κατασκευάζεται ενώ αλληλεπιδρούν ή λαμβάνουν βοήθεια από έναν ενήλικα ή προχωρημένο συνομήλικο⁶⁷.

Ο John Dewey, ένας Αμερικανός φιλόσοφος, ψυχολόγος και εκπαιδευτικός μεταρρυθμιστής συνδέεται επίσης συχνά με τον κονστρουκτιβισμό^{27,42}. Αν και ο Dewey δεν χρησιμοποίησε την έννοια του κονστρουκτιβισμού, η προοδευτική επιχειρηματολογία του -το κοινωνικό άτομο και η μάθηση από την εμπειρία- προσθέτει στις ιδέες των Piaget και Vygotsky σχετικά με τη σημασία της ενεργητικής μάθησης, της κατασκευής της γνώσης

και της κοινωνικής αλληλεπίδρασης ¹⁴. Ο Dewey πίστευε ότι η ανθρώπινη μάθηση ήταν μια κοινή διαδικασία κατά την οποία ο μαθητής συλλέγει και κατασκευάζει γνώση βυθιζόμενος στον πραγματικό κόσμο ¹⁴. Υποστήριξε ότι το σχολείο πρέπει να είναι μια κοινότητα μάθησης που δίνει έμφαση στην ατομική ανάπτυξη των παιδιών, καθώς και μια κοινότητα συνεργασίας μέσω ομαδικών δραστηριοτήτων (Efland, 1990). Ο Dewey «εντόπισε την κατασκευή της γνώσης στη συναλλαγή οργανισμού-περιβάλλοντος» και υποστήριξε ότι η γνώση δεν είναι μια παθητική καταγραφή του έξω κόσμου αλλά μια ενεργητική κατασκευή της πραγματικότητας ⁷⁰. Πιο συγκεκριμένα, ο Dewey υποστήριξε τα παιδοκεντρικά σχολεία που έδωσαν έμφαση στις ανάγκες και τα ενδιαφέροντα των παιδιών. Υποστήριξε ότι η εκπαίδευση πρέπει να επικεντρώνεται στα άτομα και την όλη εμπειρία τους, παρά στην απομνημόνευση γεγονότων ¹⁴.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο κονστρουκτιβισμός είναι μια θεωρία για τη μάθηση και όχι για τη διδασκαλία. Ωστόσο, γενικές αρχές από τη θεωρία του κονστρουκτιβισμού πληροφορούν πώς διδάσκουν οι εκπαιδευτικοί. Η βασική αρχή του κονστρουκτιβισμού είναι ότι οι μαθητές εισάγουν την προηγούμενη γνώση σε μια μαθησιακή κατάσταση στην οποία πρέπει να ασκήσουν κριτική και να επαναξιολογήσουν την κατανόησή τους για τις έννοιες ²⁷. Η μάθηση είναι επίσης μια αυτορυθμιζόμενη διαδικασία πάλης με τη σύγκρουση μεταξύ των υπάρχοντων προσωπικών μοντέλων του κόσμου και των νέων αντιλήψεων ²⁶. Παρόλο που η μάθηση είναι μια αυτορυθμιζόμενη και ατομική διαδικασία, οι κονστρουκτιβιστικές τάξεις δίνουν έμφαση στην ομαδική εργασία, τον διάλογο και τα κοινά πρότυπα, επειδή η συνεργασία θα βοηθήσει τους μαθητές να κατανοήσουν τις δικές τους ιδέες, καθώς και να δημιουργήσουν νέες ιδέες ⁷³.

Έτσι, σε αντίθεση με την παραδοσιακή τάξη, η κονστρουκτιβιστική τάξη δεν είναι ένα μέρος όπου ο γνώστης δάσκαλος χύνει πληροφορίες σε παθητικούς μαθητές. Στο κονστρουκτιβιστικό μοντέλο, οι μαθητές καλούνται να συμμετέχουν ενεργά στη δική τους διαδικασία μάθησης μέσω της πράξης. Στην κονστρουκτιβιστική τάξη, τόσο οι δάσκαλοι όσο και οι μαθητές σκέφτονται τη γνώση ως μια δυναμική, διαρκώς μεταβαλλόμενη άποψη του κόσμου στον οποίο ζούμε και ότι έχουν την ικανότητα να επεκτείνουν και να εξερευνήσουν με επιτυχία αυτήν την άποψη ²⁷.

Οι Bawa και Zubairu (2015) περιέγραψαν τις βασικές παραδοχές της προοπτικής:

«1) Αυτό που πιστεύει ο μαθητής επί του παρόντος, είτε είναι σωστό είτε είναι λάθος, είναι σημαντικό, 2) Παρά το γεγονός ότι έχει την ίδια μαθησιακή εμπειρία, κάθε άτομο θα βασίσει τη μάθησή του/της στην προσωπική του κατανόηση και νόημα, 3) Η κατανόηση ή η κατασκευή ενός νοήματος είναι μια ενεργητική και συνεχής διαδικασία, 4) Η μάθηση μπορεί να περιλαμβάνει κάποιες εννοιολογικές αλλαγές, 5) Όταν οι μαθητές κατασκευάζουν ένα νέο νόημα, μπορεί να μην το πιστεύουν αλλά μπορεί να του δώσουν προσωρινή αποδοχή ή ακόμα και απόρριψη και 6) Η μάθηση είναι μια ενεργητική και όχι παθητική διαδικασία και εξαρτάται από τους μαθητές που αναλαμβάνουν την ευθύνη να μάθουν.» (σελ. 73).

Επίσης, η κύρια δραστηριότητα σε μια κονστρουκτιβιστική τάξη είναι η επίλυση προβλημάτων όπου «οι μαθητές χρησιμοποιούν μεθόδους διερεύνησης για να κάνουν ερωτήσεις, να διερευνήσουν ένα θέμα και χρησιμοποιούν μια ποικιλία πόρων για να βρουν λύσεις και απαντήσεις» ⁷.

Υπάρχει μια ποικιλία διδακτικών προσεγγίσεων που ευθυγραμμίζονται με τον κονστρουκτιβισμό. Για παράδειγμα, η μάθηση με βάση το πρόβλημα είναι μια δομημένη εκπαιδευτική προσέγγιση που παρουσιάζει ένα πρόβλημα για να χρησιμοποιήσουν οι

εκπαιδευόμενοι για να ενεργοποιήσουν τις προηγούμενες γνώσεις τους και στη συνέχεια οι εκπαιδευόμενοι συνεργάζονται σε μικρές και μεγάλες ομαδικές συζητήσεις και προβληματίζονται σχετικά με τις νέες πληροφορίες για να αναλύσουν κριτικά το πρόβλημα.⁵⁷ Ένα άλλο παράδειγμα είναι η προσέγγιση που βασίζεται στην έρευνα, η οποία ζητά από τους μαθητές να θέσουν και να απαντήσουν σε ερωτήσεις ατομικά και ομαδικά^{48,73}.

2.2 Άτυπες μορφές μάθησης και ο ρόλος τους για τους εκπαιδευτές και εκπαιδευόμενους - Εστίαση στις φυσικές επιστήμες

Οι προσπάθειες να εξεταστούν οι ομοιότητες και οι διαφορές μεταξύ της μάθησης σε επίσημο και άτυπο πλαίσιο επικεντρώθηκαν στο πλαίσιο, τα συναισθηματικά και κοινωνικά μέτρα, τη φύση της συμμετοχής και το περιεχόμενο του προγράμματος σπουδών (Martin, 2004; Stocklmayer, Rennie, & Gilbert, 2010; Wellington, 1990). Πρόσφατα δόθηκε έμφαση στην τάση ενσωμάτωσης ή συνδυασμού μαθησιακών εμπειριών για τους μαθητές μέσω της χρήσης στενότερης συνεργασίας μεταξύ των ιδρυμάτων που παρέχουν άτυπες μορφές μάθησης και των σχολικών ιδρυμάτων και μέσω της χρήσης ψηφιακών τεχνολογιών. Τα πρώτα, όπως τα μουσεία, έχουν αναπτύξει μια σειρά μεθόδων για να βοηθήσουν στην επίσημη εκμάθηση των επιστημών. Ένας μεγάλος αριθμός αυτού του είδους των ιδρυμάτων, για παράδειγμα, προσφέρει προγράμματα επιστημονικής εκπαίδευσης, συχνά με τη μορφή επιτόπιων εκδρομών που είναι διαθέσιμα στα σχολεία και μπορούν να γεφυρώσουν τη μάθηση που πραγματοποιείται σε ανεπίσημους και επίσημους χώρους.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (2007) έχει προτείνει συνεχείς προσπάθειες για τη γεφύρωση άτυπων και τυπικών περιβαλλόντων μάθησης για την αύξηση της δέσμευσης και του ενδιαφέροντος των μαθητών για την επιστήμη. Με ενεργά ερευνητικά προγράμματα, τα Μουσεία Φυσικών Επιστημών ή/και τα Μουσεία Φυσικής Ιστορίας ειδικότερα δεσμεύονται και προσανατολίζονται στο να βοηθήσουν τους μαθητές να ασχοληθούν με την επιστήμη του πραγματικού κόσμου με ευκαιρίες για τους μαθητές να γνωρίζουν για τις κοινωνικές και επιστημονικές προκλήσεις του παρόντος και του μελλοντικού κόσμου.

Οι Lawrence and Tinkler (2015), χρησιμοποιώντας το Μουσείο Φυσικής Ιστορίας στο Λονδίνο ως παράδειγμα, απέδειξαν ότι τα μουσεία επιστήμης δεν αντιπροσωπεύουν πλέον μια στατική εικόνα της επιστήμης ή ένα σταθερό σώμα γνώσης. Οι αλλαγές και οι εξελίξεις στα μουσεία επιστήμης οδήγησαν σε ευκαιρίες για τους μαθητές να αποκτήσουν περισσότερες γνώσεις σχετικά με τις διάφορες διαδικασίες της επιστήμης – να εμπλακούν άμεσα με επιστήμονες και πραγματικές επιστημονικές δραστηριότητες. Τα Μουσεία Φυσικών Επιστημών ή/και τα Μουσεία Φυσικής Ιστορίας είναι ιδανικά τοποθετημένα για να βοηθήσουν τους μαθητές να μάθουν περισσότερα για την επιστήμη και να εκπαιδεύσουν το κοινό σχετικά με σημαντικά ζητήματα όπως η βιοποικιλότητα, ένας τομέας που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή δεδομένης της έλλειψης ευαισθητοποίησης του κοινού σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο τέτοια ζητήματα επηρεάζουν τις χώρες⁴⁹. Για παράδειγμα, για να νοιαστεί περισσότερο για την απώλεια της βιοποικιλότητας, το κοινό πρέπει να δεσμεύεται συναισθηματικά και διανοητικά, να ενημερώνεται για τις απειλές και να γνωρίζει πιθανές διορθωτικές ενέργειες⁴⁹. Ενώ η αποστολή και το πεδίο εφαρμογής των Μουσείων Φυσικών Επιστημών ή/και των Μουσείων Φυσικής Ιστορίας εκτείνονται πέρα από την αντιμετώπιση των αναγκών των μαθητών σχολείων, είναι η αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών

των ιδρυμάτων και των σχολείων που αποτελεί τη κύρια εστίαση στο πλαίσιο της σύνδεσης τυπικής και άτυπης μάθησης που εξετάζεται και στην παρούσα εργασία.

2.3 Τα μουσεία και η μάθηση

Η Αμερικανική Ένωση Μουσείων (AAM) ορίζει ένα μουσείο ως ένα ίδρυμα που προσφέρει «μοναδική συνεισφορά στο κοινό συλλέγοντας, διατηρώντας και ερμηνεύοντας τα πράγματα αυτού του κόσμου» (2005, σ.1). Αν και ιδρύθηκαν κυρίως για την εκπαίδευση των ανθρώπων, στο μεγαλύτερο μέρος του 20^{ου} αιώνα, τα μουσεία επικεντρώθηκαν στην ανάπτυξη, τη φροντίδα, την έκθεση και τη μελέτη των συλλογών τους^{61,64,74}.

Αρχικά, οι λειτουργίες και οι δραστηριότητες του μουσείου ήταν αντικειμενοκεντρικές και εστιάζονταν προς τα μέσα. Οι δραστηριότητες που πραγματοποιήθηκαν ξεκίνησαν εντός των μουσείων. Το τι ήθελε να δει το κοινό ή ποιες μουσειακές εμπειρίες προσέλκυαν τους ανθρώπους στα μουσεία δεν αξιολογήθηκαν κριτικά⁷⁴.

Όσοι πίστευαν στις φιλοσοφίες του John Cotton Dana και συμφώνησαν με τα επιχειρήματά του να κάνει τα μουσεία χρήσιμα, ξεκίνησαν προσπάθειες για την επανεφεύρεση των μουσείων ως κοινοτικών θεσμών κατά τον 20^ο αιώνα. Από τη δεκαετία του 1970, τα μουσεία άρχισαν να βλέπουν τα αποτελέσματα αυτών των προσπαθειών. Οι κύριες λειτουργίες παρέμειναν οι ίδιες, αλλά η δημόσια εκπαίδευση μέσω διαφορετικών συλλογών και προγραμμάτων είχε προτεραιότητα έναντι της διατήρησης και της συντήρησης και έγινε η κύρια αποστολή καθώς και πρόκληση για τα μουσεία^{5,56,74,79}. Η αλλαγή στην καθοδηγητική φιλοσοφία ήταν ένα βήμα διαφυγής από μια εικόνα «ναών» που φυλάσσουν αντικείμενα ιστορικής σημασίας σε μια εικόνα προσαρμογής ώστε να εξυπηρετείται κοινό με διαφορετικά ενδιαφέροντα και ανάγκες.

Υπάρχουν πολλές ετικέτες που καθορίζουν τις αλλαγές στη φιλοσοφία των μουσείων. Οι περισσότεροι μουσειολόγοι θεωρούν σε γενικές γραμμές τη μετατόπιση της φιλοσοφίας από την αντικειμενοκεντρική στην επισκεπτοκεντρική (Ebitz, 2005; Roberts, 1997). Με τις αυξημένες προσπάθειες της κοινότητας και της δημόσιας προσέγγισης, η εικόνα των μουσείων μετατοπίστηκε από το «να είναι για κάτι στο να είναι για κάποιον» (Weil, 2002, σ. 28). Ζητήθηκε από τα μουσεία να παράσχουν απτές αποδείξεις της χρησιμότητάς τους στις τοπικές κοινωνίες και το διαφορετικό κοινό που εξυπηρετούσαν. Αυτή η αλλαγή στη φιλοσοφία των μουσείων έφερε στο επίκεντρο την εκπαίδευση ως πηγή ώστε να προσεγγίσουν διαφορετικά κοινά (Roberts, 1997).

Ωστόσο, οι αλλαγές στα μουσεία ήταν σταδιακές και σποραδικές και επηρεάστηκαν άμεσα από εσωτερικές (π.χ. μείωση των επιχορηγήσεων και οικονομικών μεγεθών, μη εκπαιδευμένο προσωπικό, κ.λπ.) και εξωτερικές δυνάμεις (π.χ. δημογραφικά στοιχεία, ανταγωνισμός με άλλες δραστηριότητες αναψυχής κ.λπ.).

Δεν είδαν όλοι οι επαγγελματίες του μουσείου αυτές τις δυνάμεις ως ευκαιρίες για τα μουσεία ώστε να δημιουργήσουν επαρκής συνειδητοποίηση, αποδοχή ή δράση μεταξύ του προσωπικού τους για να προετοιμαστούν για την αλλαγή. Ο Phillips αναφέρει ότι μέχρι τη δεκαετία του 1990, οι δημογραφικές αλλαγές, οι εξελίξεις στην τεχνολογία και ο κατακερματισμός του κοινού έγιναν πολύ κρίσιμες για να αγνοηθούν και ανάγκασαν τα μουσεία να επαναπροσδιορίσουν την ύπαρξή τους (1993). Η συμπερίληψη και η

συνδεσιμότητα έγιναν οι λέξεις-κλειδιά για να καθοδηγήσουν τις αποστολές και τις φιλοσοφίες κάθε μουσείου τον 21^ο αιώνα (SI & AAM, 1997).

Για να εκπληρώσουν τον εκπαιδευτικό τους σκοπό, τα μουσεία προσφέρουν προγράμματα και δραστηριότητες όπως διαδραστικά εκθέματα, διαλέξεις και εργαστήρια και διοργανώνουν εκδηλώσεις για επισκέπτες όλων των ηλικιών. Χρησιμοποιώντας μοναδικά, αυθεντικά αντικείμενα και τις ειδικότητές τους, τα μουσεία προσφέρουν πρακτικά εκπαιδευτικά προγράμματα για παιδιά και ενήλικες για να κάνουν τις επισκέψεις σε μουσεία διασκεδαστικές για όλους ^{34,47,74}. Για να επεκτείνουν τις υπηρεσίες σε κοινότητες, τα μουσεία οργανώνουν δραστηριότητες προβολής και μεταφέρουν τις συλλογές τους πέρα από τους τοίχους τους. Για προσπάθειες προσέγγισης, τα μουσεία συνεργάζονται με σχολεία της περιοχής, δανείζουν αντικείμενα, οργανώνουν ταξιδιωτικές εκθέσεις και δημιουργούν κινητά μουσεία ή επεκτάσεις μουσείων ⁶⁴.

Οι Kotler και Kotler πρότειναν τον όρο «*edutainment*» που συνδυάζει την εκπαίδευση και την ψυχαγωγία ως κύρια λειτουργία των μουσείων για να προσελκύουν και να είναι χρήσιμα στους επισκέπτες τους (2000). Δυνάμει αυτού του όρου, οι περισσότεροι επισκέπτες θεωρούν μια επίσκεψη σε ένα μουσείο πρωτίστως μια ψυχαγωγική ή ψυχαγωγική δραστηριότητα με την εκπαίδευση ως υποτιθέμενο υποκείμενο λόγο. Τα μουσεία σήμερα ανταγωνίζονται άλλες ψυχαγωγικές και ψυχαγωγικές δραστηριότητες για να προσελκύσουν επισκέπτες μέσω διαδραστικών εκθεμάτων και εκδηλώσεων κατάλληλων για οικογένειες. Οι σχολικές εκδρομές αποτελούν τη μεγαλύτερη ομάδα κοινού τους. Έχοντας κατά νου τον διπλό σκοπό των επισκεπτών, οι περισσότεροι μουσειοπαιδαγωγοί σχεδιάζουν προγράμματα για παιδιά σχολικής ηλικίας με ακαδημαϊκά πρότυπα και πρόγραμμα σπουδών για να συμπληρώσουν τη μάθηση στην τάξη που προσφέρεται σε ανεπίσημο περιβάλλον ^{24,30}.

Η συνάφεια των μουσείων ως χώρων άτυπης μάθησης ήταν αποδεκτή και αδιαμφισβήτητη ακόμη και την εποχή που δεν υπήρχαν εκπαιδευτικοί μεταξύ του προσωπικού των μουσείων. Στα τέλη του 19^{ου} έως τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, τα μουσεία μοιράστηκαν τις εξαιρετικές συλλογές τους από μέρη σε όλο τον κόσμο με τους επισκέπτες τους για να δείξουν πώς ζούσαν οι άνθρωποι σε άλλα μέρη ελπίζοντας ότι αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την έμπνευση. Ήταν αποκλειστικά ευθύνη των θεατών να δείξουν ενδιαφέρον και να αποκτήσουν γνώση από την παθητική θέαση των αντικειμένων. Τα μουσεία δεν έκαναν καμία προσπάθεια να δημιουργήσουν διάλογο με τους επισκέπτες τους για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, αλλά η μάθηση γινόταν ακόμα σε ήσυχες και γραφικές γκαλερί (Zeller, 1989).

Αυτή η μάθηση στα μουσεία θεωρήθηκε παθητική, αδόμητη και αντικειμενοκεντρική. Μέχρι τα μέσα του 20^{ου} αιώνα, τα μουσεία άρχισαν να εφαρμόζουν προγράμματα βασισμένα στις εκπαιδευτικές θεωρίες του John Dewey, οι οποίες ήταν ήδη σε χρήση στα δημόσια σχολεία. Τα μουσεία άρχισαν να προσλαμβάνουν εκπαιδευτικούς για να παίξουν μεγαλύτερο ρόλο στην επισκεπτοκεντρική φιλοσοφία που προσφέρει εκπαίδευση και βιωματική μάθηση σε όλους. Πολλές έρευνες που έγιναν αυτή τη στιγμή επικεντρώθηκαν στα ενδιαφέροντα των επισκεπτών και στις ανάγκες για αύξηση της επισκεψιμότητας στις γκαλερί μουσείων. Καθώς η εκπαιδευτική λειτουργία ήταν στην κορυφή της λίστας των λειτουργιών του μουσείου, η ερευνητική εστίαση μετατοπίστηκε στη διαδικασία μάθησης χρησιμοποιώντας πραγματικά αντικείμενα.

Εάν η εκπαίδευση είναι ο κύριος λόγος ύπαρξης των μουσείων, οι επισκέπτες σπάνια βλέπουν τη μάθηση ως τον κύριο λόγο για να επισκεφτούν ένα μουσείο, εκτός εάν πρόκειται για ένα οργανωμένο σενάριο διδασκαλίας-μάθησης. Οι επισκέπτες συνδέουν τη μάθηση με το σχολείο ή με οργανωμένα επίσημα περιβάλλοντα όπου ο κύριος στόχος είναι η μετάδοση γνώσης²⁵. Τα μουσεία προσφέρουν μάθηση ελεύθερης επιλογής την οποία οι άνθρωποι αντλούν ηθελημένα (ή ακούσια) από άτυπες εμπειρίες όπως η ανάγνωση εφημερίδων, η παρακολούθηση θεάτρου ή η παρακολούθηση ταινιών κ.λπ. την ίδια ώρα.

Οι επαγγελματίες του μουσείου δεν συμφωνούν σε έναν και μόνο ορισμό της μάθησης. Αποδέχονται την πολλαπλότητα της μάθησης που εμφανίζεται σε χώρους μουσείων²⁴. Μέσω πολυαισθητηριακών, διαδραστικών εκθεμάτων και δραστηριοτήτων, οι μουσειοπαιδαγωγοί προσπαθούν να βοηθήσουν τους ανθρώπους να αποκρυπτογραφήσουν και να κατασκευάσουν νοήματα από τις εμπειρίες τους. Αυτές οι αυτο-κατασκευασμένες έννοιες είναι συνώνυμες με τη μάθηση σε άτυπα περιβάλλοντα²⁵.

Ο Donald εξηγεί τη διαφορά στη μάθηση μεταξύ παιδιών σχολικής ηλικίας και ενηλίκων. Προτείνει ότι τα παιδιά τείνουν να αντιλαμβάνονται τα πράγματα διαφορετικά από τους ενήλικες λόγω της διαφοράς στη γνωστική ανάπτυξη και τις κοσμικές εμπειρίες (Donald, 1991; Singer & Revenson, 1997). Από την οπτική γωνία των παιδιών, μια εκδρομή στο μουσείο μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την απόκτηση γνώσεων για το αντικείμενο που συνδέεται με το πρόγραμμα σπουδών της τάξης. Για τα μικρότερα παιδιά, το ταξίδι μπορεί να μείνει ως ανάμνηση κοινωνικής και γεμάτη διασκέδαση επίσκεψης ή εκδρομής σε ένα ενδιαφέρον μέρος με δασκάλους και φίλους²⁴. Αβέβαιοι για τα κέρδη από αυτά τα ταξίδια μιας φοράς, οι ερευνητές μουσείων εστιάζουν τώρα τις εκπαιδευτικές τους προσπάθειες στη μετάδοση δεξιοτήτων κριτικής σκέψης που είναι χρήσιμες ανεξάρτητα από το θέμα ή την κατάσταση^{12,26,43}.

Η αξιολόγηση της μάθησης από τα μουσεία είναι τόσο περίπλοκη όσο και ο ορισμός της. Η αξιολόγηση της μετρήσιμης λογοδοσίας των εμπειριών και της μάθησης των επισκεπτών ήταν μια πρόκληση για τα μουσεία σε εθνικό επίπεδο³⁰. Οι λόγοι που θεωρούνται περιορισμοί για την αξιολόγηση της μάθησης από τους Bitgood, Serrell και Thompson είναι οι ακόλουθοι:

1. Τα άτυπα περιβάλλοντα παρέχουν γνωστικές και συναισθηματικές εμπειρίες μάθησης που δεν μπορούν να διαχωριστούν σε μετρήσιμα κομμάτια.
2. Οι μουσειακές εμπειρίες συνδυάζουν εκπαίδευση και ψυχαγωγία ταυτόχρονα.
3. Κάθε εμπειρία είναι σύντομη και σχετικά αδόμητη σε σύγκριση με τις εμπειρίες τυπικών περιβαλλόντων μάθησης όπως τα σχολεία¹⁰.

Τα μουσεία προσελκύουν επισκέπτες όλων των ηλικιών μέσω εκθεμάτων, διαλέξεων, εργαστηρίων και διαδραστικών προγραμμάτων. Ο απώτερος στόχος αυτών των δραστηριοτήτων είναι η εκπαίδευση και η μετάδοση της μάθησης. Η έκθεση της AAM, Μουσεία για έναν νέο αιώνα, που δημοσιεύθηκε το 1984, αποκαλεί τις συλλογές «καρδιά» και την εκπαίδευση που παρέχεται μέσω των συλλογών, «πνεύμα» των μουσείων (1984, σ. 5). Μέσα από διάφορες δραστηριότητες και αξιοποίηση των συλλογών των μουσείων οι εκπαιδευτές προσπαθούν να δημιουργήσουν αισθητηριακές εμπειρίες, οι οποίες βοηθούν τους ανθρώπους να αποκρυπτογραφήσουν και να κατασκευάσουν νοήματα. Αυτές οι

αυτοκατασκευασμένες έννοιες είναι συνώνυμες με τη μάθηση σε άτυπα περιβάλλοντα και τις αρχές του εποικοδομητισμού²⁵.

Τα άτυπα περιβάλλοντα των μουσείων προσφέρουν εκπαίδευση που είναι δια βίου, εθελοντική, μη γραμμική και μη διαδοχική και θεωρείται ως άτυπη μάθηση ελεύθερης επιλογής^{25,37}.

Οι Falk και Dierking προωθούν την έννοια της μάθησης με ελεύθερη επιλογή και προτείνουν ότι η μάθηση σε άτυπα περιβάλλοντα είναι ευρύτερη από αυτή που συμβαίνει σε επίσημα περιβάλλοντα όπως τα σχολεία. Ένα σχολικό περιβάλλον τάξης για τη λήψη δομημένης εκπαίδευσης θεωρείται επίσημο περιβάλλον. Η μάθηση με ελεύθερη επιλογή μπορεί να πραγματοποιηθεί σε οποιοδήποτε περιβάλλον, στον ελεύθερο χρόνο και είναι εξατομικευμένη. Αυτές οι μαθησιακές εμπειρίες είναι εμπλουτισμένες για την ικανοποίηση των ατομικών αναγκών, ενδιαφερόντων και απαιτήσεων²⁵. Οι Falk και Dierking ορίζουν τη μάθηση με ελεύθερη επιλογή ως:

«ο τύπος μάθησης που καθοδηγείται από τις ανάγκες και τα ενδιαφέροντα ενός ατόμου – μάθηση στην οποία συμμετέχουν οι άνθρωποι σε όλη τους τη ζωή για να μάθουν περισσότερο για το τι είναι χρήσιμο, συναρπαστικό ή απλά ενδιαφέρον για αυτούς.» (Falk & Dierking, 2006b, σελ. 1)

Οι Griffin και Symington συνόψισαν τον ορισμό της άτυπης μάθησης και τον χαρακτήρισαν μέσα από χαρακτηριστικά, όπως «ελεύθερη επιλογή. αδόμητη και μη διαδοχική· αυτοδύναμο, εθελοντικό και διερευνητικό. μη αξιολογημένα και ανοιχτού τύπου· και κοινωνική» (Griffin & Symington, 1997, σελ. 764). Η μάθηση σε σχολικές εκδρομές σε μουσεία εμπίπτει μεταξύ της τυπικής και της μάθησης ελεύθερης επιλογής. Είναι καθοδηγούμενη μάθηση όπου οι δάσκαλοι ξεκινούν μια συζήτηση για την τοπική ιστορία στις τάξεις με τη διδασκαλία της ενότητας και οι εκπαιδευτικοί στα μουσεία δίνουν στα παιδιά την ευκαιρία να τη βιώσουν μέσα από ιστορικά αντικείμενα, εκθέματα και πρακτικές δραστηριότητες. Είναι ένας τρόπος να συνδεθούν με την ιστορία της τοπικής κοινωνίας.

Οι άνθρωποι είναι εκ φύσεως μαθητές, οπότε ο εγκέφαλος συντονίζεται σε οτιδήποτε ενδιαφέρον συμβαίνει στο περιβάλλον. Κατά τη διάρκεια της ζωής μας περνούμε σχετικά λίγα χρόνια σε επίσημο σχολικό περιβάλλον, αλλά συνεχίζουμε να μαθαίνουμε έξω από τα επίσημα περιβάλλοντα συνεχώς κάθε ώρα αφύπνισης^{25,30,35}. Τα μουσεία υιοθέτησαν τον όρο *άτυπο* για να περιγράψουν τις ρυθμίσεις ελεύθερης επιλογής και μη αξιολόγησης για το μη σχολικό μαθησιακό περιβάλλον τους για να το διαφοροποιήσουν από το επίσημο και το σχολικό περιβάλλον διδασκαλίας και μάθησης. Το Dierking προτιμά τη μάθηση με ελεύθερη επιλογή από τον όρο άτυπη καθώς ο πρώτος εξηγεί τα χαρακτηριστικά της μάθησης όπου το τελευταίο απεικονίζει το σκηνικό. Τα κύρια χαρακτηριστικά που σχετίζονται με τη μάθηση με ελεύθερη επιλογή είναι ότι είναι μη γραμμική και ελκυστική και προκύπτει ως αποτέλεσμα διαλόγου με αντικείμενα, ανθρώπους και εμπειρίες που χαρακτηρίζονται ως τα φυσικά, κοινωνικο-πολιτιστικά και προσωπικά πλαίσια του θεατή (Dierking, 2002).

Τα μουσεία είναι άτυπα περιβάλλοντα μάθησης όπου δημιουργούνται μακροχρόνιες συνδέσεις και εμπειρίες μέσω αντικειμενοκεντρικών δραστηριοτήτων. Αυτές οι μη αξιολογητικές δραστηριότητες μπορεί να περιλαμβάνουν πτυχές έρευνας, ανακάλυψης, φαντασίας, παιχνιδιού ρόλων και επιδείξεων που φαίνεται να επηρεάζουν τους επισκέπτες συναισθηματικά¹⁰.

Ο εκπαιδευτικός ρόλος των μουσείων για την υποστήριξη της σχολικής διδασκαλίας και την προώθηση της μάθησης στα παιδιά είναι ευρέως αναγνωρισμένος από τους επαγγελματίες των μουσείων και των σχολείων. Ιδρύθηκαν για τον ίδιο δημοκρατικό σκοπό για την εκπαίδευση των κοινοτήτων, οι σχέσεις μεταξύ μουσείων και σχολείων παρέμειναν κατακερματισμένες για το μεγαλύτερο μέρος του 20^{ου} αιώνα. Οι επιτόπιες εκδρομές, η διδασκαλία σε μουσεία στα σχολεία και τα εργαστήρια επαγγελματικής ανάπτυξης των εκπαιδευτικών είναι μορφές μουσείων και σχολικών συνεργασιών ⁶⁴. Παρά τις πιο αδύναμες συνεργασίες, οι εκδρομές σε μουσεία ήταν πάντα αγαπημένοι προορισμοί για εκδρομές δασκάλων και μαθητών. Οι δάσκαλοι αξιοποιούν τις πρωτογενείς πηγές που είναι διαθέσιμες ως συλλογές σε τοπικά μουσεία για βιωματική και πρακτική μάθηση ⁶⁴. Η οικοδόμηση συνεργασιών για τη σύνδεση με τη διδασκαλία στην τάξη μέσω εκδρομών προσφέρει πόρους για τους δασκάλους και μαθησιακά οφέλη για τους μαθητές στους τομείς της τέχνης, της επιστήμης, της ιστορίας, της φυσικής ιστορίας και των κοινωνικών επιστημών (Kisiel, 2003b, 2006c).

Παρόλο που τα σχολεία και τα μουσεία λειτουργούν με διαφορετικούς τρόπους και χαρακτηριστικά διδασκαλίας και μάθησης, υπάρχει μεγάλη δυνατότητα για μια συνεργασία για μακροχρόνιες εκπαιδευτικές εμπειρίες και μάθηση από εκδρομές (Sheppard, 2000). Σε επίσημα σχολικά περιβάλλοντα, τα παιδιά μαθαίνουν μέσω προφορικής διδασκαλίας όπου η μάθηση είναι διαδοχική και αξιολογική. Η μάθηση που λαμβάνει χώρα στα μουσεία στις εκδρομές είναι αντικειμενοκεντρική, σχετικά λιγότερο δομημένη και μη αξιολογική ^{29,35,58,69}.

Οι συνεργασίες μεταξύ σχολείων και μουσείων είναι συμπληρωματικές, όπου το ένα ίδρυμα προσπαθεί να διδάξει κυρίως χρησιμοποιώντας λέξεις και το άλλο χρησιμοποιώντας αντικείμενα. Οι δάσκαλοι τέχνης, επιστήμης, ιστορίας και κοινωνικών επιστημών βρίσκουν σπουδαίους πόρους στα μουσεία για να συμπληρώσουν, να συμπληρώσουν ή/και να εμπλουτίσουν το σχολικό πρόγραμμα σπουδών με βιωματική μάθηση ^{8,9,39,58}. Ανάλογα με τα διαθέσιμα μέσα (π.χ. μεταφορές, χρηματοδότηση, διοικητική υποστήριξη, είδη μουσείων της περιοχής, κ.λπ.), δάσκαλοι διαφόρων ειδικοτήτων οργανώνουν εκδρομές για τους μαθητές τους για να αποκτήσουν ουσιαστικές εμπειρίες που αποτελούνται από γνωστικούς ή/και συναισθηματικούς τομείς. Τα γνωστικά κέρδη εξαρτώνται από τις συνδέσεις που κάνουν οι επιτόπιες εκδρομές με το πρόγραμμα σπουδών και τα συναισθηματικά οφέλη από την ολιστική εμπειρία του ταξιδιού ^{37,58}.

Στα μουσεία, η αντικειμενοκεντρική διδασκαλία και μάθηση δημιουργούν μια αισθητηριακή εμπειρία για την ενθάρρυνση της περιέργειας, των κινήτρων και των ενδιαφερόντων που οδηγούν σε ενεργό συμμετοχή, η οποία μπορεί τελικά να οδηγήσει σε ισχυρές δια βίου αναμνήσεις ^{25,77,78}. Τα μουσεία έχουν τον έλεγχο του φυσικού περιβάλλοντος και των μεθόδων διδασκαλίας που χρησιμοποιούν αντικείμενα για να παρέχουν ένα νέο φυσικό πλαίσιο για τα παιδιά εκτός του κανονικού σχολικού τους περιβάλλοντος. Η καινοτομία μιας εμπειρίας εκδρομής σε συνδυασμό με αντικειμενοκεντρική διδασκαλία λειτουργεί καλά με μικρά παιδιά ³¹. Ωστόσο, οι ερευνητές αμφισβητούν το γνωστικό κέρδος για τα μικρά παιδιά καθώς οι εκδρομές στο μουσείο είναι σύντομες και οι εκπαιδευτικοί δεν έχουν την ευκαιρία να αξιολογήσουν το μετρήσιμο κέρδος γνώσης (Donald, 1991).

Για τη δημιουργία συναισθηματικών κερδών και θετικών εμπειριών για τα παιδιά μέσω των σχολικών προγραμμάτων, οι ρόλοι των παιδαγωγών και των δασκάλων γίνονται κεντρικός στις εκδρομές. Είναι οι μεσολαβητές και οι δημιουργοί των πλαισίων και οι διευκολυντές της μάθησης στις εκδρομές ^{69,78}. Η έρευνα δείχνει ότι οι δάσκαλοι που προγραμματίζουν

εκδρομές και οι εκπαιδευτικοί που τις παραδίδουν, επηρεάζουν σημαντικά τη μάθηση των μαθητών. Οι δραστηριότητες προ-επίσκεψης των δασκάλων και η ενσωμάτωση του ταξιδιού με τη διδασκαλία στην τάξη παρακινούν τα παιδιά και παρέχουν τη βάση για τη δημιουργία ουσιαστικών εμπειριών από την επίσκεψη. Μόλις τα παιδιά πατήσουν το πόδι τους μέσα στο μουσείο, οι εκπαιδευτικοί αναλαμβάνουν την πρωτοβουλία και οργανώνουν ξεναγήσεις και μαθήματα χρησιμοποιώντας πολλαπλές θεωρίες βιωματικής μάθησης^{31,35,58}.

Οι εκπαιδευτικοί και οι δάσκαλοι, τόσο ως διαμεσολαβητές, θέλουν τη μάθηση ως αποτέλεσμα εκδρομών στα μουσεία. Η αντίθεση στις μαθησιακές προσδοκίες των δασκάλων και των εκπαιδευτικών είναι εμφανής από το γεγονός ότι οι εκπαιδευτικοί συσχετίζουν τη μάθηση με το γνωστικό κέρδος, ενώ οι εκπαιδευτικοί προσπαθούν να κάνουν τις επιτόπιες εκδρομές μια αισθητηριακή εμπειρία συναισθηματικών κερδών (Donald, 1991). Τόσο οι δάσκαλοι όσο και οι εκπαιδευτικοί μπορεί να θέλουν να μάθουν από εκδρομές. Τα παιδιά μπορεί να θυμούνται το ταξίδι ως μια γεμάτη διασκέδαση εκδρομή σε ένα ιστορικό μέρος^{24,77}.

Μερικοί ερευνητές μέτρησαν τα γνωστικά κέρδη συγκρίνοντας τις βαθμολογίες πριν και μετά την επίσκεψη σε έννοιες σχετικές με το θέμα (Paris, Yambor, & Packard, 1998). Άλλοι εστίασαν στη βραχυπρόθεσμη ανάκληση πληροφοριών ως μέτρο μάθησης (Stornck, 1983· Wolins et al., 1992). Στους τελευταίους τύπους έρευνας, τα παιδιά κλήθηκαν να θυμηθούν τις μουσειακές εμπειρίες και τις εννοιολογικές τους πληροφορίες λίγο μετά το ταξίδι. Τα παιδιά μπορούσαν να θυμηθούν πράγματα όπως με ποιον έκαναν το ταξίδι, σε ποια τάξη ήταν, αλλά λίγες λεπτομέρειες για το τι πραγματικά είδαν στο μουσείο, που μπορεί να θεωρηθούν μόνο ως αναμνήσεις από ορισμένους ερευνητές^{23,24}.

Σε μια μελέτη που δημοσιεύθηκε το 1997, οι Falk και Dierking αξιολόγησαν τις αναμνήσεις σχολικών εκδρομών που πραγματοποιήθηκαν στα πρώτα σχολικά χρόνια 128 συμμετεχόντων που αποτελούνταν από μαθητές τέταρτης δημοτικού (n = 34), γυμνασίου (n = 48) και ενήλικες (n = 46) (Falk & Dierking, 1997). Η πλειονότητα των συμμετεχόντων (96%) μπορούσε να θυμηθεί τρία ή περισσότερα φυσικά και κοινωνικά πλαίσια των ταξιδιών τους. Οι περισσότεροι μπορούσαν να θυμηθούν τουλάχιστον μία ή περισσότερες λεπτομέρειες του ταξιδιού, όπως πότε πήγαν, με ποιον και πού πήγαν. Από αυτά τα ευρήματα οι ερευνητές θα μπορούσαν να δημιουργήσουν αλληλεπιδράσεις μεταξύ της γνώσης, του συναισθήματος και των φυσικών και κοινωνικών πλαισίων των εκδρομών²⁴.

Ο Falk και ο Dierking εξήγησαν τη σύνδεση των μακροχρόνιων αναμνήσεων με τη μάθηση από εκδρομές σε μουσεία που έγιναν στα πρώτα χρόνια του δημοτικού. Παρέθεσαν έρευνα από νευροεπιστήμες και γνωστικές επιστήμες για να επιβεβαιώσουν τη μάθηση ως διαδικασία και προϊόν συνδυασμένα σε μια εμπειρία. Η πλήρης κατανόηση της διαδικασίας μάθησης θα πρέπει να έρχεται πριν από την αξιολόγηση της μάθησης ως αποτέλεσμα. Η διαδικασία της μάθησης μπορεί να ξεκινήσει με μνήμες που προσεγγίζονται και ανακτώνται ανάλογα με τις ανάγκες για τη δημιουργία πλαισίων για περαιτέρω μάθηση. Η έρευνα πρότεινε ισχυρές αλληλεπιδράσεις μεταξύ «γνώσης και συναισθήματος, γνώσης και φυσικών πλαισίων, και γνωστικών και κοινωνικών αγώνων» (Falk & Dierking, 1997, σ. 216). Αν είναι οι αναμνήσεις που παίρνουν μαζί τους τα παιδιά από τις σχολικές εκδρομές της πρώιμης παιδικής ηλικίας, οι εκπαιδευτικοί και οι δάσκαλοι πρέπει να καταβάλουν κάθε δυνατή προσπάθεια ώστε αυτά τα ταξίδια να τα θυμούνται ως θετικές εμπειρίες σε

νεαρά εντυπωσιακά μυαλά. Τέτοιες αναμνήσεις θα ανακτηθούν αργότερα για την οικοδόμηση της γνώσης μεγαλύτερων εννοιών και εμπειριών.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ

Η εξέταση της συναφούς βιβλιογραφίας ανέδειξε εμφανώς τη δυναμική των μουσείων ως σημεία άτυπης μάθησης και τη σημασία που έχουν στη συμπλήρωση της τυπικής διδασκαλίας στο εκπαιδευτικό ίδρυμα. Στα πλαίσια της παρούσα εργασίας, σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε μια διδακτική προσέγγιση από τη συγγράφουσα, η οποία αφορούσε την αξιοποίηση των μουσείων στην εκπαίδευση. Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η προσέγγιση που αξιοποιήθηκε.

3.1 Η σύνδεση της θεωρίας μέσω της επίσκεψης σε μουσείο

Η διδακτική προσέγγιση που σχεδιάστηκε και έλαβε χώρα στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, εστίασε στο μάθημα της χημείας της Β Γυμνασίου. Ένα βασικό ζήτημα πολλές φορές στην εκπαίδευση αφορά στην ολοκλήρωση της ύλης, πρωτίστως, και παράλληλα τη δυνατότητα σύνδεσης όλων των μερών της διδασκόμενης ύλης για τους μαθητές. Δεδομένου ότι ένα μέρος της ύλης και βασικό πεδίο της χημείας αποτελούν τα ορυκτά, αποφασίστηκε η προσέγγιση να αφορά, όπως αναφέρεται και στον τίτλο της παρούσης, στα ορυκτά ως επέκταση της διδακτέας ύλης και σύνδεση των τμημάτων αυτής με την καθημερινή ζωή.

Η παρέμβαση σχεδιάστηκε ώστε οι μαθητές να παρακολουθήσουν διάλεξη και διαδραστικές δραστηριότητες που αφορούν στα ορυκτά στο Μουσείο Ορυκτολογίας και Πετρολογίας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Οι πληροφορίες που οι μαθητές θα λάμβαναν αφορούσαν εν γένει στα ορυκτά, όπως τύποι, ιδιότητες και χρήσεις, με εστίαση σε εκείνα που απαντώνται στην Ελλάδα, ενώ παράλληλα θα υπήρχε σύνδεση με την αξία των ορυκτών με την ύπαρξη και λειτουργία τους και στους ζώντες οργανισμούς.

3.2 Το Μουσείο Ορυκτολογίας και Πετρολογίας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Οι συλλογές του Μουσείου Ορυκτολογίας και Πετρολογίας δημιουργήθηκαν μέσα στα πλαίσια της Φυσιογραφικής Εταιρείας, που ιδρύθηκε το έτος 1835. Το Πανεπιστήμιο περιέλαβε τις συλλογές στους χώρους χρήσης του από την ίδρυση του, το 1837. Το 1908 δημιουργήθηκαν τα Πανεπιστημιακά Μουσεία Ορυκτολογίας - Πετρογραφίας, Παλαιοντολογίας - Γεωλογίας, Ζωολογίας και Βοτανικής και από τότε λειτουργούν ως ανεξάρτητα παραρτήματα. Το Μουσείο Ορυκτολογίας και Πετρολογίας εξαρτάται διοικητικά από τον Τομέα Ορυκτολογίας και Πετρολογίας.

Η έκθεση των συλλογών του Μουσείου γίνεται σε τρεις αίθουσες.

Την **πρώτη αίθουσα** κοσμούν επτά σύγχρονες κρυστάλλινες προθήκες, εσωτερικά φωτισμένες, στις οποίες παρουσιάζονται δείγματα ορυκτών υψηλής αισθητικής, μερικά

από τα οποία συγκαταλέγονται στα καλύτερα του κάθε είδους. Επεξηγηματικά κείμενα παρέχουν πληροφορίες για τα σχετικά θέματα.

Οι δύο πρώτες προθήκες είναι αφιερωμένες στα ορυκτά που προέρχονται από τα μεταλλεία του Λαυρίου, μια προθήκη περιέχει μεταλλικά ορυκτά από την Ελλάδα και το εξωτερικό, σε δύο προθήκες παρουσιάζονται ανθρακικά και πυριτικά (πετρογενετικά) ορυκτά από την Ελλάδα και το εξωτερικό, ενώ στις τελευταίες δύο προθήκες υπάρχουν παγκόσμιας κλάσης δείγματα ορυκτών και πολύτιμων λίθων από την πρώην Σοβιετική Ένωση. Τα δείγματα αυτά καλύπτουν το μεγαλύτερο φάσμα των ορυκτών που εξορύχτηκαν τον περασμένο αιώνα, κυρίως από την περιοχή των Ουραλίων.

Η **δεύτερη αίθουσα** έχει κυρίως διδακτικό χαρακτήρα. Σε τρεις εντοιχισμένες προθήκες παρουσιάζονται δείγματα και επεξηγηματικά κείμενα για την κατανόηση της έννοιας των ορυκτών, των πετρωμάτων, των μεταλλευμάτων και των βιομηχανικών ορυκτών. Εκτίθενται επίσης δείγματα για την επεξήγηση των φυσικών ιδιοτήτων των ορυκτών όπως η διαφάνεια, η σκληρότητα και το χρώμα. Εντυπωσιακά δείγματα σε περιστρεφόμενες βάσεις πάνω σε είκοσι οκτώ ειδικά διαμορφωμένα βάθρα υποδεικνύουν τη χρωματική ποικιλία των ορυκτών. Στο βάθος της αίθουσας παρουσιάζονται περιοχές της Ελλάδας με ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την εύρεση συλλεκτικών δειγμάτων ορυκτών και εκτίθενται αντιπροσωπευτικά δείγματα. Στην ειδική προθήκη που είναι αφιερωμένη στους μετεωρίτες, εκτίθεται δείγμα σιδηρομετεωρίτη από την Αργεντινή. Στην ανατολική πλευρά της αίθουσας έχει διαμορφωθεί σκοτεινός θάλαμος για την επίδειξη της φωταύγειας των ορυκτών. Πρόκειται για μια συλλογή από τις μεγαλύτερες στην Ευρώπη, που αναδεικνύει το φθορισμό και το φωσφορισμό των ορυκτών με τη χρήση λυχνιών υπεριώδους φωτός με διάφορα μήκη κύματος.

Στην **τρίτη αίθουσα** ο επισκέπτης συναντά τις βαριές, ξύλινες προθήκες του 19ου αιώνα. Οι τοίχοι καλύπτονται από ψηλές όρθιες προθήκες ενώ στο εσωτερικό της αίθουσας υπάρχουν χαμηλές κεκλιμένες προθήκες όπου βρίσκεται η συστηματική συλλογή. Η διακόσμηση της δεύτερης αίθουσας εναρμονίζεται πλήρως με τα εκθέματα του Μουσείου, τα περισσότερα από τα οποία χρονολογούνται από τον 19ο αιώνα. Περιλαμβάνονται η συστηματική συλλογή ορυκτών, συλλογές πολύτιμων λίθων, πετρογραφικές και κοιτασματολογικές συλλογές. Η συστηματική συλλογή ορυκτών παρέχει στον επισκέπτη τη δυνατότητα να γνωρίσει την ποικιλία των ορυκτών αφού εκτίθενται περίπου 2.500 δείγματα αντιπροσωπευτικά για περισσότερα από 700 είδη ορυκτών, ταξινομημένων σε σύγχρονη βάση.

Ο επισκέπτης πρέπει να διαθέσει αρκετές ώρες για να γνωρίσει τον πλούτο των ορυκτών που διαθέτει το Μουσείο και αυτό δεν θα είναι πάντοτε δυνατό. Γι' αυτό το λόγο έχουν επιλεγεί τα πιο αντιπροσωπευτικά και σπάνια δείγματα, τα οποία εκτίθενται σε 16 προθήκες, στο κέντρο της αίθουσας, ώστε να είναι δυνατή μια πιο σύντομη επίσκεψη. Σε ξεχωριστές προθήκες παρουσιάζονται δείγματα χαλαζία και άλλων μορφών του διοξειδίου του πυριτίου, ορυκτά της ομάδας των ζεόλιθων, ραδιενεργά ορυκτά σε προθήκη με ειδική προστασία για τους επισκέπτες, καθώς και οργανικές ενώσεις και ορυκτοί άνθρακες.

Στην είσοδο της τρίτης αίθουσας υπάρχουν σε ειδικές προθήκες δύο εντυπωσιακά δείγματα χαλαζία (ποικιλίες ορεία κρύσταλλος και αμέθυστος), καθώς και ένα γεώδες αμέθυστου ύψους 116 cm. Οι ειδικές θεματικές συλλογές αφορούν ορυκτά κυρίως από γνωστά μεταλλευτικά κέντρα του Ελλαδικού χώρου όπως το Λαύριο, η Χαλκιδική, η Σέριφος, η Νάξος και άλλων περιοχών με ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Τις θεματικές αυτές συλλογές συμπληρώνουν προθήκες στις οποίες εκτίθενται ορυκτά από τον υπόλοιπο Ελλαδικό χώρο, (όπως την Πάρο, Σύρο, Μήλο, Θράκη) και εντυπωσιακά εκθέματα από το εξωτερικό. Οι θεματικές συλλογές εκτίθενται στο ανατολικό τμήμα της τρίτης αίθουσας. Οι συλλογές Σερίφου, Νάξου και Χαλκιδικής αν και μικρές σχετικά σε αριθμό δειγμάτων, περιέχουν ιστορικά δείγματα αντιπροσωπευτικά για κάθε περιοχή.

Ξεχωριστή θέση έχει στο βάθος της αίθουσας η προθήκη με ραδιενεργά ορυκτά. Η προστασία από την ακτινοβολία είναι πλήρης, αφού η προθήκη καλύπτεται με φύλλα μολύβδου και ειδικές μολυβδούλους. Η παρατήρηση των ορυκτών γίνεται από καθρέφτη, ώστε να μη χρειάζεται να πλησιάσει ο παρατηρητής την προθήκη.

Στο κέντρο της τρίτης αίθουσας δεσπόζουν τέσσερεις προθήκες. Η μία περιέχει γλυπτά κατασκευασμένα από ορυκτά και πετρώματα, δύο περιέχουν πολύτιμους λίθους ακατέργαστους και επεξεργασμένους, ενώ η πέμπτη περιέχει ένα μοναδικό δείγμα χαλαζία (ποικιλία καπνίας) με μορφή σκήπτρου.

Σε μία υψηλή, όρθια προθήκη παρουσιάζονται δεκαέξι από τα κυριότερα βιομηχανικά ορυκτά. Τα δείγματα συνοδεύουν ενημερωτικά κείμενα, καθώς και ενδεικτικά προϊόντα που κατασκευάζονται από αυτά.

Στη νότια πλευρά παρουσιάζονται σε βιτρίνες τοίχου ξύλινα και γυάλινα ομοιώματα κρυστάλλων. Πρόκειται για σπάνια κομμάτια εξαιρετικής τέχνης. Ειδικά τα γυάλινα ομοιώματα, στα οποία διακρίνονται εσωτερικά οι άξονες συμμετρίας του κρυστάλλου. Στην ίδια πλευρά και στη συνέχεια των κρυσταλλογραφικών συλλογών, υπάρχει ειδικό αφιέρωμα στο ηφαίστειο της Σαντορίνης με πλούσιο φωτογραφικό υλικό, που συνοδεύεται από σχετικά κείμενα και δείγματα (https://www.geol.uoa.gr/el/tmima/moyseia/moyseio_oryktologias_kai_petrologias/).

3.3 Η Διδακτική προσέγγιση

Η διδακτική παρέμβαση που έλαβε χώρα σχεδιάστηκε στα πλαίσια της εργασίας, ώστε να συμβαδίζει με την έρευνα που έγινε και παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο. Ο σχεδιασμός και η διενέργεια της παρέμβασης αναφέρεται στα ακόλουθα βήματα.

Βήμα 1^ο

Το αρχικό βήμα της παρέμβασης αφορούσε στην ενημέρωση των μαθητών για την εκδρομή, τις δράσεις που θα λάμβαναν χώρα καθώς και τον τρόπο διενέργειας της έρευνας που ακολούθησε. Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε στο βήμα αυτό ήταν διπλή.

Αφενός, η συγγράφουσα πραγματοποίησε ετοίμασε και έκανε μια σύντομη παρουσίαση την ώρα του μαθήματος στους μαθητές που θα συμμετείχαν στην εκδρομή του μουσείου. Η παρουσίαση αφορούσε αναφορά στο μουσείο, πριν την εκδρομή, βασικών ιδιοτήτων των ορυκτών και υπενθύμιση βασικών εννοιών που υπήρχαν στην ύλη του μαθήματος. Μετά την παρουσίαση ακολούθησε σχετική συζήτηση με τους μαθητές για την επίλυση πιθανών αποριών που αφορούσαν στην παρέμβαση στο μουσείο. Παράλληλα, από τους μαθητές ζητήθηκε να συνεργαστούν ως ομάδα για την καταγραφή πιθανών ερωτημάτων που θα μπορούσαν να θέσουν κατά την επίσκεψη στο μουσείο, στους ξεναγούς που θα είχαν την ευθύνη για τις αντίστοιχες δράσεις. Η παρουσίαση ενημέρωσης των μαθητών παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α της παρούσης.

Βήμα 2^ο

Το δεύτερο βήμα της παρέμβασης αφορούσε στην επίσκεψη στο μουσείο. Με στόχο την κάλυψη των αναγκών της έρευνας που αφορούσε στην εξακρίβωση της αξίας της χρήσης των επισκέψεων σε μουσεία και εν γένει της άτυπης μάθησης για την κάλυψη κενών στην παραδιδόμενη ύλη αλλά και την σύνδεση αυτής, οι μαθητές χωρίστηκαν σε δύο ομάδες. Η μια ομάδα πέραν της τυπικής ξενάγησης στο μουσείο και της επακόλουθης διάλεξης από τον ξεναγό για τα ορυκτά, την αξία και την χρήση τους, έλαβε μέρος και σε διαδραστική δράση (παιχνίδι) που αφορούσε στη σύνδεση των ορυκτών με αντικείμενα από την καθημερινή ζωή στα οποία αυτά απαντώνται. Η δεύτερη ομάδα παρακολούθησε μόνο το τυπικό πρόγραμμα της ξενάγησης και της διάλεξης. Οι εικόνες 7-13 παρουσιάζουν στιγμές από την επίσκεψη στο μουσείο και το διαδραστικό παιχνίδι που έλαβε μέρος η πρώτη ομάδα μαθητών.



Εικόνα 8 Ομάδα μαθητών κατά την ώρα της διάλεξης στο μουσείο



Εικόνα 9 Εκθέματα που παρουσιάστηκαν κατά την επίσκεψη



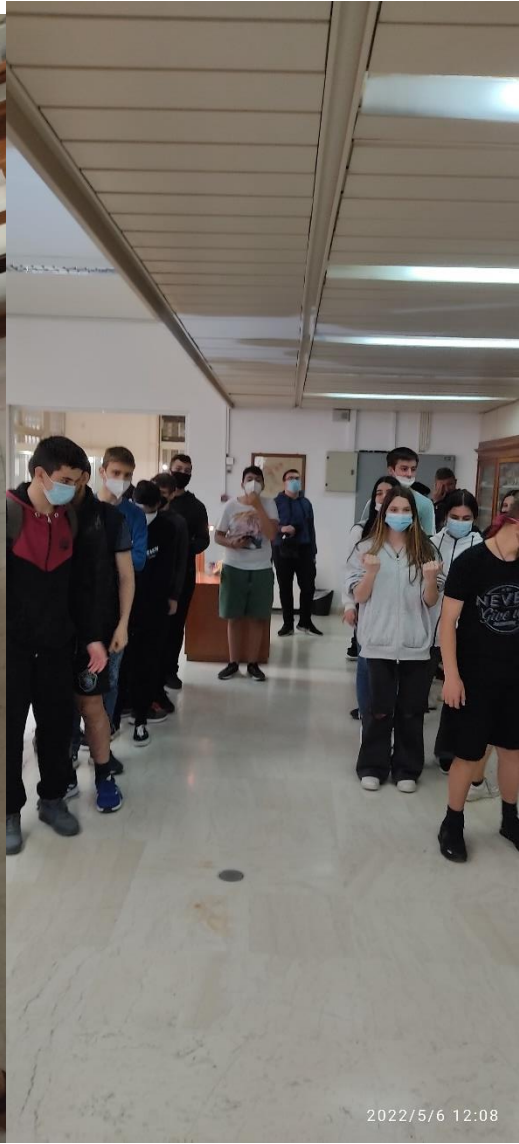
Εικόνα 10 Εκθέματα που παρουσιάστηκαν κατά την επίσκεψη



Εικόνα 11 Εκθέματα που παρουσιάστηκαν κατά την επίσκεψη



Εικόνα 12 Εκθέματα που παρουσιάστηκαν κατά την επίσκεψη



Εικόνα 13 Προετοιμασία για το διαδραστικό παιχνίδι με την αντίστοιχη ομάδα μαθητών



Εικόνα 14 Αντιστοίχιση υλικών με τα αντικείμενα της πραγματικής ζωής στο διαδραστικό παιχνίδι

Βήμα 3^ο

Το τρίτο βήμα αφορούσε στη συνέχιση της δράσης μετά την επίσκεψη στο μουσείο. Έλαβε χώρα εντός της σχολικής ώρας κα αφορούσε στη συζήτηση με τους μαθητές για την επίσκεψη, την καταγραφή αντιλήψεων και σκέψεων για αυτή, καθώς και στη συμπλήρωση ενός ερωτηματολογίου εν είδει «εξέτασης» των γνώσεων που έλαβαν κατά την επίσκεψη στο μουσείο που εμπίπτει στα πλαίσια της έρευνας που περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο.

Περιορισμοί και δυσκολίες :

- Μειωμένος αριθμός επισκεπτών στο μουσείο λόγω της πανδημίας COVID 19.
- Η συγγράφουσα δεν ήταν η εκπαιδευτικός των παιδιών που έλαβαν μέρος στα τρία βήματα της εκπαιδευτικής παρέμβασης.
- Το ωρολόγιο πρόγραμμα της Β Γυμνασίου περιλαμβάνει μόνο μία ώρα διδασκαλίας για το μάθημα της Χημείας.

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΈΡΕΥΝΑΣ

Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σε σχέση με την χρήση του μουσείου ως χώρο και πηγή άτυπης μάθησης, ανέδειξε τόσο την δυναμική που έχουν τα μουσεία όσο και την ιδιαίτερη σημασία που έχουν ως προς αυτό. Πέραν του σχεδιασμού κατάλληλης παρέμβασης μεταξύ των μαθητών γυμνασίου στο θέμα που εστίασε η παρούσα εργασία, ήτοι τα ορυκτά, ερευνητικό στόχο της εργασίας αποτελεί αφενός ο καθορισμός και η μέτρηση της δυνατότητας χρήσης του μουσείου ως χώρο άτυπης μάθησης, με την εξέταση των απόψεων των άμεσα εμπλεκόμενων σε αυτό (των μαθητών) και αφετέρου, η εξέταση του κατά πόσο η χρήση διαδραστικών παρεμβάσεων παράλληλα με την επίσκεψη στο μουσείο, μπορεί να αποδώσει καλύτερα/βέλτιστα εκπαιδευτικά αποτελέσματα.

4.1 Ερευνητικά ερωτήματα

Με βάση τους ερευνητικούς στόχους της εργασίας, καθώς και τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης που παρουσιάστηκε, τα ερευνητικά ερωτήματα μπορούν να συνοψισθούν ως κάτωθι:

Ποια είναι η σημασία του μουσείου ως μαθησιακό περιβάλλον κατά την άποψη των μαθητών;

Η χρήση διαδραστικών δράσεων στα μουσεία μπορεί να αποδώσει καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα από την τυπική επίσκεψη σε αυτά;

4.2 Σχεδιασμός έρευνας

Με βάση τα ερευνητικά ερωτήματα, η έρευνα που σχεδιάστηκε και έλαβε χώρα διεξήχθη σε δύο επίπεδα. Το πρώτο επίπεδο αφορούσε στην έρευνα μεταξύ των μαθητών-επισκεπτών στο μουσείο που αποτέλεσε και την μελέτη περίπτωσης της παρούσας εργασίας, ήτοι Μουσείο Ορυκτολογίας και Πετρολογίας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Η έρευνα στο επίπεδο αυτό είχε σαν στόχο την συγκέντρωση δεδομένων από αρκετά μεγάλο δείγμα μαθητών, τα οποία θα επέτρεπαν μετά την ανάλυση τους την απάντηση στο πρώτο ερευνητικό ερώτημα της εργασίας.

Αντίστοιχα, η έρευνα στο δεύτερο επίπεδο, ήταν πιο στοχοθετημένη και αφορούσε αποκλειστικά στην ομάδα των μαθητών από το σχολείο της συγγράφουσας που έλαβαν μέρος στην εκπαιδευτική παρέμβαση που σχεδιάστηκε και τέθηκε σε εφαρμογή στα πλαίσια της εργασίας. Η έρευνα στο επίπεδο αυτό αφορούσε στην συγκέντρωση δεδομένων μεταξύ των μελών της ομάδα που θα επέτρεπαν μέσω της ανάλυσης τους την απάντηση στο δεύτερο ερευνητικό ερώτημα της εργασίας.

4.3 Πληθυσμός στόχος και μεθοδολογία συγκέντρωσης δεδομένων

Ως πληθυσμός στόχος της έρευνας στο πρώτο επίπεδο αυτής, αναγνωρίστηκαν οι μαθητές/τριες που επισκέπτονται το εξεταζόμενο μουσείο, ανεξαρτήτως του εάν

παρακολουθούν κάποιες παρεμβάσεις διαδραστικού χαρακτήρα ή όχι. Τα δεδομένα στο επίπεδο αυτό συγκεντρώθηκαν με τη συμβολή των υπευθύνων του μουσείου, και την χρήση αυτοσυμπληρούμενου δομημένου εργαλείου έρευνας. Το εργαλείο έρευνας παραδόθηκε στο μουσείο σε ικανή ποσότητα και ζητήθηκε από τους υπευθύνους να προτείνουν τη συμπλήρωση του από μαθητές που επισκέπτονται το μουσείο σε αντίστοιχες εκπαιδευτικές εκδρομές.

Αντίστοιχα, σε σχέση με το δεύτερο επίπεδο έρευνας, ως πληθυσμός στόχος αναγνωρίστηκε αποκλειστικά η ομάδα από το σχολείο της συγγράφου που την συνόδευσε στην επίσκεψη στο μουσείο. Τα δεδομένα της έρευνας συγκεντρώθηκαν με την συμπλήρωση από τους μαθητές/τριες ενός σύντομου τεστ γνώσεων που συνδέονταν με τις πληροφορίες που έλαβαν στο μουσείο.

4.4 Εργαλεία έρευνας

Το εργαλείο έρευνας που αφορούσε στην συγκέντρωση δεδομένων από τους μαθητές επισκέπτες του μουσείου αποτελούσαν από δύο μέρη. Το πρώτο μέρος περιελάμβανε το εισαγωγικό μήνυμα που πληροφορούσε για τους στόχους της εργασίας και των δεδομένων που θα συγκεντρωθούν, και τα ερωτήματα συγκέντρωσης δημογραφικών δεδομένων των συμμετεχόντων/ουσών. Το δεύτερο μέρος περιελάμβανε σειρά 25 ερωτημάτων της κλίμακας Museum-CLES (M-CLES) (Bamberger & Tal, 2009) που αφορούσαν στην αξιολόγηση του μουσείου ως μαθησιακό περιβάλλον. Τα ερωτήματα απαντώνται με την χρήση πενταβάθμιας κλίμακα Likert με εύρος «*Διαφωνώ πλήρως*» (1) έως και «*Συμφωνώ πλήρως*» (2). Το Museum Constructivist Learning Environment Survey (M-CLES), αποτελεί προσαρμογή του Constructivist Learning Environment Survey (Fraser, 1998a). Το Constructivist Learning Environment Survey (CLES) (Taylor, Fraser & Fisher, 1997) εστιάζει σε ιδέες όπως η προσωπική συνάφεια, η διαπραγμάτευση των μαθητών και η κριτική φωνή των μαθητών προσαρμόστηκε για χρήση σε χώρους μουσείων. Η αρχική έκδοση του CLES βασίζεται σε μια θεωρία του κονστρουκτιβισμού που τονίζει τον βασικό ρόλο των στοχαστικών διαδικασιών και της διαπροσωπικής διαπραγμάτευσης που δημιουργούν νόημα (Taylor et al., 1997). Κάθε κλίμακα του CLES σχεδιάστηκε για να λαμβάνει μέτρα για τις αντιλήψεις των μαθητών για τη συχνότητα εμφάνισης πέντε βασικών διαστάσεων ενός κριτικού κονστρουκτιβιστικού μαθησιακού περιβάλλοντος: προσωπική συνάφεια, αβεβαιότητα της επιστήμης, κριτική φωνή, κοινός έλεγχος και διαπραγμάτευση μαθητή. Οι διαφορετικές εκδόσεις του CLES περιέχουν από 20 έως και 36 στοιχεία διατεταγμένα σε πέντε κλίμακες (Fraser, 1998b; Johnson & McClure, 2004; Taylor et al., 1997). Η τελική έκδοση του Μουσείου-CLES (M-CLES) μετά την παράλειψη των άσχετων στοιχείων από την αρχική έρευνα και την προσθήκη της νέας κλίμακας αποτελείται από 25 στοιχεία σύμφωνα με τις ακόλουθες κλίμακες: Συνάφεια προγράμματος σπουδών (4 στοιχεία), Προσωπική συνάφεια (6 στοιχεία), Αβεβαιότητα της επιστήμης (5 στοιχεία), Κριτική φωνή (4 στοιχεία), Διαπραγμάτευση (αλληλεπίδραση μαθητή-μαθητή, αλληλεπίδραση μαθητή-οδηγού) (6 στοιχεία).

Το εργαλείο που αφορούσε στο δεύτερο επίπεδο της έρευνας περιελάμβανε συνολικά 13 ερωτήματα που «εξετάζαν» την κατανόηση και συγκράτηση των πληροφοριών που οι συμμετέχοντες/ουσες μαθητές έλαβαν στο μουσείο. Τα εργαλεία, χωρίστηκαν σε δύο

ομάδες ανάλογα με το αν ο/η μαθητής/τρια είχαν παρακολουθήσει την διαδραστική δράση στο μουσείο ή όχι ώστε να υπάρξει σύγκριση απαντήσεων.

Τα εργαλεία έρευνας παρουσιάζονται στα παραρτήματα Γ και Δ αντίστοιχα της παρούσης.

4.5 Ηθική και δεοντολογία έρευνας

Σε σχέση με την Ηθική Δεοντολογία της έρευνας, αρχικά εξασφαλίστηκε η έγκριση της διεύθυνσης του σχολείου για την εφαρμογή της διδακτικής παρέμβασης, της επίσκεψης στο μουσείο και της διερεύνησης της έρευνας. Επίσης εξασφαλίστηκε η σύμφωνη γνώμη των υπευθύνων του μουσείου για την διενέργεια της έρευνας καθώς και η βοήθεια τους στην συγκέντρωση των δεδομένων που αφορούσαν σε αυτή. Τέλος εξασφαλίστηκε μέσω ενημερωτικού σημειώματος και η έγκριση των γονέων για τη συμμετοχή των μαθητών/τριών στην επίσκεψη αλλά και στην έρευνα. Σε σχέση με τους συμμετέχοντες μαθητές στο πρώτο επίπεδο έρευνας, εξασφαλίστηκε η πλήρης ανωνυμία αυτών καθώς δεν ζητήθηκαν προσωπικά στοιχεία, πέραν της ηλικίας του φύλου και της βαθμίδας εκπαίδευσης.

Σε κάθε συμμετέχοντα/ουσα εξηγήθηκε με εισαγωγικό σημείωμα ο σκοπός της έρευνας, ο τρόπος που θα χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα που αυτός θα έδινε με τη συμμετοχή του και τη συμπλήρωση του ερωτηματολογίου. Η συμπλήρωση του ερωτηματολογίου έλαβε χώρα απρόσκοπτα, χωρίς την παρουσία της υπογράφουσας πλησίον των συμμετεχόντων ώστε να μην υπάρχει καμία αίσθηση επηρεασμού.

4.6 Μέθοδοι επεξεργασίας δεδομένων

Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από την ανάπτυξη της έρευνας, αναλύθηκαν στατιστικά με την χρήση της πλατφόρμας IBM SPSS v.23.0. Η ανάλυση αφορούσε τόσο στην περιγραφική στατιστική (συχνότητες, μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις), όσο και στην επαγωγική στατιστική ανάλυση τους. Η επαγωγική στατιστική ανάλυση περιελάμβανε σειρά στατιστικών δοκιμών, όπως ανάλυση διακύμανσης (ANOVA), σύγκριση μέσων όρων (Independent sample t-test), έλεγχο συσχετίσεων καθώς και έλεγχο εσωτερικής αξιοπιστίας σε κάθε τμήμα του εργαλείου έρευνας μέσω του υπολογισμού του δείκτη Cronbach's α .

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΈΡΕΥΝΑΣ

5.1 Το μουσείο ως μαθησιακό περιβάλλον (1^ο επίπεδο έρευνας)

5.1.1 Δημογραφικά χαρακτηριστικά

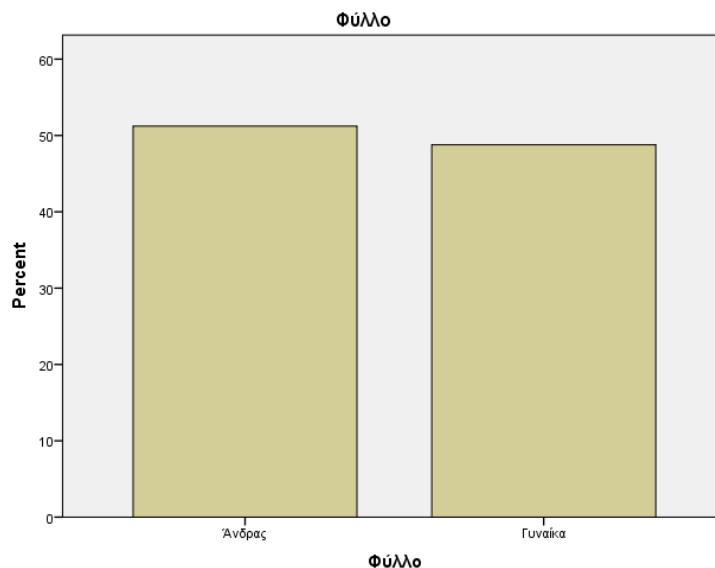
Το συνολικό δείγμα που έλαβε μέρος στο πρώτο επίπεδο έρευνας αποτελείτο από συνολικά 82 μαθητές/τριες επισκέπτες/τριες του εξεταζόμενου μουσείου. Τα δημογραφικά στοιχεία που εξετάστηκαν αφορούσαν στο φύλο, την ηλικία και την βαθμίδα εκπαίδευσης.

- Φύλο

Σε σχέση με το φύλο το δείγμα είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο μεταξύ των δύο φύλων. Το δείγμα αποτελείτο από ελαφρά περισσότερα αγόρια (42 αναφορές ήτοι 51,2% του συνόλου), ενώ τα κορίτσια ήταν 40 (ήτοι 48,8% του συνόλου). Τα σχετικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 1 και γραφικά στο διάγραμμα 1.

Πίνακας 1 Κατανομή δείγματος με βάση το φύλο

	Συχνότητ α	Ποσοστ ό	Αποδεκτό Ποσοστό	Αθροιστικό Ποσοστό
Αγόρι	42	51.2	51.2	51.2
Κορίτσι	40	48.8	48.8	100.0
Σύνολο	82	100.0	100.0	



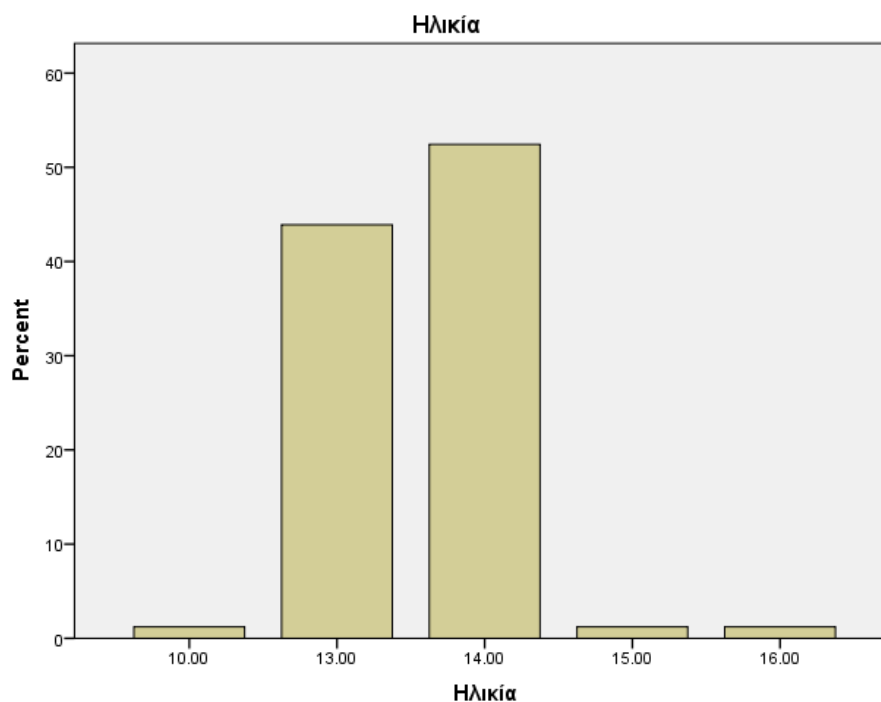
Διάγραμμα 1 Γραφική αναπαράσταση της κατανομής του δείγματος με βάση το φύλο

- Ηλικία

Σε σχέση με την ηλικία η πλειοψηφία του δείγματος ανήκει στην ηλικιακή ομάδα των 14 ετών (43 αναφορές ήτοι 52,4% του συνόλου), ενώ η αμέσως επόμενη πιο συχνά αναφερόμενη ηλικιακή ομάδα είναι αυτή των 13 ετών (43,9% του συνόλου). Από μια αναφορά έχουν οι ηλικιακές ομάδες των 10, 15 και 16 ετών αντίστοιχα (1,2% του συνόλου εκάστη). Τα σχετικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 2 και γραφικά στο διάγραμμα 2. Ο μέσος όρος ηλικίας του δείγματος είναι τα 13,55 έτη.

Πίνακας 2 Κατανομή δείγματος με βάση την ηλικία

	<i>Συχνότητα</i> <i>α</i>	<i>Ποσοστό</i> <i>ό</i>	<i>Αποδεκτό</i> <i>Ποσοστό</i>	<i>Αθροιστικό</i> <i>Ποσοστό</i>
10.00	1	1.2	1.2	1.2
13.00	36	43.9	43.9	45.1
14.00	43	52.4	52.4	97.6
15.00	1	1.2	1.2	98.8
16.00	1	1.2	1.2	100.0
Σύνολο	82	100.0	100.0	



Διάγραμμα 2 Γραφική αναπαράσταση της κατανομής του δείγματος με βάση την ηλικία

- Βαθμίδα εκπαίδευσης

Σε σχέση με την βαθμίδα εκπαίδευσης προέκυψε ότι όλοι/ες οι μαθητές/τριες που έλαβαν μέρος στην έρευνα ήταν μαθητές/τριες γυμνασίου (100%). Κατά συνέπεια, η συγκεκριμένη δημογραφική μεταβλητή δεν θα εξεταστεί στα επόμενα.

5.1.2 Κλίμακες αξιολόγησης μουσείου ως μαθησιακό περιβάλλον M-CLES

Αρχικά η εσωτερική αξιοπιστία των απαντήσεων του δείγματος ελέγχθηκε με τον υπολογισμό του δείκτη Cronbach's alpha. Όπως παρουσιάζεται και στον πίνακα 3, ο δείκτης για το σύνολο των απαντήσεων που περιλαμβάνει το τμήμα του εργαλείου έρευνας προκύπτει 0.883 που αναδεικνύει ένα σημαντικό επίπεδο εσωτερικής αξιοπιστίας. Περαιτέρω διερεύνηση για την μεταβολή του δείκτη από την πιθανή αφαίρεση ερωτημάτων οδηγεί σε μεταβολή της τιμής στο εύρος ± 0.005 και κατά συνέπεια δεν απαιτείται η αφαίρεση ερωτημάτων για την ανάλυση του μέρους αυτού του ερωτηματολογίου.

Πίνακας 3 Υπολογισμός δείκτη εσωτερικής αξιοπιστίας των απαντήσεων του δείγματος

Cronbach's Alpha	N of Items
.883	25

Οι επιμέρους άξονες της κλίμακας M-CLES εξετάστηκαν αρχικά ξεχωριστά τόσο περιγραφικά όσο και επαγωγικά, ενώ η συνολική βαθμολογία εξετάστηκε στο τέλος σε

σχέση με τις αντίστοιχες τιμές των επιμέρους αξόνων (επίσης τόσο περιγραφικά όσο και επαγωγικά).

• **Συνάφεια προγράμματος σπουδών**

Ο άξονας αυτός διερευνά το κατά πόσο οι πληροφορίες που έλαβαν οι μαθητές/τριες στο μουσείο συνάδουν με την ύλη που διδάσκονται κατά το πρόγραμμα σπουδών της τυπικής εκπαίδευσης που λαμβάνουν. Η τελική τιμή του άξονα οδηγείται από τέσσερα ερωτήματα από τα 25 του εργαλείου έρευνας. Τα σχετικά αποτελέσματα της περιγραφικής στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων τόσο του άξονα όσο και των επιμέρους στοιχείων παρουσιάζονται στον πίνακα 4.

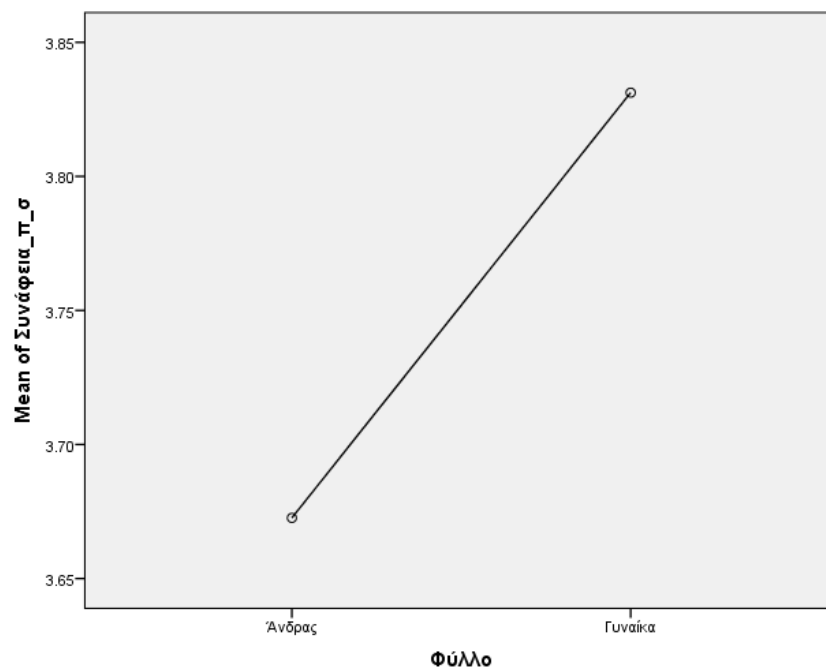
Πίνακας 4 Αποτελέσματα περιγραφικής ανάλυσης του άξονα Συνάφεια προγράμματος σπουδών

	<i>N</i>	<i>Ελάχιστο</i>	<i>Μέγιστο</i>	<i>Μ. Όρος</i>	<i>Τυπ. Απόκλιση</i>
<i>Συνάφεια προγράμματος σπουδών</i>	82	2.25	4.75	3.7500	.56656
<i>Μαθαίνω πράγματα που συνδέονται με θέματα που μαθαίνω στο σχολείο</i>	82	2.00	5.00	3.8659	.76598
<i>Μαθαίνω πώς η επιστήμη μπορεί να με βοηθήσει στις μελλοντικές μου σπουδές</i>	82	2.00	5.00	3.7683	.87910
<i>Καταλαβαίνω καλύτερα πράγματα που μαθαίνω στο σχολείο</i>	82	1.00	5.00	3.5732	1.13345
<i>Δεν υπάρχει σχέση με αυτά που μαθαίνω στο σχολείο</i>	82	1.00	5.00	2.2195	1.07754

Όπως είναι εμφανές από τα αποτελέσματα που παρουσιάζει ο πίνακας 4, οι μαθητές/τριες που συμμετείχαν στην έρευνα έχουν μια σχετικά θετική στάση όσο αφορά στην σύνδεση των πληροφοριών που έλαβαν στο μουσείο σε σχέση με την ύλη που διδάσκονται (Μ.Ο. 3,75). Η τιμή του μέσου όρου είναι κοντά στο 4 (που θα υποδήλωνε μια σαφώς θετική απάντηση), ωστόσο απέχει σε ένα βαθμό από αυτή. Παράλληλα είναι εμφανές ένα σημαντικό επίπεδο συμφωνίας του δείγματος ως προς την τιμή του μέσου όρου, δεδομένης της ιδιαίτερα μικρής τιμής της τυπικής απόκλισης (Τ.Α. 0,56656). Εν γένει, εξετάζοντας τους μέσους όρους των απαντήσεων στα ερωτήματα που συνθέτουν τον άξονα προκύπτει ότι η τελική τιμή του μέσου όρου που προκύπτει είναι αναμενόμενη, καθώς όλα τα επιμέρους ερωτήματα έχουν μέσους όρους που είναι σχετικά θετικοί (μεταξύ του 3 και του 4 πλησιάζοντας το τελευταίο)². Εν γένει προκύπτει ότι οι μαθητές που επισκέφτηκαν το μουσείο βρήκαν ότι οι πληροφορίες που έλαβαν από την επίσκεψη έχουν μια σχετική σύνδεση με την σχολική ύλη αλλά όχι σε σημαντικό βαθμό.

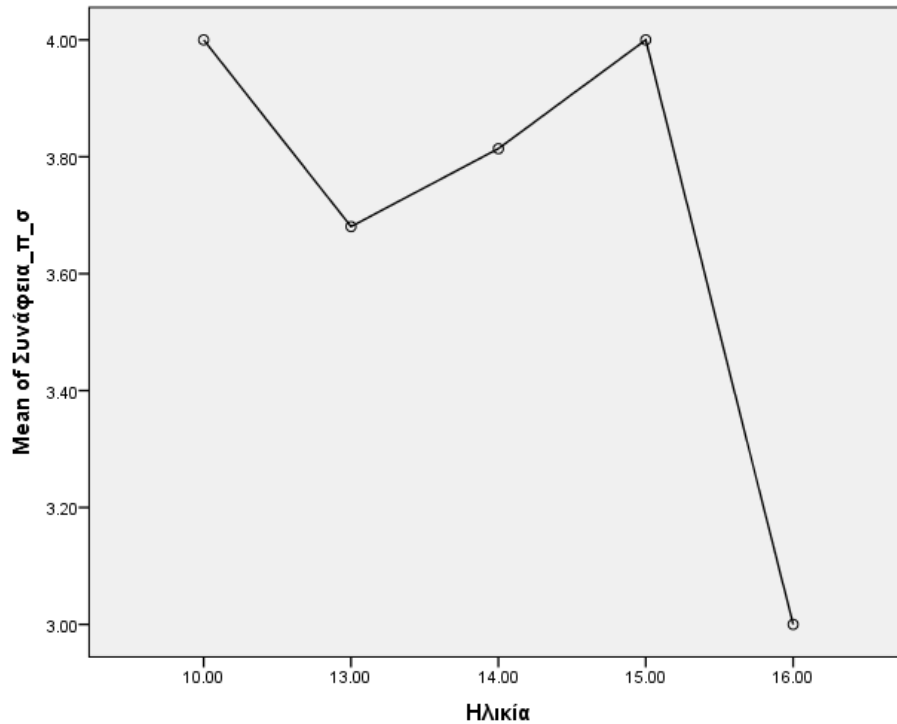
² Σημειώνεται ότι το τελευταίο ερώτημα έχει αρνητικό πρόσημο και συνεπώς εξετάζεται ανάποδα καθώς η θετική απάντηση σε αυτό είναι το 1 και όχι το 5).

Εξετάζοντας περαιτέρω τις απαντήσεις του δείγματος μέσω της διενέργειας της δοκιμής διακύμανσης για τις δημογραφικές μεταβλητές του φύλλου και της ηλικίας, προέκυψε ότι οι μαθήτριες εν γένει δίνουν περισσότερο θετικές απαντήσεις από τους μαθητές στο ερώτημα, αλλά όχι σε επίπεδο που να είναι στατιστικά σημαντικό ($F=1.618$, $p=0.207>0.05$, διάγραμμα 3).



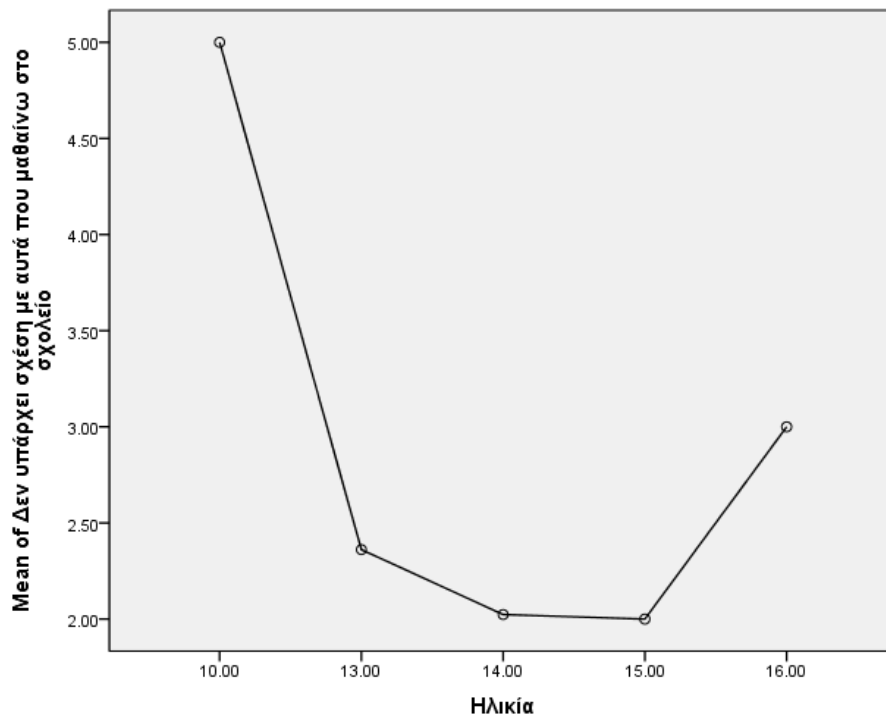
Διάγραμμα 3 Διακύμανση μέσω των όρων των δύο φύλων όσον αφορά στον πρώτο άξονα

Αντίστοιχα σε σχέση με την ηλικία, παρατηρείται ότι σχεδόν όλες οι ηλικιακές ομάδες παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά σε σχέση με την τελική τιμή των επιμέρους μέσω των όρων σε σχέση με τον πρώτο άξονα (διάγραμμα 4).



Διάγραμμα 4 Διακύμανση μέσων όρων των ηλικιών όσον αφορά στον πρώτο άξονα

Ωστόσο διαπιστώθηκε μια στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση των μέσων όρων των ηλικιακών ομάδων σε σχέση με τις απαντήσεις στο τελευταίο (αρνητικό) ερώτημα του άξονα αυτού ($F=2.489$, $p=0.05=0.05$, διάγραμμα 5). Προκύπτει, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5, ότι οι κυρίαρχες ηλικιακές ομάδες απαντούν σημαντικά διαφορετικά τόσο σε σχέση με τις άλλες όσο και μεταξύ τους, με αυτή των 14 ετών να έχει σαφώς πιο θετική αντίδραση από τις άλλες.



Διάγραμμα 5 Διακύμανση μέσων όρων των ηλικιών όσον αφορά στο τελευταίο ερώτημα του πρώτου άξονα

• Προσωπική συνάφεια

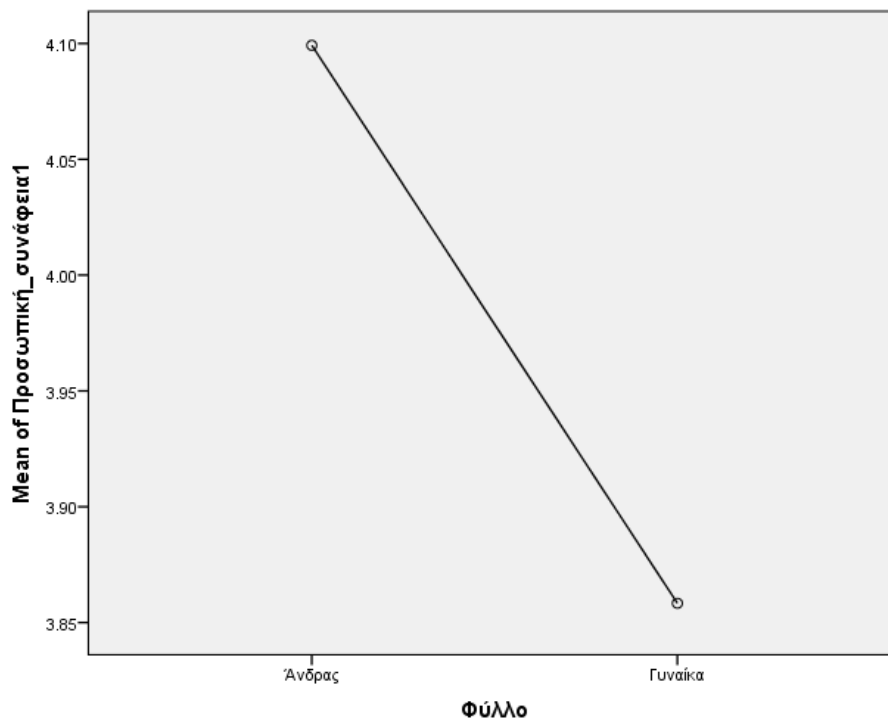
Ο άξονας αυτός εξετάζει το επίπεδο στο οποίο οι πληροφορίες που λαμβάνουν οι μαθητές/τριες στο μουσείο προκαλούν το προσωπικό τους ενδιαφέρον. Η τιμή του μέσου όρου του άξονα προκύπτει από αυτές έξι ερωτημάτων του εργαλείου έρευνας. Τα σχετικά αποτελέσματα της περιγραφικής στατιστικής ανάλυσης παρουσιάζονται στον πίνακα 5.

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα του πίνακα 5, εν γένει το δείγμα αποδίδει θετικό πρόσημο όσον αφορά στο ενδιαφέρον που του προκάλεσε για τα ορυκτά η επίσκεψη στο μουσείο (Μ.Ο. 3,9817). Το επίπεδο συμφωνίας του δείγματος ως προς αυτό είναι επίσης αποδεκτό όπως τονίζεται από την τιμή της τυπικής απόκλισης (Τ.Α. 1,07631). Όπως προκύπτει από τα επιμέρους δεδομένα για τα υπόλοιπα ερωτήματα, το θετικό αυτό πρόσημο συνολικά οδηγείται από τις πολύ θετικές απαντήσεις στα ερωτήματα «Έμαθα για τον κόσμο των ορυκτών» (Μ.Ο. 4,1463), «Έμαθα πως η επιστήμη μπορεί να είναι μέρος της ζωής» (Μ.Ο. 3,9390) και «Έμαθα ενδιαφέροντα πράγματα για τον κόσμο» (Μ.Ο. 4,6707). Εν γένει προκύπτει ότι η επίσκεψη στο μουσείο κατάφερε να κεντρίσει τον ενδιαφέρον των μαθητών και να αποδώσει πληροφορίες που κρίθηκαν θετικά σε σχέση με την προσωπική τους εμπειρία και γνώση.

Πίνακας 5 Αποτελέσματα περιγραφικής ανάλυσης του άξονα Προσωπική συνάφεια

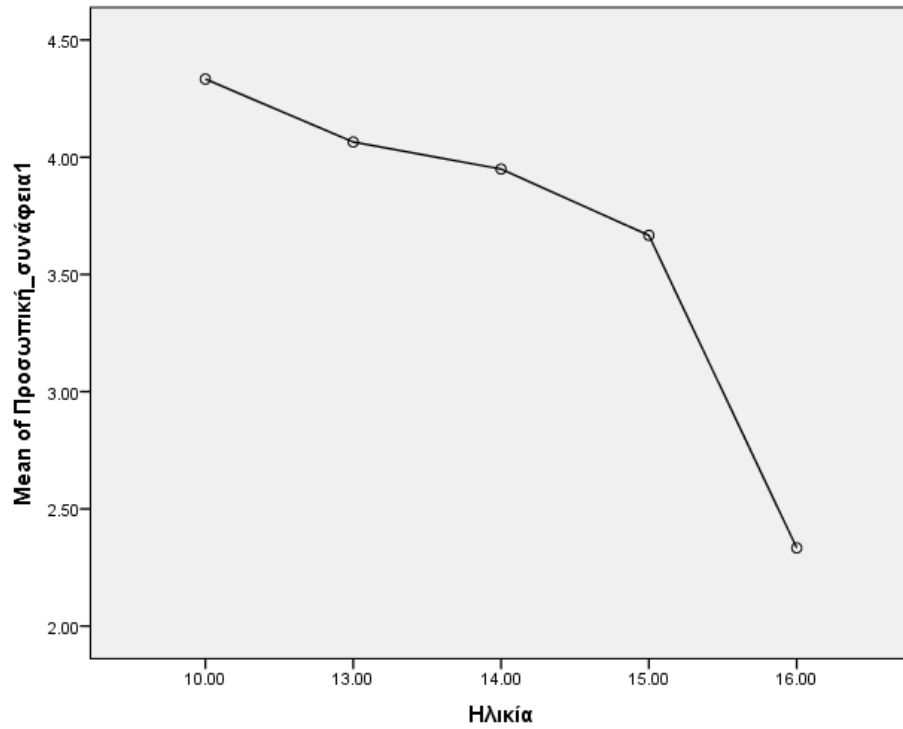
	<i>N</i>	<i>Ελάχιστο</i>	<i>Μέγιστο</i>	<i>Μ. Όρος</i>	<i>Τυπ. Απόκλιση</i>
<i>Προσωπική συνάφεια</i>	82	2.33	12.17	3.9817	1.07631
<i>Έμαθα για τον κόσμο των ορυκτών</i>	82	1.00	5.00	4.1463	1.00765
<i>Τα εκθέματα μου έδωσαν κίνητρο να μελετήσω περισσότερο</i>	82	1.00	13.00	3.5122	1.53353
<i>Έμαθα πώς η επιστήμη μπορεί να είναι μέρος της ζωής</i>	82	1.00	5.00	3.9390	.83662
<i>Απέκτησα μια καλύτερη κατανόηση του κόσμου</i>	82	1.00	5.00	3.7683	.94671
<i>Έμαθα ενδιαφέροντα πράγματα για τον κόσμο</i>	82	1.00	56.00	4.6707	5.83953
<i>Δεν υπάρχει σχέση μεταξύ αυτού που έμαθα στο μουσείο και του πραγματικού κόσμου</i>	82	1.00	5.00	2.1463	1.22849

Η επαγωγική στατιστική ανάλυση των δεδομένων απέδωσε μια διαφοροποίηση σε σχέση με το φύλο στην τιμή του μέσου όρου του δείκτη, με τους μαθητές να απαντούν περισσότερο θετικά απ' ό,τι οι μαθήτριες, ωστόσο η σχετική διαφορά που προκύπτει δεν είναι στατιστικά σημαντική ($F=1.026$, $p=0.314 > 0.05$, διάγραμμα 6)



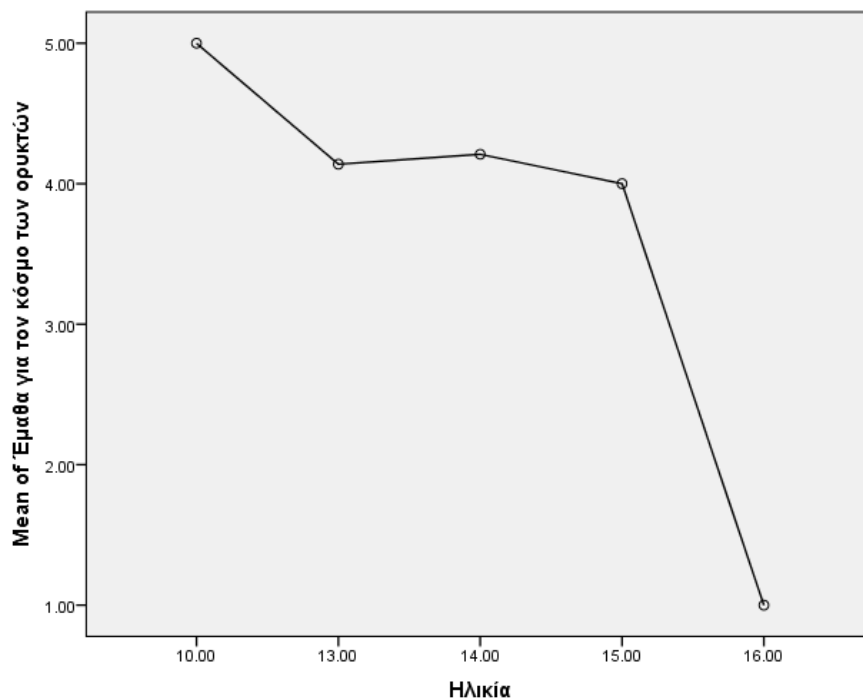
Διάγραμμα 6 Διακύμανση μέσω των δύο φύλων όσον αφορά στον δεύτερο άξονα

Αντίστοιχα σε σχέση με την ηλικία, παρατηρείται ότι σχεδόν όλες οι ηλικιακές ομάδες παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά σε σχέση με την τελική τιμή των επιμέρους μέσω των άξων σε σχέση με τον δεύτερο άξονα (διάγραμμα 7).

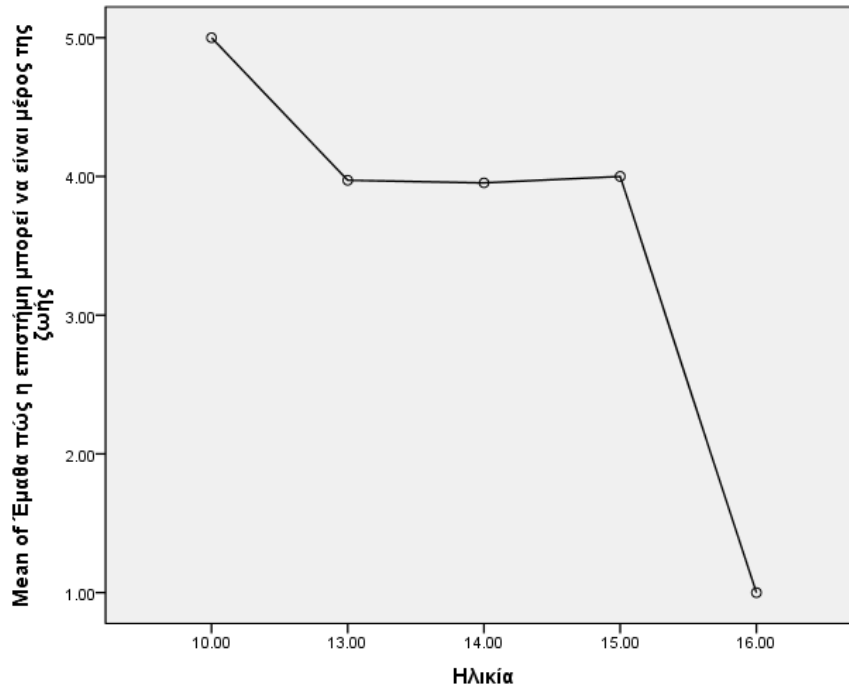


Διάγραμμα 7 Διακύμανση μέσων όρων των ηλικιών όσον αφορά στον δεύτερο άξονα

Ωστόσο διαπιστώθηκε μια στατιστικά σημαντική διαφοροποίηση των μέσων όρων των ηλικιακών ομάδων σε σχέση με τις απαντήσεις στο δεύτερο και το τέταρτο ερώτημα του άξονα αυτού ($F=2.917$, $p=0.027<0.05$, διάγραμμα 8 και $=4.031$, $p=0.005<0.05$, διάγραμμα 9).



Διάγραμμα 8 Διακύμανση μέσων όρων των ηλικιών όσον αφορά στο δεύτερο ερώτημα του δεύτερου άξονα



Διάγραμμα 9 Διακύμανση μέσω των όρων των ηλικιών όσον αφορά στο τέταρτο ερώτημα του δεύτερου άξονα

• **Αβεβαιότητα της επιστήμης**

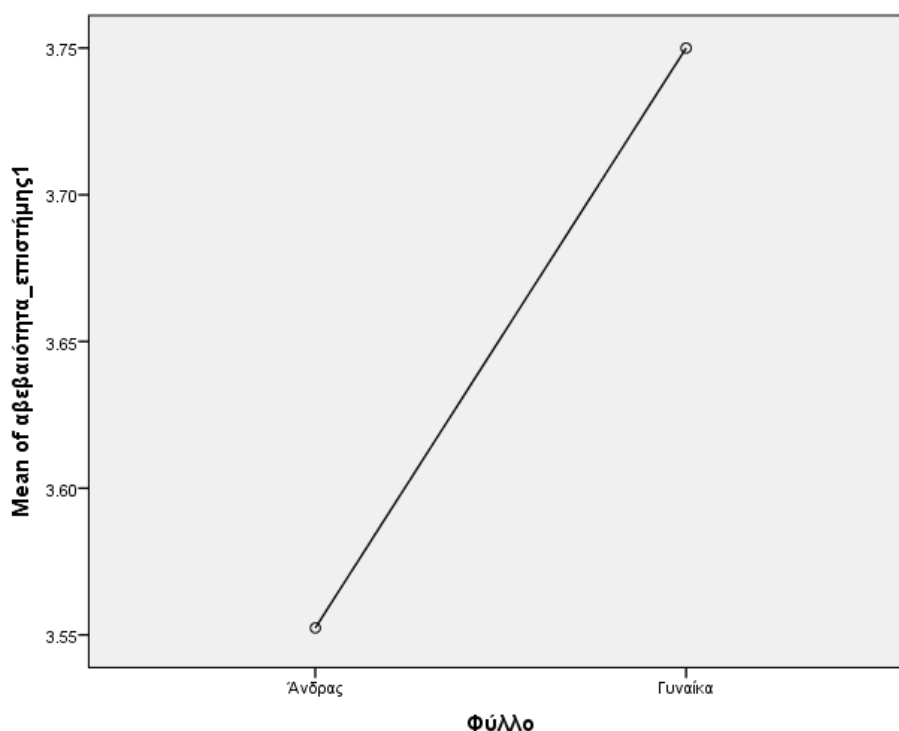
Ο άξονας αυτός διερευνά την άποψη που σχημάτισαν οι μαθητές για την επιστήμη (του αντίστοιχου πεδίου) μετά την επίσκεψη στο μουσείο (εν προκειμένω της Χημείας και της Ορυκτολογίας). Η τιμή του μέσου όρου του άξονα προκύπτει από αυτές των πέντε ερωτημάτων του εργαλείου έρευνας. Τα σχετικά αποτελέσματα της περιγραφικής στατιστικής ανάλυσης παρουσιάζονται στον πίνακα 6.

Πίνακας 6 Αποτελέσματα περιγραφικής ανάλυσης του άξονα Αβεβαιότητα Επιστήμης

	N	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μ. Όρος	Τυπ. Απόκλιση
Αβεβαιότητα επιστήμης	82	1.40	11.60	3.6488	1.08027
Έμαθα ότι η επιστήμη έχει αλλάξει με τον καιρό	82	1.00	5.00	3.9146	.89168
Έμαθα ότι η επιστήμη επηρεάζεται από τις αξίες και τις απόψεις των ανθρώπων	82	1.00	5.00	3.1951	1.07081
Έμαθα ότι διαφορετικές επιστήμες χρησιμοποιούνται από ανθρώπους σε άλλους πολιτισμούς	82	1.00	5.00	3.5854	.99320
Έμαθα ότι η σύγχρονη επιστήμη είναι διαφορετική από την επιστήμη του παρελθόντος	82	1.00	45.00	4.3293	4.63229
Έμαθα ότι η επιστήμη είναι να εφευρίσκει θεωρίες	82	1.00	5.00	3.2195	1.04260

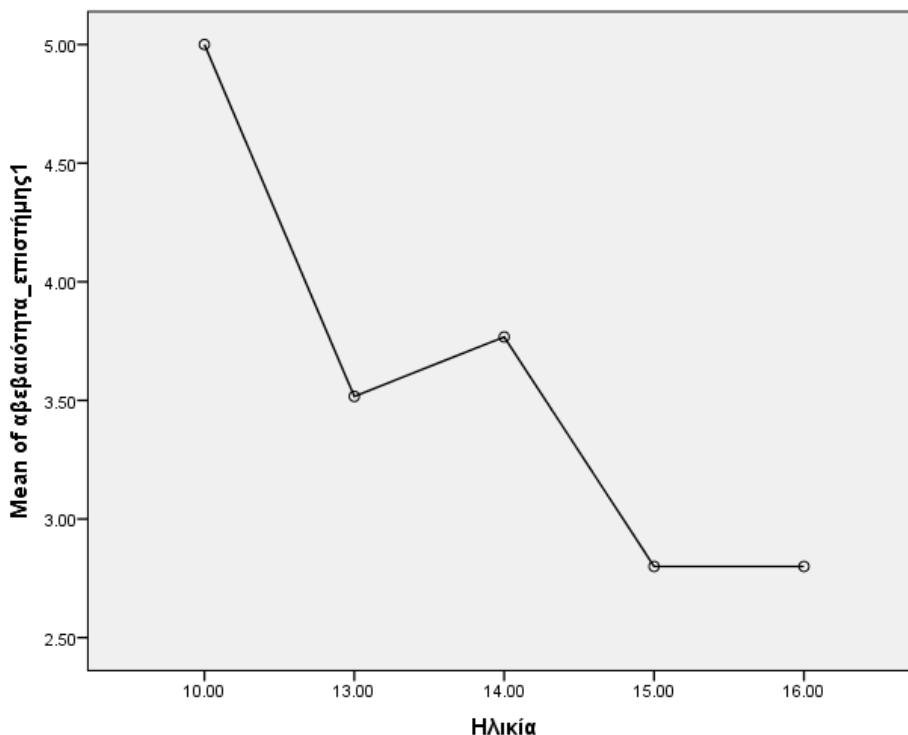
Εν γένει με βάση τα δεδομένα του πίνακα 6 προκύπτει ότι το δείγμα έχει μια ουδέτερη με ελαφρώς θετικό πρόσημο στάση σε σχέση με το τί έμαθε για την επιστήμη του αντίστοιχου πεδίου (Μ.Ο. 3,6488) με ένα ικανό επίπεδο συμφωνίας ως προς αυτό (Τ.Α. 1,08027). Είναι εμφανές ότι υπάρχει θετική αντίδραση σε ορισμένα ερωτήματα όπως το γεγονός ότι η επιστήμη έχει αλλάξει με τον καιρό (Μ.Ο. 3,9146) και το ότι η σύγχρονη επιστήμη είναι διαφορετική από την επιστήμη του παρελθόντος (Μ.Ο. 4,3293) γεγονός αναμενόμενο καθώς τα δύο ερωτήματα έχουν υψηλό επίπεδο συνάφειας. Ωστόσο το δείγμα έχει μια ιδιαίτερα ουδέτερη στάση σε σχέση με το ότι η επιστήμη επηρεάζεται από τις αξίες και απόψεις των ανθρώπων (Μ.Ο. 3,1951) και το γεγονός ότι η επιστήμη εφευρίσκει θεωρίες (Μ.Ο. 3,2195). Το πρώτο εύρημα μπορεί να θεωρηθεί θετικό εν γένει καθώς αντικατοπτρίζει την ανεξαρτησία της επιστήμης σε κάποιο βαθμό από τις ισχύουσες αντιλήψεις, ωστόσο το δεύτερο είναι μια αρνητική σχετικά παράμετρος, που πιθανώς να οφείλεται στο ότι δεν αναφέρθηκαν σχετικές θεωρίες κατά την επίσκεψη στο μουσείο.

Η επαγωγική στατιστική ανάλυση των δεδομένων απέδωσε μια διαφοροποίηση σε σχέση με το φύλο στην τιμή του μέσου όρου του δείκτη, με τις μαθήτριες να απαντούν περισσότερο θετικά απ' ό,τι οι μαθητές, ωστόσο η σχετική διαφορά που προκύπτει δεν είναι στατιστικά σημαντική ($F=0,683$, $p=0.411 > 0.05$, διάγραμμα 10)



Διάγραμμα 10 Διακύμανση μέσων όρων των δύο φύλων όσον αφορά στον τρίτο άξονα

Αντίστοιχα σε σχέση με την ηλικία, παρατηρείται ότι σχεδόν όλες οι ηλικιακές ομάδες παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά σε σχέση με την τελική τιμή των επιμέρους μέσων όρων σε σχέση με τον τρίτο άξονα (διάγραμμα 11).



Διάγραμμα 11 Διακύμανση μέσων όρων των ηλικιών όσον αφορά στον δεύτερο άξονα

• Κριτική φωνή

Ο άξονας αυτός διερευνά την άποψη των μαθητών/τριών σε σχέση με το τι είναι αποδεκτό στην επίσκεψη στο μουσείο και στο κατά πόσο τους επιτρεπόταν ένα σχετικό επίπεδο αυτονομίας όσον αφορά στο τι παρακολουθούσαν ή συμμετείχαν στην επίσκεψη. Η τιμή του μέσου όρου του άξονα προκύπτει από αυτές των τεσσάρων ερωτημάτων του εργαλείου έρευνας. Τα σχετικά αποτελέσματα της περιγραφικής στατιστικής ανάλυσης παρουσιάζονται στον πίνακα 7.

Πίνακας 7 Αποτελέσματα περιγραφικής ανάλυσης του άξονα Κριτική φωνή

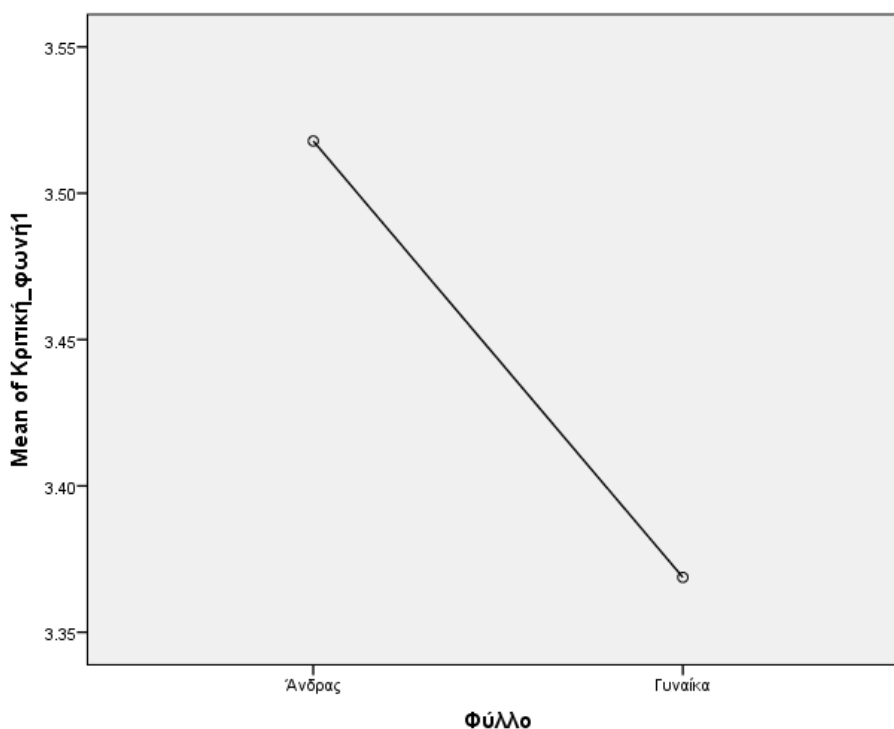
	N	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μ. Όρος	Τυπ. Απόκλιση
Κριτική_φωνή1	82	1.75	5.00	3.4451	.66321
Είναι αποδεκτό να ρωτάς "γιατί πρέπει να το μάθω αυτό;"	82	1.00	5.00	3.3780	1.09590
Είναι αποδεκτό να παραπονιέται κάποιος για δραστηριότητες που προκαλούν σύγχυση	82	1.00	5.00	3.5000	.98445
Επέλεξα μόνος/ή μου τις δραστηριότητες που κάνω	82	1.00	5.00	3.6951	1.14060

Επέλεξα μόνος/η μου τα αντικείμενα από τα οποία μαθαίνω

82	1.00	5.00	3.2073	1.22462
----	------	------	--------	---------

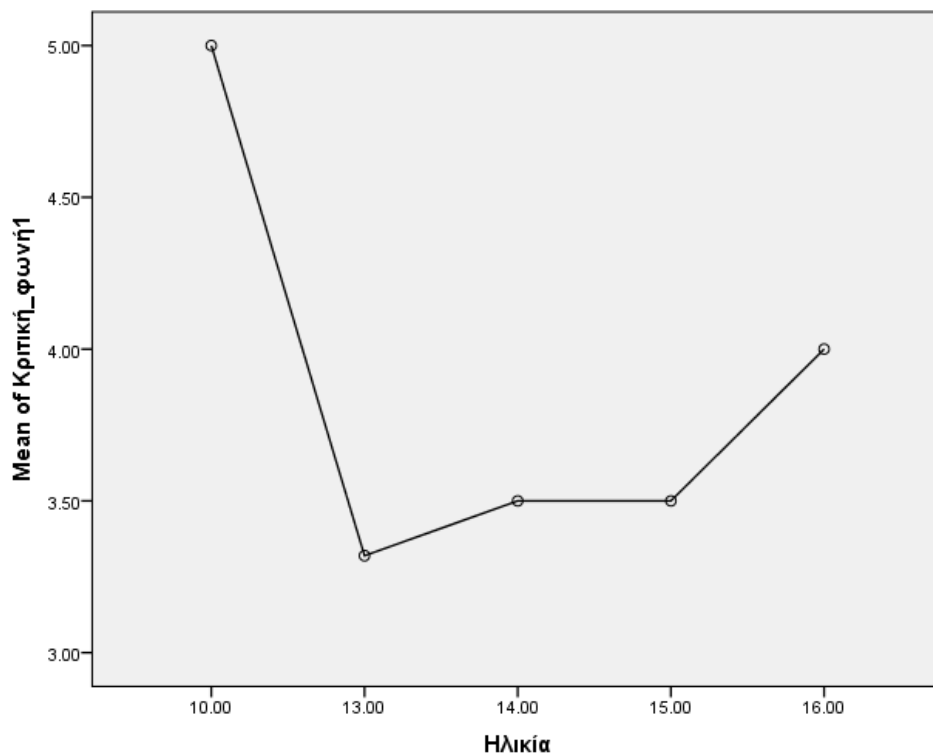
Τα αποτελέσματα του πίνακα 7 δείχνουν ότι το επίπεδο της «ανεξαρτησίας» που είχαν οι μαθητές/τριες κατά την επίσκεψη στο μουσείο κυμαινόταν σε σχετικά μέτρια επίπεδα (Μ.Ο. 3,4451) με ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά συμφωνίας ως προς αυτό (Τ.Α. 0,66321). Είναι εμφανές και από τις απαντήσεις στα επιμέρους ερωτήματα ότι το πρόγραμμα της επίσκεψης δεν επέτρεπε την εξερεύνηση του μουσείου, κάτι που εν μέρει μπορεί να θεωρηθεί αναμενόμενο (αλλά όχι απαραίτητα θετικό) κατά μια σχολική επίσκεψη.

Η επαγωγική στατιστική ανάλυση των δεδομένων απέδωσε μια διαφοροποίηση σε σχέση με το φύλο στην τιμή του μέσου όρου του δείκτη, με τους μαθητές να απαντούν περισσότερο θετικά απ' ό,τι οι μαθήτριες, ωστόσο η σχετική διαφορά που προκύπτει δεν είναι στατιστικά σημαντική ($F=1.036$, $p=0.312>0.05$, διάγραμμα 12)



Διάγραμμα 12 Διακύμανση μέσων όρων των δύο φύλων όσον αφορά στον τέταρτο άξονα

Αντίστοιχα σε σχέση με την ηλικία, παρατηρείται ότι σχεδόν όλες οι ηλικιακές ομάδες παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά σε σχέση με την τελική τιμή των επιμέρους μέσων όρων σε σχέση με τον τέταρτο άξονα (διάγραμμα 13).



Διάγραμμα 13 Διακύμανση μέσω των όρων των ηλικιών όσον αφορά στον δεύτερο άξονα
• Διαπραγμάτευση

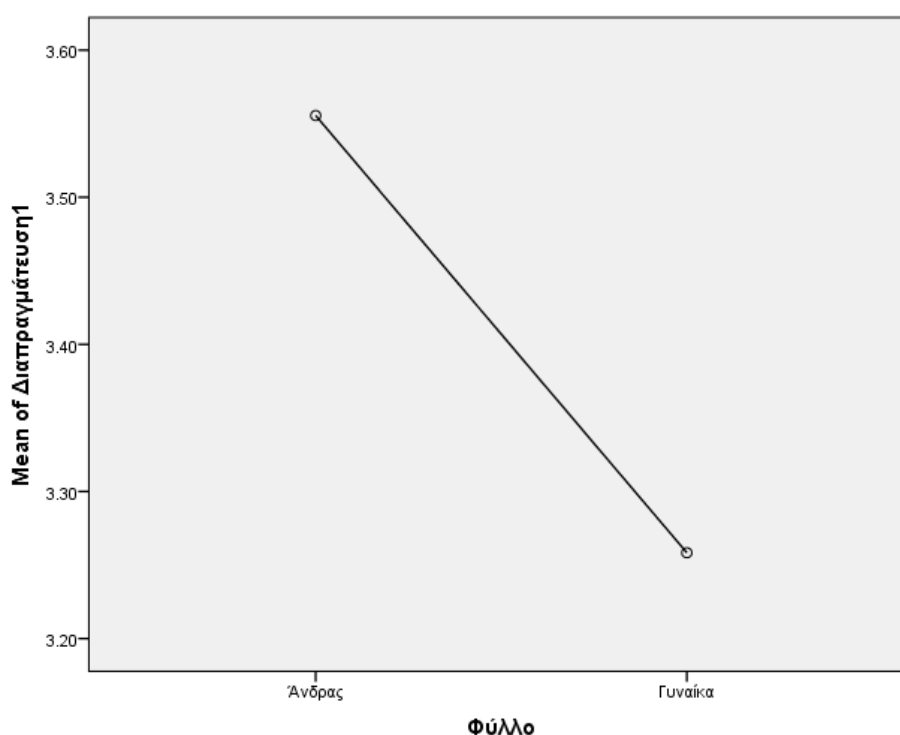
Ο τελευταίος επιμέρους άξονας του εργαλείου έρευνας εξετάζει τις απόψεις των μαθητών/τριών σε σχέση με τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ιδίων και των ομότιμών τους όσο και με τον οδηγό του μουσείου. Η τιμή του μέσου όρου του άξονα προκύπτει από έξι ερωτήματα του εργαλείου έρευνας. Τα σχετικά αποτελέσματα της περιγραφικής στατιστικής ανάλυσης παρουσιάζονται στον πίνακα 8.

Πίνακας 8 Αποτελέσματα περιγραφικής ανάλυσης του άξονα Διαπραγμάτευση

	N	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μ. Όρος	Τυπ. Απόκλιση
Διαπραγμάτευση1	82	1.33	5.00	3.4106	.83567
Είχα την ευκαιρία να μιλήσω με άλλους μαθητές	82	1.00	5.00	3.3415	1.34458
Μίλησα με άλλους μαθητές για τα θέματα που παρουσιάστηκαν	82	1.00	5.00	3.1585	1.37409
Εξήγησα ιδέες σε άλλους μαθητές	82	1.00	5.00	2.7683	1.18945
Άλλοι μαθητές μου εξήγησαν τις ιδέες τους	82	1.00	5.00	3.0244	1.28597
Ο/Η οδηγός απάντησε στις ερωτήσεις που έκανα κατά την περιήγηση	82	1.00	5.00	4.1098	1.04239
Ο/Η οδηγός απάντησε τις ερωτήσεις που έκανα κατά την/τις δραστηριότητα/τες	82	1.00	5.00	4.0610	1.10384

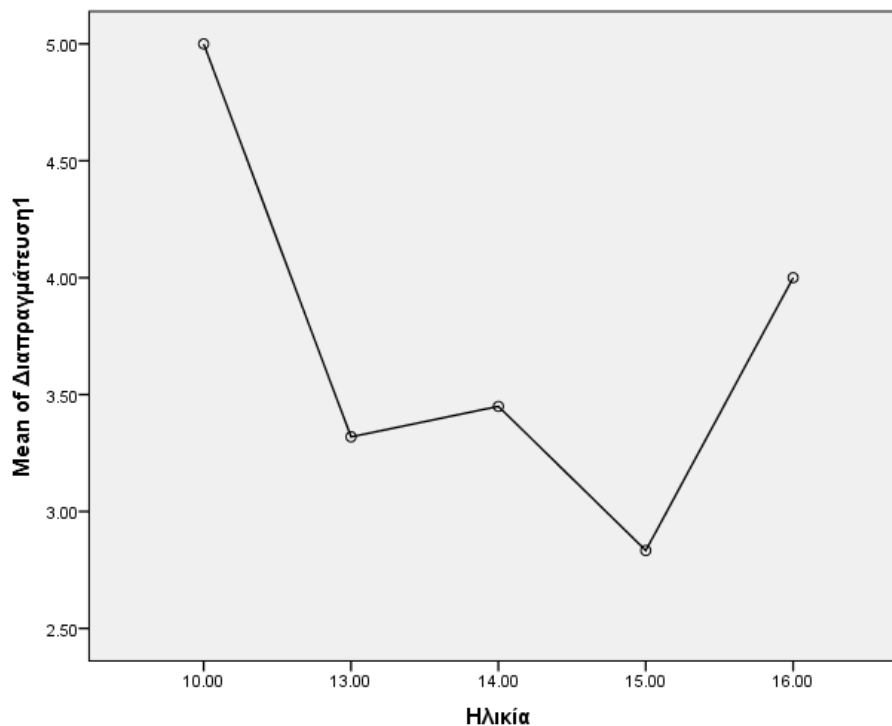
Εν γένει σε σχέση με τον εξεταζόμενο άξονα προκύπτει μια σχετικά ουδέτερη αξιολόγηση από το δείγμα (Μ.Ο. 3,4106) με σημαντικά επίπεδα συμφωνίας ως προς αυτό (Τ.Α. 0,83567). Ωστόσο τα αποτελέσματα των επιμέρους ερωτημάτων επιδεικνύουν μια σημαντική διαφοροποίηση. Οι μαθητές/τριες φαίνεται ότι δεν είχαν αρκετές δυνατότητες για την αλληλεπίδραση και συζήτηση με τους ομότιμους τους κατά την επίσκεψη όπως φαίνεται από τους μέτριους ή χαμηλούς μέσους όρους στα πρώτα 4 ερωτήματα του άξονα. Αντιθέτως, η αλληλεπίδραση με τον οδηγό κρίνεται ως ιδιαίτερως θετική όπως παρουσιάζεται στα τελευταία δύο ερωτήματα.

Η επαγωγική στατιστική ανάλυση των δεδομένων απέδωσε μια διαφοροποίηση σε σχέση με το φύλο στην τιμή του μέσου όρου του δείκτη, με τους μαθητές να απαντούν περισσότερο θετικά απ' ό,τι οι μαθήτριες, ωστόσο η σχετική διαφορά που προκύπτει δεν είναι στατιστικά σημαντική ($F=2,644$, $p=0.108 > 0.05$, διάγραμμα 14)



Διάγραμμα 14 Διακύμανση μέσων όρων των δύο φύλων όσον αφορά στον πέμπτο άξονα

Αντίστοιχα σε σχέση με την ηλικία, παρατηρείται ότι σχεδόν όλες οι ηλικιακές ομάδες παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά σε σχέση με την τελική τιμή των επιμέρους μέσων όρων σε σχέση με τον δεύτερο άξονα (διάγραμμα 15).



Διάγραμμα 15 Διακύμανση μέσω των όρων των ηλικιών όσον αφορά στον πέμπτο άξονα

- **Συνολική αξιολόγηση μουσείου ως μαθησιακό περιβάλλον**

Τα αποτελέσματα σε σχέση με την συνολική αξιολόγηση του μουσείου ως μαθησιακό περιβάλλον από το δείγμα σε αντιπαραβολή με τα αντίστοιχα αποτελέσματα των επιμέρους αξόνων παρουσιάζονται στον πίνακα 9.

Πίνακας 9 Αξιολόγηση μουσείων ως μαθησιακό περιβάλλον

	N	Ελάχιστο	Μέγιστο	Μ. Όρος	Τυπ. Απόκλιση
Συνάφεια_π_σ	82	2.25	4.75	3.7500	.56656
Διαπραγμάτευση	82	1.33	5.00	3.4106	.83567
Κριτική φωνή	82	1.75	5.00	3.4451	.66321
Αβεβαιότητα επιστήμης	82	1.40	11.60	3.6488	1.08027
Προσωπική συνάφεια	82	2.33	12.17	3.9817	1.07631
Ολικός_δείκτης	82	2.58	5.42	3.6478	.49172

Εν γένει, με βάση τα συνολικά αποτελέσματα των επιμέρους δεικτών το μουσείο αξιολογείται ελαφρώς θετικά ως μαθησιακό περιβάλλον από τους μαθητές/τριες που

έλαβαν μέρος στην έρευνας (Μ.Ο. 3,6478) με ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα συμφωνίας όπως παρουσιάζεται από την τυπική απόκλιση (Τ.Α. 0,49172).

5.2 Η χρήση διαδραστικών δράσεων στα μουσεία και η επίδραση στην μαθησιακή διαδικασία (2^ο επίπεδο έρευνας)

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας της έρευνας, το παρόν μέρος αυτής αφορούσε στην διενέργεια ενός ολιγόλεπτου τεστ σε σχέση με τις πληροφορίες που έλαβαν στο μουσείο τα δύο γκρουπ, εκείνο που έλαβε μέρος στη διαδραστική δράση και εκείνο που έκανε την τυπική επίσκεψη στο μουσείο. Στους πίνακες 10 και 11 που ακολουθούν παρουσιάζονται τα αντίστοιχα στοιχεία που προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων, όπου αριθμούνται τα συνολικά λάθη ανά ερώτημα και ανά ομάδα.

Πίνακας 10 Συνολικός αριθμός σφαλμάτων ανά ερώτημα για τα πρώτα 7 ερωτήματα του εργαλείου έρευνας

Ομάδα	Αριθμός μαθητών ν	Ερώτημα 1	Ερώτημα 2	Ερώτημα 3	Ερώτημα 4	Ερώτημα 5	Ερώτημα 6	Ερώτημα 7
Συμμετοχή σε διαδραστική δράση	20	0	0	1	0	0	1	0
Τυπική επίσκεψη	24	8	0	5	5	5	8	0
Σύνολο	44	8	0	6	5	5	9	0

Πίνακας 11 Συνολικός αριθμός σφαλμάτων ανά ερώτημα για τα υπόλοιπα ερωτήματα του εργαλείου έρευνας

Ομάδα	Αριθμός μαθητών	Ερώτημα 8	Ερώτημα 9	Ερώτημα 10	Ερώτημα 11	Ερώτημα 12	Ερώτημα 13
Συμμετοχή σε διαδραστική δράση	20	0	0	0	1	1	0
Τυπική επίσκεψη	24	2	0	2	6	7	1
Σύνολο	44	2	0	2	7	8	1

Η ανάλυση των απαντήσεων των μαθητών που έλαβαν μέρος στην έρευνα, όσον αφορά στις γνώσεις που απέκτησαν από την επίσκεψη στο μουσείο ανέδειξαν ένα σημαντικό αποτέλεσμα. Εν γένει και σχεδόν σε όλα (πλην ενός ερωτήματος), η ομάδα των μαθητών που έλαβε μέρος στο διαδραστικό παιχνίδι παρουσίασε σημαντικά μειωμένο αριθμό λαθών στα ερωτήματα του εργαλείου. Η ομάδα που ακολούθησε την τυπική επίσκεψη στο μουσείο παρουσίασε λάθη σχεδόν σε όλα τα ερωτήματα με τον αριθμό αυτών να είναι ιδιαίτερα σημαντικός στα ερωτήματα 1 (ίδιο με το διαδραστικό παιχνίδι) που αφορούσε στην αντιστοίχιση ορυκτών και αντικειμένων καθημερινότητας, στο ερώτημα 6 που

αφορούσε στα κυριότερα στοιχεία που απαντώνται σε μετεωρίτες και στο ερώτημα 12 που αφορούσε στη τοποθέτηση δύο ορυκτών στα όρια της κλίμακας σκληρότητας του Mohs. Το μόνο ερώτημα που καμία ομάδα δεν έκανε λάθος αφορούσε στη δυνατότητα πρόβλεψης μιας ηφαιστειακής έκρηξης.

Είναι σαφές ότι η χρήση διαδραστικών παιχνιδιών και δραστηριοτήτων εντός του χώρου του μουσείου μπορεί να αποδώσει σημαντικά σε σχέση με τη μάθηση των επισκεπτών.

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΕΡΩΤΗΜΑΤΩΝ

Με την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της έρευνας που έλαβε χώρα στα πλαίσια της εργασίας και της εκπαιδευτικής παρέμβασης αυτής, είναι πλέον δυνατή η εξέταση αυτών ως προς την απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων της εργασίας.

Αρχικά, και σε σχέση με την αξιολόγηση του μουσείου ως μαθησιακό περιβάλλον από τους/τις συμμετέχοντες/ουσες μαθητές/τριες, προκύπτει ότι αυτή είναι ουσιαστικά ουδέτερη. Οι μαθητές/τριες είναι σαφές ότι αντιλήφθηκαν την επίσκεψη στο μουσείο ως δομημένη και άμεσα συνδεδεμένη με την μάθηση τους. Παρά το γεγονός ότι τους κίνησε το ενδιαφέρον και εν γένει αξιολόγησαν ιδιαίτερα θετικά την αλληλεπίδραση τους με τον οδηγό του μουσείου η επίσκεψη τους «στέρησε» σειρά πτυχών που ενδεχόμενα να είναι αρκετά σημαντικές.

Αφενός, δεν υπήρξε, όπως καταγράφεται στα σχετικά δεδομένα, η δυνατότητα για τους μαθητές να μπορούν να συζητήσουν μεταξύ τους τις πληροφορίες που λάμβαναν και τις εντυπώσεις τους από τα ευρήματα. Μέρος της αξιοποίησης του μουσείου στα πλαίσια του κονστρουκτιβισμού αφορά στη δυνατότητα που έχουν οι μαθητές να «εξερευνούν» αυτά και να αλληλοεπιδρούν σε συζητήσεις και δράσεις μεταξύ τους⁴⁰. Η επίσκεψη στο μουσείο στα πλαίσια της εκπαιδευτικής διαδικασίας οφείλει να κάνει χρήση αυτού, υπό τον όρο ωστόσο ότι αυτό αποτελεί χώρο άτυπης μάθησης και όχι δομημένο περιβάλλον εκπαίδευσης όπου όλα έχουν ρυθμιστεί από τον εκπαιδευτικό ή/και το ίδιο το μουσείο⁶⁴. Εν γένει στα πλαίσια αυτά η επίσκεψη πρέπει να περιλαμβάνει εργασίες ή και ελεύθερη μετακίνηση των μαθητών στο μουσείο, αφήνοντας τους να επιλέξουν σε κάποιο βαθμό οι ίδιοι/ες τη διαδρομή τους μεταξύ των εκθεμάτων και των πληροφοριών που λαμβάνουν από αυτά.

Στην παρούσα περίπτωση επίσης έγινε εμφανές ότι παρά το γεγονός ότι οι συμμετέχοντες/ουσες βρήκαν πολύ ενδιαφέροντα από προσωπικής άποψης αυτά που είδαν ή άκουσαν κατά την επίσκεψη τους στο μουσείο, υπήρξε μια σχετική αδυναμία όσον αφορά τη σύνδεσή τους με τη διδακτέα ύλη από το σχολείο. Θεωρητικά, αυτό ενδεχόμενα να αποτελεί αποτέλεσμα της παρέμβασης που σχεδιάστηκε, ωστόσο, η παρακολούθηση της εισαγωγικής παρουσίασης και η μετέπειτα συζήτηση έδειξε ότι υπήρξε αρχικά αυτή η σύνδεση.

Επιπλέον κατέστη σαφές ότι σε σχέση με την επιστήμη της Ορυκτολογίας και της επιστήμης γενικότερα οι συμμετέχοντες/ουσες είχαν μια σχετικά θετική στάση. Διαπιστώθηκε ότι έμαθαν για τη μεταβολή και εξέλιξη της επιστήμης στο πέρασμα του χρόνου, καθώς και τη σχετική ανεξαρτησία της από τις επικρατούσες απόψεις ανά εποχή, ωστόσο δεν μπόρεσαν να συνδέσουν σαφώς την επιστήμη με τη βασική της λειτουργία, ήτοι την παραγωγή θεωριών. Η πρακτική προσέγγιση της επίσκεψης στο μουσείο ενδεχόμενα να ευθυνόταν εν μέρει για αυτό, καθώς αναζητήθηκε περισσότερο η σύνδεση των ορυκτών με την καθημερινότητα παρά με τη θεωρία.

Αντίθετα, σε σχέση με τη δυναμική της χρήσης διαδραστικών δράσεων και πρακτικών στα μουσεία για την ενίσχυση της μάθησης σε αυτά, τα σχετικά αποτελέσματα ήταν άκρως ενθαρρυντικά. Ο μειωμένος, κατά σημαντικό βαθμό, αριθμός σφαλμάτων που έκανε η

ομάδα των μαθητών που έλαβαν μέρος στη διαδραστική προσέγγιση σε σχέση με τους μαθητές που δεν έλαβαν μέρος σε αυτή αναδεικνύει τη χρησιμότητα όσο και τη σκοπιμότητα αυτών των δράσεων στη μάθηση στο μουσείο, ιδιαίτερα σε σχέση με το εξεταζόμενο πεδίο των ορυκτών. Το εύρημα αυτό συνάδει απόλυτα με τη σχετική θεωρία για την άτυπη μάθηση και τον κονστρουκτιβισμό στα μουσεία (Ebitz, 2005; Roberts, 1997; McCarthy et al., 2005; Weil, 2002). Εξετάζοντας τις επιμέρους ερωτήσεις και τις απαντήσεις των μαθητών προέκυψε ότι εν γένει οι συμμετέχοντες/ουσες στη διαδραστική δράση είχαν σαφώς καλύτερη αντίληψη για τη χρήση και ύπαρξη των ορυκτών στην καθημερινή ζωή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι όλοι/ες απάντησαν σωστά όσον αφορά την αντιστοίχιση των ορυκτών με αντικείμενα καθημερινής χρήσης, ενώ σε ερωτήματα πιο αμφίσημα, όπως το κατά πόσο είναι σωστό ότι ο άνθρωπος είναι φτιαγμένος από χώμα, έδειξαν σαφώς καλύτερη κατανόηση μετά την εμπειρία στην οποία υπεβλήθησαν.

7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η σημασία των μουσείων ως μέρη άτυπης μάθησης στα πλαίσια του κονστρουκτιβισμού καθώς και ο σχεδιασμός και εκτέλεση εκπαιδευτικής παρέμβασης σε μουσείο. Η εστίαση αφορούσε στα ορυκτά, τις ιδιότητες τους, τα χαρακτηριστικά τους και τις χρήσεις τους στην καθημερινότητα.

Τα αποτελέσματα της έρευνας που διεξήχθη απέδωσαν ενδιαφέροντα αποτελέσματα. Αφενός, η ίδια η παρέμβαση που σχεδιάστηκε και έλαβε χώρα αποτιμήθηκε θετικά από τους μαθητές. Αφετέρου, προέκυψε ότι η χρήση διαδραστικών πρακτικών και δράσεων στα μουσεία, όσον αφορά στην χρήση τους σαν περιβάλλοντα μάθησης είναι ιδιαίτερα σημαντική και χρήσιμη και μπορεί σε συνδυασμό με την τυπική επίσκεψη σε αυτά να αποδώσει καλύτερα όσον αφορά στη μαθησιακή διαδικασία.

Σε σχέση με τη χρήση του μουσείου ως μαθησιακό περιβάλλον τα αποτελέσματα της διερεύνησης των απόψεων των συμμετεχόντων μαθητών/τριών ήταν εν γένει θετική. Οι μαθητές/τριες βρήκαν αρκετά ενδιαφέροντα όσα είδαν και άκουσαν στο μουσείο ορυκτολογίας, ωστόσο, σημείωσαν ότι υπήρξε έλλειψη δυνατοτήτων για αλληλεπίδραση μεταξύ τους και συζήτηση των πληροφοριών που έλαβαν. Αντίστοιχα η αλληλεπίδραση με τους οδηγούς του μουσείου αξιολογήθηκε θετικά. Η σύνδεση των πληροφοριών που δόθηκαν κατά την επίσκεψη με την διδακτέα ύλη κατέστη δυνατή σε κάποιο βαθμό ωστόσο, υπάρχουν σαφή περιθώρια βελτίωσης ως προς αυτό.

Εν ολίγοις, η έρευνα κατέληξε ότι σε σχέση με τα ορυκτά, το μουσείο ως μαθησιακός χώρος μπορεί να βοηθήσει την εκπαιδευτική διαδικασία στο σχολείο και ως προς αυτό υπάρχει σημαντική δυναμική. Ωστόσο, απαιτείται συνεργασία εκπαιδευτικών και μουσείου με στόχο το βέλτιστο σχεδιασμό αντίστοιχων δράσεων.

7.1 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η ανάλυση των δεδομένων της έρευνας και η επακόλουθη απάντηση στα ερευνητικά ερωτήματα ανέδειξε την σημασία της αξιοποίησης των μουσείων ως χώρων άτυπης μάθησης με στόχο την ενδυνάμωση της διδασκαλίας στο χώρο του σχολείου και την καλύτερη κατανόηση της ύλης από τους εκπαιδευόμενους.

Όπως αναφέρθηκε και εισαγωγικά, η παρούσα εργασία επιχειρεί να καλύψει ένα κενό που υφίσταται στην αντίστοιχη ελληνική βιβλιογραφία σε σχέση με τη χρήση των μουσείων αλλά και στη διεθνή βιβλιογραφία, κυρίως σε ό,τι αφορά στη χρήση των μουσείων ως περιβάλλοντων μάθησης με εστίαση στο ζήτημα των ορυκτών. Τα ίδια τα ορυκτά εμπεριέχουν πολλά πεδία μελέτης και η Χημεία που κρύβεται τόσο κατά τις διεργασίες δημιουργίας τους, της δομής τους και των χρωμάτων τους αποτελεί πεδίο ευρύτερης έρευνας. Φυσικά υπάρχει μεγάλη δυσκολία ανάλυσης όλων αυτών από τους εκπαιδευτικούς στη Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Μια πρόταση θα ήταν η εύρεση έξυπνων τρόπων διδασκαλίας τέτοιων θεμάτων σε μαθητές Γυμνασίου.

Τα ιδιαίτερα ενθαρρυντικά ευρήματα αποτελούν σαφείς ενδείξεις ότι το εξεταζόμενο θέμα χρήζει επιπλέον έρευνας. Ως προς αυτό προτείνεται η διενέργεια αντίστοιχης έρευνας σε

μεγαλύτερα δείγματα, όχι απαραίτητα σε σχέση με τα ορυκτά, όπου εκπαιδευόμενοι θα συμμετέχουν σε αντίστοιχες δράσεις και διδακτικές παρεμβάσεις σε μουσεία και θα αξιολογείται τόσο η επίσκεψη τους σε αυτά όσο και η γνώση που αποκτήθηκε από αυτή.

Ένα άλλο αντικείμενο έρευνας θα μπορούσε να είναι οι γνώσεις και οι στάσεις των μαθητών ή και των εκπαιδευτικών έναντι στα έντονα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλεί η εξόρυξη των ορυκτών.(Π.χ. με επίσκεψη στο Βιοτεχνικό Πάρκο Λαυρίου).

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

- 1.AAM. (1984). *Museums for a new century*. Washington DC: AAM.
- 2.AAM. (1992). *Excellence and equity: Education and the public dimension of museums*. Washington, DC: AAM.
- 3.AAM. (2005). *Code of Ethics for Museums*,
- 4.AAM. (2006). *Museums working in public interest*.
- 5.Anderson, G. (2004). The role of public service: The evolution of exhibitions and programs. In G. Anderson (Ed.), *Reinventing the museums: Historical and contemporary perspectives on the paradigm shift* (pp. 189-191). Lanham, MD: AltaMira Press.
- 6.Bamberger, Y., & Tal, T. (2009). The learning environment of natural history museums: multiple ways to capture students' views. *Learning Environments Research*, 12, 115–129
- 7.Bawa, N., & Zubairu, S. (2015). Constructivism and classroom interaction. *International Journal of Modern Social Sciences*, 4(2), 71-81
- 8.Bergseid Ben-Haim, S. (2006). *Hands-on, mindful, and heartfelt learning: A model of the art museum*. Master's thesis, Minnesota State University, Moorhead, MN
- 9.Berry, N. W. (1998). A focus on art museum/school collaborations. *Art Education*, 51(2), 8-14.
- 10.Bitgood, S., Serrell, B., & Thompson, D. (1994). The impact of informal education on visitors to museums. In V. Crane (Ed.), *Informal science learning* (pp. 61- 106). Washington DC: Research Communications Ltd
- 11.Britannica, E. (2020). *Britannica concise encyclopedia*. Encyclopaedia Britannica, Inc..
- 12.Burchenal, M., & Grohe, M. (2007). Thinking through art: Transforming museum curriculum. *Journal of Museum Education*, 32(2), 111-122

13. Carmichael, R. S. (2017). *Practical handbook of physical properties of rocks and minerals*. CRC press.
14. Cuffaro, H. K. (1995). *Experimenting with the world: John Dewey and the early childhood classroom*. New York, NY: Teachers College Press
15. Dierking, L. D. (2002). The role of context in children's learning from objects and experiences. In S. G. Paris (Ed.), *Perspectives on object-centered learning in museums* (pp. 3 -18). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers
16. Dietrich, R. V., & Skinner, B. J. (1990). *Gems, granites, and gravels: knowing and using rocks and minerals*. Cambridge University Press.
17. Donald, J. G. (1991). The measurement of learning in the museum. *Canadian Journal of Education*, 16, 371-382
18. Duncan et al, 1995
19. Ebitz, D. (2005). Qualifications and the professional preparation and development of art museum educators. *Studies in Art Education*, 46(2), 150-169.
20. Efland, A. D. (1990). *A history of art education: Intellectual and social currents in teaching the visual arts*. New York, NY: Teachers College Press
21. Essa, K. S. (Ed.). (2019). *Minerals*. IntechOpen.
22. European Commission. (2007). *Science education NOW: A renewed pedagogy for the future of Europe*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
23. Falk, J. H., & Balling, J. D. (1982). The field trip milieu: Learning and behavior of a function of contextual events. *Journal of Educational Research*, 76(1), 22-28
24. Falk, J. H., & Dierking, L. D. (1992). *The museum experience*. Washington, DC: Whalesback Books
25. Falk, J. H., & Dierking, L. D. (2000). *Learning from museum: Visitor experiences and the making of meaning*. Walnut Creek, CA: AltaMira Press
26. Felton, M. K., & Kuhn, D. (2007). "How do I know?" The epistemological roots of critical thinking. *Journal of Museum Education*, 32(2), 101-110

27. Fosnot, C. T., & Perry, R. S. (2005). Constructivism: Psychological theory of learning. In Fosnot, C. T. (Ed.), *Constructivism: Theory, perspectives, and practice* (pp 8-38). New York, NY: Teachers College Press
28. Fraser, B. J. (1998a). Classroom environment instruments: Development, ity and application. *Learning Environments Research*, 1, 7 – 34
29. Griffin, J., & Symington, D. (1997). Moving from task-oriented to learning-oriented strategies on school excursions to museums. *Science Education*, 81(6), 763- 779.
30. Hein, G. E., & Alexander, M. (1998). *Museums: Places of learning*. Washington, DC: American Association of Museums
31. Hooper-Greenhill, E. (2000). *Museums and the interpretation of visual culture*. New York: Routledge
32. Johnson, B., & McClure, R. (2004). ity and reliability of a shortened, revised version of the Constructivist Learning Environment Survey (CLES). *Learning Environments Research*, 7, 65-80
33. Kamii, C., & Ewing, J. K. (1996). Basing technique on Piaget's constructivism, *Childhood Education*, 72(5), 260
34. Kavanagh, G. (1991). *Museum languages: Objects and texts*. Leicester, UK: Leicester University Press
35. Kisiel, J. F. (2003a). *Revealing teacher agendas: An examination of teacher motivations and strategies for conducting museum fieldtrips*. PhD Dissertation, University of Southern California, Los Angeles, CA
36. Kisiel, J. F. (2003b). Teachers, museums and worksheets: A closer look at a learning experience. *Journal of Science Teacher Education*, 14(1), 3-21
37. Kisiel, J. F. (2006a). An examination of fieldtrip strategies and their implementation within a natural history museum. *Science Education*, 90(3), 434-452
38. Kisiel, J. F. (2006b). Making field trips work. *Science Teacher*, 73(1), 46-48.
39. Kisiel, J. F. (2006c). More than lions and tigers and bears--Creating meaningful field trip lessons. *Science Activities*, 43(2), 7-10

40. Kotler, N. G., & Kotler, P. (1998). *Museum strategy and marketing: Designing missions, building audiences, generating revenue and resources* (1st ed.). San Francisco, CA: Jossey-Bass Publishers
41. Lawrence, M., & Tinkler, A. (2015). What can you learn about science in a natural history museum? *School Science Review*, 97(358), 61–66.
42. Lim, B. (2004). Aesthetic discourses in early childhood settings: Dewey, Steiner, Vygotsky. *Early Child Development and Care*, 174(5), 473-486.
43. Luke, J. J., Stein, J., Foutz, S., & Adams, M. (2007). Research to practice: Testing a tool for assessing critical thinking in art museum programs. *Journal of Museum Education*, 32(2), 123-136.
44. Lumley, R. (Ed.). (2010). *Fundamentals of aluminium metallurgy: production, processing and applications*. Elsevier.
45. Magnus, A. (1967). *The Book of Minerals*. Dalcassian Publishing Company.
46. Martin, L. M. (2004). An emerging research framework for studying informal learning and schools. *Science Education*, 88(1), S71–S82
47. McCarthy, K. F., Ondaatje, E., H., Brooks, A., & Szántó, A. (2005). *A portrait of the visual arts: Meeting the challenges of a new era*. Santa Monica, CA: RAND Corp.
48. Mui, M.S. (2010). Experiencing clay: Inquiry-based learning and assessment for learning. *Journal of Art & Design Education*, 29(3), 244-256
49. Natural History Museum, London. (2015). *Biodiversity: A public engagement literature review*. London: Author
50. Fosnot, C. T. (Eds.). (2005). *Constructivism: Theory, perspectives, and practice*. New York, NY: Teachers College Press
51. Pellant, C., & Pellant, H. (2021). *Rocks and minerals*. Dorling Kindersley Ltd.
52. Piaget, J. (1974). *Judgment and reasoning in the child*. Paterson, NJ: Littlefield, Adams & Company
53. Pierroux, P. (2003). Communicating art in museums: Language concepts in art education. *Journal of Museum Education*, 28(1), 3-8.

54. Pough, F. H. (1996). *A field guide to rocks and minerals*. Houghton Mifflin Harcourt.
55. Rice, W. B. (2008). *Rocks and minerals*. Capstone.
56. Roberts, L. C. (1997). *From knowledge to narrative: Educators and the changing museums*. Washington DC: Smithsonian Institution Press
57. Schmidt, H. G., Rotgans, J. I., & Yew, E. H. (2011). The process of problem-based learning: What works and why. *Medical Education*, (45), 792-806
58. Sheppard, B. (Ed.). (2000). *Building museum & school partnerships*. Harrisburg, PA: Pennsylvania Federation of Museums and Historical Organizations
59. SI & AAM. (1997). *Museums for the millennium*. Washington, DC: Smithsonian Institution & American Association of Museums.
60. Singer, D. G., & Revenson, T. A. (1997). *A Piaget primer: How a child thinks*. Madison, CT: International Universities Press
61. Skramstad, H. (1999). An agenda for American museums in the twenty-first century. *Daedalus*, 128(3), 109-128
62. Smith (1996). *Principles of Material Science and Engineering*, McGraw-Hill, Columbus, New York
63. Stocklmayer, S., Rennie, L., & Gilbert, J. (2010). The roles of the formal and informal sectors in the provision of effective science education. *Studies in Science Education*, 46(1), 1–44
64. Talboys, G. K. (2000). *Museum educator's handbook* (2nd ed.). Burlington, VT: Ashgate Publishing Company.
65. Taylor, P. C., Fraser, B. J., & Fisher, D. L. (1997). Monitoring constructivist classroom learning environments. *International Journal of Educational Research*, 27, 27, 293–302
66. Terrassa, J., Hubbard, O., Holtrop, E., & Higgins-Linder, M., (2016). *Impact of art museum programs on students: Literature review*. Alexandria, VA: National Art Education Association.
67. Thompson, C. M. (2015). Constructivism in art classroom: Praxis and policy. *Arts Education Policy Review*, 116(3), 118-127

68. Totten, G. E., & MacKenzie, D. S. (Eds.). (2003). *Handbook of aluminum: vol. 1: physical metallurgy and processes*. CRC press.
69. Tran, L. U. (2004). *Teaching science in museums*. Unpublished Dissertation, North Carolina State University, Raleigh, NC
70. Vanderstraeten, R. (2002). Dewey's transactional constructivism. *Journal of Philosophy of Education*, 36(2), 233-246
71. von Glasersfeld, E. (2005). Introduction: Aspects of constructivism. In Fosnot, C. T. (Ed.), *Constructivism: Theory, perspectives, and practice* (pp 3-7). New York, NY: Teachers College Press
72. Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press
73. Walker, C. L., & Shore, B. M. (2015). Understanding classroom roles in inquiry education: Linking role theory and social constructivism to the concept of role diversification. *Sage Open*, 5(4).
74. Weil, S. E. (2002). *Making museums matter*. Washington, DC: Smithsonian Institution Press
75. Wellington, J. (1990). Formal and informal learning in science: The role of interactive science centres. *Physics Education*, 25, 247–252
76. Wiggins, J. (2015). Constructivism, policy, and arts education. *Arts Education Policy Review*, 116(3), 155-159
77. Wolins, I. S. (2000). Learning theories in the museum setting. In B. Sheppard (Ed.), *Building museum and school partnerships* (pp. 33-42). Washington, DC: American Association of Museums, Pennsylvania Federation of Museums and Historical Organizations
78. Xanthoudaki, M. (1998). Is it always worth the trip: The contribution of museum and gallery educational programmes to classroom art education. *Cambridge Journal of Education*, 28(2), 181-195
79. Zeller, T. (1989). The historical and philosophical foundations of art museum education in America. In N. Berry & S. Mayer (Eds.), *Museum education: History, theory, and practice* (pp. 10-89). Reston, VA: National Art Education Association

80. Γεωργιάδης Ν. Γιώργος (2003). *Τα ορυκτά στη ζωή μας. Χρησιμότητα, Περιβάλλον, Προβλήματα*, Αθήνα, Εκδοτικός Οργανισμός Λιβάνη
81. ΦΛΩΡΑ ΠΑΠΑΡΟΥ ΧΗΜΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π. ΑΘΗΝΑ (ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2012)
Η αξιοποίηση της Ιστορίας και της Φιλοσοφίας της Επιστήμης στη διδασκαλία των Φυσικών Επιστημών: Διαμορφώνοντας δράσεις με κέντρο Ιστορικά Επιστημονικά Όργανα .

Παράρτημα Α Ενημερωτική παρουσίαση για την επίσκεψη στο μουσείο

ΕΠΙΣΚΕΨΗ ΣΤΟ ΜΟΥΣΕΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΚΠΑ

ΣΤΙΣ

6/5/2022

ΤΜΗΜΑΤΑ

B5 –B6



ΜΟΥΣΕΙΟ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ



ΣΗΜΑΝΤΙΚΑ ΕΤΗ : 1835 – 1979 - 2000

1^η Αίθουσα



Συλλογή αισθητικών ορυκτών σε επτά περίοπτες αυτόφωτες προθήκες.

2^η Αίθουσα

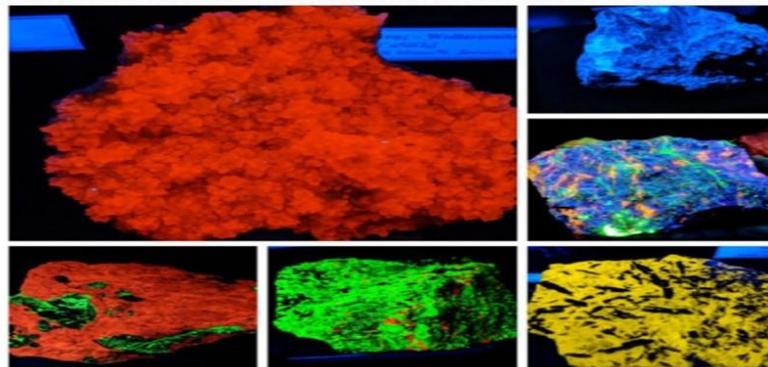


Προθήκες διδακτικού περιεχομένου, η ποικιλία των χρωμάτων των ορυκτών και θέσεις ορυκτολογικού ενδιαφέροντος στην Ελλάδα

3^η Αίθουσα



Προθήκες του 19ου αιώνα με τις συστηματικές συλλογές ορυκτών και πετρωμάτων. Στο κέντρο τέσσερις προθήκες φιλοξενούν πολύτιμους λίθους και διακοσμητικά αντικείμενα από ορυκτά



Σε ειδικό σκοτεινό θάλαμο βρίσκεται η πιο εντυπωσιακή ίσως προθήκη του Μουσείου, στην οποία εκτίθεται μια μεγάλη συλλογή, με φωσφορίζοντα και φθορίζοντα ορυκτά.

Τα ορυκτά και τα **πετρώματα** αποτελούν χημικές ενώσεις, στοιχεία και μορφολογικά αυτοτελείς δομικές μονάδες των γεωτεκτονικών ζωνών. Τα ορυκτά είναι πολύτιμα για τη μελέτη της γεωλογικής εξέλιξης της γης.

Οι ορυκτοί πόροι είναι συγκεντρώσεις ορυκτών ή πετρωμάτων, τα οποία δημιουργήθηκαν από γεωλογικές διεργασίες στο φλοιό της γης ή στην επιφάνειά της ή στο θαλάσσιο πυθμένα και έχουν ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά που δικαιολογούν οικονομικό ενδιαφέρον για χρήση τους στη βιομηχανία, το εμπόριο και γενικά σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Οι ορυκτοί πόροι αποτελούν ένα μέρος των φυσικών πόρων και σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία οι ορυκτές πρώτες ύλες ταξινομούνται σε δύο μεγάλες ομάδες:

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ



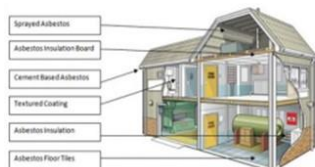
Τα ορυκτά βρίσκονται παντού γύρω μας, αγκαλιάζοντας την καθημερινότητα μας. Ωστόσο, η αξία τους δεν είναι τόσο αναγνωρίσιμη από το ευρύ κοινό. Μπορεί να μην το καταλαβαίνουμε αλλά ο καθένας από εμάς σε όλη τη διάρκεια της ζωής του θα χρησιμοποιήσει **έως και 400 τόνους ορυκτών**

(σύμφωνα με την HELLAS GOLD) στο σπίτι, στο γραφείο, στην καρέκλα που καθόμαστε αυτή τη στιγμή, στο αυτοκίνητο, στις τηλεοράσεις, στα φάρμακα και στα καλλυντικά, ακόμα και στην οδοντόκρεμα που βουρτσίσαμε τα δόντια μας σήμερα το πρωί. **Η χρήση των ορυκτών υλών είναι απαραίτητη** σήμερα για την **παραγωγή ενέργειας, τις βιομηχανίες φαρμάκων** και διατροφής, τα μέσα μεταφοράς, τη νοσηλευτική, τα έντυπα και ηλεκτρονικά μέσα ενημέρωσης, τις τεχνικές κατασκευές και γενικά ό,τι κάνει τη ζωή μας πιο άνετη. Σημειώνεται, ότι υπάρχουν μέταλλα και ορυκτά τα οποία χρησιμοποιούνται στην αντιμετώπιση **περιβαλλοντικών προβλημάτων** ή συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας των καλλιεργήσιμων εδαφών ή της ζωικής παραγωγής.

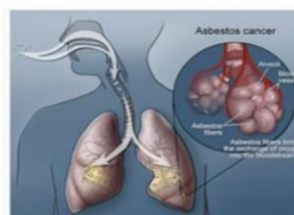
ΑΜΙΑΝΤΟΣ



Εικόνα 1: Ορυκτός λευκός αμιάντος (σερπεντίνης) πάνω σε [μοσχοβίτη](#)



Εικόνα 2: Χρήσεις του αμιάντου



Εικόνα 3: Βλάβες στους πνεύμονες

Ελπίζω να απολαύσετε την ξενάγησή σας στο μουσείο .

Παράρτημα Β Εργαλείο συγκέντρωσης δεδομένων πρώτου επιπέδου έρευνας

Μουσειακό Μαθησιακό Περιβάλλον – Ερωτηματολόγιο Επισκεπτών

Αγαπητέ/ή επισκέπτη/τρια,

Το παρόν ερωτηματολόγιο αποτελεί το εργαλείο συλλογής δεδομένων της έρευνας που διεξάγω στα πλαίσια της Διπλωματικής μου Εργασίας. Τα δεδομένα που θα συλλεχθούν θα αξιοποιηθούν για την ανάδειξη της δυνατότητας χρήσης των μουσείων εν γένει ως μαθησιακά περιβάλλοντα άτυπης μάθησης, παράλληλα με την τυπική μάθηση στα σχολεία. Η συμμετοχή σας στην συλλογή δεδομένων θα βοηθήσει πολύ στην ολοκλήρωση της έρευνας μου και θα ήμουν ευγνώμων αν μπορούσατε να αξιοποιήσετε περίπου πέντε λεπτά του χρόνου σας για να το συμπληρώσετε. ο ερωτηματολόγιο είναι πλήρως ανώνυμο, πέραν των βασικών δημογραφικών στοιχείων, και τα δεδομένα που θα συγκεντρωθούν θα αξιοποιηθούν αποκλειστικά για τις ανάγκες της έρευνας.

Σας Ευχαριστώ πολύ για την συμμετοχή σας
Βασιλική Παπάζογλου

Μέρος 1^ο Δημογραφικά Στοιχεία

1. Φύλο

Αγόρι

Κορίτσι

2. Ηλικία: Παρακαλώ συμπληρώστε την ηλικίας σας _____

3. Βαθμίδα εκπαίδευσης

Γυμνάσιο

Γενικό Λύκειο

ΕΠΑΛ-ΕΠΑΣ

Μέρος Β: Μουσειακό Μαθησιακό Περιβάλλον

Στα επόμενα ερωτήματα, παρακαλώ απαντήστε σημειώνοντας ένα από τα στοιχεία στην κλίμακα που σας δίδεται.

	Διαφωνώ Πλήρως	Διαφωνώ	Δεν είμαι σίγουρος/η	Συμφωνώ	Συμφωνώ Πλήρως
Στο μουσείο:					
Μαθαίνω πράγματα που συνδέονται με θέματα που μαθαίνω στο σχολείο					
Μαθαίνω πώς η επιστήμη μπορεί να με βοηθήσει στις μελλοντικές μου σπουδές					
Καταλαβαίνω καλύτερα πράγματα που μαθαίνω στο σχολείο					
Δεν υπάρχει σχέση με αυτά που μαθαίνω στο σχολείο					
Έμαθα για τον κόσμο των ορυκτών					
Τα εκθέματα μου έδωσαν κίνητρο να μελετήσω περισσότερο					
Έμαθα πώς η επιστήμη μπορεί να είναι μέρος της ζωής					
Απέκτησα μια καλύτερη κατανόηση του κόσμου					
Έμαθα ενδιαφέροντα πράγματα για τον κόσμο					
Δεν υπάρχει σχέση μεταξύ αυτού που έμαθα στο μουσείο και του πραγματικού κόσμου					
Έμαθα ότι η επιστήμη έχει αλλάξει με τον καιρό					
Έμαθα ότι η επιστήμη επηρεάζεται από τις αξίες και τις απόψεις των ανθρώπων					
Έμαθα ότι διαφορετικές					

επιστήμες χρησιμοποιούνται από ανθρώπους σε άλλους πολιτισμούς					
Έμαθα ότι η σύγχρονη επιστήμη είναι διαφορετική από την επιστήμη του παρελθόντος					
Έμαθα ότι η επιστήμη είναι να εφευρίσκει θεωρίες					
Είναι αποδεκτό να ρωτάς "γιατί πρέπει να το μάθω αυτό;"					
Είναι αποδεκτό να παραπονιέται κάποιος για δραστηριότητες που προκαλούν σύγχυση					
Επέλεξα μόνος/η μου τις δραστηριότητες που κάνω					
Επέλεξα μόνος/η μου τα αντικείμενα από τα οποία μαθαίνω					
Είχα την ευκαιρία να μιλήσω με άλλους μαθητές					
Μίλησα με άλλους μαθητές για τα θέματα που παρουσιάστηκαν					
Εξήγησα ιδέες σε άλλους μαθητές					
Άλλοι μαθητές μου εξήγησαν τις ιδέες τους					
Ο/Η οδηγός απάντησε στις ερωτήσεις που έκανα κατά την περιήγηση					
Ο/Η οδηγός απάντησε τις ερωτήσεις που έκανα κατά την/τις δραστηριότητα/τες					

Παράρτημα Γ Εργαλείο συγκέντρωσης δεδομένων δευτέρου επιπέδου έρευνας

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΨΗ ΣΤΟ ΜΟΥΣΕΙΟ

Ερώτημα 1^ο : Αντιστοιχίστε τα ορυκτά με την συνήθη χρήση τους

Ορυκτά:

A. Γύψος

B. Τάλκης

Γ. Γραφίτης

Δ. Θείο

E. Βωξίτης

ΣΤ. Αλουμίνιο

Χρήση τους :

(Υπόδειξη: Σημειώστε το γράμμα που αντιστοιχεί στο ορυκτό, στο κενό που δίδεται)(Σημείωση: Ένα ορυκτό μπορεί να έχει παραπάνω από μια χρήσεις από τις παρακάτω)

Μολύβι _____

Γυψοσανίδες _____

Οδοντόκρεμα _____

Τσίχλες _____

Σπίρτα _____

Γυαλί _____

Αλουμίνιο _____

Αποσμητικά _____

Τάλκ (λευκή πούδρα) _____

Ερώτημα 2° : Είναι αδύνατο να προβλέψουμε την έκρηξη ενός ηφαιστείου

A. Σωστό

B. Λάθος

Ερώτημα 3° : Η αξία ενός ορυκτού εξαρτάται από:

1.Τη μορφή του (π.χ. κρύσταλλος, χρώμα)

A. Σωστό

B. Λάθος

2.Από τη σπανιότητα του

A. Σωστό

B. Λάθος

Ερώτημα 4° : Σε μια ηφαιστειακή έκρηξη, το πιο επικίνδυνο φαινόμενο είναι η λάβα

A. Σωστό

B. Λάθος

Ερώτημα 5° : Συχνά αναφέρεται ότι ο άνθρωπος είναι φτιαγμένος από χώμα. Αυτό είναι:

A. Σωστό

B. Λάθος

Ερώτημα 6° : Τα κυριότερα στοιχεία που απαντώνται στους μετεωρίτες είναι:

A. Σίδηρος-Νικέλιο

B. Ασήμι-Χρυσός

Γ. Μαγνήσιο-Κάλιο

Ερώτημα 7° : Η αξία ενός κομματιού μετεωρίτη είναι μεγάλη

A. Σωστό

B. Λάθος

Ερώτημα 8°: Η πτώση μετεωριτών είναι συχνό φαινόμενο, με αποτέλεσμα να ανακαλύπτουμε συχνά τα υπολείμματα αυτών στην επιφάνεια της γης

A. Σωστό

B. Λάθος

Ερώτημα 9° : Ο ορυκτός πλούτος μιας χώρας δεν επηρεάζει σημαντικά την εξέλιξη του πληθυσμού της (οικονομικά, πολιτισμικά κλπ)

A. Σωστό

B. Λάθος

Ερώτημα 10° : Το ασήμι στην επιφάνεια της γης απαντάται και καθαρό, δηλαδή χωρίς προσμίξεις, όπως το χρυσάφι

A. Σωστό

B. Λάθος

Ερώτημα 11° : Ο Γαληνίτης είναι ορυκτό που δεν βρίσκεται στην Ελλάδα

A. Σωστό

B. Λάθος

Ερώτημα 12° : Στα άκρα της κλίμακας σκληρότητας του Mohs βρίσκονται το διαμάντι και ο τάλκης. Ποιο αντιστοιχεί σε πιο άκρο;

A. Πιο μαλακό _____

B. Πιο σκληρό _____

Ερώτημα 13° : Η οικονομική ανάπτυξη και η άνθηση των τεχνών κατά τον χρυσό αιώνα του Περικλή, λέγεται ότι οφείλεται στην εξόρυξη αργύρου από τα ορυχεία του Λαυρίου.

A. Σωστό

B. Λάθος