



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

**«Εκχύλιση με καρβοξυλικά οξέα μετάλλων στρατηγικής σημασίας από
ιπτάμενη τέφρα Αγ. Δημητρίου Κοζάνης. Ανάλυση αποτελεσμάτων με
μεθόδους στατιστικής προσομοίωσης»**

ΕΜΜΑΝΟΥΕΛΑ ΠΑΡΤΣΑΛΑΚΗ

Μηχανικός Ορυκτών Πόρων

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Κα Πεντάρη Δέσποινα, Επ. Καθηγήτρια (επιβλέπουσα)

Κος Βαρουχάκης Εμμανουήλ, Επ. Καθηγητής

Κα Μακρή Παγώνα, Δρ. (ΕΔΙΠ)

ΧΑΝΙΑ, 2024

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	9
1.1. Κυκλική οικονομία	9
1.2. Μέταλλα στρατηγικής σημασίας.....	11
1.2.1. Λίθιο (Li).....	14
1.2.2. Μαγγάνιο (Mn)	14
1.2.3. Χρώμιο (Cr).....	15
1.2.4. Νικέλιο (Ni).....	15
1.2.5. Ψευδάργυρος (Zn)	16
1.2.6. Κοβάλτιο (Co).....	16
1.2.7. Σπάνιες γαίες.....	17
1.2.7.1. Δημήτριο (Ce).....	17
1.2.7.2. Σκάνδιο (Sc).....	17
1.2.7.3. Λανθάνιο (La)	18
1.3. Ιπτάμενη τέφρα	18
1.4. Τεχνικές ανάλυσης.....	20
1.4.1. Φασματομετρία ακτίνων X φθορισμού (XRF)	20
1.4.2. Ανάλυση περίθλασης ακτίνων X (XRD).....	21
1.4.3. Φασματομετρία μάζας επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP-MS)	23
1.5. Μέθοδοι Monte Carlo (MC)	24
2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	25
2.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	25
2.2. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	29
2.2.1. Μαγγάνιο (Mn)	31
2.2.2. Κοβάλτιο (Co).....	36
2.2.3. Ψευδάργυρος (Zn)	41
2.2.4. Νικέλιο (Ni).....	46
2.2.5. Χρώμιο (Cr).....	51
2.2.6. Δημήτριο (Ce).....	56
2.2.7. Λανθάνιο (La)	61
2.2.8. Λίθιο (Li).....	66
3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ.....	73
3.1. Λίθιο (Li).....	74

3.2. Μαγγάνιο (Mn)	75
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	76
5. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ.....	78
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	84

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Φασματομέτρο XRF, με τη θύρα δείγματος στην κορυφή, και ένα σύνολο δειγμάτων σε ασημένιες μεταλλικές υποδοχές στον εναλλάκτη δείγματος μπροστά.	20
Εικόνα 2: XRD	22
Εικόνα 3: ICP-MS	24
Εικόνα 4: Περιοχή Αγίου Δημητρίου Κοζάνης	26

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 1: Μοντέλο κυκλικής και γραμμικής οικονομίας	10
Σχήμα 2: Διάγραμμα τροχού που δείχνει τον αριθμό των δημοσιεύσεων που καλύπτουν κάθε στρατηγική κυκλικής οικονομίας. Εξετάζονται 5 στρατηγικές κυκλικής οικονομίας η επαναχρησιμοποίηση, μείωση, ανακατασκευή, ανακύκλωση και παράταση της διάρκειας ζωής.[1]	11
Σχήμα 3: Μελλοντική ζήτηση μετάλλων σε παγκόσμια κλίμακα	13

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1: Πίνακας Παραμέτρων.....	28
Πίνακας 2:Περιεκτικότητα (mg/kg) των μετάλλων στην ιπτάμενη τέφρα Αγίου Δημητρίου	29
Πίνακας 3:Ποσοστό ορυκτών που εμπεριέχονται στην ιπτάμενη τέφρα Αγίου Δημητρίου ..	29
Πίνακας 4: Ποσοστό οξειδίων που εμπεριέχονται στην ιπτάμενη τέφρα Αγίου Δημητρίου .	30
Πίνακας 5: F.A.ΑΔ χρόνου κιτρικού οξέος για μαγγάνιο (Mn).....	31
Πίνακας 6: F.A.ΑΔ χρόνου οξικού οξέος για μαγγάνιο (Mn).....	31
Πίνακας 7: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας κιτρικού οξέος για μαγγάνιο (Mn).....	32
Πίνακας 8: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας οξικού οξέος για μαγγάνιο (Mn)	33
Πίνακας 9: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας κιτρικού οξέος για μαγγάνιο (Mn)	34
Πίνακας 10: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας οξικού οξέος για μαγγάνιο (Mn)	34
Πίνακας 11: F.A.ΑΔ χρόνου κιτρικού οξέος για κοβάλτιο (Co).....	36

Πίνακας 12: F.A.ΑΔ χρόνου οξικού οξέος για κοβάλτιο (Co)	36
Πίνακας 13: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας κιτρικού οξέος για κοβάλτιο (Co).....	37
Πίνακας 14: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας οξικού οξέος για κοβάλτιο (Co)	38
Πίνακας 15: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας κιτρικού οξέος για κοβάλτιο (Co)	39
Πίνακας 16: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας οξικού οξέος για κοβάλτιο (Co)	39
Πίνακας 18: F.A.ΑΔ χρόνου οξικού οξέος για ψευδάργυρο (Zn)	41
Πίνακας 19: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας κιτρικού οξέος για ψευδάργυρο (Zn).....	42
Πίνακας 20: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας οξικού οξέος για ψευδάργυρο (Zn)	43
Πίνακας 21: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας κιτρικού οξέος για ψευδάργυρο (Zn).....	44
Πίνακας 22: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας οξικού οξέος για ψευδάργυρο (Zn)	44
Πίνακας 23: F.A.ΑΔ χρόνου κιτρικού οξέος για νικέλιο (Ni)	46
Πίνακας 24: F.A.ΑΔ χρόνου οξικού οξέος για νικέλιο (Ni)	46
Πίνακας 25: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας κιτρικού οξέος για νικέλιο (Ni)	47
Πίνακας 26: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας οξικού οξέος για νικέλιο (Ni).....	48
Πίνακας 27: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας κιτρικού οξέος για νικέλιο (Ni)	49
Πίνακας 28: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας οξικού οξέος για νικέλιο (Ni).....	49
Πίνακας 29: F.A.ΑΔ χρόνου κιτρικού οξέος για χρώμιο (Cr)	51
Πίνακας 30: F.A.ΑΔ χρόνου οξικού οξέος για χρώμιο (Cr)	51
Πίνακας 31: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας κιτρικού οξέος για χρώμιο (Cr).....	52
Πίνακας 32: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας οξικού οξέος για χρώμιο (Cr)	53
Πίνακας 33: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας κιτρικού οξέος για χρώμιο (Cr).....	54
Πίνακας 34: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας οξικού οξέος για χρώμιο (Cr)	54
Πίνακας 35: F.A.ΑΔ χρόνου κιτρικού οξέος για δημήτριο (Ce)	56
Πίνακας 36: F.A.ΑΔ χρόνου οξικού οξέος για δημήτριο (Ce).....	56
Πίνακας 37: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας κιτρικού οξέος για δημήτριο (Ce)	58
Πίνακας 38: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας οξικού οξέος για δημήτριο (Ce).....	58
Πίνακας 39: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας κιτρικού οξέος για δημήτριο (Ce).....	59
Πίνακας 40: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας οξικού οξέος για δημήτριο (Ce)	60
Πίνακας 41: F.A.ΑΔ χρόνου κιτρικού οξέος για λανθάνιο (La).....	61
Πίνακας 42: F.A.ΑΔ χρόνου οξικού οξέος για λανθάνιο (La)	61
Πίνακας 43: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας κιτρικού οξέος για λανθάνιο (La).....	62
Πίνακας 44: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας οξικού οξέος για λανθάνιο (La)	63
Πίνακας 45: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας κιτρικού οξέος για λανθάνιο (La)	64
Πίνακας 46: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας οξικού οξέος για λανθάνιο (La)	64

Πίνακας 47: F.A.ΑΔ χρόνου κιτρικού οξέος για λίθιο (Li)	66
Πίνακας 48: F.A.ΑΔ χρόνου οξικού οξέος για λίθιο (Li)	66
Πίνακας 49: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας κιτρικού οξέος για λίθιο (Li)	67
Πίνακας 50: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας οξικού οξέος για λίθιο (Li)	68
Πίνακας 51: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας κιτρικού οξέος για λίθιο (Li)	69
Πίνακας 52: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας οξικού οξέος για λίθιο (Li)	69

Λίστα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με χρόνο (h) για το μαγγάνιο (Mn).....	32
Διάγραμμα 2: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με περιεκτικότητα (%) για το μαγγάνιο (Mn)	33
Διάγραμμα 3: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με θερμοκρασία (οC) για το μαγγάνιο (Mn)	35
Διάγραμμα 4: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με χρόνο (h) για το κοβάλτιο (Co)	37
Διάγραμμα 5: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με περιεκτικότητα (%) για το κοβάλτιο (Co).....	38
Διάγραμμα 6: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με θερμοκρασία (οC) για το κοβάλτιο (Co)	40
Διάγραμμα 7: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με χρόνο (h) για το ψευδάργυρο (Zn)	42
Διάγραμμα 8: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με περιεκτικότητα (%) για το ψευδάργυρο (Zn)	43
Διάγραμμα 9: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με θερμοκρασία (οC) για το ψευδάργυρο (Zn)	45
Διάγραμμα 10: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με χρόνο (h) για το νικέλιο (Ni)	47
Διάγραμμα 11: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με περιεκτικότητα (%) για το νικέλιο (Ni).....	48
Διάγραμμα 12: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με θερμοκρασία (οC) για το νικέλιο (Ni)	50
Διάγραμμα 13: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με χρόνο (h) για το χρώμιο (Cr).....	52
Διάγραμμα 14: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με περιεκτικότητα (%) για το χρώμιο (Cr)	53
Διάγραμμα 15: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με θερμοκρασία (οC) για το χρώμιο (Cr).....	55
Διάγραμμα 16: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με χρόνο (h) για το δημήτριο (Ce).....	57
Διάγραμμα 17: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με περιεκτικότητα (%) για το δημήτριο (Ce).....	59
Διάγραμμα 18: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με θερμοκρασία (οC) για το δημήτριο (Ce).....	60
Διάγραμμα 19: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με χρόνο (h) για το λανθάνιο (La)	62
Διάγραμμα 20: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με περιεκτικότητα (%) για το λανθάνιο (La)	63
Διάγραμμα 21: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με θερμοκρασία (οC) για το λανθάνιο (La)	65
Διάγραμμα 22: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με χρόνο (h) για το λίθιο (Li).....	67
Διάγραμμα 23: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με περιεκτικότητα (%) για το λίθιο (Li)	68
Διάγραμμα 24: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με θερμοκρασία (οC) για το λίθιο (Li).....	70
Διάγραμμα 25: Συγκεντρωτικά διαγράμματα ανάκτησης στοιχείων κιτρικού και οξικού οξέος σε συνάρτηση με τον χρόνο.	70

Διάγραμμα 26: Συγκεντρωτικά διαγράμματα ανάκτησης στοιχείων κιτρικού και οξικού οξέος σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα οξέος.	71
Διάγραμμα 27: Συγκεντρωτικά διαγράμματα ανάκτησης στοιχείων κιτρικού και οξικού οξέος σε συνάρτηση με την θερμοκρασία.	71
Διάγραμμα 28: Συγκεντρωτικό διάγραμμα ανάκτησης στοιχείων κιτρικού και οξικού οξέος.	72
Διάγραμμα 29: Γραμμή τάσης ανάκτησης Li σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα τους οξέος	74
Διάγραμμα 30: Προσομοίωση ανάκτησης Li σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα τους οξέος	74
Διάγραμμα 31: Γραμμή τάσης ανάκτησης Mn σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα τους οξέος	75
Διάγραμμα 32: Προσομοίωση ανάκτησης Mn σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα τους οξέος	75
Διάγραμμα 33: Παράμετρος θερμοκρασίας οξικού και κιτρικού για Li.....	78
Διάγραμμα 34: Παράμετρος χρόνου οξικού και κιτρικού για Li	78
Διάγραμμα 35: Παράμετρος περιεκτικότητας του οξέος οξικού και κιτρικού Li	79
Διάγραμμα 36: Παράμετρος θερμοκρασίας οξικού και κιτρικού για Mn.....	79
Διάγραμμα 37: Παράμετρος χρόνου οξικού και κιτρικού για Mn	79
Διάγραμμα 38: Παράμετρος περιεκτικότητας του οξέος οξικού και κιτρικού Mn	80
Διάγραμμα 39: Παράμετρος θερμοκρασίας οξικού και κιτρικού για La.....	80
Διάγραμμα 40: Παράμετρος χρόνου οξικού και κιτρικού για La	80
Διάγραμμα 41: Παράμετρος περιεκτικότητας του οξέος οξικού και κιτρικού La	81
Διάγραμμα 42: Παράμετρος θερμοκρασίας οξικού και κιτρικού για Ce	81
Διάγραμμα 43: Παράμετρος χρόνου οξικού και κιτρικού για Ce.....	81
Διάγραμμα 44: Παράμετρος περιεκτικότητας του οξέος οξικού και κιτρικού Ce.....	82
Διάγραμμα 45: Παράμετρος θερμοκρασίας οξικού και κιτρικού για Zn	82
Διάγραμμα 46: Παράμετρος χρόνου οξικού και κιτρικού για Zn.....	82
Διάγραμμα 47: Παράμετρος περιεκτικότητας του οξέος οξικού και κιτρικού Zn.....	83

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας, είναι η διερεύνηση της δυνατότητας εκχύλισης, με καρβοξυλικά οξέα, μετάλλων στρατηγικής σημασίας από ιπτάμενη τέφρα που προέρχεται από την καύση λιγνίτη της περιοχής του Αγίου Δημητρίου Κοζάνης. Επιλέχθηκε το οξικό και το κιτρικό οξύ, ως πιο φιλικά προς το περιβάλλον μέσα εκχύλισης και τα μέταλλα που εξετάστηκαν ήταν: Li, La, Ce, Cr, Ni, Zn, Co και Mn.

Πραγματοποιήθηκαν:

A) Χαρακτηρισμός του δείγματος της ιπτάμενης τέφρας:

- ✓ Ορυκτολογική ανάλυση με περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD)
- ✓ Χημική ανάλυση (κύρια στοιχεία) με φασματομετρία ακτίνων X φθορισμού (XRF)
- ✓ Ποσοτικός προσδιορισμός της περιεκτικότητας των στοιχείων ενδιαφέροντος με φασματομετρία μάζας επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP-MS).

B) Εκχυλίσεις με καρβοξυλικά οξέα

Πραγματοποιήθηκαν εκχυλίσεις με κιτρικό και οξικό οξύ και μελετήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας του χρόνου και της συγκέντρωσης του οξέος στη διαδικασία.

Γ) Στατιστική προσομοίωση

Πραγματοποιήθηκε προσομοίωση χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Monte Carlo με εστίαση στην ομοιόμορφη κατανομή πιθανοτήτων.

Οι περιεκτικότητες που προσδιορίστηκαν για τα στοιχεία Li, La, Ce, Cr, Ni, Zn, Co και Mn, είναι 126, 44, 81, 285, 229, 58, 17 και 384 mg/kg αντίστοιχα. Από τις δοκιμές εκχύλισης που πραγματοποιήθηκαν παρατηρήθηκε ότι η ανάκτηση των μετάλλων κυμάνθηκε από 10% έως 71%. Τέλος μέσω της στατιστικής ανάλυσης, προσδιορίστηκε η βέλτιστη καμπύλη προσομοίωσης για τη μεταβολή της ποσοστιαίας ανάκτησης σε σχέση με το χρόνο τη θερμοκρασία και τη συγκέντρωση του οξέος.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την πάροδο των χρόνων η τεχνολογία εξελίσσεται με ταχύτατους ρυθμούς αυξάνοντας ολοένα την ζήτηση των μετάλλων που θεωρούνται απαραίτητα για διάφορες βιομηχανίες και εφαρμογές υψηλής τεχνολογίας. Αυτά τα μέταλλα αναφέρονται ως κρίσιμα λόγω της αυξανόμενης ζήτησης τους, της σπανιότητάς τους, της οικονομικής τους σημασίας αλλά και της τεχνολογικής συνάφειας τους. Στην κατηγορία των κρίσιμων μετάλλων ανήκουν μέταλλα όπως το λίθιο (Li), το νικέλιο (Ni), το κοβάλτιο (Co), οι σπάνιες γαίες (REE) κ.α., τα οποία καθίστανται απαραίτητα συστατικά για τεχνολογικές εφαρμογές, όπως για παράδειγμα η χρήση τους σε μπαταρίες.

Σήμερα αρκετές χώρες λόγω της αύξησης των τιμών και της έλλειψης των πόρων έχουν στραφεί από ένα οικονομικό γραμμικό μοντέλο σε ένα μοντέλο κυκλικής οικονομίας που στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της σπατάλης και στην αξιοποίηση των φυσικών πόρων στο έπακρο, μεγιστοποιώντας έτσι την αξία και την χρησιμότητα των υλικών, με την έννοια της ανακύκλωσης υφιστάμενων στοιχείων και τη ταυτόχρονη μείωση έως ελαχιστοποίησης της εξόρυξης των πρώτων υλών.

Σήμερα, σε ένα από τα προϊόντα καύσης λιγνίτη για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπου είναι η ιπτάμενη τέφρα, έχει διαπιστωθεί η ύπαρξη μεταλλικών στοιχείων εντός αυτής. Με την ανάκτηση αυτών των στοιχείων, το παραπροϊόν της καύσης του λιγνίτη από ένα μη χρήσιμο συστατικό, πλέον γίνεται ένα χρήσιμο συστατικό, όπου συνεισφέρει σημαντικά στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την εξόρυξη πρώτων υλών και ταυτόχρονα γίνεται ένας εναλλακτικός πόρος προς αξιοποίηση.

Στα πλαίσια λοιπόν της παρούσας εργασίας, διερευνάται η παρουσία τέτοιων μετάλλων, σε δείγματα ιπτάμενης τέφρας, από τη μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από καύση λιγνίτη, στον Άγιο Δημήτριο Κοζάνης. Για τη διερεύνηση ύπαρξης μετάλλων στα δείγματα της ιπτάμενης τέφρας, έγιναν εκχυλίσσεις με χρήση καρβοξυλικών οξέων και συγκεκριμένα του κιτρικού και του οξικού οξέος. Τα μέταλλα προς ανάκτηση στα δείγματα που εξετάστηκαν, είναι το λίθιο (Li), το λανθάνιο (La), το δημήτριο (Ce), το χρώμιο (Cr), το νικέλιο (Ni), το κοβάλτιο (Co), το μαγγάνιο (Mn) και ο ψευδάργυρος (Zn).

Για να διαπιστωθεί το ποσοστό ανάκτησης των μετάλλων στα υπό εξέταση δείγματα, με σκοπό την μελέτη της εκχύλισης με τα καρβοξυλικά οξέα εφαρμοστήκαν τα ακόλουθα:

Α) Φασματομετρία ακτίνων Χ φθορισμού (XRF), όπου παρέχει πληροφορίες για την αφθονία των κύριων στοιχείων αλλά και των ιχνοστοιχείων που υπάρχουν στο δείγμα.

Β) Ανάλυση περίθλασης ακτίνων Χ (XRD), όπου παρέχει πληροφορίες για την κρυσταλλογραφική δομή, την χημική σύνθεση αλλά και για τις φυσικές ιδιότητες του υλικού.

Γ) Φασματομετρία μάζας επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP-MS), όπου παρέχει ακριβή ποσοτική και ποιοτική ανάλυση των στοιχείων.

Για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων από τις αναλύσεις, εφαρμόστηκε στατιστική ανάλυση αυτών, με τη μέθοδο Monte Carlo (MC), με σκοπό να βρεθεί η βέλτιστη καμπύλη προσαρμογής, της στατιστικής κατανομής που πραγματοποιήθηκε.

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων, προέκυψε ότι η ιπτάμενη τέφρα από την περιοχή του Αγίου Δημητρίου, είναι εμπλουτισμένη σε μέταλλα σε σχέση με το φλοιό της γης.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια ανασκόπηση της κυκλικής οικονομίας, των μετάλλων στρατηγικής σημασίας (Li, La, Ce, Cr, Ni, Zn, Co και Mn), της ιπτάμενης τέφρας, των τεχνικών ανάλυσης (XRD, XRF και ICP-MS) και της στατιστικής προσομοίωσης με την μέθοδο Monte Carlo (MC).

Στο δεύτερο κεφάλαιο ακολουθεί η πειραματική διαδικασία που διεξήχθη και εν συνεχεία η επεξεργασία αποτελεσμάτων. Στο τρίτο κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και τέλος ακολουθεί η βιβλιογραφία.

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1.1. Κυκλική οικονομία

Η κυκλική οικονομία αποτελεί ένα περιβαλλοντικά «φιλικό» μοντέλο οικονομικής και κοινωνικής ανάπτυξης και τείνει να καταστεί ουσιαστικό στοιχείο του νέου παγκοσμίου και ευρωπαϊκού μοντέλου. Βασίζεται στην ανάκτηση υλικών από παλιά προϊόντα και στην επαναχρησιμοποίησή τους στην παραγωγή, όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. [1]

Το σημερινό οικονομικό μοντέλο στις περισσότερες χώρες είναι γραμμικό, συχνά περιγράφεται από την εξόρυξη, την παραγωγή, τη διανομή, τη κατανάλωση και την απόρριψη. Το εν λόγω μοντέλο αντιμετώπισε οικονομική πίεση από την αύξηση των τιμών των πόρων. Στο παρελθόν, η ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων και η πρόοδος στην εξόρυξη οδήγησαν σε πτωτική τάση των τιμών. Σήμερα οι τιμές έχουν ξεπεράσει την παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη και συνεχίζουν να αυξάνονται. [2]

Η υιοθέτηση του μοντέλου της κυκλικής οικονομίας προωθεί την αξιοποίηση των δευτερογενών υλικών ως χρήσιμων υλικών με αποτέλεσμα την μείωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων, τη χρήση πρώτων υλών, ενεργειακών πόρων και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Οι ποσότητες πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται στις διαδικασίες παραγωγής θα μειωθούν, καθώς θα αντικαθίστανται όλο και περισσότερο από ανακυκλωμένα και μη μολυσμένα υλικά, τα οποία απαιτούν λιγότερη κατανάλωση ενέργειας κατά τη διεργασία τους.[3] Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται το μοντέλο της κυκλικής και γραμμικής οικονομίας.[4]



Σχήμα 1: Μοντέλο κυκλικής και γραμμικής οικονομίας

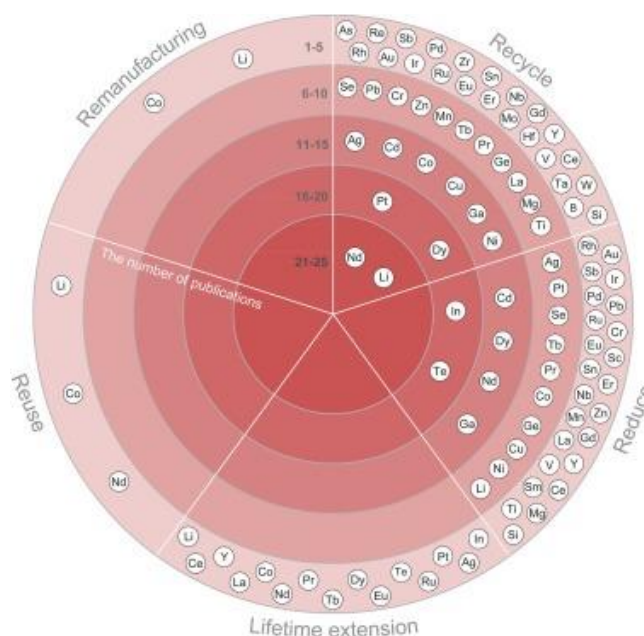
Η αποδοτική χρήση των πόρων έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των αναγκών για πρώτες ύλες, την αύξηση της ανακύκλωσης και την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων και της απώλειας υλικών σε όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής κάθε προϊόντος. Η ανακύκλωση πρώτων υλών από τεχνολογίες χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών αποτελούν μέρος της μετάβασης της κυκλικής οικονομίας. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει αυξήσει τη χρήση δευτερογενών πρώτων υλών, με τα ποσοστά ανακύκλωσης μετάλλων όπως ο σίδηρος, το αλουμίνιο, ο ψευδάργυρος, το χρώμιο ή η πλατίνα να φτάνουν ήδη το 50 %. [5]

Πολλές τσιμεντοβιομηχανίες παγκοσμίως έχουν συμβάλει ενεργά στην εφαρμογή του μοντέλου της κυκλικής οικονομίας και κατεργάζονται υλικά με λεπτά σωματίδια, όπως τα παραπροϊόντα της ιπτάμενης τέφρας από την παραγωγή ενέργειας.

Οι κύριες αρχές της κυκλικής οικονομίας περιλαμβάνουν τα απόβλητα και τα υποπροϊόντα τα οποία συνιστούν εναλλακτικές πρώτες ύλες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες διεργασίες όπως στην παραγωγή κλίνκερ και τσιμέντου. Τέλος τα προϊόντα και τα απόβλητα πρέπει, κατά σειρά προτεραιότητας, να περιορίζονται, να επιδιορθώνονται, να επαναχρησιμοποιούνται, να ανακατασκευάζονται και, εν τέλει, να ανακυκλώνονται. [6].

Η πρόοδος της στρατηγικής στην κυκλική οικονομία παρουσιάζεται στο Σχήμα 2 το οποίο απεικονίζει ένα διάγραμμα τροχού και δείχνει πόσες φορές έχει διερευνηθεί κάθε στρατηγική κυκλικής οικονομίας. Τα πιο διερευνημένα στοιχεία εμφανίζονται στον εσωτερικό κύκλο. Ενώ παρατηρείται ότι δίνεται ελάχιστη προσοχή στην επαναχρησιμοποίηση, την ανακατασκευή και την παράταση της διάρκειας ζωής. Από

την άλλη πλευρά, η ανακύκλωση και η μείωση εξετάζονται σε μεγάλο βαθμό ως στρατηγικές κυκλικής οικονομίας. Όσον αφορά καθένα από τα διάφορα στοιχεία, τα μέταλλα που σχετίζονται με μπαταρίες και κινητήρες, συμπεριλαμβανομένου του λιθίου και του νεοδυμίου, έχουν εξεταστεί ευρέως σε μελέτες που αφορούν τη στρατηγική ανακύκλωσης [7][8][9]. Η επαναχρησιμοποίηση μπαταριών ιόντων λιθίου στο τέλος της ζωής τους από ηλεκτρικά οχήματα, δείχνουν τη δυνατότητα μείωσης της πρωτογενούς παραγωγής λιθίου. [10]



Σχήμα 2: Διάγραμμα τροχού που δείχνει τον αριθμό των δημοσιεύσεων που καλύπτουν κάθε στρατηγική κυκλικής οικονομίας. Εξετάζονται 5 στρατηγικές κυκλικής οικονομίας η επαναχρησιμοποίηση, μείωση, ανακατασκευή, ανακύκλωση και παράταση της διάρκειας ζωής.[1]

1.2. Μέταλλα στρατηγικής σημασίας

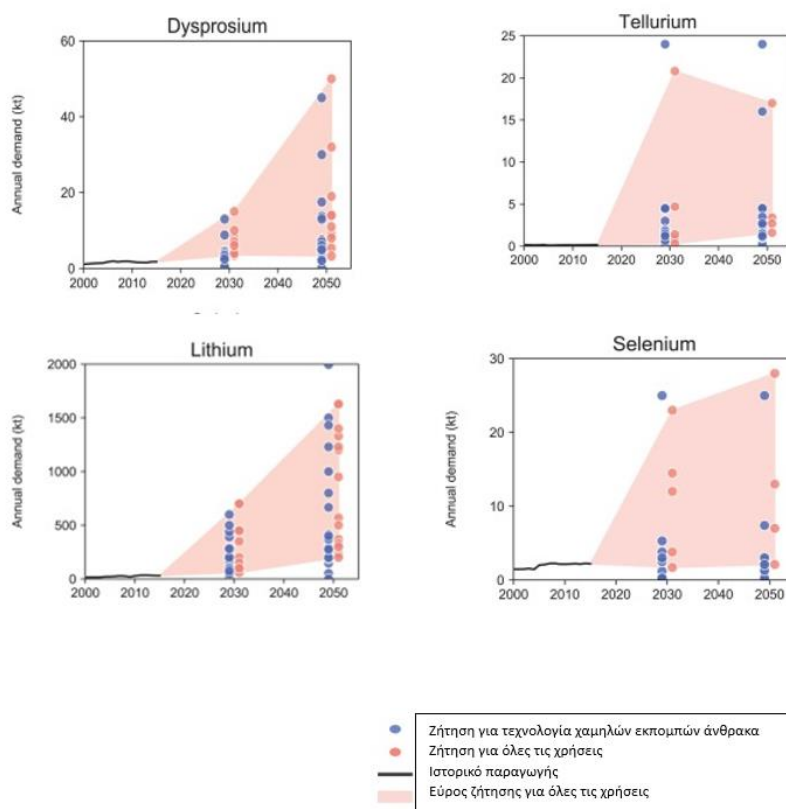
Τον 21^ο αιώνα διάφοροι τομείς της οικονομίας έχουν εστιάσει στην ανακάλυψη και χρήση νέων υλικών με ιδιότητες που είναι επιθυμητές για την παραγωγή προϊόντων υψηλής τεχνολογίας, όπως αεροσκαφών και ιατρικών εργαλείων. Πολλά από τα νέα υλικά αναφέρονται ως στρατηγικά μέταλλα, που συνήθως παράγονται μέσω παραγωγικών διαδικασιών υψηλού κόστους και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές «στρατηγικού» χαρακτήρα. Στρατηγικά μέταλλα ή αλλιώς κρίσιμα μέταλλα θεωρούνται εκείνα που είναι τεχνολογικά ζωτικής σημασίας για τη λειτουργικότητα διαφόρων τεχνολογιών, αλλά έχουν δυνητικά ασταθή προσφορά. Η διάσταση της κρισιμότητας σχετίζεται με την ζήτηση για ένα ορυκτό που πληροί ακριβείς

προδιαγραφές που απαιτούνται σε βασικές εφαρμογές. Απαιτείται λοιπόν, στρατηγικός σχεδιασμός με βάση την αναμενόμενη μακροπρόθεσμη ζήτηση, την προσφορά αυτών των μετάλλων και τις επιπτώσεις που τα συνδέουν. [11]

Καθώς οι βιομηχανικές μονάδες όλο και περισσότερων κρατών ανά τον κόσμο χρησιμοποιούν τα εν λόγω υλικά σε ολοένα και μεγαλύτερο βαθμό.[12] Κάθε κρίσιμο μέταλλο διαθέτει μοναδικές φυσικές και χημικές ιδιότητες που το καθιστούν απαραίτητο για συγκεκριμένες εφαρμογές. Παράδειγμα κρίσιμων μετάλλων είναι το λίθιο (Li) το οποίο είναι απαραίτητο για τις μπαταρίες ιόντων λιθίου που χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρικά οχήματα. Όπως επίσης και το νικέλιο (Ni) το οποίο είναι βασικό στοιχείο των μπαταριών ιόντων λιθίου.

Τα κρίσιμα μέταλλα αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της σύγχρονης τεχνολογίας και η στρατηγική τους σημασία αναμένεται να αυξηθεί καθώς οι κοινωνίες μεταβαίνουν προς καθαρότερες πηγές ενέργειας, ηλεκτρική κινητικότητα και προηγμένα ηλεκτρονικά. Ωστόσο, οι προκλήσεις που σχετίζονται με τη βιώσιμη προμήθεια, τις ηθικές πρακτικές εξόρυξης και τα γεωπολιτικά ζητήματα υπογραμμίζουν την ανάγκη για υπεύθυνη διαχείριση των πόρων. Η συνεχιζόμενη έρευνα και η τεχνολογική καινοτομία συμβάλλουν στην εύρεση υποκατάστατων και πιο αποτελεσματικών τρόπων χρήσης για τη διασφάλιση ενός σταθερού και ανθεκτικού μέλλοντος για κρίσιμα μέταλλα.

Στο Σχήμα 3 απεικονίζεται μια σύνοψη των προοπτικών ζήτησης για κρίσιμα μέταλλα έως το 2030 και έως το 2050 σε παγκόσμια κλίμακα. Το εύρος της προβλεπόμενης ζήτησης είναι μεγαλύτερο για το τελλούριο το 2030, ακολουθούμενο από το σελήνιο και το λίθιο. Το 2050, το δυσπρόσιτο έχει το μεγαλύτερο εύρος, ακολουθούμενο από το σελήνιο και το τελλούριο. Αυτά τα εύρη εκτιμώμενων τιμών είναι αποτέλεσμα της συμπερίληψης διαφόρων παραδοχών σχετικά με παράγοντες όπως το μερίδιο αγοράς, η ζήτηση των υλικών και οι τελικές χρήσεις τους, καθώς και οι μεθοδολογικές διαφορές μεταξύ των μελετών.



Σχήμα 3: Μελλοντική ζήτηση μετάλλων σε παγκόσμια κλίμακα

Μερικές από τις μεθοδολογίες εκτίμησης που ελήφθησαν [13][14], προσπάθησαν να αναλύσουν τη μελλοντική ζήτηση πολλαπλασιάζοντας την ζήτηση των μετάλλων με τις ετήσιες πωλήσεις συσκευών που προκύπτουν από την εισαγωγή του αριθμού των συσκευών που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο διαχείρισης αποθεμάτων. Μια άλλη μεθοδολογία εκτίμησης [15] πρότεινε δύο μεθόδους εκτίμησης, μια μέθοδο από κάτω προς τα πάνω και από πάνω προς τα κάτω, και συνέκριναν τα αποτελέσματα που προέκυψαν και από τις δύο. Η προσέγγιση από τη βάση προς την κορυφή είναι μια μέθοδος [16], η οποία χρησιμοποιεί το μοντέλο διαχείρισης αποθεμάτων και τις εκτιμώμενες ποσότητες αποθεμάτων όλων των προϊόντων με βάση το μέγεθος του πληθυσμού και την ιδιοκτησία οικιακών προϊόντων. Η προσέγγιση από πάνω προς τα κάτω χρησιμοποιεί λογαριθμική ανάλυση συμπεριλαμβανομένου του πληθυσμού και του ΑΕΠ. Επομένως, οι καταλληλότερες προσεγγίσεις είναι από τη βάση προς στην κορυφή για μακροπρόθεσμη ανάλυση, διότι λαμβάνουν υπόψη τον κορεσμό των αποθεμάτων αν και απαιτούν μεγαλύτερο όγκο δεδομένων.

Επίσης προτάθηκε ένα μοντέλο το οποίο συνδυάζει προσεγγίσεις τόσο από κάτω προς τα πάνω όσο και από πάνω προς τα κάτω. Το μοντέλο από τη βάση προς την κορυφή εκτιμά τη ζήτηση για τεχνολογίες χαμηλών ανθρακούχων εκπομπών συνδέοντας

ενεργειακά σενάρια με το μοντέλο δυναμικής αποθεμάτων, ενώ η ζήτηση για άλλες χρήσεις καθορίζεται από το μοντέλο από πάνω προς τα κάτω. Αυτή η μέθοδος είναι ίσως η πιο αποτελεσματική κατά τη διεξαγωγή ανάλυσης που εξετάζει λεπτομερώς ιδιαίτερα σημαντικές εφαρμογές, με μικρή προσπάθεια στη συλλογή δεδομένων. [17]

1.2.1. Λίθιο (Li)

Το λίθιο συνιστά ένα μαλακό μέταλλο αργυρόλευκου χρώματος (σε συνθήκες περιβάλλοντος), που εμφανίζει θερμοκρασία τήξης 181°C. Είναι το ελαφρύτερο στερεό (σε συνθήκες περιβάλλοντος) χημικό στοιχείο του Περιοδικού Πίνακα, καθώς και το ελαφρύτερο μέταλλο. Εξαιτίας της υψηλής του δραστηριότητας, συναντάται στη φύση με τη μορφή χημικών ενώσεων. Το λίθιο και οι ενώσεις του γνωρίζουν ευρείες εφαρμογές στη βιομηχανία, με αποτέλεσμα να θεωρείται ως ένα από τα μέταλλα στρατηγικής σημασίας. Οι εφαρμογές αυτές περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, την κατασκευή γυαλιού ανθεκτικού στις υψηλές θερμοκρασίες έως και τις μπαταρίες ιόντων λιθίου οποίες βρίσκονται σε φορητά ηλεκτρονικά και ηλεκτρικά οχήματα.[18] Η σημερινή παγκόσμια ζήτηση λιθίου αναμένεται να αυξηθεί κατά 500% έως το 2050, ενώ το 2030, η παγκόσμια ζήτηση λιθίου αναμένεται να ξεπεράσει τα δύο εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου ανθρακικού λιθίου, υπερδιπλασιάζοντας την πρόβλεψη ζήτησης για το 2025. Η αύξηση της ζήτησης μπαταριών για ηλεκτρικά οχήματα θα αποτελέσει ισχυρό παράγοντα κατανάλωσης λιθίου την επόμενη δεκαετία.[19]

1.2.2. Μαγγάνιο (Mn)

Το μαγγάνιο είναι χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 25. Αποτελεί το 0,1% της επιφάνειας της Γης και είναι το δωδέκατο πιο συνηθισμένο στοιχείο στην επιφάνειά της. Τα ορυκτά που περιέχουν μαγγάνιο είναι ο πυρολουσίτης, ο ροδοχρωσίτης και ο βραουνίτης. Το μαγγάνιο χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές, μια από αυτές είναι η μεταλλουργία για την παραγωγή κραμάτων σιδηρομαγγανίου και πυριτίου. Η ανάκτηση του μαγγανίου μπορεί να επιτευχθεί μέσω διάφορων μεθόδων, όπως είναι η χημική επεξεργασία που περιλαμβάνει την εξαγωγή μαγγανίου από διαλύματα ή ενώσεις χρησιμοποιώντας διάφορες χημικές διεργασίες. Η επιλογή της μεθόδου ανάκτησης εξαρτάται τόσο από τη φύση της πηγής του μαγγανίου (διάλυμα, μετάλλευμα κ.λπ.) όσο και το ληφθέν επιθυμητό προϊόν. Οι περιβαλλοντικοί και

οικονομικοί παράγοντες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην επιλογή της κατάλληλης διαδικασίας ανάκτησης, η οποία είναι προσαρμοσμένη να ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις της συγκεκριμένης βιομηχανίας ή εφαρμογής.[20][21]

1.2.3. Χρώμιο (Cr)

Το χρώμιο είναι ένα χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 24 και βρίσκεται σε αφθονία στο φλοιό της Γης. Μέσω της διάβρωσης των χρωμιούχων πετρωμάτων και των ηφαιστειακών εκρήξεων εμφανίζονται ενώσεις χρωμίου στο περιβάλλον. Η ανάκτηση του χρωμίου συνήθως επιτυγχάνεται με την εξαγωγή του μετάλλου από τα μεταλλεύματά του μέσω τήξης ή μεταλλουργικών διεργασιών ή της ανακύκλωσης υλικών που περιέχουν χρώμιο. Το χρώμιο χρησιμοποιείται στην παρασκευή χρωστικών ουσιών, στην ηλεκτρολυτική επίστρωση άλλων μετάλλων αλλά και σε άλλες εφαρμογές. Συνοπτικά, το χρώμιο είναι ένα ευέλικτο στοιχείο με σημαντική βιομηχανική σημασία, ιδιαίτερα στη μεταλλουργία, την κατασκευή και τις εφαρμογές επεξεργασίας επιφανειών. Οι μοναδικές του ιδιότητες το καθιστούν απαραίτητο σε διάφορους τεχνολογικούς και βιομηχανικούς τομείς. [22][23]

1.2.4. Νικέλιο (Ni)

Το χημικό στοιχείο νικέλιο είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 28. Το νικέλιο είναι το πέμπτο πιο άφθονο στοιχείο στο φλοιό της Γης, συνήθως σε συνδυασμό με θείο και σίδηρο με τη μορφή μεταλλευμάτων θειούχου νικελίου ή κοιτασμάτων λατερίτη. Τα ορυκτά από τα οποία εξάγεται το μεγαλύτερο μέρος του νικελίου είναι σουλφίδια σιδήρου / νικελίου όπως ο πεντλανδίτης. Η ανάκτηση του νικελίου επιτυγχάνεται είτε από ανακυκλωμένα υλικά είτε από διαδικασία εξορυξης του, από μεταλλευματα που περιέχουν θειούχο νικέλιο ή μεταλλεύματα λατερίτη μέσω διεργασιών όπως η τήξη, η υδρομεταλλουργία ή η πυρομεταλλουργία. Το νικέλιο χρησιμοποιείται σε μπαταρίες, συμπεριλαμβανομένων των επαναφορτιζόμενων μπαταριών νικελίου-καδμίου και των μπαταριών νικελίου-υδριδίου μετάλλου που χρησιμοποιούνται σε υβριδικά οχήματα. Συνοπτικά, το νικέλιο είναι ένα ευέλικτο μέταλλο με σημαντικές βιομηχανικές εφαρμογές, σε διάφορους τομείς από τις κατασκευές έως τα ηλεκτρονικά.[24][25][26]

1.2.5. Ψευδάργυρος (Zn)

Ο ψευδάργυρος είναι ένα χημικό στοιχείο με ατομικό αριθμό 30. Βρίσκεται σε αφθονία στον φλοιό της Γης και σε διάφορα ορυκτά, όπως ο σφαλερίτης (θειούχος ψευδάργυρος), ο σμιθσονίτης (ανθρακικός ψευδάργυρος) και ο ημιμορφίτης (πυριτικός ψευδάργυρος). Συχνά εξάγεται ως υποπροϊόν της εξόρυξης άλλων μετάλλων όπως ο μόλυβδος και ο χαλκός. Η ανάκτηση ψευδαργύρου περιλαμβάνει διάφορα στάδια, ανάλογα με την πηγή από την οποία προέρχεται, όπως μεταλλεύματα, βιομηχανικά υποπροϊόντα ή σκραπ. Η ανάκτηση ψευδαργύρου περιλαμβάνει έναν συνδυασμό διεργασιών εξόρυξης, επεξεργασίας και ανακύκλωσης που στοχεύουν στην παραγωγή ψευδαργύρου υψηλής ποιότητας, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την κατανάλωση πόρων. Ο ψευδάργυρος έχει πολυάριθμες βιομηχανικές και εμπορικές εφαρμογές. Χρησιμοποιείται σε διάφορους τύπους μπαταριών, συμπεριλαμβανομένων των μπαταριών ψευδαργύρου-άνθρακα και των αλκαλικών μπαταριών. Μεγάλες ποσότητες ψευδαργύρου χρησιμοποιούνται για την παραγωγή χυτών, οι οποίες είναι σημαντικές στην αυτοκινητοβιομηχανία και την ηλεκτρική βιομηχανία. Επίσης χρησιμοποιείται σε κράματα όπως είναι ο ορείχαλκος, το νικέλιο, το ασήμι και η συγκόλληση αλουμινίου.[27][28]

1.2.6. Κοβάλτιο (Co)

Το χημικό στοιχείο κοβάλτιο είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 27. Το κοβάλτιο είναι σχετικά σπάνιο στον φλοιό της Γης και λαμβάνεται κυρίως ως υποπροϊόν της εξόρυξης νικελίου και χαλκού. Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι ανάκτησης κοβαλτίου, δύο από αυτές είναι υδρομεταλλουργικές μέθοδοι όπου επιτυγχάνονται με τη χρήση υδατικών διαλυμάτων για την εξαγωγή μετάλλων από μεταλλεύματα ή συμπυκνώματα και οι πυρομεταλλουργικές μέθοδοι που περιλαμβάνουν διεργασίες υψηλής θερμοκρασίας. Όλες οι διαδικασίες στοχεύουν στην αποτελεσματική εξαγωγή κοβαλτίου ελαχιστοποιώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και διασφαλίζοντας την ποιότητα και την καθαρότητα του ανακτημένου κοβαλτίου. Το κοβάλτιο έχει ποικίλες εφαρμογές σε διάφορες βιομηχανίες και αποτελεί κρίσιμο συστατικό στις μπαταρίες ιόντων λιθίου. [29][30]

1.2.7. Σπάνιες γαίες

Οι σπάνιες γαίες έχουν λάβει μεγάλη προσοχή τα τελευταία χρόνια λόγω της αυξανόμενης ζήτησής τους σε βιομηχανίες υψηλής τεχνολογίας. Τρεις σπάνιες γαίες το δημήτριο, το σκάνδιο και το λανθάνιο είναι επίκαιρου ενδιαφέροντος και χρησιμοποιούνται σε διάφορες βιομηχανίες.

1.2.7.1. Δημήτριο (Ce)

Το δημήτριο (Ce) είναι ένα ελαφρύ στοιχείο σπάνιων γαιών που βρίσκεται σε διάφορα ορυκτά όπως ο μπασναζίτης, ο μοναζίτης, ο αλλανίτης και ο κερίτης. Υπάρχουν πολλές δευτερογενείς πηγές για το δημήτριο, όπως ο βωξίτης, η ερυθρά ιλύς, το φωσφορικό πέτρωμα, το φωσφορικό οξύ και οι χρησιμοποιημένες μπαταρίες νικελίου-υδριδίου μετάλλου. Το δημήτριο χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές όπως στις χρωστικές ουσίες, στα κεραμικά, στα κράματα, στα οπτικά, στους αναπτήρες, στους φούρνους, στο ντίζελ, στους αισθητήρες, στις επιστρώσεις και στις ιατρικές εφαρμογές. Οι χρήσεις του δημητρίου επεκτείνονται λόγω των ανώτερων χημικών χαρακτηριστικών του έναντι άλλων μετάλλων. Η ανάκτηση του δημητρίου περιλαμβάνει διαφορετικές φυσικές και χημικές διεργασίες διαχωρισμού ή συνδυασμένες φυσικοχημικές διεργασίες. Οι διαδικασίες χημικού διαχωρισμού περιλαμβάνουν έκπλυση, ανταλλαγή ιόντων, καθίζηση, εκχύλιση με διαλύτη και προσρόφηση.[31]

1.2.7.2. Σκάνδιο (Sc)

Το σκάνδιο (Sc) είναι το 21^ο στοιχείο στον περιοδικό πίνακα και είναι στοιχείο σπάνιων γαιών το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορους τομείς όπως σε κράματα αλουμινίου υψηλής απόδοσης και σε κυψέλες στερεού καυσίμου. Το σκάνδιο είναι ένα σπάνιο στοιχείο με μέση αφθονία $0,22 \times 10^{-4}$ wt% στο φλοιό της γης. Μεταλλεύματα με εύρος περιεκτικότητας σε σκάνδιο από 0,002 wt% έως 0,005 wt% μπορούν να θεωρηθούν δυνητικός πόρος και άξιος εκμετάλλευσης. Μεγάλα ανεξάρτητα κοιτάσματα σκανδίου είναι πολύ σπάνια στον κόσμο και το μεγαλύτερο μέρος του σκανδίου ανακτάται ως υποπροϊόν. Η διαδικασία ανάκτησης γίνεται από ασταθείς πηγές και εξαρτάται από το είδος της πηγής και τη σύνθεσή της. Μια κοινή πηγή είναι η ερυθρά ιλύς που είναι παραπροϊόν της παραγωγής αλουμινίου από βωξίτη. Η

ανάκτησή του σκανδίου γίνεται από διάφορους μεθόδους, εκ των οποίων δυο από αυτούς είναι η εκχύλιση στερεού-υγρού και η υδροθερμική επεξεργασία.[32][33][34][35]

1.2.7.3. Λανθάνιο (La)

Το λανθάνιο (La) είναι χημικό στοιχείο, μέταλλο σπάνιων γαιών της ομάδας 3 του περιοδικού πίνακα. Ουσιαστικά είναι ένα όλκιμο και εύπλαστο ασημί αρκετά μαλακό λευκό μέταλλο. Είναι το δεύτερο πιο δραστικό από τα μέταλλα σπάνιων γαιών μετά το ευρώπιο. Το λανθάνιο οξειδώνεται στον αέρα σε θερμοκρασία δωματίου και σχηματίζει οξείδιο του λανθανίου (La_2O_3). Αντιδρά αργά με το νερό και διαλύεται γρήγορα σε αραιωμένα οξέα. Με το υδροφθορικό οξύ (HF) δεν αντιδρά επειδή σχηματίζεται ένα προστατευτικό στρώμα φθορίου στην επιφάνεια του μετάλλου. Το σημείο τήξης του είναι στους 918 °C και η θερμοκρασία βρασμού του είναι στους 3469°C.[36]

Η ανάκτηση του λανθανίου είναι μια διαδικασία που στοχεύει στην εξαγωγή και την εκμετάλλευση του λανθανίου. Μερικές πηγές που περιέχουν λανθάνιο είναι ο λιγνίτης, η ερυθρά ιλύ και το θαλασσινό νερό. Για να γίνει ανάκτηση λανθανίου από τις παραπάνω πηγές γίνεται η εφαρμογή διάφορων μεθόδων όπως η διάλυση, χημική επεξεργασία, διήθηση και χρωματογραφία. [37]

Το λανθάνιο χρησιμοποιείται σήμερα ως πρόσθετο στα φωτοβολταϊκά τόξα που χρησιμοποιούν τα κινηματογραφικά στούντιο για τεχνητό φωτισμό. Επειδή βελτιώνει τις ιδιότητες του γυαλιού χρησιμοποιείται αντί των αλκαλίων για την παρασκευή ανθεκτικών γυαλιών και οπτικών οργάνων. Η ιδιότητά του να απορροφά υδρογόνο ερευνάται για τη δημιουργία μηχανισμών εξοικονόμησης ενέργειας, καθώς η απορρόφηση αυτή συνοδεύεται από απελευθέρωση θερμότητας, ενώ η διαδικασία είναι πλήρως αναστρέψιμη. [38]

1.3. Ιπτάμενη τέφρα

Η ιπτάμενη τέφρα είναι υποπροϊόν της καύσης του άνθρακα ουσιαστικά είναι μια λεπτή σκόνη που παράγεται από τις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και περιέχει σχετικά υψηλό ποσοστό ελεύθερου ασβεστίου (CaO) και έχει κυμαινόμενη περιεκτικότητα θεικών. Η ιπτάμενη τέφρα είναι ένα παραπροϊόν της βιομηχανίας

παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με παραγωγή 9-10 εκατομμύρια τόνους ετησίως, όπου μόλις το 10% χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία τσιμέντου και έτοιμου σκυροδέματος. [39]

Η ιπτάμενη τέφρα αποτελείται από σωματίδια τα οποία έχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια. Η χημική σύσταση της είναι ένα αργυλοπυριτικό υλικό με κύρια στοιχεία το Al, Si και δευτερεύοντα το Fe, K, Na ενώ ο C και το N βρίσκονται σε ελάχιστες ποσότητες κατά τη διάρκεια της καύσης. Λόγω του μικρού μεγέθους των σωματιδίων τους, οι ιπτάμενες τέφρες έχουν μεγάλη ειδική επιφάνεια και επομένως μεγάλη ικανότητα να συγκρατούν διάφορα στοιχεία και να συμμετέχουν σε διάφορες αντιδράσεις. Οι ιπτάμενες τέφρες περιέχουν ενώσεις μεταλλικών ή μη στοιχείων που συγκρατούνται στην επιφάνεια ή στο εσωτερικό των σωματιδίων τους. Τα στοιχεία απαντώνται με τις οξειδωμένες τους μορφές, κυρίως ως οξείδια και θειικά άλατα αλλά και ως υδροξείδια και ανθρακικά άλατα. Τα τελευταία σχηματίζονται όταν οι ιπτάμενες τέφρες έρθουν σε επαφή με τους υδρατμούς και το CO₂ του ατμοσφαιρικού αέρα. [40]

Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των ιπτάμενων τεφρών ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο άνθρακα, τη θερμοκρασία καύσης, την τεχνική καύσης, την αναλογία αέρα/καυσίμου και το μέγεθος σωματιδίων του άνθρακα τροφοδοσίας. [41] Επιπλέον, η ιπτάμενη τέφρα που παράγεται από λιγνίτη αντιστοιχεί σε υψηλή περιεκτικότητα σε άσβεστο και κυμαίνεται από 10 % έως 40 %.

Η ανάκτηση μετάλλων από ιπτάμενη τέφρα περιλαμβάνει τη χρήση χημικών ουσιών για τη διάλυση των μετάλλων από το υλικό και τη συλλογή τους. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την ανάκτηση μετάλλων από ιπτάμενη τέφρα, όπως η διαδικασία εκχύλισης με οξύ (FLUWA), η βιοαπόπλυση και η μέθοδος CIP (Chemical In-Motion Precipitation) [42][43][44]

Η ιπτάμενη τέφρα άνθρακα έχει διερευνηθεί ως εναλλακτική πηγή διαφόρων πολύτιμων στοιχείων και ορυκτών. Η ανάκτηση αυτών των μετάλλων από την ιπτάμενη τέφρα όχι μόνο παρέχει εναλλακτικούς πόρους, αλλά μειώνει επίσης το κόστος διάθεσης και προστατεύει το περιβάλλον. [45]

1.4. Τεχνικές ανάλυσης

1.4.1. Φασματομετρία ακτίνων X φθορισμού (XRF)

Η φασματομετρία ακτίνων X φθορισμού (XRF) είναι μια πολύ ευαίσθητη και ταχεία μη καταστροφική μέθοδος ανάλυσης δειγμάτων που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της χημικής σύνθεσης ενός υλικού. Το XRF δεν χρησιμοποιείται για αναλύσεις υλικών με μέγεθος 2 με 5 μικρά αλλά για μαζικές αναλύσεις μεγαλύτερων κλασμάτων γεωλογικών υλικών. Το χαμηλό κόστος προετοιμασίας του δείγματος και η ευκολία χρήσης των φασματόμετρων ακτίνων X καθιστούν αυτή την μέθοδο μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους για την ανάλυση των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων σε πετρώματα, ορυκτά και ιζήματα. Τα δείγματα αναλύονται υπό ακτινοβολία ακτίνων X, τα οποία περιέχουν πληροφορίες για τη χημική σύνθεση του δείγματος που αναλύεται και προσδιορίζεται η περιεκτικότητα κάθε συστατικού στο δείγμα. [46]

Η ανάλυση των κύριων στοιχείων και ιχνοστοιχείων στα γεωλογικά υλικά με φθορισμό ακτίνων X καθίσταται δυνατή από τη συμπεριφορά των ατόμων όταν αλληλεπιδρούν με την ακτινοβολία.



Εικόνα 1: Φασματόμετρο XRF, με τη θύρα δείγματος στην κορυφή, και ένα σύνολο δειγμάτων σε ασημένιες μεταλλικές υποδοχές στον εναλλάκτη δείγματος μπροστά.

Ένα φασματόμετρο XRF λειτουργεί ως εξής, το δείγμα ακτινοβολείται από μια δέσμη ακτίνων X, (προσπίπτουσα δέσμη), μέρος της ενέργειας σκεδάζεται, αλλά μερική

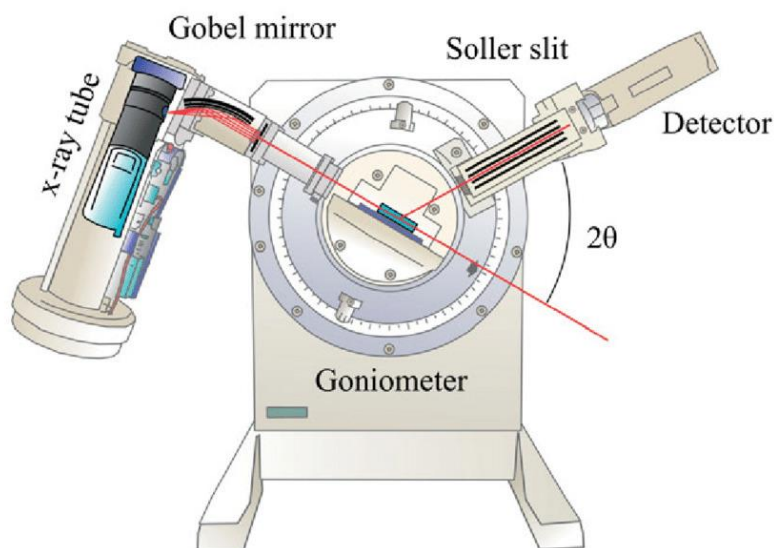
απορροφάται μέσα στο δείγμα με τρόπο που εξαρτάται από τη χημεία του και διεγείρεται. Το διεγερμένο δείγμα με τη σειρά του εκπέμπει ακτίνες X χαρακτηριστικές των τύπων ατόμων που υπάρχουν στο δείγμα (δευτερογενής ακτινοβολία). Τα άτομα στο δείγμα απορροφούν ενέργεια ακτίνων X ιονίζοντας, εκτοξεύοντας ηλεκτρόνια από τα χαμηλότερα ενεργειακά επίπεδα. Τα εκτινασσόμενα ηλεκτρόνια αντικαθίστανται από ηλεκτρόνια από ένα εξωτερικό, υψηλότερης ενέργειας τροχιακό. Όταν συμβαίνει αυτό, η ενέργεια απελευθερώνεται λόγω της μειωμένης ενέργειας σύνδεσης του εσωτερικού τροχιακού ηλεκτρονίων σε σύγκριση με ένα εξωτερικό. Αυτή η απελευθέρωση ενέργειας έχει τη μορφή εκπομπής χαρακτηριστικών ακτίνων X που υποδεικνύουν τον τύπο του ατόμου που υπάρχει.

Ο φθορισμός ακτίνων X είναι κατάλληλος για έρευνες που περιλαμβάνουν μαζικές χημικές αναλύσεις κύριων στοιχείων (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P) σε πετρώματα και ιζήματα αλλά και σε χημικές αναλύσεις ιχνοστοιχείων μικρότερων του 1 ppm (Ba, Ce, Co, Cr, Cu, Ga, La, Nb, Ni, Rb, Sc, Sr, Rh, U, V, Y, Zr, Zn) σε πετρώματα και ιζήματα. Ο φθορισμός ακτίνων X περιορίζεται στην ανάλυση για υλικά που μπορούν να παρασκευαστούν σε μορφή σκόνης και να ομογενοποιηθούν αποτελεσματικά, αλλά και για υλικά που περιέχουν υψηλή αφθονία στοιχείων.[47]

Συνολικά, το XRF είναι μια ισχυρή τεχνική για στοιχειακή ανάλυση, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση των υλικών με μη καταστροφικό και αποτελεσματικό τρόπο.

1.4.2. Ανάλυση περίθλασης ακτίνων X (XRD)

Η ανάλυση περίθλασης ακτίνων X (XRD) είναι μια μη καταστροφική τεχνική που παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την κρυσταλλογραφική δομή, τη χημική σύνθεση και τις φυσικές ιδιότητες ενός υλικού. Το υλικό μπορεί να είναι είτε αλεσμένο είτε ομογενοποιημένο. Για μεγαλύτερους κρυστάλλους όπως μακρομόρια και ανόργανες ενώσεις, το XRD μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της δομής των ατόμων μέσα στο δείγμα. Εάν το μέγεθος του κρυστάλλου είναι πολύ μικρό, μπορεί να καθορίσει τη σύνθεση του δείγματος και την κρυσταλλικότητα.



Εικόνα 2: XRD

Οι δέσμες ακτίνων Χ επιλέγονται επειδή το μήκος κύματος τους είναι παρόμοιο με την απόσταση μεταξύ των ατόμων στο δείγμα, οπότε η γωνία περίθλασης θα επηρεαστεί από την απόσταση των ατόμων στο μόριο, σε αντίθεση με τη χρήση πολύ μεγαλύτερων μηκών κύματος, τα οποία θα παραμείνουν αμετάβλητα από την απόσταση μεταξύ των ατόμων. Οι ακτίνες Χ στη συνέχεια περνούν μέσα από το δείγμα, αλλάζοντας την κατεύθυνση της δέσμης σε κάποια διαφορετική γωνία, δηλαδή στην γωνία περίθλασης, από την αρχική δέσμη.

Μερικές από αυτές τις διαθλασμένες δέσμες αλληλοεξουδετερώνονται, αλλά αν οι δέσμες έχουν παρόμοια μήκη κύματος, τότε συμβαίνουν εποικοδομητικές παρεμβολές. Η εποικοδομητική παρεμβολή είναι όταν οι δέσμες ακτίνων Χ που είναι του ίδιου μήκους κύματος προστίθενται για να δημιουργήσουν μια νέα δέσμη με μεγαλύτερο πλάτος κύματος και αυτό μεταφράζεται σε μεγαλύτερο σήμα για τη γωνία περίθλασης. Η γωνία περίθλασης μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό της διαφοράς μεταξύ των ατομικών επιπέδων χρησιμοποιώντας το νόμο του Bragg, $\sin\theta = n\lambda/2d$ όπου λ είναι το μήκος κύματος, θ είναι η γωνία περίθλασης και d είναι η απόσταση μεταξύ ατομικών επιπέδων.

Επομένως το XRD χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση της κρυσταλλικότητας, τον προσανατολισμό των πολυμερών και την αναγνώριση των κρυσταλλικών φάσεων. [48][49] Η μέθοδος αυτή θεωρείται ταχεία μέθοδος ταυτοποίησης ενός αγνώστου

ορυκτού με το μειονέκτημα ότι στα μικτά υλικά το όριο ανίχνευσης κυμαίνεται περίπου στο 2% του δείγματος.[50][51]

1.4.3. Φασματομετρία μάζας επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP-MS)

Το ICP-MS ονομάζεται φασματομετρία μάζας επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος, είναι μια τεχνική στοιχειακής ανάλυσης, που χρησιμοποιείται για την ποσοτική και ποιοτική ανάλυση στοιχείων σε ένα δείγμα. Παρέχει γρήγορη ανάλυση πολλαπλών στοιχείων σε ένα δείγμα και είναι εξαιρετικά ευαίσθητος τύπος φασματομετρίας μάζας.

Το ICP είναι μια πηγή ιονισμού υψηλής θερμοκρασίας που παράγεται με τη διέλευση ενός αερίου αργού μέσω ενός πηνίου ραδιοσυχνότητας (RF). Αυτό δημιουργεί μια κατάσταση πλάσματος με θερμοκρασίες που φτάνουν περίπου τους 10.000 K. Η υψηλή θερμοκρασία του πλάσματος ψεκάζει και ιονίζει το δείγμα, μετατρέποντάς το σε ιόντα. Το δείγμα, που συνήθως εισάγεται ως υγρό αεροζόλ, εγχέεται στο ICP, όπου εξατμίζεται και ιονίζεται. Το πλάσμα υψηλής θερμοκρασίας εξασφαλίζει πλήρη ψεκασμό του δείγματος, μειώνοντας τις παρεμβολές και παρέχοντας μια σταθερή πηγή ιόντων.

Τα ιόντα που παράγονται στο ICP κατευθύνονται στο φασματόμετρο μάζας. Στο φασματόμετρο μάζας, τα ιόντα διαχωρίζονται με βάση την αναλογία μάζας προς φορτίο (m/z). Ο ανιχνευτής μετρά την ένταση των ιόντων σε συγκεκριμένες τιμές m/z , επιτρέποντας την αναγνώριση και τον ποσοτικό προσδιορισμό των στοιχείων.



Εικόνα 3:ICP-MS

Το ICP-MS χρησιμοποιείται για την ανάλυση δειγμάτων που είναι υγρά όπως το νερό ή που μπορούν να διαλυθούν ή να χωνευτούν με οξύ, για να δώσουν ένα υγρό. Αλλά είναι πολύ ευέλικτο και μπορεί εύκολα να μετρήσει οργανικούς διαλύτες, να ανιχνεύσει εξαιρετικά μικρά νανοσωματίδια ή να συνδεθεί με εξαρτήματα που επιτρέπουν την άμεση ανάλυση στερεών υλικών ή αερίων. [52]

Το ICP-MS χρησιμοποιείται ευρέως διότι μπορεί να ανιχνεύσει μια σειρά μετάλλων και πολλά μη μέταλλα σε συγκεντρώσεις κάτω από ένα μέρος ανά τρισεκατομμύριο.[53]

1.5. Μέθοδοι Monte Carlo (MC)

Οι μέθοδοι Monte Carlo (MC) είναι κλάση υπολογιστικών αλγορίθμων που βασίζονται στην επαναλαμβανόμενη τυχαία δειγματοληψία και συχνά χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση φυσικών και μαθηματικών συστημάτων και προβλημάτων. Προσομοίωση επιτυγχάνεται με την ομοιόμορφη κατανομή, ουσιαστικά πρόκειται για μια διαδικασία δόμησης ενός Μαθηματικού είτε λογικού μοντέλου ενός συστήματος ή προβλήματος λήψης αποφάσεων και ο πειραματισμός με αυτό το μοντέλο με σκοπό την δημιουργία εκτιμήσεων των παραμέτρων και των επιδόσεων του συστήματος. Οι αλγόριθμοι MC εξαρτώνται από την χρήση τυχαίων αριθμών (στην ουσία ψευδοτυχαίων αριθμών) που παράγονται από κώδικα που εκτελείται σε υπολογιστή. Οι

αλγόριθμοι MC ονομάζονται και στοχαστικοί αλγόριθμοι (stochastic algorithms) και συνήθως χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που το μοντέλο μας για κάποιο σύστημα, είναι τόσο πολύπλοκο, που η παραγωγή αναλυτικών λύσεων, είτε ακόμα και η χρήση αιτιοκρατικών αλγορίθμων, δεν είναι δυνατή είτε έχει πολύ μεγάλο κόστος σε πόρους. Στην ουσία με την χρήση στοχαστικών αλγορίθμων θέλουμε να αναπαραστήσουμε ένα στοχαστικό φαινόμενο στον υπολογιστή όσο πολύπλοκο και αν είναι χρησιμοποιώντας τον μικρότερο δυνατό αριθμό απλουστεύσεων, δημιουργώντας έτσι ρεαλιστικά μοντέλα. Εάν λοιπόν καταφέρουμε να δημιουργήσουμε ένα υπολογιστικό μοντέλο που είναι πολύ κοντά στο αντίστοιχο φυσικό σύστημα (να προσομοιώσουμε δηλαδή το φυσικό σύστημα), δεν χρειάζεται να περιμένουμε το φαινόμενο να πραγματοποιηθεί με φυσικό τρόπο γιατί ίσως χρειάζεται μεγάλο χρονικό διάστημα για την επανάληψη του είτε λόγω κόστους δεν μπορούμε να έχουμε μεγάλο αριθμό από πραγματικές εργαστηριακές πραγματοποιήσεις. Για παράδειγμα στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιούνται στοχαστικοί αλγόριθμοι: προσομοιωμένη ακολουθία του δείγματος από την ομοιόμορφη κατανομή στο (0,1). Σε αντίθεση με ένα κανονικό μοντέλο πρόβλεψης, η προσομοίωση Monte Carlo προβλέπει ένα σύνολο πιθανών αποτελεσμάτων αξιοποιώντας μια κατανομή πιθανοτήτων, όπως μια ομοιόμορφη ή κανονική κατανομή, για οποιαδήποτε μεταβλητή του προβλήματος έχει αβεβαιότητα. Στη συνέχεια, υπολογίζει ξανά και ξανά τα αποτελέσματα, κάθε φορά χρησιμοποιώντας διαφορετικό σύνολο τυχαίων αριθμών μεταξύ των ελάχιστων και των μέγιστων τιμών. Σε ένα τυπικό πείραμα Monte Carlo, αυτή η άσκηση μπορεί να επαναληφθεί χιλιάδες φορές για να παράγει μεγάλο αριθμό πιθανών αποτελεσμάτων ωστόσο καταλήξουμε στη βέλτιστη καμπύλη προσαρμογής. [54]

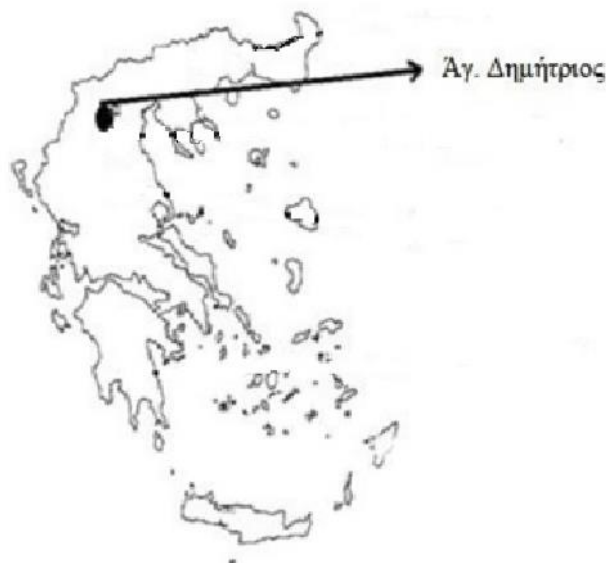
2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η παρούσα εργασία έγκειται στην αποτελεσματική εκχύλιση των παρακάτω χημικών στοιχείων όπως του λιθίου (Li), του μαγγανίου (Mn), του λανθανίου (La), του δημητρίου (Ce), του χρωμίου (Cr), του νικελίου (Ni), του ψευδαργύριου (Zn) και του κοβαλτίου (Co), από ιπτάμενη τεφρά με χρήση καρβοξυλικών οξέων και συγκεκριμένα του κιτρικού και οξικού οξέος, τα οποία θεωρούνται οι πιο ήπιες και πράσινες επιλογές.

Τα δείγματα ιπτάμενης τέφρας που χρησιμοποιήθηκαν προήλθαν από ιπτάμενη τεφρά Αγίου Δημητρίου τα οποία ήταν λειοτριβημένα και αεροξηραμένα.

Στην Εικόνα 4 σημειώνεται η περιοχή δειγματοληψίας.



Εικόνα 4: Περιοχή Αγίου Δημητρίου Κοζάνης

Για τον χαρακτηρισμό των δειγμάτων με XRD με XRF αλλά και ICP-MS πραγματοποιήθηκε :

- **Ορυκτολογική ανάλυση**

Η ορυκτολογική σύνθεση των δειγμάτων προσδιορίστηκε με την περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD). Οι μετρήσεις έλαβαν μέρος στο εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας της σχολής των Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το περιθλασίμετρο D8 Advance της Bruker AXS. Οι συνθήκες της μέτρησης ήταν 35kV, 34mA σε γωνία 4-70°, βήμα 0,02° και χρόνο/βήμα 0,2 sec/βήμα και με καταμετρητή LynxEye με φίλτρο Ni. Ο ημιποσοτικός προσδιορισμός των συστατικών ορυκτών και του άμορφου περιεχόμενου έγιναν με το λογισμικό Diffraclplus Eva της Bruker AXS. Για τον ποσοτικό προσδιορισμό των ορυκτών υλικών που περιλαμβάνονται στην ιπτάμενη τέφρα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος XRD με χρήση λειοτριβημένου δείγματος.

- **Χημική Ανάλυση**

Ο προσδιορισμός της σύστασης σε κύρια στοιχεία των δειγμάτων έγινε με φασματομετρία ακτίνων Χ φθορισμού (XRF). Τα δείγματα πυρώθηκαν στους 1050 °C για τον υπολογισμό της απώλειας πύρωσης. Για την ανάλυση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε 1,5g ιπτάμενης τέφρας, στα οποία προστέθηκαν ως συντηκτικό άνυδρο τετραβορικό λίθιο ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ -) και μεταβορικό λίθιο (LiBO_2) σε αναλογία 50:50. Αυτά ζυγίστηκαν και αναμίχθηκαν μαζί με το δείγμα με την χρήση αχάτη. Έπειτα τοποθετήθηκαν σε ειδική κάψα λευκόχρυσου όπου και προστέθηκαν 4-5 σταγόνες από τον ρευστοποιητή (LiBr). Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα στο εργαστήριο της Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας της σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων και το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το S2 Ranger της Bruker.

- **Προσδιορισμός του Li, La, Ce, Cr, Ni, Zn, Co και Mn.**

Για τον ποσοτικό και ποιοτικό προσδιορισμό του Li, La, Ce, Cr, Ni, Zn, Co, Mn στο δείγμα της ιπτάμενης τέφρας Αγ. Δημητρίου, πριν από την ανάλυση με ICP-MS πραγματοποιήθηκε εκχύλιση με καρβοξυλικά οξέα.

Για την ανάλυση του δείγματος με τη μέθοδο ICP-MS απαιτείται πλήρης διαλυτοποίηση της ιπτάμενης τέφρας και αν αυτό δεν είναι εφικτό απαιτείται η διήθηση των δειγμάτων για τον καθαρισμό τους από το στερεό τους μέρος, η οποία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Ανόργανης Γεωχημείας, Οργανικής Γεωχημείας και Οργανικής Πετρογραφίας της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Οι αναλύσεις των δειγμάτων πραγματοποιήθηκαν σε ιδιωτικό αναλυτικό εργαστήριο.

- **Χημική ανάλυση**

Όλα τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν «αναλυτικώς» καθαρά και όλες οι δοκιμές που περιγράφονται πραγματοποιήθηκαν δύο φορές.

Χρησιμοποιήθηκαν δείγματα ιπτάμενης τέφρας άνθρακα 0,5g και 50 mL διαλύματος οργανικού οξέος (κιτρικού ή οξικού οξέος). Το απιονισμένο νερό παρήχθη στο εργαστήριο χρησιμοποιώντας έναν καθαρισμό νερού.

Αρχικά εξετάστηκε ο παράγοντας του χρόνου για 10' 15' 20' 30' 60' 120' με σταθερή συγκέντρωση 10% και με σταθερή θερμοκρασία στους 60°C.

Έπειτα εξετάστηκε ο παράγοντας θερμοκρασιών για τις διάφορες θερμοκρασίες 30 °C 50 °C 60 °C 80 °C 90 °C με σταθερή συγκέντρωση 10% και με σταθερό χρόνο 120 λεπτών.

Τέλος εξετάστηκε ο παράγοντας περιεκτικότητας του οξέος για τις διάφορες συγκεντρώσεις 2% 5% 8% 10% 20% με σταθερή θερμοκρασία στους 60 °C και σταθερό χρόνο 120 λεπτών.

Αφού παρασκευάστηκαν δείγματα με χρήση του κιτρικού και οξικού οξέος ξεχωριστά τοποθετήθηκαν στο υδατόλουτρο με σταθερή θερμοκρασία στους 60°C και σταθερή συγκέντρωση 10% για τους παραπάνω χρόνους. Παράλληλα γινόταν ανάδευση των διαλυμάτων ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Έπειτα ακολουθήθηκε η διήθηση τους ώστε στο διήθημα, να πραγματοποιηθεί ο προσδιορισμός των στοιχείων στο ICP-MS.

Εν συνεχεία τοποθετήθηκαν τα δεύτερα δείγματα στο υδατόλουτρο με σταθερή συγκέντρωση 10% και με σταθερό χρόνο 120 λεπτών για τις διάφορες θερμοκρασίες, οι οποίες αναφέρονται παραπάνω. Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία ανάδευσης και διήθησης.

Τα τελευταία τρία δείγματα τοποθετήθηκαν και αυτά στο υδατόλουτρο για σταθερή θερμοκρασία στους 60 °C και σταθερό χρόνο 120 λεπτών για τις διάφορες συγκεντρώσεις, οι οποίες αναφέρονται παραπάνω. Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία ανάδευσης και διήθησης.

Στον Πίνακα 1 αναφέρονται οι παράμετροι που μελετήθηκαν ξεχωριστά η κάθε μια στο κάθε δείγμα. Τα επισημασμένα κελιά του πίνακα είναι οι παράμετροι που διατηρήθηκαν σταθεροί ανά δυο κάθε φορά κατά την διάρκεια μελέτης μίας παραμέτρου.

Πίνακας 1: Πίνακας Παραμέτρων

Συγκεντρώσεις (%)	Θερμοκρασίες (°C)	Χρόνος (min)
-	-	10
2	30	15
5	50	20
8	60	30
10	80	60
20	90	120

2.2. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Από την ανάλυση του ICP-MS, τα αποτελέσματα που προέκυψαν εμφανίζονται στον Πίνακα 2. Είναι η περιεκτικότητα (mg/kg) του κάθε στοιχείου που εμπεριέχονται στην ιπτάμενη τέφρα Αγίου Δημητρίου.

Πίνακας 2:Περιεκτικότητα (mg/kg) των μετάλλων στην ιπτάμενη τέφρα Αγίου Δημητρίου

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	mg/kg
Li	126
La	44
Ce	81
Cr	285
Ni	229
Zn	58
Co	17
Mn	384

Από την ανάλυση XRD, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στον Πίνακα 3. Είναι το ποσοστό του κάθε ορυκτού που εμπεριέχεται στο δείγμα της ιπτάμενης τέφρας Αγίου Δημητρίου.

Πίνακας 3:Ποσοστό ορυκτών που εμπεριέχονται στην ιπτάμενη τέφρα Αγίου Δημητρίου

% Mineral phase	AGD
Anhydrite (CaSO ₄)	10
Hematite (Fe ₂ O ₃)	1
Calcite (CaCO ₃)	12
Portlandite [Ca(OH) ₂]	1
Lime (CaO)	9
Gehlenite [Ca ₂ Al(AlSiO ₇)]	4
C2S (Ca ₂ SiO ₄)	3
Brownmillerite (Ca ₂ (Al,Fe) ₂ O ₅)	4
Feldspar [(Ca,Na)Al ₁₋₂ Si ₂₋₃ O ₈ -KAlSi ₃ O ₈]	6
Quartz (SiO ₂)	12
Mica [KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀)(F,OH) ₂]	4
Pyroxene [(Ca,Mg,Fe,Al)Si ₂ O ₆]	1
Spinel (MgAl ₂ O ₄)	-
Mullite (Al ₆ Si ₂ O ₁₃)	-
Amorphous	33

Από την ανάλυση XRF, απεικονίζονται τα αποτελέσματα στον Πίνακα 4. Είναι το ποσοστό οξειδίων που εμπεριέχεται στο δείγμα της ιπτάμενης τέφρας Αγίου Δημητρίου.

Πίνακας 4: Ποσοστό οξειδίων που εμπεριέχονται στην ιπτάμενη τέφρα Αγίου Δημητρίου

% Major elements	AGD
Na ₂ O	0.2
CaO	30.8
Al ₂ O ₃	13.8
Fe ₂ O ₃	5.3
2SiO ₂	36.6
MgO	4.1
K ₂ O	1.1
TiO ₂	0.8
P ₂ O ₅	0.1
SO ₃	7.1
LOI	0.1
SUM	100

Ο παράγοντας εμπλουτισμού περιέχει ένα μέτρο για το πόσο πιο άφθονο ή σπάνιο είναι ένα στοιχείο στην ιπτάμενη τέφρα σε σύγκριση με το φλοιό της Γης. Μία τιμή μεγαλύτερη του 1 υποδηλώνει εμπλουτισμό υψηλότερη συγκέντρωση στην ιπτάμενη τέφρα ενώ μικρότερο του 1 υποδηλώνει το αντίστοιχο. Τα μέταλλα για τα οποία εξετάστηκε η ιπτάμενη τέφρα ήταν το Li , La και το Ce σε σχέση με τις τέφρες παγκοσμίως και προσδιορίστηκε το ποσοστό του εμπλουτισμού. Τα ποσοστά αυτών των στοιχείων που υπάρχουν στην ιπτάμενη τέφρα ανέρχονται σε 0,12% Li , 0,7% Ce και 2,4% La. Επομένως η ιπτάμενη τέφρα Αγίου Δημητρίου έχει υψηλά ποσοστά σε λανθάνιο και εμπεριέχει χαμηλότερα ποσοστά λιθίου και δημητρίου.[55]

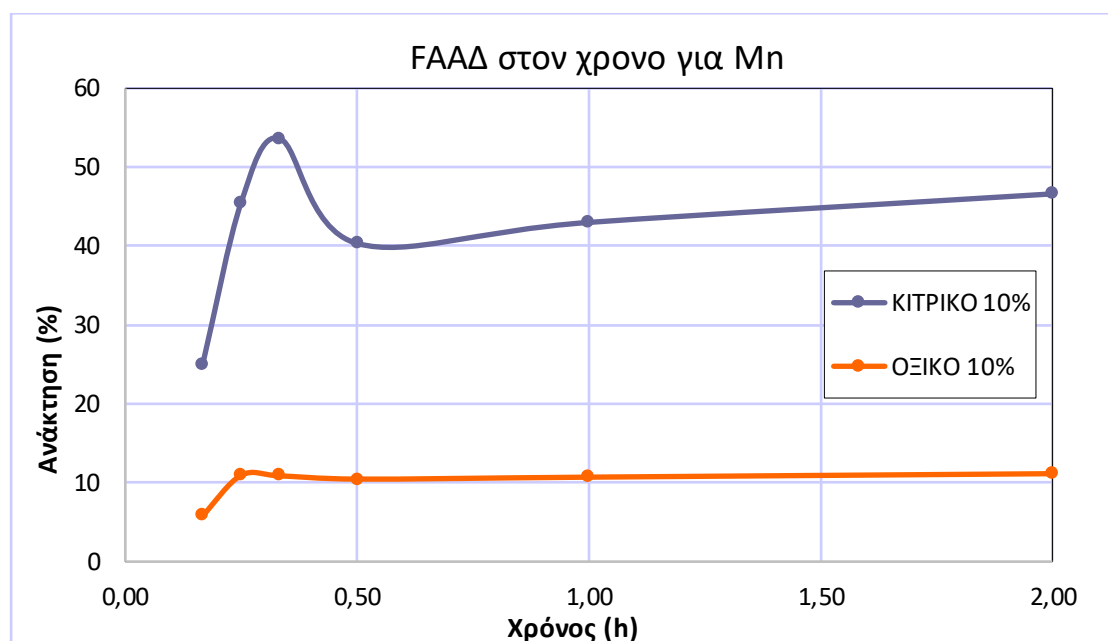
2.2.1. Μαγγάνιο (Mn)

Πίνακας 5: F.A.ΑΔ χρόνου κιτρικού οξέος για μαγγάνιο (Mn)

Δείγμα	Mn (ppb)	Mn (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	Χρόνος (h)
F.A.ΑΔ + 10 min Κιτρικό	958,023	0,958	0,5	50	95,802	24,949	0,17
F.A.ΑΔ + 15 min Κιτρικό	1.748,616	1,749	0,5	50	174,862	45,537	0,25
F.A.ΑΔ + 20 min Κιτρικό	2.059,262	2,059	0,5	50	205,926	53,627	0,33
F.A.ΑΔ + 30 min Κιτρικό	1.548,923	1,549	0,5	50	154,892	40,337	0,5
F.A.ΑΔ + 60 min Κιτρικό	1.651,243	1,651	0,5	50	165,124	43,001	1
F.A.ΑΔ + 120 min Κιτρικό	1.790,186	1,790	0,5	50	179,019	46,619	2
FA.A.Δ. συνολικό	-				384,000		

Πίνακας 6: F.A.ΑΔ χρόνου οξικού οξέος για μαγγάνιο (Mn)

Δείγμα	Mn (ppb)	Mn (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	Χρόνος (h)
F.A.ΑΔ + 10 min Οξικό	223,132	0,223	0,5	50	22,313	5,811	0,17
F.A.ΑΔ + 15 min Οξικό	419,910	0,420	0,5	50	41,991	10,935	0,25
F.A.ΑΔ + 20 min Οξικό	417,521	0,418	0,5	50	41,752	10,873	0,33
F.A.ΑΔ + 30 min Οξικό	401,622	0,402	0,5	50	40,162	10,459	0,5
F.A.ΑΔ + 60 min Οξικό	411,133	0,411	0,5	50	41,113	10,707	1
F.A.ΑΔ + 120 min Οξικό	427,961	0,428	0,5	50	42,796	11,145	2
FA.A.Δ. συνολικό	-				384,000		



Διάγραμμα 1. Συσχέτιση ανάκτησης (%) με χρόνο (h) για το μαγγάνιο (Mn)

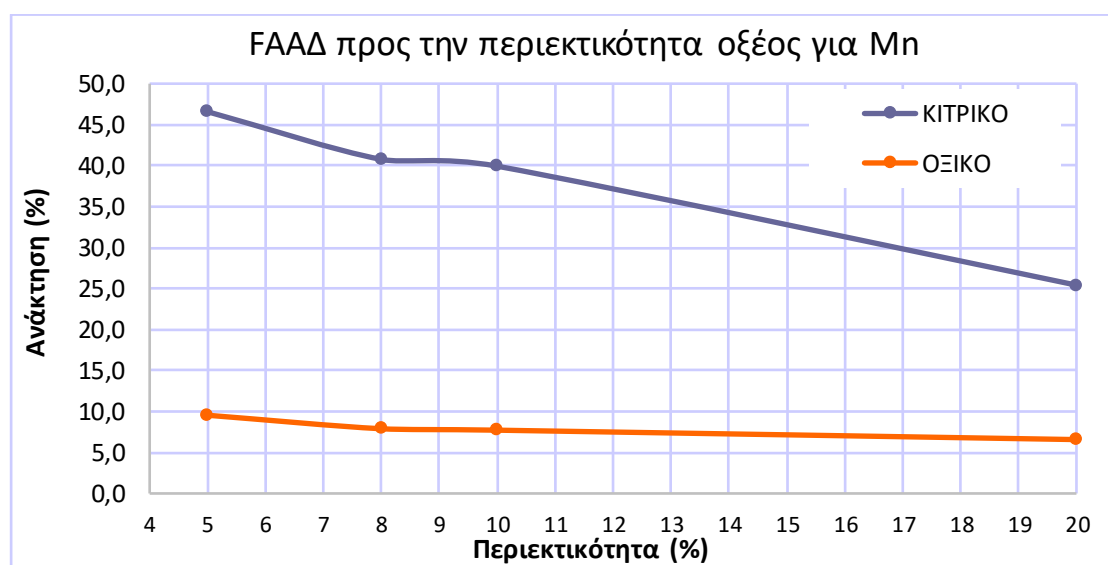
Στο πείραμα του χρόνου παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης μαγγανίου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται στο 53% σε χρόνο 30 λεπτών, στην συνέχεια μειώνεται στο 40% σε χρόνο 50 λεπτών και εξακολουθεί μια ανοδική τάση έως τα 120 λεπτά. Η βέλτιστη ανάκτηση μαγγανίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό 11% για χρόνο 120 λεπτών άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

Πίνακας 7: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας κιτρικού οξέος για μαγγάνιο (Mn)

Δείγμα	Mn (ppb)	Mn (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	% Κιτρικό
F.A.ΑΔ + 2% Κιτρικό	2.151,047	2,151	0,5	50	215,105	56,017	2
F.A.ΑΔ + 5% Κιτρικό	1.788,558	1,789	0,5	50	178,856	46,577	5
F.A.ΑΔ + 8% Κιτρικό	1.565,054	1,565	0,5	50	156,505	40,757	8
F.A.ΑΔ + 10% Κιτρικό	1.533,212	1,533	0,5	50	153,321	39,927	10
F.A.ΑΔ + 20% Κιτρικό	975,973	0,976	0,5	50	97,597	25,416	20
FA.A.Δ. συνολικό	-				384,000		

Πίνακας 8: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας οξικού οξέος για μαγγάνιο (Mn)

Δείγμα	Mn (ppb)	Mn (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	% Οξικό
F.A.ΑΔ + 2% Οξικό	337,467	0,337	0,5	50	33,747	8,788	2
F.A.ΑΔ + 5% Οξικό	366,485	0,366	0,5	50	36,648	9,544	5
F.A.ΑΔ + 8% Οξικό	303,144	0,303	0,5	50	30,314	7,894	8
F.A.ΑΔ + 10% Οξικό	296,510	0,297	0,5	50	29,651	7,722	10
F.A.ΑΔ + 20% Οξικό	252,325	0,252	0,5	50	25,233	6,571	20
ΦΑ.Α.Δ. Εξατμ.	-				384,000		



Διάγραμμα 2: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με περιεκτικότητα (%) για το μαγγάνιο (Mn)

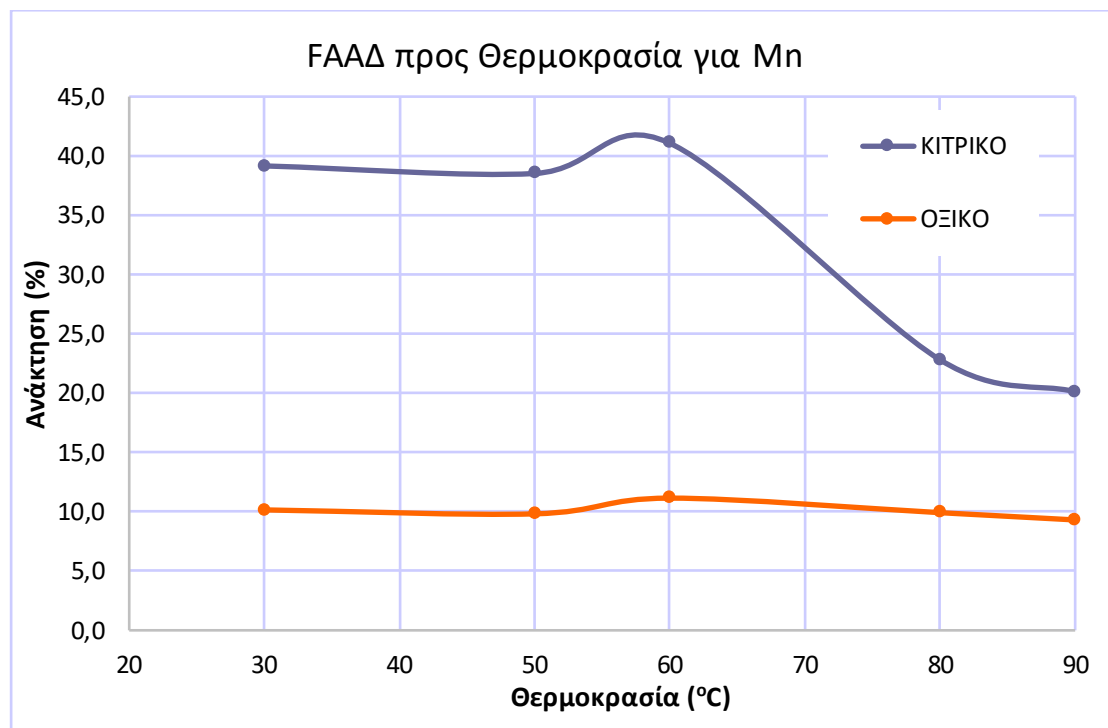
Στο πείραμα της περιεκτικότητας παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης μαγγανίου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται στο 46% με περιεκτικότητα οξέος που αντιστοιχεί στην τιμή 5%, στην συνέχεια μειώνεται στο 39% με περιεκτικότητα οξέος 10% και εξακολουθεί πτωτική τάση. Η βέλτιστη ανάκτηση μαγγανίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό λιγότερο του 10% για περιεκτικότητα οξέος 5% άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

Πίνακας 9: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας κιτρικού οξέος για μαγγάνιο (Mn)

Δείγμα	Mn (ppb)	Mn (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	°C
F.A.ΑΔ + 30 °C Κιτρικό	1.503,570	1,504	0,5	50	150,357	39,155	30
F.A.ΑΔ + 50°C Κιτρικό	1.478,986	1,479	0,5	50	147,899	38,515	50
F.A.ΑΔ + 60 °C Κιτρικό	1.577,136	1,577	0,5	50	157,714	41,071	60
F.A.ΑΔ + 80 °C Κιτρικό	875,927	0,876	0,5	50	87,593	22,811	80
F.A.ΑΔ + 90 °C Κιτρικό	772,705	0,773	0,5	50	77,270	20,123	90
FA.A.Δ. συνολικό	-				384,000		

Πίνακας 10: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας οξικού οξέος για μαγγάνιο (Mn)

Δείγμα	Mn (ppb)	Mn (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	°C
F.A.ΑΔ + 30 °C Οξικό	389,927	0,390	0,5	50	38,993	10,154	30
F.A.ΑΔ + 50 °C Οξικό	377,115	0,377	0,5	50	37,711	9,821	50
F.A.ΑΔ + 60 °C Οξικό	427,961	0,428	0,5	50	42,796	11,145	60
F.A.ΑΔ + 80 °C Οξικό	380,912	0,381	0,5	50	38,091	9,920	80
F.A.ΑΔ + 90 °C Οξικό	357,364	0,357	0,5	50	35,736	9,306	90
FA.A.Δ. συνολικό	-				384,000		



Διάγραμμα 3: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με θερμοκρασία (°C) για το μαγγάνιο (Mn)

Στο πείραμα της θερμοκρασίας παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης μαγγανίου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται στο 41% σε θερμοκρασία 60 °C, στην συνέχεια μειώνεται στο 23% σε θερμοκρασία 80 °C και εξακολουθεί πτωτική τάση έως τους 90 °C. Η βέλτιστη ανάκτηση μαγγανίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό 11% για θερμοκρασία 60 °C άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

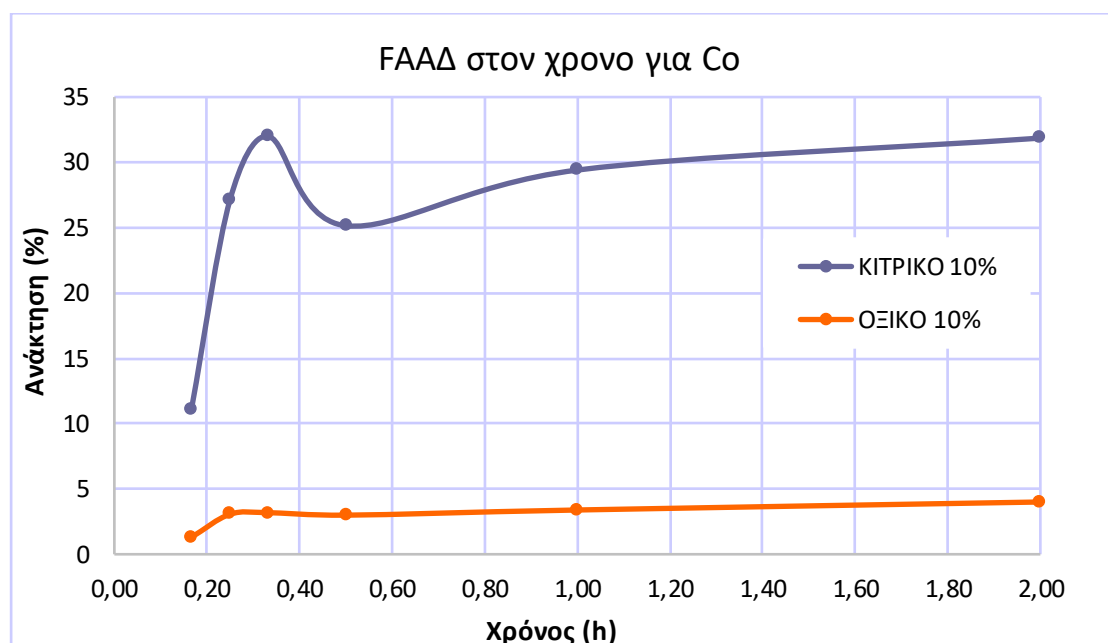
2.2.2. Κοβάλτιο (Co)

Πίνακας 11: F.A.ΑΔ χρόνου κιτρικού οξέος για κοβάλτιο (Co)

Δείγμα	Co (ppb)	Co (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	Χρόνος (h)
F.A.ΑΔ + 10 min Κιτρικό	18,931	0,019	0,5	50	1,893	11,136	0,17
F.A.ΑΔ + 15 min Κιτρικό	46,170	0,046	0,5	50	4,617	27,159	0,25
F.A.ΑΔ + 20 min Κιτρικό	54,370	0,054	0,5	50	5,437	31,982	0,33
F.A.ΑΔ + 30 min Κιτρικό	42,757	0,043	0,5	50	4,276	25,151	0,5
F.A.ΑΔ + 60 min Κιτρικό	49,999	0,050	0,5	50	5,000	29,411	1
F.A.ΑΔ+120min Κιτρικό	54,161	0,054	0,5	50	5,416	31,859	2
FA.A.Δ. συνολικό	-				17,000		

Πίνακας 12: F.A.ΑΔ χρόνου οξικού οξέος για κοβάλτιο (Co)

Δείγμα	Co (ppb)	Co (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	Χρόνος (h)
F.A.ΑΔ + 10 min Οξικό	2,215	0,002	0,5	50	0,222	1,303	0,17
F.A.ΑΔ + 15 min Οξικό	5,209	0,005	0,5	50	0,521	3,064	0,25
F.A.ΑΔ + 20 min Οξικό	5,409	0,005	0,5	50	0,541	3,182	0,33
F.A.ΑΔ + 30 min Οξικό	5,087	0,005	0,5	50	0,509	2,992	0,5
F.A.ΑΔ + 60 min Οξικό	5,759	0,006	0,5	50	0,576	3,388	1
F.A.ΑΔ + 120 min Οξικό	6,800	0,007	0,5	50	0,680	4,000	2
FA.A.Δ. συνολικό	-				17,000		



Διάγραμμα 4: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με χρόνο (h) για το κοβάλτιο (Co)

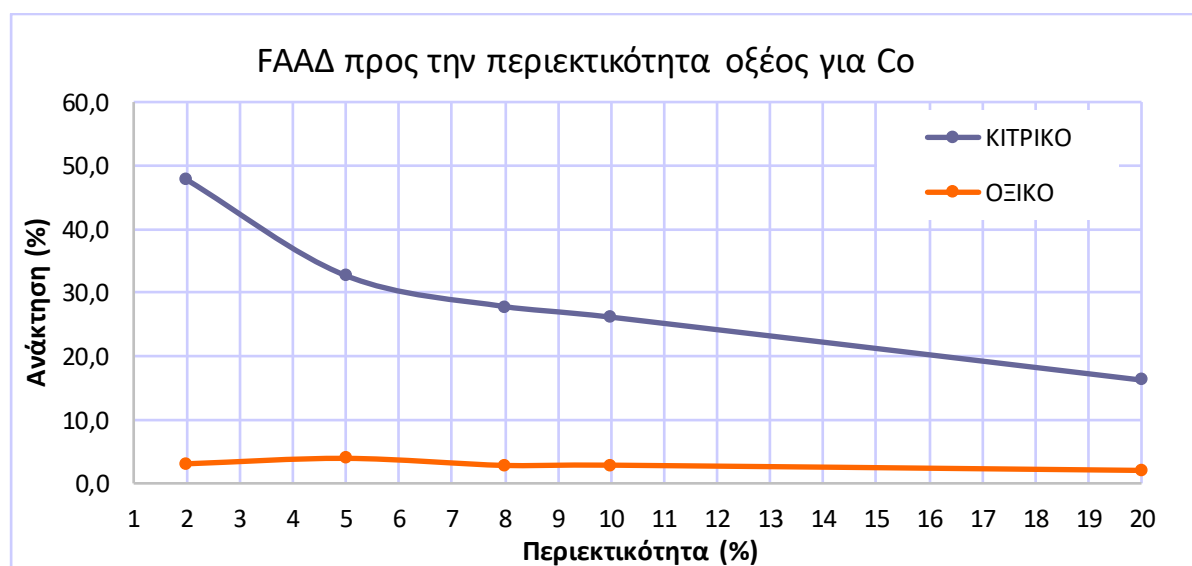
Στο πείραμα του χρόνου παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης κοβαλτίου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται στο 32% σε χρόνο 30 λεπτών, στην συνέχεια μειώνεται στο 25% σε χρόνο 50 λεπτών και εξακολουθεί ανοδική τάση έως τα 120 λεπτά με ανάκτηση κοβαλτίου 31%. Η βέλτιστη ανάκτηση κοβαλτίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό που αντιστοιχεί στο 4% για 120 λεπτά, άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

Πίνακας 13: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας κιτρικού οξέος για κοβάλτιο (Co)

Δείγμα	Co (ppb)	Co (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	% Κιτρικό
F.A.ΑΔ + 2% Κιτρικό	81,208	0,081	0,5	50	8,121	47,770	2
F.A.ΑΔ + 5% Κιτρικό	55,579	0,056	0,5	50	5,558	32,693	5
F.A.ΑΔ + 8% Κιτρικό	47,276	0,047	0,5	50	4,728	27,810	8
F.A.ΑΔ + 10% Κιτρικό	44,455	0,044	0,5	50	4,446	26,150	10
F.A.ΑΔ + 20% Κιτρικό	27,628	0,028	0,5	50	2,763	16,252	20
F.A.Α.Δ. συνολικό	-				17,000		

Πίνακας 14: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας οξικού οξέος για κοβάλτιο (Co)

Δείγμα	Co (ppb)	Co (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	% Οξικό
F.A.ΑΔ + 2% Οξικό	5,235	0,005	0,5	50	0,523	3,079	2
F.A.ΑΔ + 5% Οξικό	6,685	0,007	0,5	50	0,669	3,932	5
F.A.ΑΔ + 8% Οξικό	4,783	0,005	0,5	50	0,478	2,813	8
F.A.ΑΔ + 10% Οξικό	4,871	0,005	0,5	50	0,487	2,865	10
F.A.ΑΔ + 20% Οξικό	3,466	0,003	0,5	50	0,347	2,039	20
FA.A.Δ. συνολικό	-				17,000		



Διάγραμμα 5: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με περιεκτικότητα (%) για το κοβάλτιο (Co)

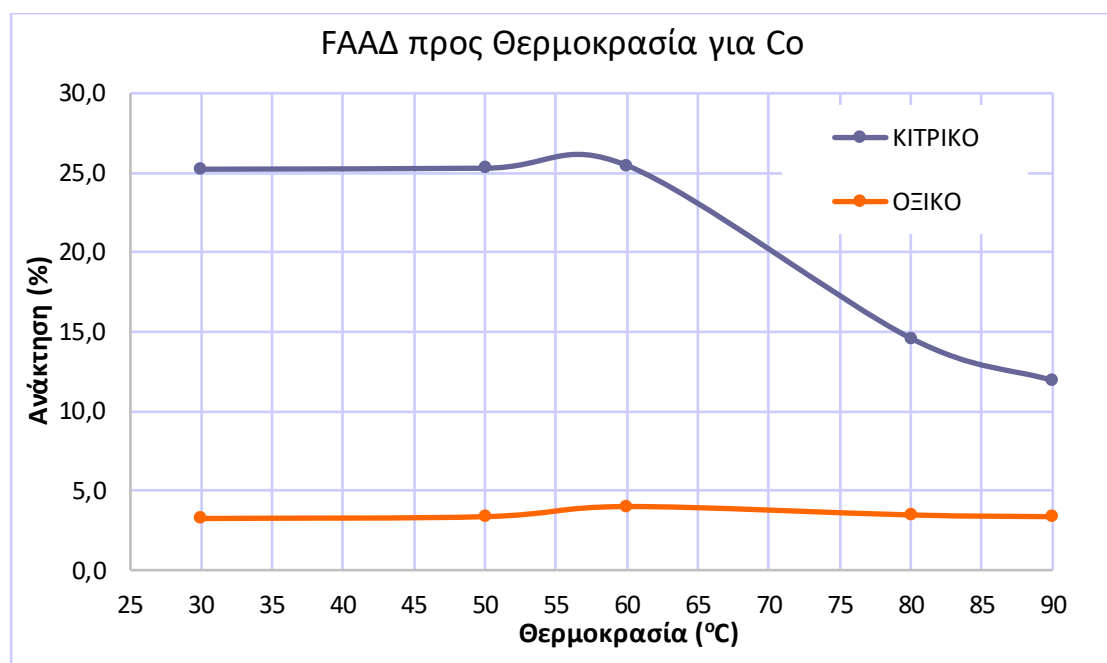
Στο πείραμα της περιεκτικότητας παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης κοβαλτίου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται στο 48% σε περιεκτικότητα οξέος 2%, στην συνέχεια μειώνεται σταδιακά στο 16% σε περιεκτικότητα οξέος 20%. Η βέλτιστη ανάκτηση κοβαλτίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό λιγότερο του 4% για περιεκτικότητα οξέος 5% άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

Πίνακας 15: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας κιτρικού οξέος για κοβάλτιο (Co)

Δείγμα	Co (ppb)	Co (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	°C
F.A.ΑΔ + 30 °C Κιτρικό	42,880	0,043	0,5	50	4,288	25,223	30
F.A.ΑΔ + 50 °C Κιτρικό	42,986	0,043	0,5	50	4,299	25,286	50
F.A.ΑΔ + 60 °C Κιτρικό	43,278	0,043	0,5	50	4,328	25,458	60
F.A.ΑΔ + 80 °C Κιτρικό	24,801	0,025	0,5	50	2,480	14,589	80
F.A.ΑΔ + 90 °C Κιτρικό	20,276	0,020	0,5	50	2,028	11,927	90
FA.A.Δ. συνολικό	-				17,000		

Πίνακας 16: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας οξικού οξέος για κοβάλτιο (Co)

Δείγμα	Co (ppb)	Co (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	°C
F.A.ΑΔ + 30 °C Οξικό	5,523	0,006	0,5	50	0,552	3,249	30
F.A.ΑΔ + 50 °C Οξικό	5,718	0,006	0,5	50	0,572	3,364	50
F.A.ΑΔ + 60 °C Οξικό	6,800	0,007	0,5	50	0,680	4,000	60
F.A.ΑΔ + 80 °C Οξικό	5,898	0,006	0,5	50	0,590	3,469	80
F.A.ΑΔ + 90 °C Οξικό	5,715	0,006	0,5	50	0,571	3,362	90
FA.A.Δ. συνολικό	-				17,000		



Διάγραμμα 6: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με θερμοκρασία (°C) για το κοβάλτιο (Co)

Στο πείραμα της θερμοκρασίας παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης κοβαλτίου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται στο 25% σε θερμοκρασία 60 °C, στην συνέχεια μειώνεται στο 15% σε θερμοκρασία 80 °C και εξακολουθεί πτωτική τάση έως τους 90°C. Η βέλτιστη ανάκτηση κοβαλτίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό 4% για θερμοκρασία 60 °C άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

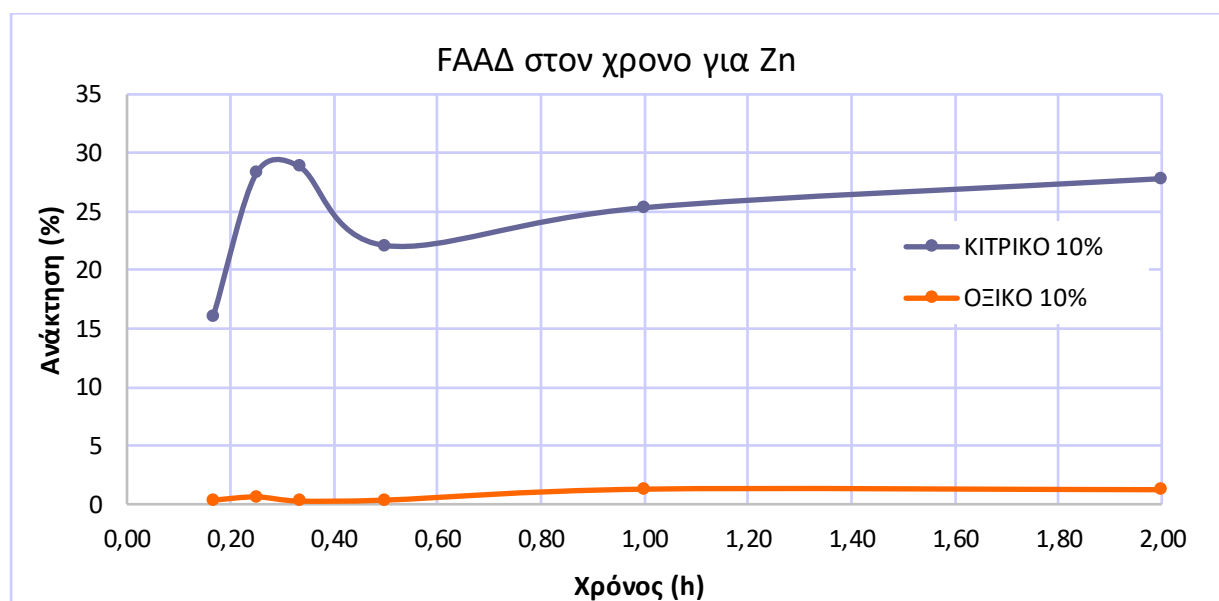
2.2.3. Ψευδάργυρος (Zn)

Πίνακας 17: F.A.ΑΔ χρόνου κιτρικού οξέος για ψευδάργυρο (Zn)

Δείγμα	Zn (ppb)	Zn (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	Χρόνος (h)
F.A.ΑΔ + 10 min Κιτρικό	93,034	0,093	0,5	50	9,303	16,040	0,17
F.A.ΑΔ + 15 min Κιτρικό	163,888	0,164	0,5	50	16,389	28,256	0,25
F.A.ΑΔ + 20 min Κιτρικό	167,219	0,167	0,5	50	16,722	28,831	0,33
F.A.ΑΔ + 30 min Κιτρικό	128,122	0,128	0,5	50	12,812	22,090	0,5
F.A.ΑΔ + 60 min Κιτρικό	146,892	0,147	0,5	50	14,689	25,326	1,0
F.A.ΑΔ + 120 min Κιτρικό	161,263	0,161	0,5	50	16,126	27,804	2
FA.A.D. συνολικό	-				58,000		

Πίνακας 18: F.A.ΑΔ χρόνου οξικού οξέος για ψευδάργυρο (Zn)

Δείγμα	Zn (ppb)	Zn (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	Χρόνος (h)
F.A.ΑΔ + 10 min Οξικό	2,046	0,002	0,5	50	0,205	0,353	0,17
F.A.ΑΔ + 15 min Οξικό	3,652	0,004	0,5	50	0,365	0,630	0,25
F.A.ΑΔ + 20 min Οξικό	1,570	0,002	0,5	50	0,157	0,271	0,33
F.A.ΑΔ + 30 min Οξικό	2,066	0,002	0,5	50	0,207	0,356	0,5
F.A.ΑΔ + 60 min Οξικό	7,480	0,007	0,5	50	0,748	1,290	1
F.A.ΑΔ + 120 min Οξικό	7,198	0,007	0,5	50	0,720	1,241	2
FA.A.D. συνολικό	-				58,000		



Διάγραμμα 7: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με χρόνο (h) για το ψευδάργυρο (Zn)

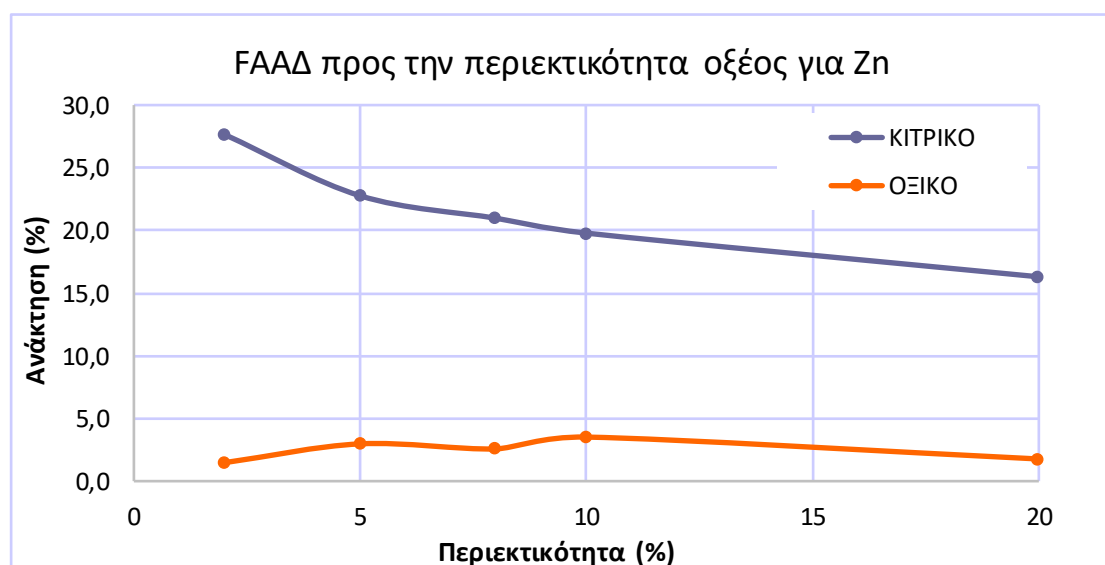
Στο πείραμα του χρόνου παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης ψευδαργύρου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται στο 28% σε χρόνο 30 λεπτών, στην συνέχεια μειώνεται στο 22% σε χρόνο 50 λεπτών και εξακολουθεί ανοδική τάση έως τα 120 λεπτά. Η βέλτιστη ανάκτηση ψευδαργύρου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό λιγότερο του 2% για χρόνο 60 λεπτών άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

Πίνακας 19: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας κιτρικού οξέος για ψευδάργυρο (Zn)

Δείγμα	Zn (ppb)	Zn (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	% Κιτρικό
F.A.ΑΔ + 2% Κιτρικό	160,415	0,160	0,5	50	16,041	27,658	2
F.A.ΑΔ + 5% Κιτρικό	132,040	0,132	0,5	50	13,204	22,766	5
F.A.ΑΔ + 8% Κιτρικό	121,655	0,122	0,5	50	12,166	20,975	8
F.A.ΑΔ + 10% Κιτρικό	114,758	0,115	0,5	50	11,476	19,786	10
F.A.ΑΔ + 20% Κιτρικό	94,538	0,095	0,5	50	9,454	16,300	20
F.A.Α.Δ. συνολικό	-				58,000		

Πίνακας 20: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας οξικού οξέος για ψευδάργυρο (Zn)

Δείγμα	Zn (ppb)	Zn (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	% Οξικό
F.A.ΑΔ + 2% Οξικό	8,536	0,009	0,5	50	0,854	1,472	2
F.A.ΑΔ + 5% Οξικό	17,247	0,017	0,5	50	1,725	2,974	5
F.A.ΑΔ + 8% Οξικό	14,908	0,015	0,5	50	1,491	2,570	8
F.A.ΑΔ + 10% Οξικό	20,383	0,020	0,5	50	2,038	3,514	10
F.A.ΑΔ + 20% Οξικό	10,235	0,010	0,5	50	1,023	1,765	20
FA.A.Δ. συνολικό	-				58,000		



Διάγραμμα 8: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με περιεκτικότητα (%) για το ψευδάργυρο (Zn)

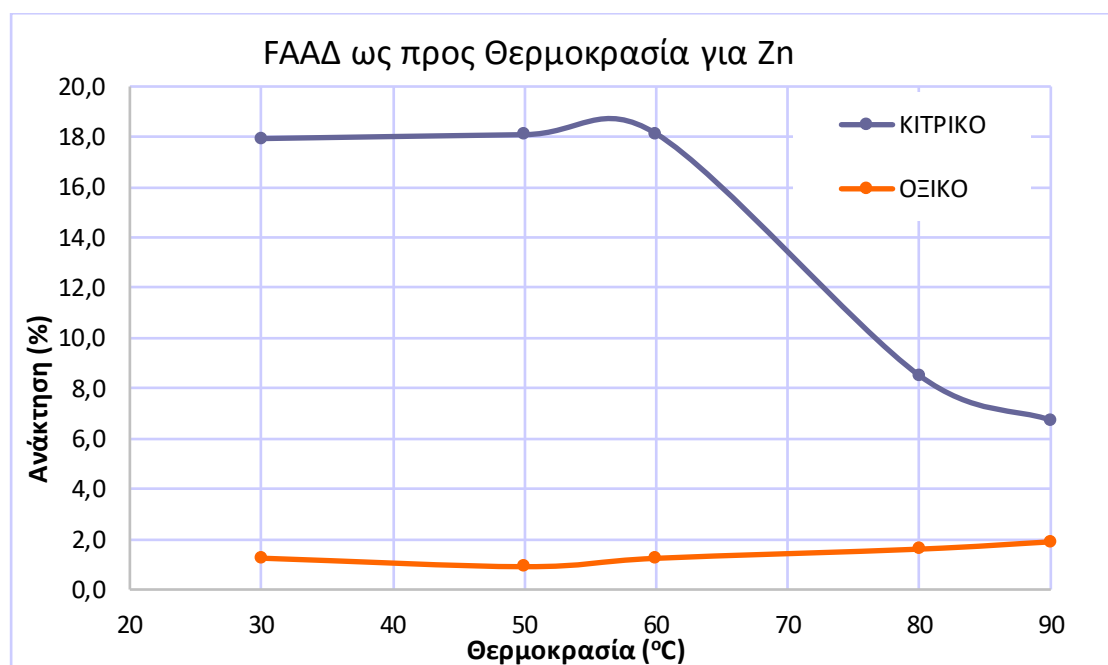
Στο πείραμα της περιεκτικότητας παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης ψευδαργύρου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται στο 27% για περιεκτικότητα οξέος 2%, στην συνέχεια μειώνεται στο 16% για περιεκτικότητα οξέος 20%. Η βέλτιστη ανάκτηση ψευδαργύρου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό λιγότερο του 4% για περιεκτικότητα οξέος 10% άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

Πίνακας 21: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας κιτρικού οξέος για ψευδάργυρο (Zn)

Δείγμα	Zn (ppb)	Zn (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	°C
F.A.ΑΔ + 30 °C Κιτρικό	103,992	0,104	0,5	50	10,399	17,930	30
F.A.ΑΔ + 50 °C Κιτρικό	104,897	0,105	0,5	50	10,490	18,086	50
F.A.ΑΔ + 60 °C Κιτρικό	105,131	0,105	0,5	50	10,513	18,126	60
F.A.ΑΔ + 80 °C Κιτρικό	49,380	0,049	0,5	50	4,938	8,514	80
F.A.ΑΔ + 90 °C Κιτρικό	39,066	0,039	0,5	50	3,907	6,736	90
FA.A.Δ. συνολικό	-				58,000		

Πίνακας 22: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας οξικού οξέος για ψευδάργυρο (Zn)

Δείγμα	Zn (ppb)	Zn (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	°C
F.A.ΑΔ + 30 °C Οξικό	7,232	0,007	0,5	50	0,723	1,247	30
F.A.ΑΔ + 50 °C Οξικό	5,268	0,005	0,5	50	0,527	0,908	50
F.A.ΑΔ + 60 °C Οξικό	7,198	0,007	0,5	50	0,720	1,241	60
F.A.ΑΔ + 80 °C Οξικό	9,315	0,009	0,5	50	0,931	1,606	80
F.A.ΑΔ + 90 °C Οξικό	11,000	0,011	0,5	50	1,100	1,897	90
FA.A.Δ. συνολικό	-				58,000		



Διάγραμμα 9: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με θερμοκρασία (°C) για το ψευδάργυρο (Zn)

Στο πείραμα της θερμοκρασίας παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης ψευδαργύρου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται στο 18% σε θερμοκρασία 60 °C, στην συνέχεια μειώνεται στο 9% σε θερμοκρασία 80 °C και εξακολουθεί πτωτική τάση έως τους 90 °C. Η βέλτιστη ανάκτηση ψευδαργύρου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό λιγότερο του 2% για θερμοκρασία 90 °C άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

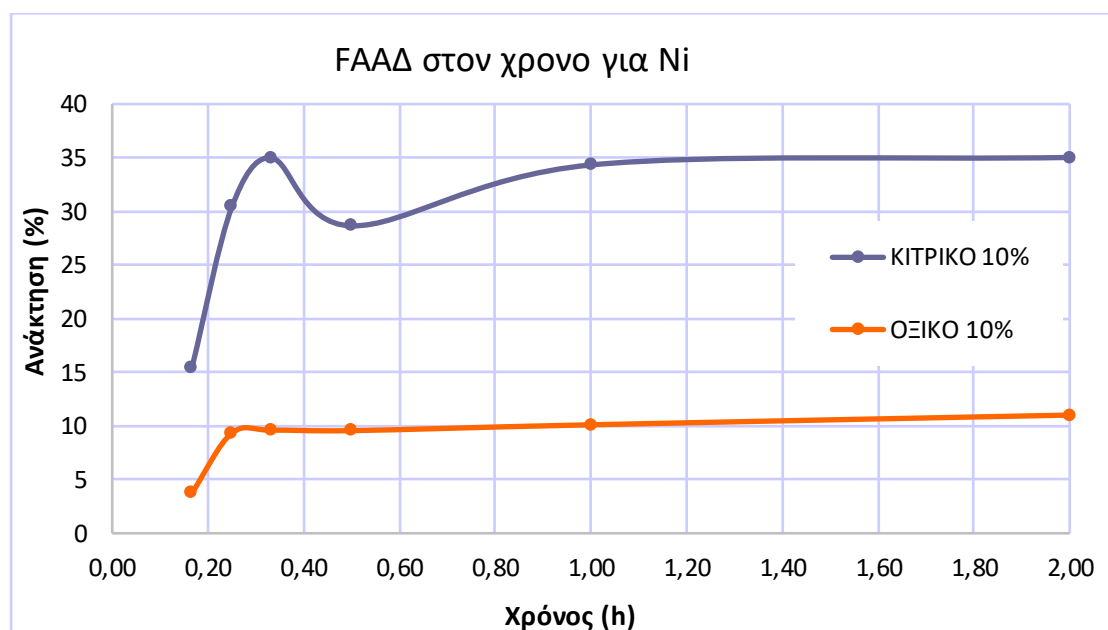
2.2.4. Νικέλιο (Ni)

Πίνακας 23: F.A.ΑΔ χρόνου κιτρικού οξέος για νικέλιο (Ni)

Δείγμα	Ni (ppb)	Ni (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	Χρόνος (h)
F.A.ΑΔ + 10 min Κιτρικό	354,113	0,354	0,5	50	35,411	15,463	0,17
F.A.ΑΔ + 15 min Κιτρικό	696,547	0,697	0,5	50	69,655	30,417	0,25
F.A.ΑΔ + 20 min Κιτρικό	800,893	0,801	0,5	50	80,089	34,973	0,33
F.A.ΑΔ + 30 min Κιτρικό	656,109	0,656	0,5	50	65,611	28,651	0,5
F.A.ΑΔ + 60 min Κιτρικό	786,137	0,786	0,5	50	78,614	34,329	1
F.A.ΑΔ + 120 min Κιτρικό	802,114	0,802	0,5	50	80,211	35,027	2
FA.A.Δ. συνολικό	-				229,000		

Πίνακας 24: F.A.ΑΔ χρόνου οξικού οξέος για νικέλιο (Ni)

Δείγμα	Ni (ppb)	Ni (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	Χρόνος (h)
F.A.ΑΔ + 10 min Οξικό	86,290	0,086	0,5	50	8,629	3,768	0,17
F.A.ΑΔ + 15 min Οξικό	213,878	0,214	0,5	50	21,388	9,340	0,25
F.A.ΑΔ + 20 min Οξικό	220,070	0,220	0,5	50	22,007	9,610	0,33
F.A.ΑΔ + 30 min Οξικό	219,016	0,219	0,5	50	21,902	9,564	0,5
F.A.ΑΔ + 60 min Οξικό	231,557	0,232	0,5	50	23,156	10,112	1
F.A.ΑΔ + 120 min Οξικό	252,258	0,252	0,5	50	25,226	11,016	2
FA.A.Δ. συνολικό	-				229,000		



Διάγραμμα 10: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με χρόνο (h) για το νικέλιο (Ni)

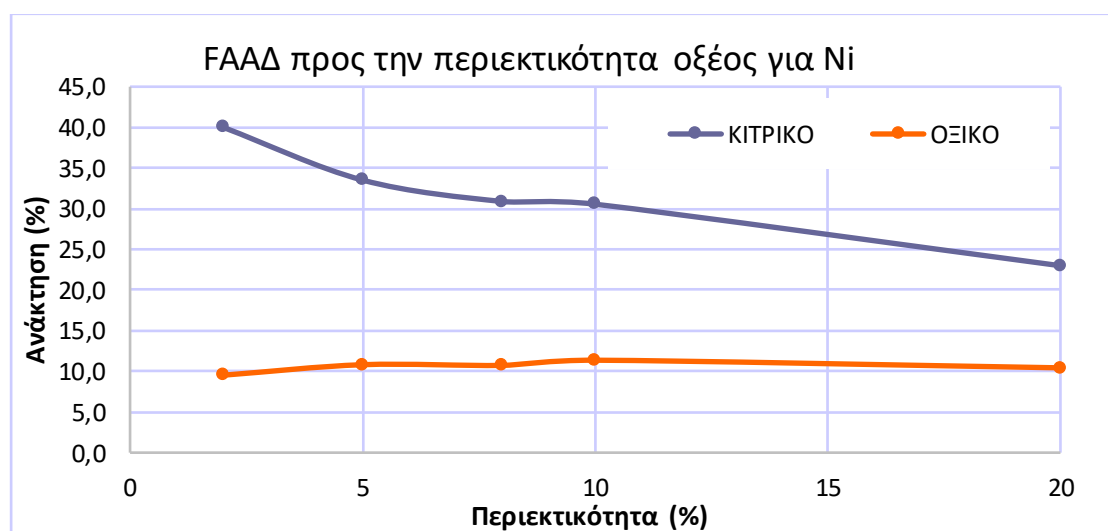
Στο πείραμα του χρόνου παρατηρείται ότι το βέλτιστο ποσοστό ανάκτησης νικελίου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται στο 35% σε χρόνο 120 λεπτών. Η μέγιστη ανάκτηση νικελίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό 11% άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

Πίνακας 25: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας κιτρικού οξέος για νικέλιο (Ni)

Δείγμα	Ni (ppb)	Ni (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	% Κιτρικό
F.A.ΑΔ + 2% Κιτρικό	916,303	0,916	0,5	50	91,630	40,013	2
F.A.ΑΔ + 5% Κιτρικό	767,501	0,768	0,5	50	76,750	33,515	5
F.A.ΑΔ + 8% Κιτρικό	707,271	0,707	0,5	50	70,727	30,885	8
F.A.ΑΔ + 10% Κιτρικό	699,572	0,700	0,5	50	69,957	30,549	10
F.A.ΑΔ + 20% Κιτρικό	526,416	0,526	0,5	50	52,642	22,988	20
FA.A.Δ. συνολικό	-				229,000		

Πίνακας 26: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας οξικού οξέος για νικέλιο (Ni)

Δείγμα	Ni (ppb)	Ni (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	% Οξικό
F.A.ΑΔ + 2% Οξικό	218,089	0,218	0,5	50	21,809	9,524	2
F.A.ΑΔ + 5% Οξικό	247,668	0,248	0,5	50	24,767	10,815	5
F.A.ΑΔ + 8% Οξικό	245,731	0,246	0,5	50	24,573	10,731	8
F.A.ΑΔ + 10% Οξικό	260,324	0,260	0,5	50	26,032	11,368	10
F.A.ΑΔ + 20% Οξικό	238,823	0,239	0,5	50	23,882	10,429	20
FA.A.Δ. συνολικό	-				229,000		



Διάγραμμα 11: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με περιεκτικότητα (%) για το νικέλιο (Ni)

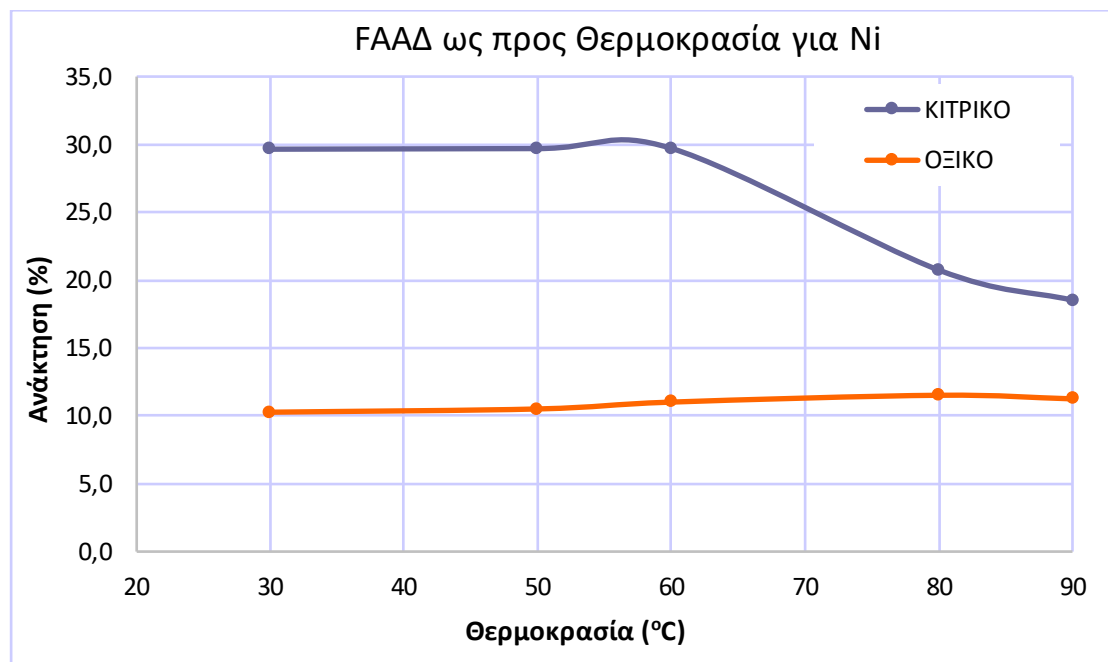
το πείραμα της περιεκτικότητας παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης νικελίου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται στο 40% με περιεκτικότητα οξέος 2%, στην συνέχεια μειώνεται στο 31% με περιεκτικότητα οξέος 8% και παραμένει σε πτωτική τάση έως την περιεκτικότητα οξέος 20%. Η ανάκτηση νικελίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό λιγότερο του 12% άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

Πίνακας 27: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας κιτρικού οξέος για νικέλιο (Ni)

Δείγμα	Ni (ppb)	Ni (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	°C
F.A.ΑΔ + 30 °C Κιτρικό	678,965	0,679	0,5	50	67,897	29,649	30
F.A.ΑΔ + 50 °C Κιτρικό	679,986	0,680	0,5	50	67,999	29,694	50
F.A.ΑΔ + 60 °C Κιτρικό	680,336	0,680	0,5	50	68,034	29,709	60
F.A.ΑΔ + 80 °C Κιτρικό	474,993	0,475	0,5	50	47,499	20,742	80
F.A.ΑΔ + 90 °C Κιτρικό	424,210	0,424	0,5	50	42,421	18,524	90
FA.A.Δ. συνολικό	-				229,000		

Πίνακας 28: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας οξικού οξέος για νικέλιο (Ni)

Δείγμα	Ni (ppb)	Ni (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	°C
F.A.ΑΔ + 30 °C Οξικό	235,179	0,235	0,5	50	23,518	10,270	30
F.A.ΑΔ + 50 °C Οξικό	240,669	0,241	0,5	50	24,067	10,510	50
F.A.ΑΔ + 60 °C Οξικό	252,258	0,252	0,5	50	25,226	11,016	60
F.A.ΑΔ + 80 °C Οξικό	263,755	0,264	0,5	50	26,376	11,518	80
F.A.ΑΔ + 90 °C Οξικό	257,685	0,258	0,5	50	25,769	11,253	90
FA.A.Δ. συνολικό	-				229,000		



Διάγραμμα 12: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με θερμοκρασία (°C) για το νικέλιο (Ni)

Στο πείραμα της θερμοκρασίας παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης νικελίου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται στο 29,7% σε θερμοκρασία 60 °C, στην συνέχεια μειώνεται στο 20,7% σε θερμοκρασία 80 °C και εξακολουθείτε πτωτική τάση έως τους 90 °C. Η ανάκτηση νικελίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό λιγότερο του 12% άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

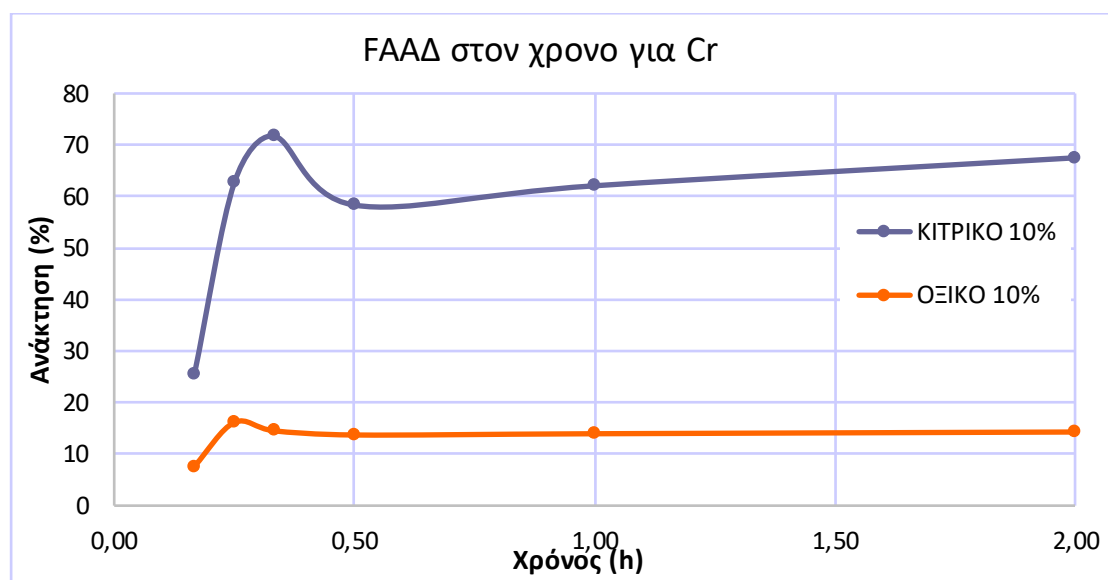
2.2.5. Χρώμιο (Cr)

Πίνακας 29: F.A.ΑΔ χρόνου κιτρικού οξέος για χρώμιο (Cr)

Δείγμα	Cr (ppb)	Cr (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	Χρόνος (h)
F.A.ΑΔ + 10 min Κιτρικό	723,133	0,723	0,5	50	72,313	25,373	0,17
F.A.ΑΔ + 15 min Κιτρικό	1.785,856	1,786	0,5	50	178,586	62,662	0,25
F.A.ΑΔ + 20 min Κιτρικό	2.043,353	2,043	0,5	50	204,335	71,697	0,33
F.A.ΑΔ + 30 min Κιτρικό	1.662,378	1,662	0,5	50	166,238	58,329	0,5
F.A.ΑΔ + 60 min Κιτρικό	1.769,378	1,769	0,5	50	176,938	62,083	1,0
F.A.ΑΔ + 120 min Κιτρικό	1.923,896	1,924	0,5	50	192,390	67,505	2
FA.A.Δ. συνολικό	-				285,000		

Πίνακας 30: F.A.ΑΔ χρόνου οξικού οξέος για χρώμιο (Cr)

Δείγμα	Cr (ppb)	Cr (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	Χρόνος (h)
F.A.ΑΔ+10min Οξικό	216,789	0,217	0,5	50	21,679	7,607	0,17
F.A.ΑΔ + 15 min Οξικό	459,959	0,460	0,5	50	45,996	16,139	0,25
F.A.ΑΔ + 20 min Οξικό	413,640	0,414	0,5	50	41,364	14,514	0,33
F.A.ΑΔ + 30 min Οξικό	390,831	0,391	0,5	50	39,083	13,713	0,5
F.A.ΑΔ + 60 min Οξικό	397,654	0,398	0,5	50	39,765	13,953	1
F.A.ΑΔ + 120 min Οξικό	407,320	0,407	0,5	50	40,732	14,292	2
FA.A.Δ. συνολικό	-				285,000		



Διάγραμμα 13: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με χρόνο (h) για το χρώμιο (Cr)

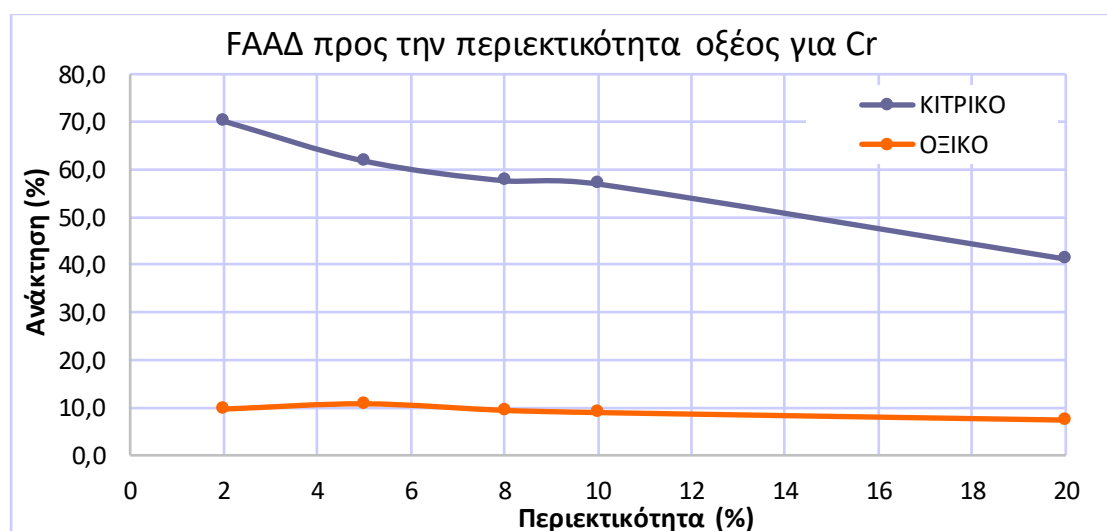
Στο πείραμα του χρόνου παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης χρωμίου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται στο 71% στα 20 λεπτά και στην συνέχεια μειώνεται στο 58% στα 50 λεπτά και διακρίνεται αυξητική τάση έως τα 120 λεπτά η οποία αντιστοιχεί σε ανάκτηση 67%. Η ανάκτηση χρωμίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό 16% άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

Πίνακας 31: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας κιτρικού οξέος για χρώμιο (Cr)

Δείγμα	Cr (ppb)	Cr (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	% Κιτρικό
F.A.ΑΔ + 2% Κιτρικό	1.998,691	1,999	0,5	50	199,869	70,130	2
F.A.ΑΔ + 5% Κιτρικό	1.760,474	1,760	0,5	50	176,047	61,771	5
F.A.ΑΔ + 8% Κιτρικό	1.641,905	1,642	0,5	50	164,191	57,611	8
F.A.ΑΔ + 10% Κιτρικό	1.622,572	1,623	0,5	50	162,257	56,932	10
F.A.ΑΔ + 20% Κιτρικό	1.173,562	1,174	0,5	50	117,356	41,178	20
FA.A.Δ. συνολικό	-				285,000		

Πίνακας 32: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας οξικού οξέος για χρώμιο (Cr)

Δείγμα	Cr (ppb)	Cr (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	% Οξικό
F.A.ΑΔ + 2% Οξικό	276,324	0,276	0,5	50	27,632	9,696	2
F.A.ΑΔ + 5% Οξικό	307,940	0,308	0,5	50	30,794	10,805	5
F.A.ΑΔ + 8% Οξικό	268,355	0,268	0,5	50	26,835	9,416	8
F.A.ΑΔ + 10% Οξικό	255,475	0,255	0,5	50	25,547	8,964	10
F.A.ΑΔ + 20% Οξικό	210,347	0,210	0,5	50	21,035	7,381	20
FA.A.Δ. συνολικό	-				285,000		



Διάγραμμα 14: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με περιεκτικότητα (%) για το χρώμιο (Cr)

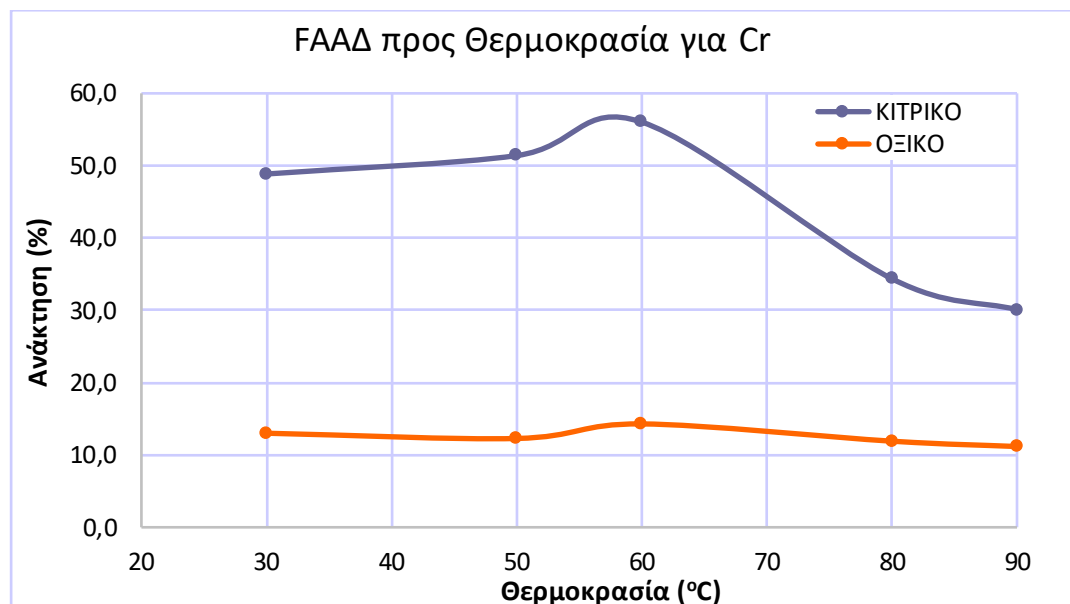
Στο πείραμα της περιεκτικότητας του οξέους παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης χρωμίου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται στο 70% για περιεκτικότητα οξέος 2%, στην συνέχεια μειώνεται στο 57% για περιεκτικότητα οξέος 10% και παραμένει σε πτωτική τάση μέχρι το 20%. Η ανάκτηση χρωμίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό 10% άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

Πίνακας 33: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας κιτρικού οξέος για χρώμιο (Cr)

Δείγμα	Cr (ppb)	Cr (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	°C
F.A.ΑΔ + 30 °C Κιτρικό	1.392,258	1,392	0,5	50	139,226	48,851	30
F.A.ΑΔ + 50 °C Κιτρικό	1.464,782	1,465	0,5	50	146,478	51,396	50
F.A.ΑΔ + 60°C Κιτρικό	1.596,787	1,597	0,5	50	159,679	56,028	60
F.A.ΑΔ + 80 °C Κιτρικό	979,424	0,979	0,5	50	97,942	34,366	80
F.A.ΑΔ + 90 °C Κιτρικό	857,520	0,858	0,5	50	85,752	30,088	90
FA.A.Δ. συνολικό	-				285,000		

Πίνακας 34: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας οξικού οξέος για χρώμιο (Cr)

Δείγμα	Cr (ppb)	Cr (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	°C
F.A.ΑΔ + 30 °C Οξικό	370,668	0,371	0,5	50	37,067	13,006	30
F.A.ΑΔ + 50 °C Οξικό	349,993	0,350	0,5	50	34,999	12,280	50
F.A.ΑΔ + 60 °C Οξικό	407,320	0,407	0,5	50	40,732	14,292	60
F.A.ΑΔ + 80 °C Οξικό	339,236	0,339	0,5	50	33,924	11,903	80
F.A.ΑΔ + 90 °C Οξικό	318,179	0,318	0,5	50	31,818	11,164	90
FA.A.Δ. συνολικό	-				285,000		



Διάγραμμα 15: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με θερμοκρασία (°C) για το χρώμιο (Cr)

Στο πείραμα της θερμοκρασίας παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης χρωμίου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται στο 56% σε θερμοκρασία 60 °C, στην συνέχεια μειώνεται στο 34% σε θερμοκρασία 80 °C και παραμένει σχετικά σταθερό με μια μικρή άνοδο στους 90 °C. Η ανάκτηση χρωμίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό λιγότερο του 15% άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

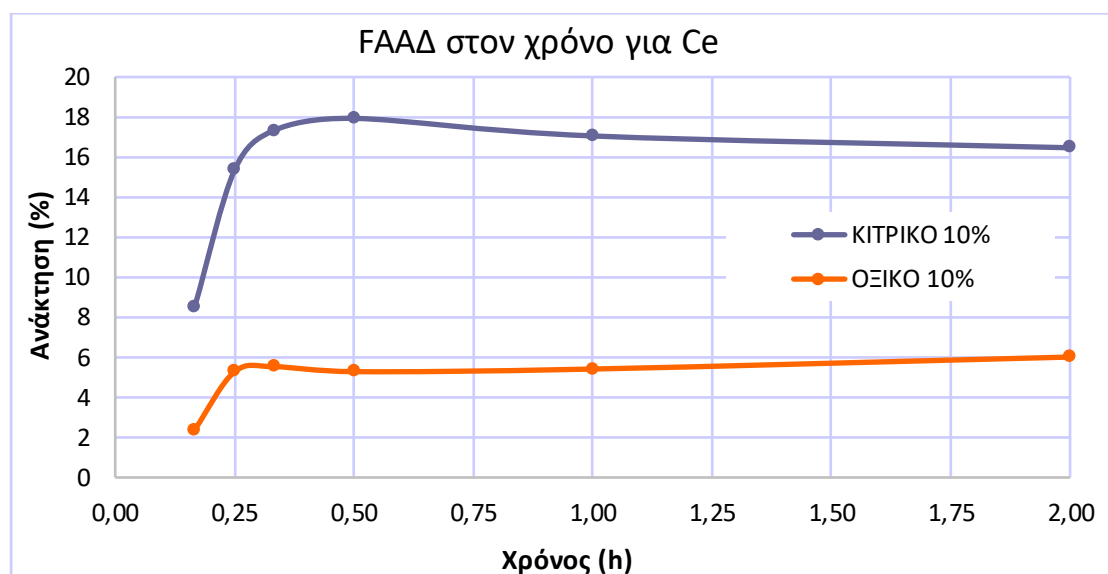
2.2.6. Δημήτριο (Ce)

Πίνακας 35: F.A.ΑΔ χρόνου κιτρικού οξέος για δημήτριο (Ce)

Δείγμα	Ce (ppb)	Ce (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	Χρόνος (h)
F.A.ΑΔ + 10 min Κιτρικό	69,171	0,069	0,5	50	6,917	8,540	0,17
F.A.ΑΔ + 15 min Κιτρικό	124,336	0,124	0,5	50	12,434	15,350	0,25
F.A.ΑΔ + 20 min Κιτρικό	140,462	0,140	0,5	50	14,046	17,341	0,33
F.A.ΑΔ + 30 min Κιτρικό	145,270	0,145	0,5	50	14,527	17,935	0,50
F.A.ΑΔ + 60 min Κιτρικό	138,157	0,138	0,5	50	13,816	17,056	1,00
F.A.ΑΔ + 120 min Κιτρικό	133,379	0,133	0,5	50	13,338	16,467	2,00
FA.A.Δ. συνολικό	-				81,000		

Πίνακας 36: F.A.ΑΔ χρόνου οξικού οξέος για δημήτριο (Ce)

Δείγμα	Ce (ppb)	Ce (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	Χρόνος (h)
F.A.ΑΔ + 10 min Οξικό	19,386	0,019	0,5	50	1,939	2,393	0,17
F.A.ΑΔ + 15 min Οξικό	42,757	0,043	0,5	50	4,276	5,279	0,25
F.A.ΑΔ + 20 min Οξικό	44,830	0,045	0,5	50	4,483	5,535	0,33
F.A.ΑΔ + 30 min Οξικό	42,807	0,043	0,5	50	4,281	5,285	0,5
F.A.ΑΔ + 60 min Οξικό	43,863	0,044	0,5	50	4,386	5,415	1
F.A.ΑΔ + 120 min Οξικό	48,719	0,049	0,5	50	4,872	6,015	2
FA.A.Δ. συνολικό	-				81,000		



Διάγραμμα 16: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με χρόνο (h) για το δημήτριο (Ce)

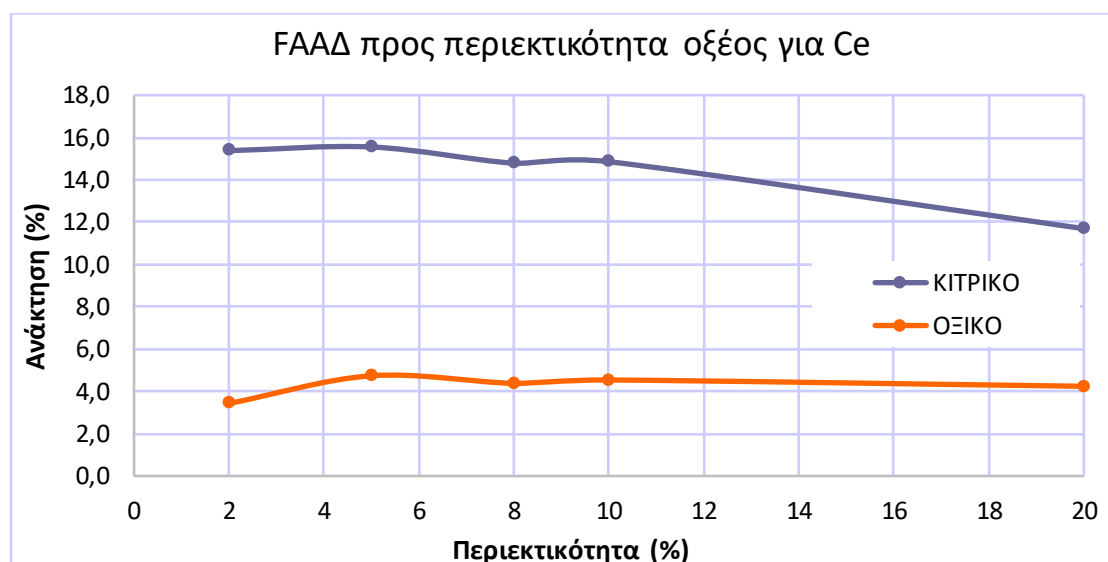
Στο πείραμα του χρόνου παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης δημητρίου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται στο 18% στα 50 λεπτά, στην συνέχεια μειώνεται στο 17% σε χρόνο 60 λεπτών και μειώνεται σταδιακά στο 16% στα 120 λεπτά . Η ανάκτηση δημητρίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό 6% άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

Πίνακας 37: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας κιτρικού οξέος για δημήτριο (Ce)

Δείγμα	Ce (ppb)	Ce (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	% Κιτρικό
F.A.ΑΔ + 2% Κιτρικό	124,538	0,125	0,5	50	12,454	15,375	2
F.A.ΑΔ + 5% Κιτρικό	125,947	0,126	0,5	50	12,595	15,549	5
F.A.ΑΔ + 8% Κιτρικό	119,754	0,120	0,5	50	11,975	14,784	8
F.A.ΑΔ + 10% Κιτρικό	120,317	0,120	0,5	50	12,032	14,854	10
F.A.ΑΔ + 20% Κιτρικό	94,687	0,095	0,5	50	9,469	11,690	20
FA.A.Δ. συνολικό	-				81,000		

Πίνακας 38: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας οξικού οξέος για δημήτριο (Ce)

Δείγμα	Ce (ppb)	Ce (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	% Οξικό
F.A.ΑΔ + 2% Οξικό	27,780	0,028	0,5	50	2,778	3,430	2
F.A.ΑΔ + 5% Οξικό	38,378	0,038	0,5	50	3,838	4,738	5
F.A.ΑΔ + 8% Οξικό	35,481	0,035	0,5	50	3,548	4,380	8
F.A.ΑΔ + 10% Οξικό	36,752	0,037	0,5	50	3,675	4,537	10
F.A.ΑΔ + 20% Οξικό	34,345	0,034	0,5	50	3,434	4,240	20
FA.A.Δ. συνολικό	-				81,000		



Διάγραμμα 17: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με περιεκτικότητα (%) για το δημήτριο (Ce)

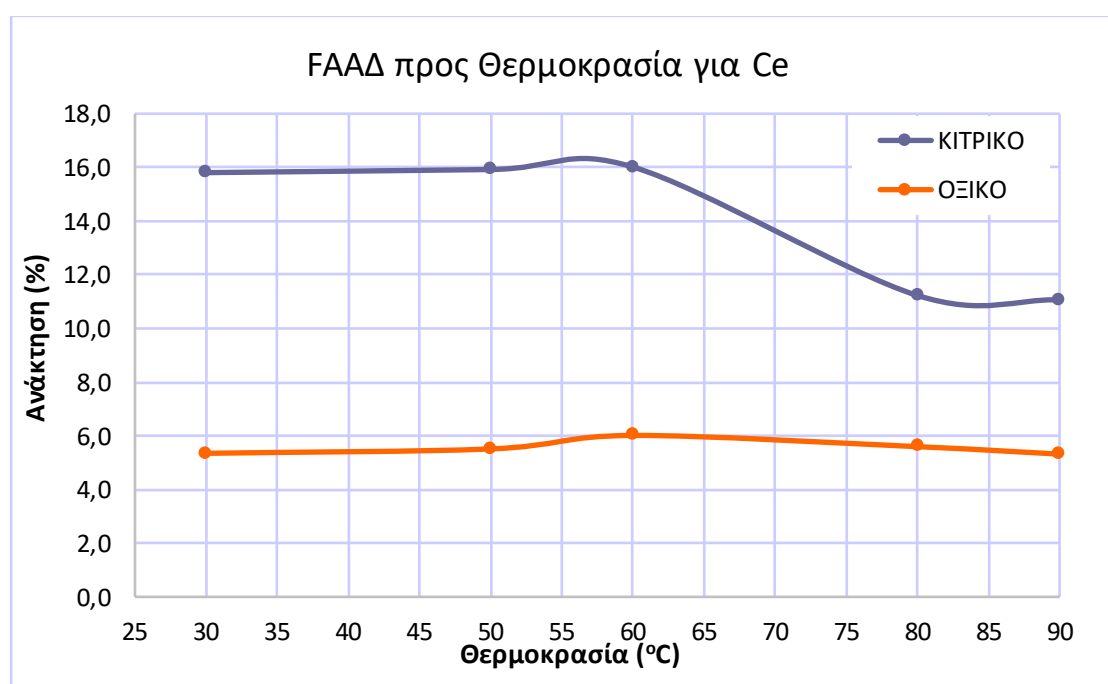
Στο πείραμα της περιεκτικότητας παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης δημητρίου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται στο 15% για περιεκτικότητα οξέος 5%, στην συνέχεια μειώνεται στο 14% για περιεκτικότητα 8% και υπάρχει μια μικρή αύξηση για περιεκτικότητα οξέος 10% η οποία δεν ξεπερνάει το 15% ανάκτησης του δημητρίου. Εν συνέχεια διακρίνεται πτωτική τάση περιεκτικότητας στα 11% για 20% περιεκτικότητας οξέος. Η ανάκτηση του δημητρίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό λιγότερο του 5% άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

Πίνακας 39: Φ.Α.ΑΔ θερμοκρασίας κιτρικού οξέος για δημήτριο (Ce)

Δείγμα	Ce (ppb)	Ce (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	°C
Φ.Α.ΑΔ + 30 °C Κιτρικό	128,022	0,128	0,5	50	12,802	15,805	30
Φ.Α.ΑΔ + 50°C Κιτρικό	128,963	0,129	0,5	50	12,896	15,921	50
Φ.Α.ΑΔ + 60 °C Κιτρικό	129,730	0,130	0,5	50	12,973	16,016	60
Φ.Α.ΑΔ + 80 °C Κιτρικό	90,973	0,091	0,5	50	9,097	11,231	80
Φ.Α.ΑΔ + 90 °C Κιτρικό	89,636	0,090	0,5	50	8,964	11,066	90
Φ.Α.Α.Δ. Εξατμ.	-				81,000		

Πίνακας 40: Φ.Α.ΑΔ θερμοκρασίας οξικού οξέος για δημήτριο (Ce)

Δείγμα	Ce (ppb)	Ce (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	°C
Φ.Α.ΑΔ + 30 °C Οξικό	43,327	0,043	0,5	50	4,333	5,349	30
Φ.Α.ΑΔ + 50 °C Οξικό	44,647	0,045	0,5	50	4,465	5,512	50
Φ.Α.ΑΔ + 60 °C Οξικό	48,719	0,049	0,5	50	4,872	6,015	60
Φ.Α.ΑΔ + 80 °C Οξικό	45,329	0,045	0,5	50	4,533	5,596	80
Φ.Α.ΑΔ + 90 °C Οξικό	43,091	0,043	0,5	50	4,309	5,320	90
Φ.Α.Α.Δ. Εξατμ.	-				81,000		



Διάγραμμα 18: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με θερμοκρασία (°C) για το δημήτριο (Ce)

Στο πείραμα της θερμοκρασίας παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης δημητρίου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό 16% σε θερμοκρασία 60 °C, στην συνέχεια μειώνεται στο 11% σε θερμοκρασία 80 °C και παραμένει σχετικά σταθερό με μια μικρή άνοδο στους 90 °C. Η ανάκτηση δημητρίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό 6% άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

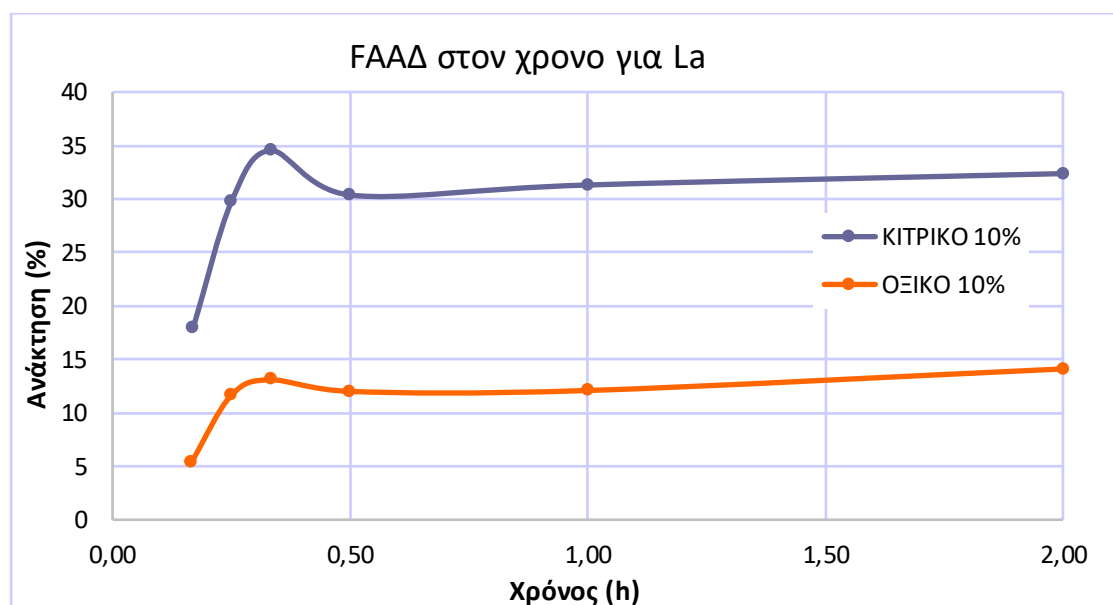
2.2.7. Λανθάνιο (La)

Πίνακας 41: F.A.ΑΔ χρόνου κιτρικού οξέος για λανθάνιο (La)

Δείγμα	La (ppb)	La (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	Χρόνος (h)
F.A.ΑΔ + 10 min Κιτρικό	79,137	0,079	0,5	50	7,914	17,986	0,17
F.A.ΑΔ + 15 min Κιτρικό	130,729	0,131	0,5	50	13,073	29,711	0,25
F.A.ΑΔ + 20 min Κιτρικό	151,915	0,152	0,5	50	15,191	34,526	0,33
F.A.ΑΔ + 30 min Κιτρικό	133,582	0,134	0,5	50	13,358	30,360	0,50
F.A.ΑΔ + 60 min Κιτρικό	137,731	0,138	0,5	50	13,773	31,303	1,00
F.A.ΑΔ + 120 min Κιτρικό	142,413	0,142	0,5	50	14,241	32,367	2,00
FA.A.Δ. συνολικό	-				44,000		

Πίνακας 42: F.A.ΑΔ χρόνου οξικού οξέος για λανθάνιο (La)

Δείγμα	La (ppb)	La (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	Χρόνος (h)
F.A.ΑΔ + 10 min Οξικό	23,866	0,024	0,5	50	2,387	5,424	0,17
F.A.ΑΔ + 15 min Οξικό	51,242	0,051	0,5	50	5,124	11,646	0,25
F.A.ΑΔ + 20 min Οξικό	57,612	0,058	0,5	50	5,761	13,094	0,33
F.A.ΑΔ + 30 min Οξικό	52,796	0,053	0,5	50	5,280	11,999	0,5
F.A.ΑΔ + 60 min Οξικό	53,175	0,053	0,5	50	5,317	12,085	1
F.A.ΑΔ + 120 min Οξικό	62,055	0,062	0,5	50	6,205	14,103	2
FA.A.Δ. συνολικό	-				44,000		



Διάγραμμα 19: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με χρόνο (h) για το λανθάνιο (La)

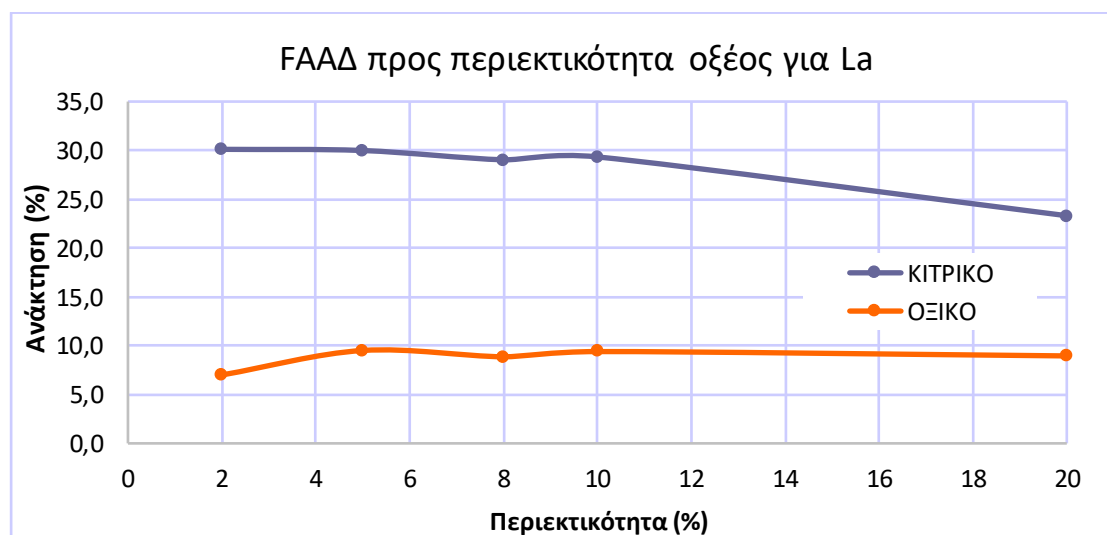
Στο πείραμα του χρόνου παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης λανθανίου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται περίπου στο 35% για χρόνο 30 λεπτών, στην συνέχεια μειώνεται στο 30% για χρόνο 50 λεπτών και αυξάνεται σταδιακά στο 32% για 120 λεπτά. Η ανάκτηση λανθανίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό λιγότερο του 15% άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

Πίνακας 43: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας κιτρικού οξέος για λανθάνιο (La)

Δείγμα	La (ppb)	La (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	% Κιτρικό
F.A.ΑΔ + 2% Κιτρικό	132,471	0,132	0,5	50	13,247	30,107	2
F.A.ΑΔ + 5% Κιτρικό	131,950	0,132	0,5	50	13,195	29,989	5
F.A.ΑΔ + 8% Κιτρικό	127,767	0,128	0,5	50	12,777	29,038	8
F.A.ΑΔ + 10% Κιτρικό	129,060	0,129	0,5	50	12,906	29,332	10
F.A.ΑΔ + 20% Κιτρικό	102,569	0,103	0,5	50	10,257	23,311	20
F.A.Α.Δ. συνολικό	-				44,000		

Πίνακας 44: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας οξικού οξέος για λανθάνιο (La)

Δείγμα	La (ppb)	La (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	% Οξικό
F.A.ΑΔ + 2% Οξικό	30,816	0,031	0,5	50	3,082	7,004	2
F.A.ΑΔ + 5% Οξικό	41,844	0,042	0,5	50	4,184	9,510	5
F.A.ΑΔ + 8% Οξικό	39,019	0,039	0,5	50	3,902	8,868	8
F.A.ΑΔ + 10% Οξικό	41,359	0,041	0,5	50	4,136	9,400	10
F.A.ΑΔ + 20% Οξικό	39,401	0,039	0,5	50	3,940	8,955	20
FA.A.Δ. συνολικό	-				44,000		



Διάγραμμα 20: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με περιεκτικότητα (%) για το λανθάνιο (La)

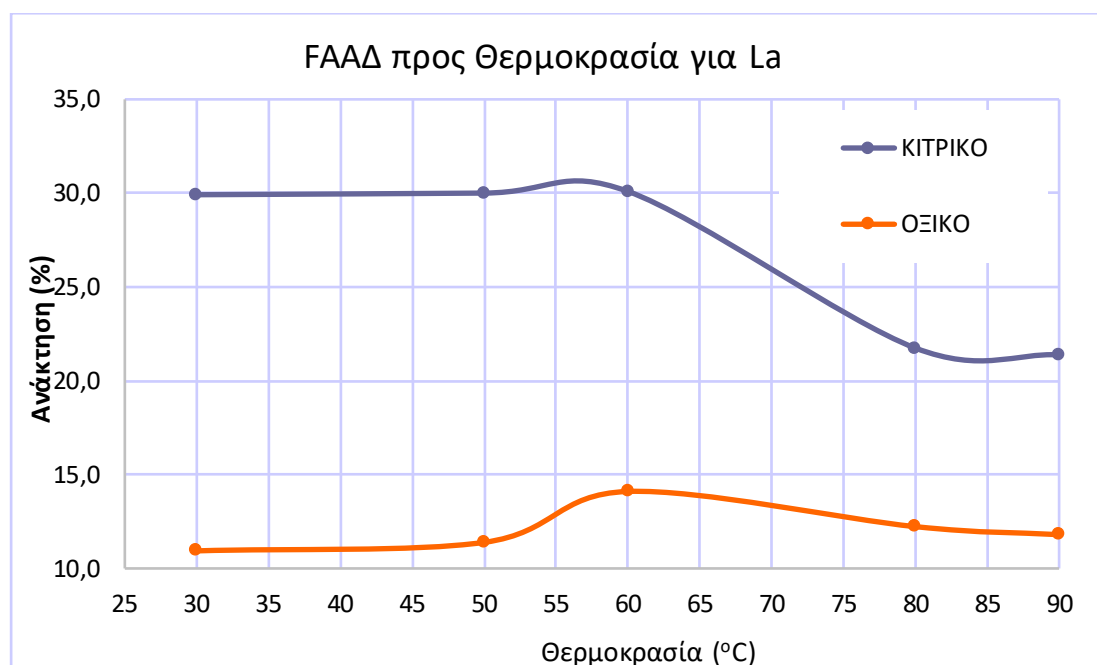
Στο πείραμα της περιεκτικότητας παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης λανθανίου ανέρχεται στο 30% με περιεκτικότητα κιτρικού οξέος 2%, στην συνέχεια μειώνεται στο 29% με περιεκτικότητα οξέος 8% και εν συνεχεία μειώνεται στο 23% για περιεκτικότητα οξέος 20%. Η ανάκτηση λανθανίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό λιγότερο του 10% άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

Πίνακας 45: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας κιτρικού οξέος για λανθάνιο (La)

Δείγμα	La (ppb)	La (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	°C
F.A.ΑΔ + 30 °C Κιτρικό	131,637	0,132	0,5	50	13,164	29,917	30
F.A.ΑΔ + 50 °C Κιτρικό	132,024	0,132	0,5	50	13,202	30,005	50
F.A.ΑΔ + 60 °C Κιτρικό	132,427	0,132	0,5	50	13,243	30,097	60
F.A.ΑΔ + 80°C Κιτρικό	95,675	0,096	0,5	50	9,568	21,744	80
F.A.ΑΔ + 90 °C Κιτρικό	94,104	0,094	0,5	50	9,410	21,387	90
FA.A.Δ. συνολικό	-				44,000		

Πίνακας 46: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας οξικού οξέος για λανθάνιο (La)

Δείγμα	La (ppb)	La (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	°C
F.A.ΑΔ + 30 °C Οξικό	48,123	0,048	0,5	50	4,812	10,937	30
F.A.ΑΔ + 50 °C Οξικό	50,118	0,050	0,5	50	5,012	11,390	50
F.A.ΑΔ + 60 °C Οξικό	62,055	0,062	0,5	50	6,205	14,103	60
F.A.ΑΔ + 80 °C Οξικό	53,799	0,054	0,5	50	5,380	12,227	80
F.A.ΑΔ + 90 °C Οξικό	51,926	0,052	0,5	50	5,193	11,801	90
FA.A.Δ. συνολικό	-				44,000		



Διάγραμμα 21: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με θερμοκρασία (°C) για το λανθάνιο (La)

Στο πείραμα της θερμοκρασίας παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης λανθανίου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται στο 30% σε θερμοκρασία 60 °C, στην συνέχεια μειώνεται στο 22% σε θερμοκρασία 80 °C και παραμένει σχετικά σταθερό με μια μικρή άνοδο στους 90 °C. Η ανάκτηση λανθανίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό λιγότερο του 15% άρα η επιλογή του οξικού οξέος σε σύγκριση με το κιτρικό οξύ δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

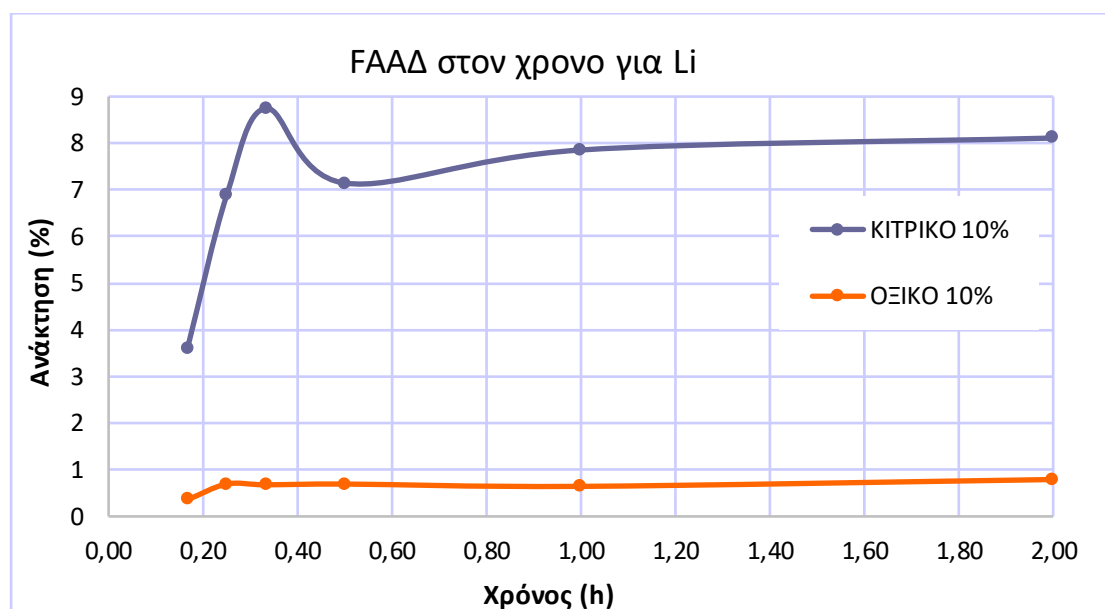
2.2.8. Λίθιο (Li)

Πίνακας 47: F.A.ΑΔ χρόνου κιτρικού οξέος για λίθιο (Li)

Δείγμα	Li (ppb)	Li (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	Χρόνος (h)
F.A.ΑΔ + 10 min Κιτρικό	45,244	0,045	0,5	50	4,524	3,591	0,17
F.A.ΑΔ + 15 min Κιτρικό	86,696	0,087	0,5	50	8,670	6,881	0,25
F.A.ΑΔ + 20 min Κιτρικό	110,203	0,110	0,5	50	11,020	8,746	0,33
F.A.ΑΔ + 30 min Κιτρικό	90,031	0,090	0,5	50	9,003	7,145	0,5
F.A.ΑΔ + 60 min Κιτρικό	98,975	0,099	0,5	50	9,898	7,855	1,0
F.A.ΑΔ + 120 min Κιτρικό	102,198	0,102	0,5	50	10,220	8,111	2
FA.A.Δ. συνολικό	-				126,000		

Πίνακας 48: F.A.ΑΔ χρόνου οξικού οξέος για λίθιο (Li)

Δείγμα	Li (ppb)	Li (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	Χρόνος (h)
F.A.ΑΔ + 10 min Οξικό	4,486	0,004	0,5	50	0,449	0,356	0,17
F.A.ΑΔ + 15 min Οξικό	8,728	0,009	0,5	50	0,873	0,693	0,25
F.A.ΑΔ + 20 min Οξικό	8,536	0,009	0,5	50	0,854	0,677	0,33
F.A.ΑΔ + 30 min Οξικό	8,742	0,009	0,5	50	0,874	0,694	0,5
F.A.ΑΔ + 60 min Οξικό	8,115	0,008	0,5	50	0,811	0,644	1
F.A.ΑΔ + 120 min Οξικό	9,957	0,010	0,5	50	0,996	0,790	2
FA.A.Δ. συνολικό	-				126,000		



Διάγραμμα 22: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με χρόνο (h) για το λίθιο (Li)

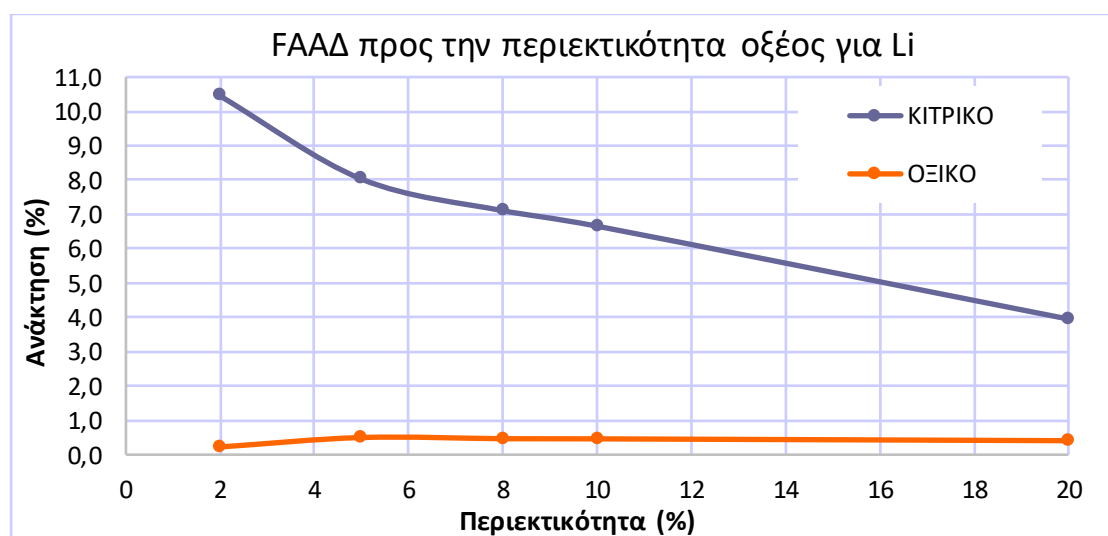
Στο πείραμα του χρόνου παρατηρείται ότι το ποσοστό ανάκτησης λιθίου με το κιτρικό οξύ δεν ξεπερνάει το 9% στα πρώτα 30 λεπτά, στην συνέχεια μειώνεται στο 7% στα 50 λεπτά και αυξάνεται σταδιακά για χρόνο 60 λεπτά με ανάκτηση 8% και μέχρι τα 120 λεπτά υπάρχει μια μικρή αύξηση, που δεν ξεπερνάει ωστόσο το ποσοστό μέγιστης ανάκτησης. Η ανάκτηση λιθίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό λιγότερο του 1% άρα η επιλογή του οξικού οξέος δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

Πίνακας 49: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας κιτρικού οξέος για λίθιο (Li)

Δείγμα	Li (ppb)	Li (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	% Κιτρικό
F.A.ΑΔ + 2% Κιτρικό	131,633	0,132	0,5	50	13,163	10,447	2
F.A.ΑΔ + 5% Κιτρικό	101,150	0,101	0,5	50	10,115	8,028	5
F.A.ΑΔ + 8% Κιτρικό	89,542	0,090	0,5	50	8,954	7,107	8
F.A.ΑΔ + 10% Κιτρικό	83,869	0,084	0,5	50	8,387	6,656	10
F.A.ΑΔ + 20% Κιτρικό	49,784	0,050	0,5	50	4,978	3,951	20
FA.A.Δ. συνολικό	-				126,000		

Πίνακας 50: F.A.ΑΔ περιεκτικότητας οξικού οξέος για λίθιο (Li)

Δείγμα	Li (ppb)	Li (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	% Οξικό
F.A.ΑΔ + 2% Οξικό	2,838	0,003	0,5	50	0,284	0,225	2
F.A.ΑΔ + 5% Οξικό	6,311	0,006	0,5	50	0,631	0,501	5
F.A.ΑΔ + 8% Οξικό	5,877	0,006	0,5	50	0,588	0,466	8
F.A.ΑΔ + 10% Οξικό	5,820	0,006	0,5	50	0,582	0,462	10
F.A.ΑΔ + 20% Οξικό	5,140	0,005	0,5	50	0,514	0,408	20
FA.A.Δ. συνολικό	-				126,000		



Διάγραμμα 23: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με περιεκτικότητα (%) για το λίθιο (Li)

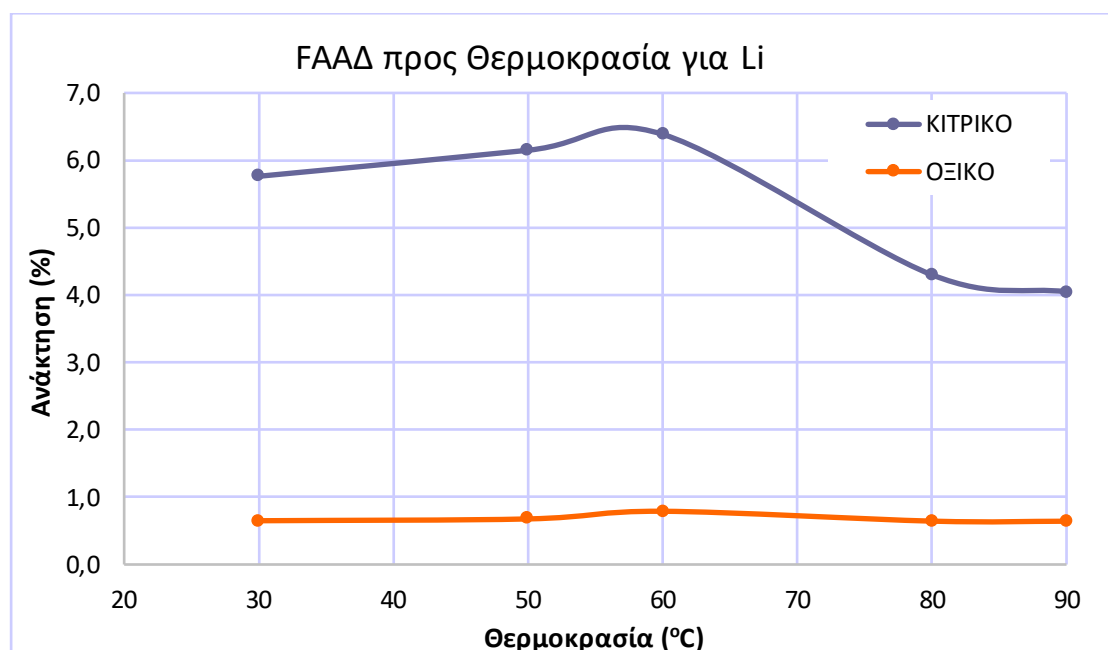
Στο πείραμα της περιεκτικότητας παρατηρείται ότι το ποσοστό ανάκτησης λιθίου με το κιτρικό οξύ φθάνει λίγο πάνω από το 10% για περιεκτικότητα του κιτρικού οξέος 2 %, στην συνέχεια μειώνεται στο 8% για περιεκτικότητα οξέος 5% και παρατηρείται σταδιακή μείωση. Η ανάκτηση λιθίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό λιγότερο του 1% άρα η επιλογή του οξικού οξέος δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

Πίνακας 51: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας κιτρικού οξέος για λίθιο (Li)

Δείγμα	Li (ppb)	Li (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	°C
F.A.ΑΔ + 30 °C Κιτρικό	72,613	0,073	0,5	50	7,261	5,763	30
F.A.ΑΔ + 50 °C Κιτρικό	77,484	0,077	0,5	50	7,748	6,149	50
F.A.ΑΔ + 60 °C Κιτρικό	80,460	0,080	0,5	50	8,046	6,386	60
F.A.ΑΔ + 80 °C Κιτρικό	54,188	0,054	0,5	50	5,419	4,301	80
F.A.ΑΔ + 90 °C Κιτρικό	50,998	0,051	0,5	50	5,100	4,047	90
FA.A.Δ. συνολικό	-				126,000		

Πίνακας 52: F.A.ΑΔ θερμοκρασίας οξικού οξέος για λίθιο (Li)

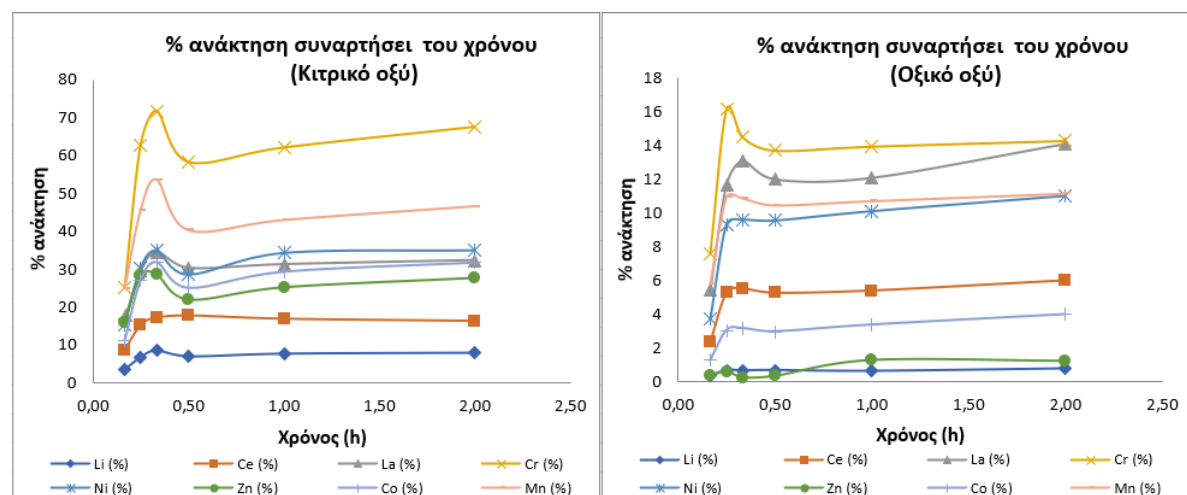
Δείγμα	Li (ppb)	Li (mg/L)	g	mL	mg/Kg στο στερεό	%	°C
F.A.ΑΔ + 30 °C Οξικό	8,188	0,008	0,5	50	0,819	0,650	30
F.A.ΑΔ + 50 °C Οξικό	8,525	0,009	0,5	50	0,853	0,677	50
F.A.ΑΔ + 60 °C Οξικό	9,957	0,010	0,5	50	0,996	0,790	60
F.A.ΑΔ + 80 °C Οξικό	8,114	0,008	0,5	50	0,811	0,644	80
F.A.ΑΔ + 90 °C Οξικό	8,097	0,008	0,5	50	0,810	0,643	90
FA.A.Δ. συνολικό	-				126,000		



Διάγραμμα 24: Συσχέτιση ανάκτησης (%) με θερμοκρασία (°C) για το λίθιο (Li)

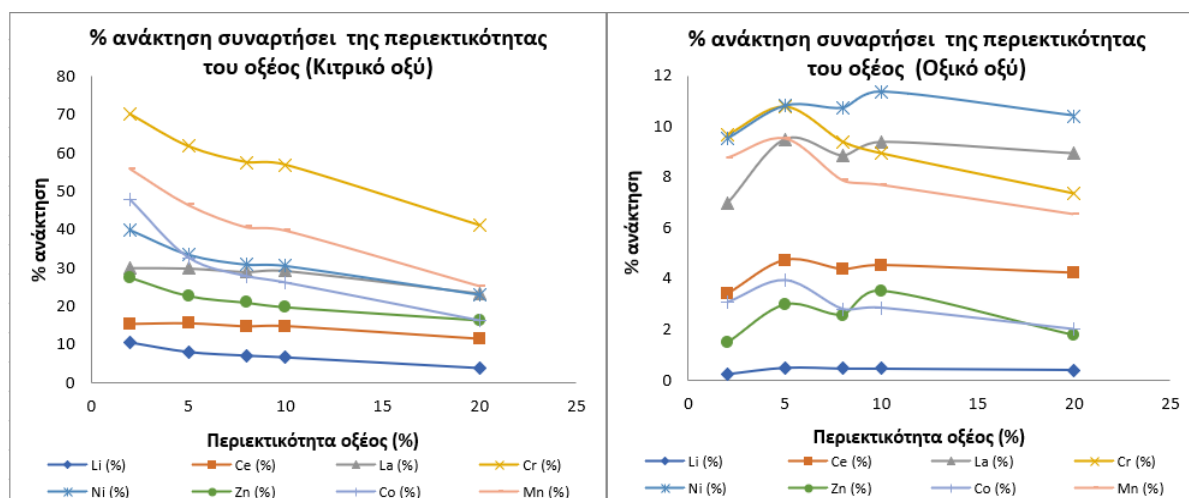
Στο πείραμα της θερμοκρασίας παρατηρείται ότι το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης λιθίου με το κιτρικό οξύ ανέρχεται στο 6% σε θερμοκρασία 60 °C, στην συνέχεια μειώνεται στο 4% σε θερμοκρασία 80 °C και παραμένει σταθερό στους 90 °C. Η ανάκτηση λιθίου με το οξικό οξύ ανέρχεται σε ποσοστό λιγότερο του 1% άρα η επιλογή του οξικού οξέος δείχνει ότι δεν είναι αποτελεσματική.

Στο Διάγραμμα 25 αποτυπώνονται συγκεντρωτικά τα ποσοστά ανάκτησης στην επίδραση του χρόνου όλων των στοιχείων που μελετήθηκαν με σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας 60oC και περιεκτικότητα οξέος 2%. Διακρίνεται ότι για χρόνο 20 λεπτών εμφανίζονται υψηλότερες ανακτήσεις για όλα τα στοιχεία.



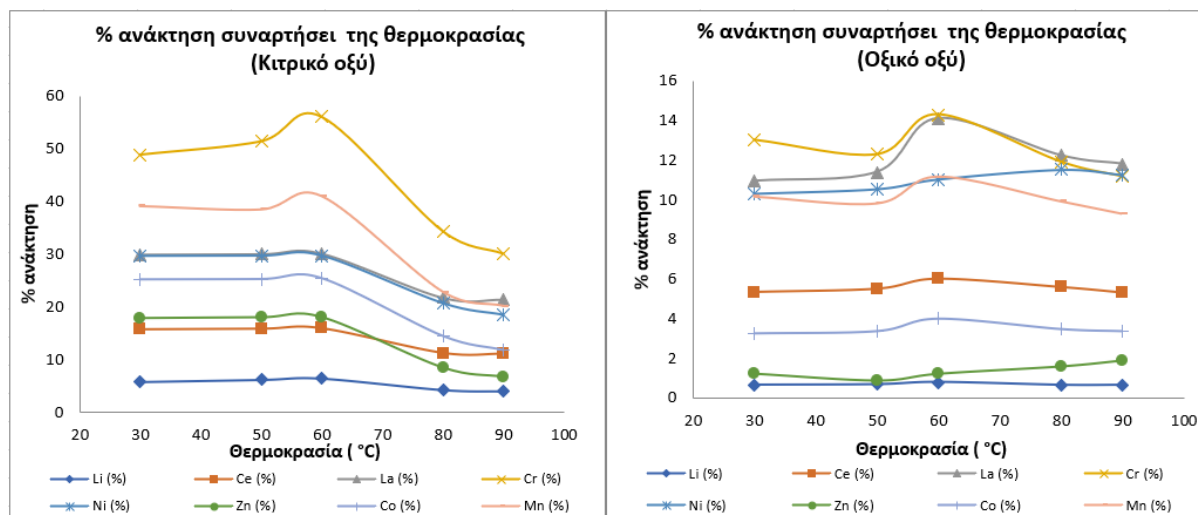
Διάγραμμα 25: Συγκεντρωτικά διαγράμματα ανάκτησης στοιχείων κιτρικού και οξικού οξέος σε συνάρτηση με τον χρόνο.

Στο Διάγραμμα 26 αποτυπώνονται συγκεντρωτικά τα ποσοστά ανάκτησης στην επίδραση της περιεκτικότητας του οξέος όλων των στοιχείων που μελετήθηκαν με σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας 60°C και χρόνο 120'. Παρατηρείται ότι όσο αυξάνει η περιεκτικότητα του οξέος μειώνεται η ανάκτηση των υπό μελέτη στοιχείων.



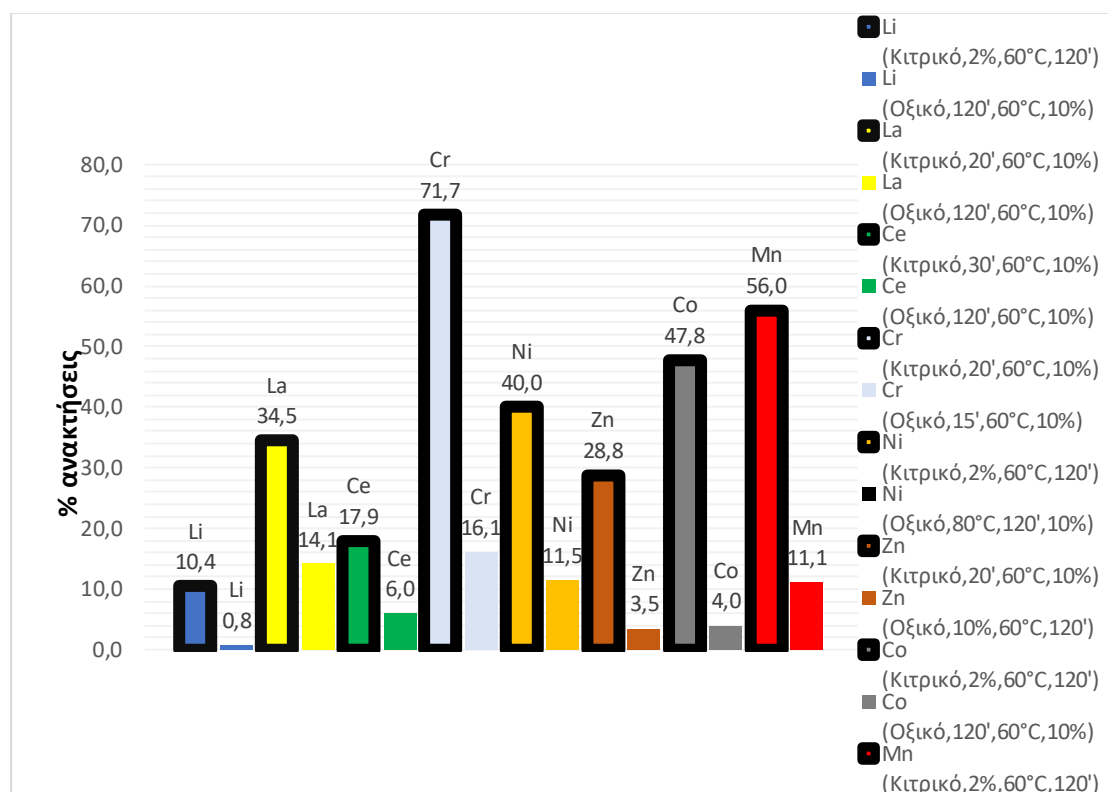
Διάγραμμα 26: Συγκεντρωτικά διαγράμματα ανάκτησης στοιχείων κιτρικού και οξικού οξέος σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα οξέος.

Στο Διάγραμμα 27 αποτυπώνονται συγκεντρωτικά τα ποσοστά ανάκτησης στην επίδραση της θερμοκρασίας όλων των στοιχείων που μελετήθηκαν με σταθερές συνθήκες χρόνο 120' και περιεκτικότητα οξέος 2%. Διακρίνεται ότι έχουμε μέγιστο ποσοστό ανάκτησης στους 60°C για όλα τα υπό μελέτη στοιχεία.



Διάγραμμα 27: Συγκεντρωτικά διαγράμματα ανάκτησης στοιχείων κιτρικού και οξικού οξέος σε συνάρτηση με την θερμοκρασία.

Στο Διάγραμμα 28 απεικονίζεται η αποτελεσματικότητα εκχύλισης του κιτρικού έναντι του οξικού οξέος ήταν καλύτερη για τις συγκεκριμένες συνθήκες. Επομένως το κιτρικό οξύ είναι καλύτερος συμπλεκτικός παράγοντας για τα στοιχεία που μελετήθηκαν.



Διάγραμμα 28: Συγκεντρωτικό διάγραμμα ανάκτησης στοιχείων κιτρικού και οξικού οξέος.

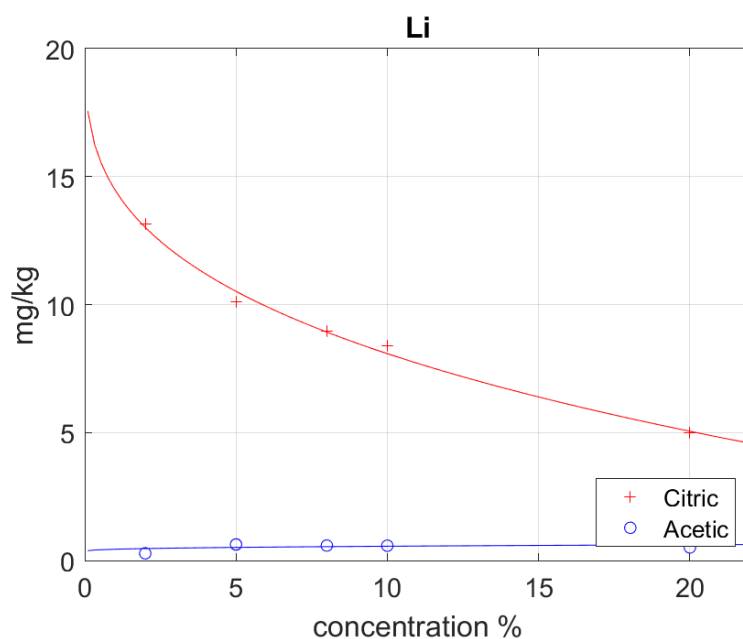
3. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Τα αποτελέσματα από την στατιστική ανάλυση των στοιχείων (ενδεικτικά) λιθίου (Li) και μαγγανίου (Mn) παρουσιάζονται στα Διαγράμματα 29 με 32 ενώ στο Παράρτημα παρουσιάζονται όλα τα διαγράμματα.

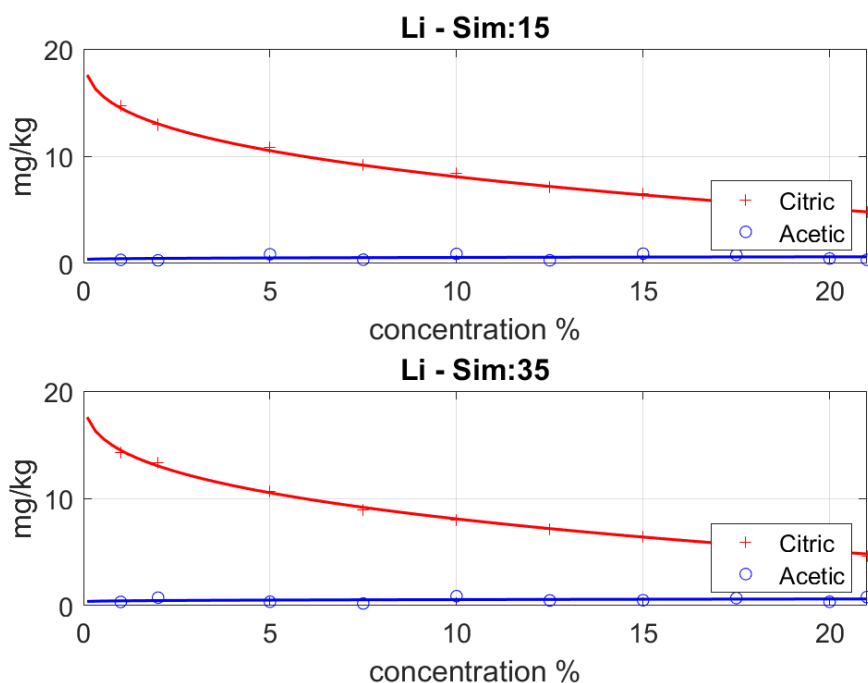
Στα Διαγράμματα 29 και 31 απεικονίζονται οι γραμμές τάσης τόσο του Li όσο και του Mn για το οξικό και το κιτρικό οξύ προκειμένου να είναι εφικτή η σύγκριση της αποτελεσματικότητας μεταξύ των δυο οξέων. Είναι η βέλτιστη καμπύλη που προκύπτει από την ομοιόμορφη κατανομή των πειραματικών μετρήσεων. Παρατηρείται ότι και για τα δύο στοιχεία το κιτρικό οξύ ακολουθεί πτωτική τάση όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα του οξέος ενώ το οξικό οξύ ακολουθεί σταθερή τάση με την αύξηση της περιεκτικότητας του οξέος, ακόμα οι ανακτήσεις των στοιχείων με το οξικό οξύ ανέρχονται σε μικρές συγκεντρώσεις σε σχέση με το κιτρικό οξύ, αυτό μπορεί να οφείλεται στις συνθήκες που τα μελετήσαμε δηλαδή στο χρόνο, στη θερμοκρασία και στην περιεκτικότητα οξέος.

Στα Διαγράμματα 30 και 32 παρατηρείται η προσομοίωση για το κάθε στοιχείο έπειτα από 15 και 35 επαναλήψεις. Η μέθοδος της προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκε για την μείωση των πολλαπλών πειραματικών επαναλήψεων. Στην μέθοδο αυτή εμφανίζονται κάποια παραπάνω σημεία τα οποία αποτελούν πραγματικές πιθανότητες και βοηθούν στην καλύτερη αναπαράσταση της συμπεριφοράς των δειγμάτων δηλαδή των συνθηκών της μεγαλύτερης επιτυχίας των εκχυλίσεων. Μέσω της προσομοίωσης παρατηρήθηκε η μεταβλητότητα ανάκτησης Mn και Li σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα του οξέος. Διεκπεραιώνεται ότι και τα δυο στοιχεία έχουν την ίδια συμπεριφορά, δηλαδή για μικρότερες συγκεντρώσεις οξέος επιτεύχθηκαν μεγαλύτερες ανακτήσεις αυτών των στοιχείων. Οι μεγαλύτερες ανακτήσεις παρατηρούνται με το κιτρικό οξύ. Η ανάκτηση με οξικό οξύ είναι πολύ μικρή και δεν ενδείκνυται για περεταίρω μελέτη.

3.1. Λίθιο (Li)

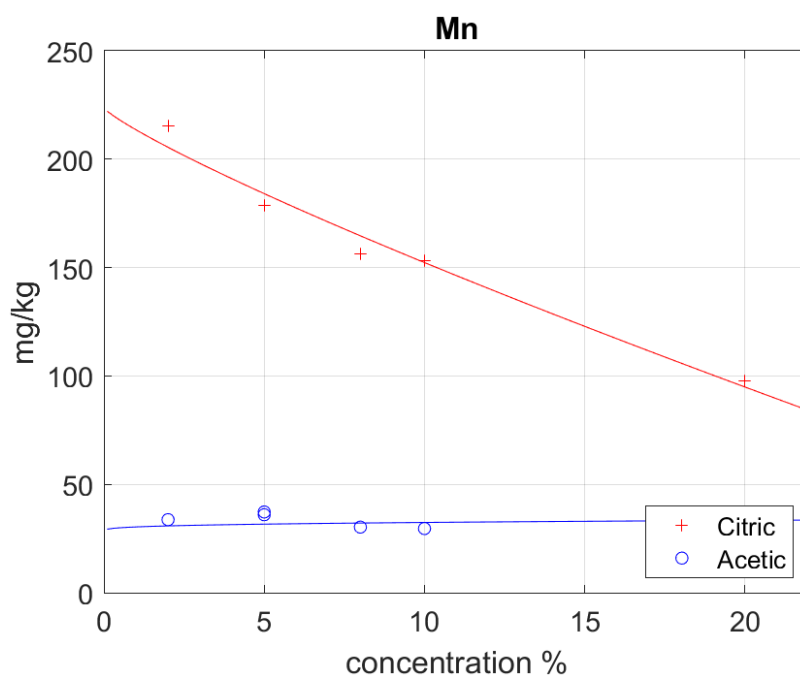


Διάγραμμα 29: Γραμμή τάσης ανάκτησης Li σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα τους οξέος

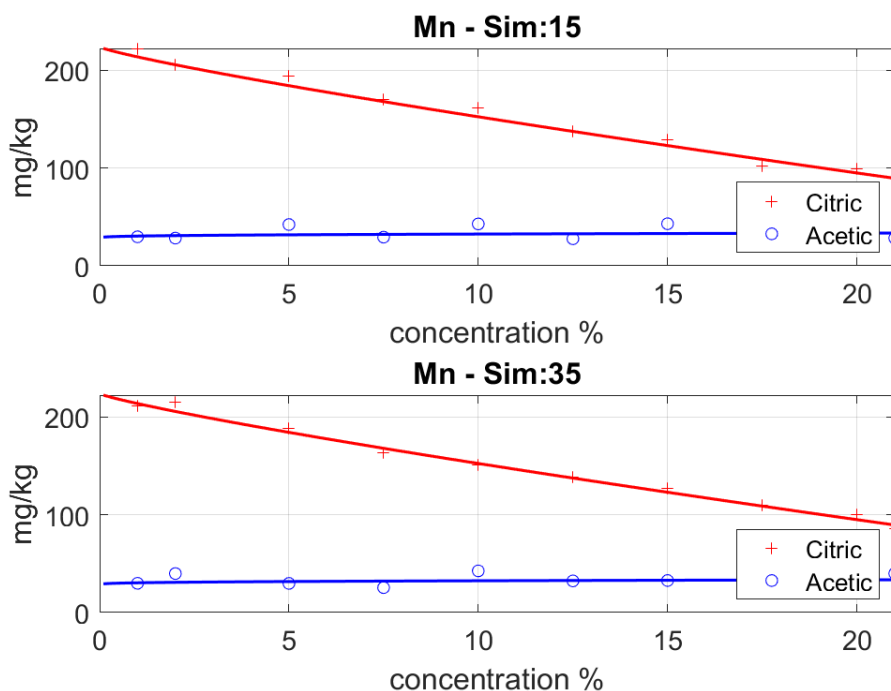


Διάγραμμα 30: Προσομοίωση ανάκτησης Li σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα τους οξέος

3.2. Μαγγάνιο (Mn)



Διάγραμμα 31: Γραμμή τάσης ανάκτησης Mn σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα τους οξέος



Διάγραμμα 32: Προσομοίωση ανάκτησης Mn σε συνάρτηση με την περιεκτικότητα τους οξέος

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ιπτάμενη τέφρα από ΑΗΣ Αγ. Δημητρίου Κοζάνης, είναι εμπλουτισμένη σε μέταλλα όπως La σε ποσοστό 2.4% και εμπεριέχει χαμηλότερα ποσοστά 0,12% Li και 0,7% Ce σε σχέση με το φλοιό της γης. Η ιπτάμενη τέφρα του Αγ. Δημητρίου ανήκει στην κατηγορία C των ιπτάμενων τεφρών δηλαδή εμπεριέχει υψηλότερα επίπεδα οξειδίου του ασβεστίου (CaO).

Οι καλύτερες ανακτήσεις των κρίσιμων μετάλλων για τις συνθήκες που χρησιμοποιήθηκαν επιτεύχθηκαν με το κιτρικό οξύ. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι, στις συνθήκες που μελετήθηκαν, το κιτρικό οξύ λειτουργεί ως καλύτερος συμπλεκτικός παράγοντας.

Το κιτρικό οξύ είναι καλύτερος συμπλεκτικός παράγοντας σε σχέση με το οξικό οξύ για τα στοιχεία που μελετήθηκαν υπό τις συνθήκες που επιλέχθηκαν και αυτό αποτυπώνεται και από την γραμμή τάσης από την στατιστική επεξεργασία.

Το κάθε μέταλλο συμπεριφέρεται διαφορετικά για τις διάφορες συνθήκες που εξετάστηκαν, είχαν διαφορετικά ποσοστά ανάκτησης αλλά εμφανίζουν παρόμοια τάση.

Οι μέγιστες αποδόσεις που προέκυψαν ήταν: Για το Mn στο 53% στο πείραμα του χρόνου, το Co στο 48% στο πείραμα της περιεκτικότητας οξέος, τον Zn στο 28% στο πείραμα του χρόνου, το Ni στο 53% στο πείραμα της θερμοκρασίας, το Cr στο 71% στο πείραμα του χρόνου, το Ce στο 18% στο πείραμα του χρόνου, το La στο 35% στο πείραμα του χρόνου και το Li 10% στο πείραμα της περιεκτικότητας οξέος.

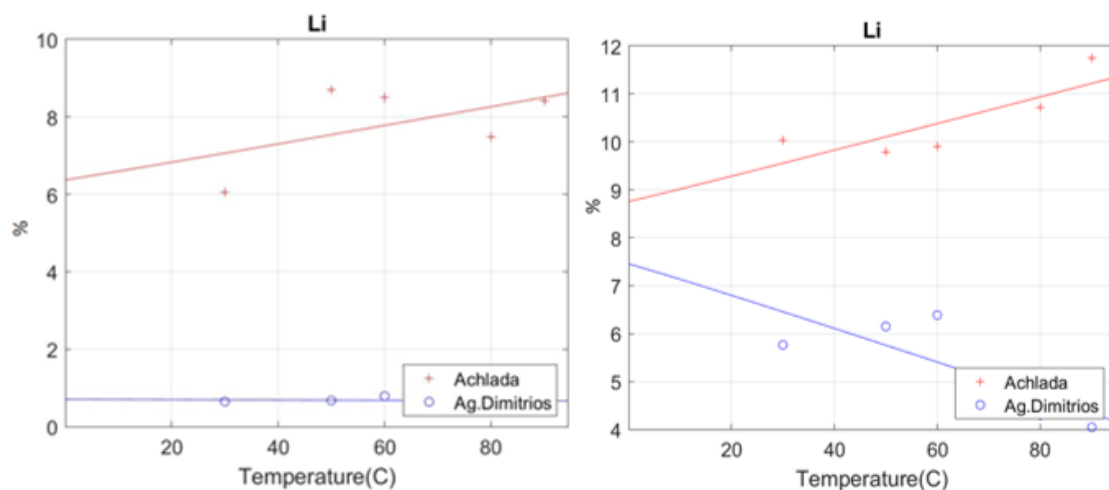
Στο κιτρικό οξύ παρατηρήθηκε ότι στους 60°C και σε περιεκτικότητα οξέος 2% και για χρόνο 20 λεπτών επιτεύχθηκαν οι υψηλότερες ανακτήσεις για όλα τα στοιχεία. Αυτό αποτυπώνεται και από την στατιστική προσομοίωση, ότι όσο μικρότερη περιεκτικότητα οξέος έχουμε τόσο μεγαλύτερες εκχυλίσσεις επιτυγχάνονται. Επομένως, αν γινόταν η επιλογή αυτών των συνθηκών έναντι αυτών που επιλέχθηκαν θα είχαν επιτευχθεί υψηλότερα ποσοστά εκχύλισης.

Από την ανάλυση των δεδομένων με μεθόδους στατιστικής προσομοίωσης και συγκεκριμένα την εφαρμογή των μεθόδων Monte Carlo προέκυψαν τα γραφήματα που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 5. Από τα πειραματικά δεδομένα διακρίνεται ότι πρόκειται για μια ομοιόμορφη κατανομή. Η ομοιόμορφη κατανομή συμβάλει προκειμένου να επιτυγχάνεται η καλύτερη παρατήρηση της συμπεριφοράς των

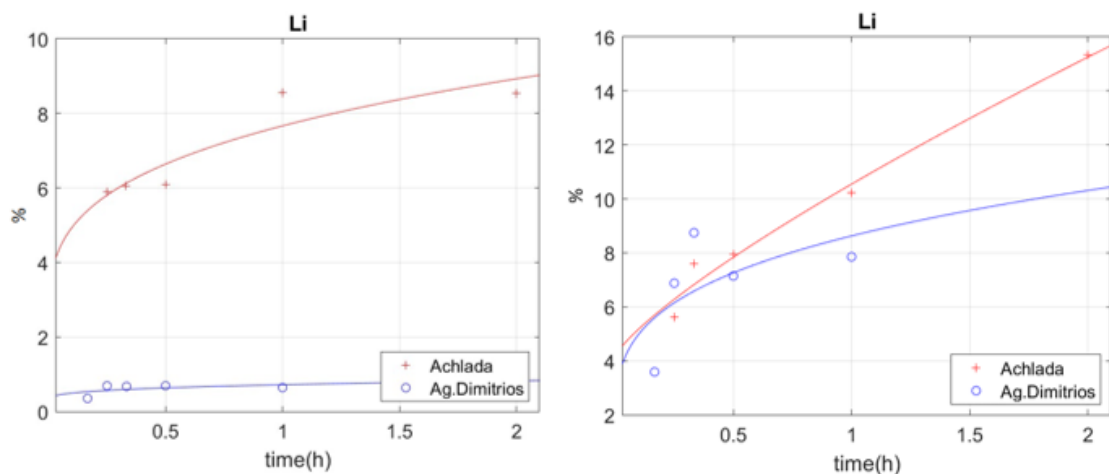
πειραματικών δειγμάτων. Μέσω της συγκεκριμένης μεθόδου στατιστικής προσομοίωσης (MC) έγιναν πολλαπλές επαναλήψεις προκειμένου να υπάρξει η βέλτιστη γραμμή τάσης, όπου πρόκειται για ένα μοντέλο πρόβλεψης της συμπεριφοράς του ποσοστού ανάκτησης του κάθε στοιχείου σε ενδεχόμενη μεταβολή των παραμέτρων. Τόσο η ομοιόμορφη κατανομή όσο και η στατιστική προσομοίωση (MC) έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση των επαναλήψεων και κατά συνέπεια αυτού, περιορίζεται το σφάλμα, ο χρόνος και το κόστος της πειραματικής διαδικασίας.

5. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

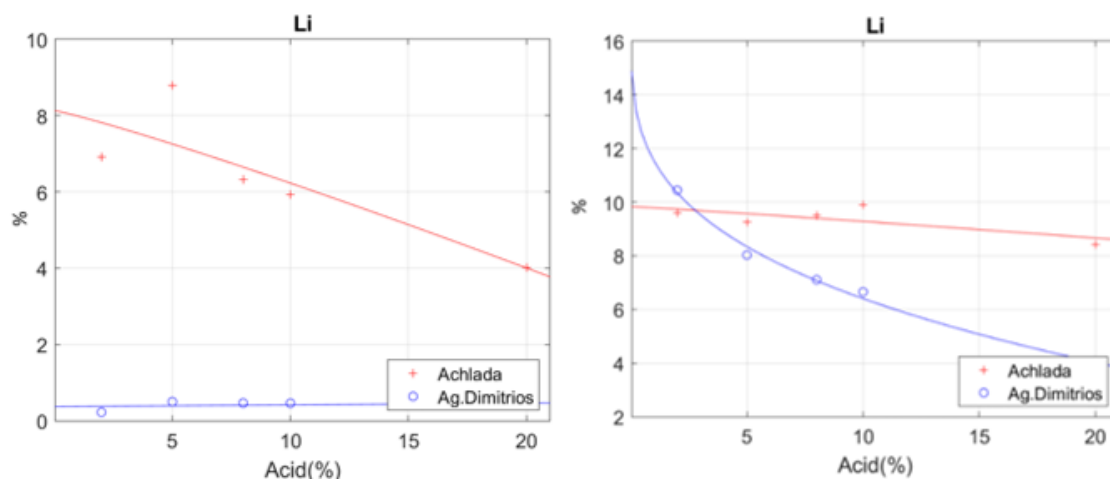
Στο παράρτημα παρουσιάζονται για χάρη σύγκρισης και τα αποτελέσματα της ιπτάμενης τέφρας Αχλάδας που μελετήθηκαν στις ίδιες συνθήκες.



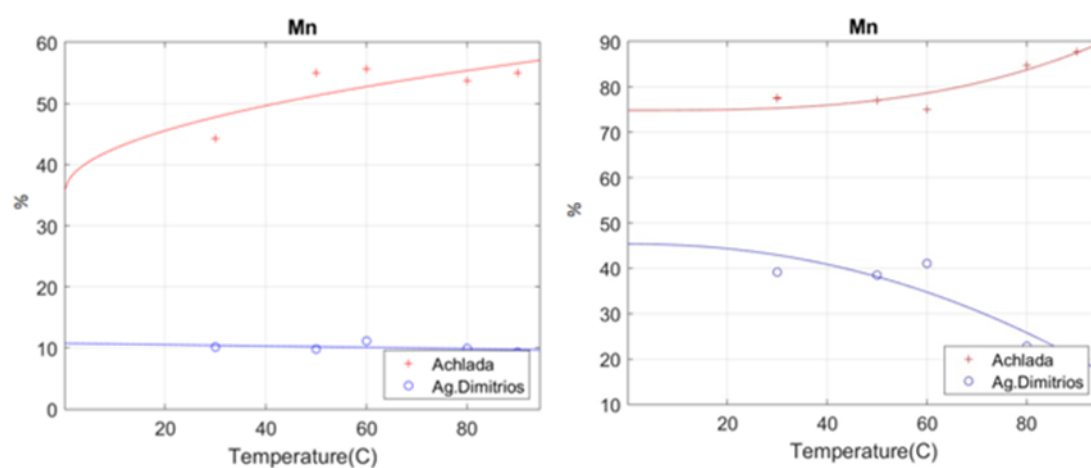
Διάγραμμα 25: Παράμετρος θερμοκρασίας οξικού και κιτρικού για Li



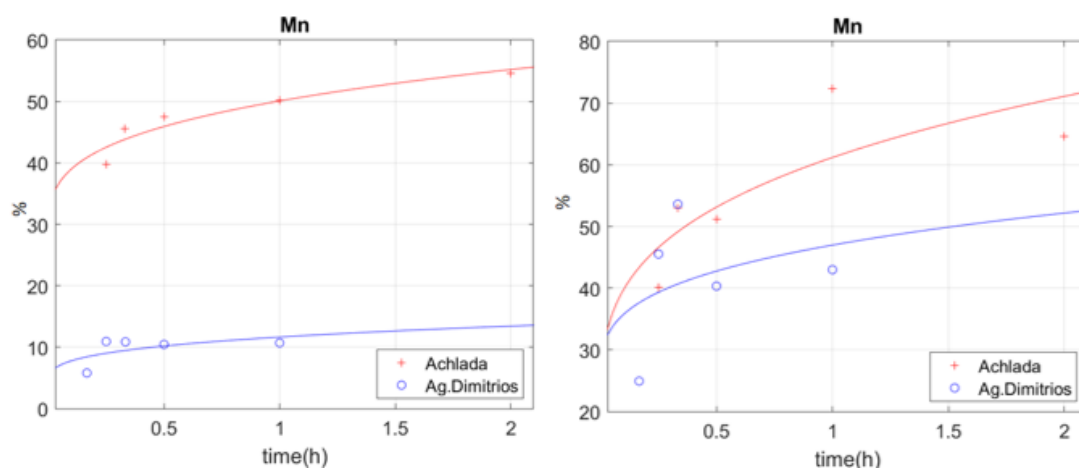
Διάγραμμα 34: Παράμετρος χρόνου οξικού και κιτρικού για Li



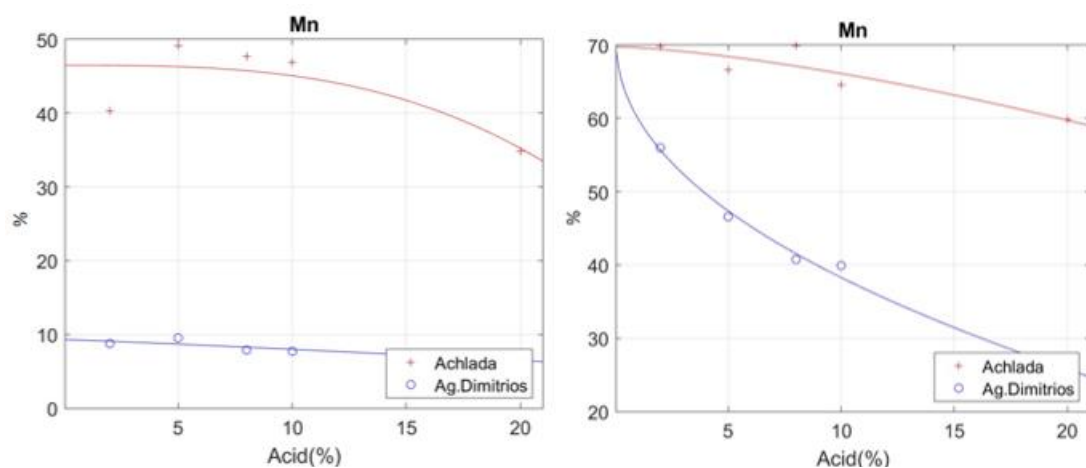
Διάγραμμα 35: Παράμετρος περιεκτικότητας του οξέος οξικού και κιτρικού Li



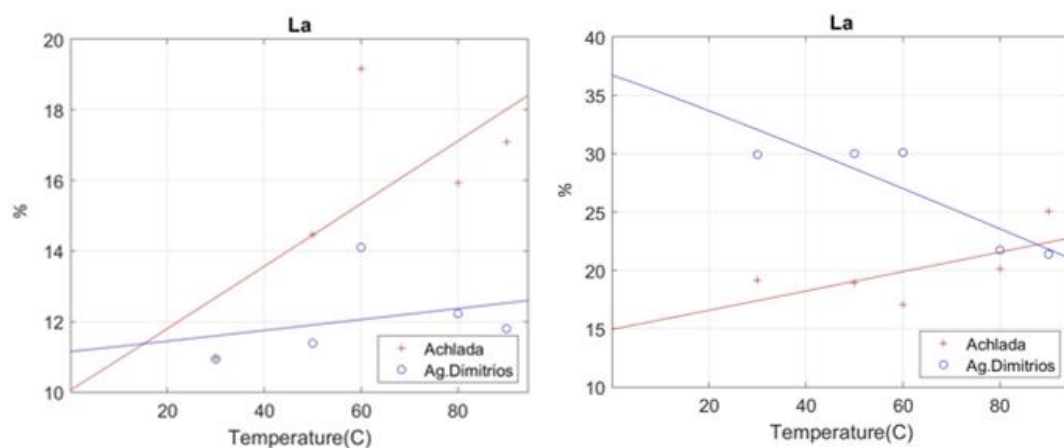
Διάγραμμα 36: Παράμετρος θερμοκρασίας οξικού και κιτρικού για Mn



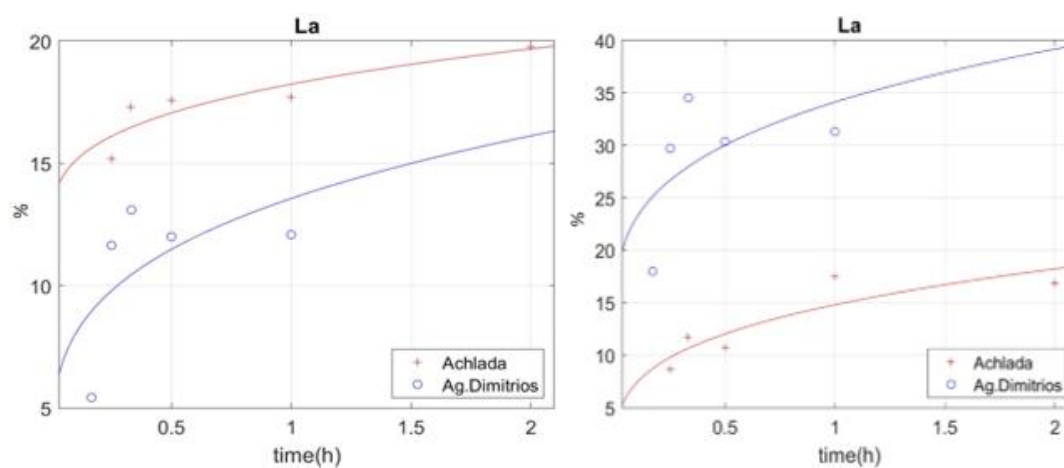
Διάγραμμα 37: Παράμετρος χρόνου οξικού και κιτρικού για Mn



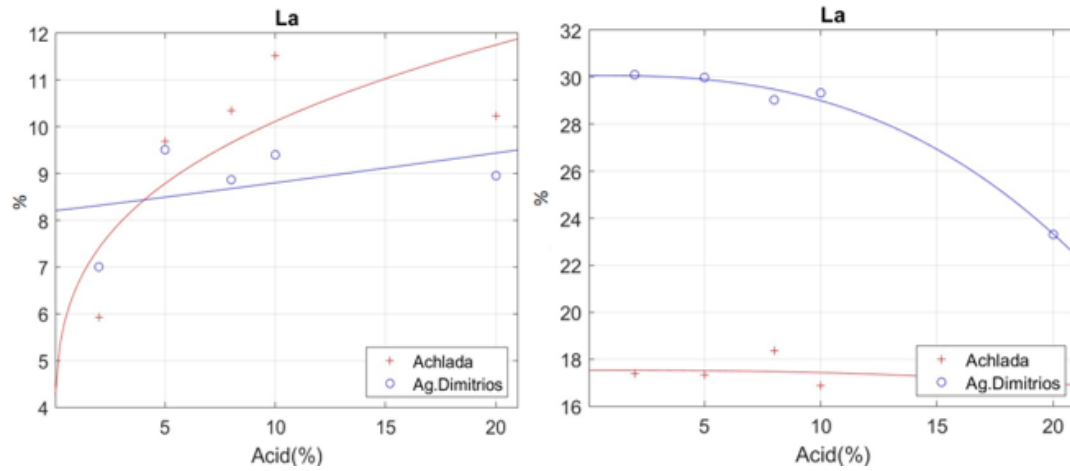
Διάγραμμα 38: Παράμετρος περιεκτικότητας του οξέος οξικού και κιτρικού Mn



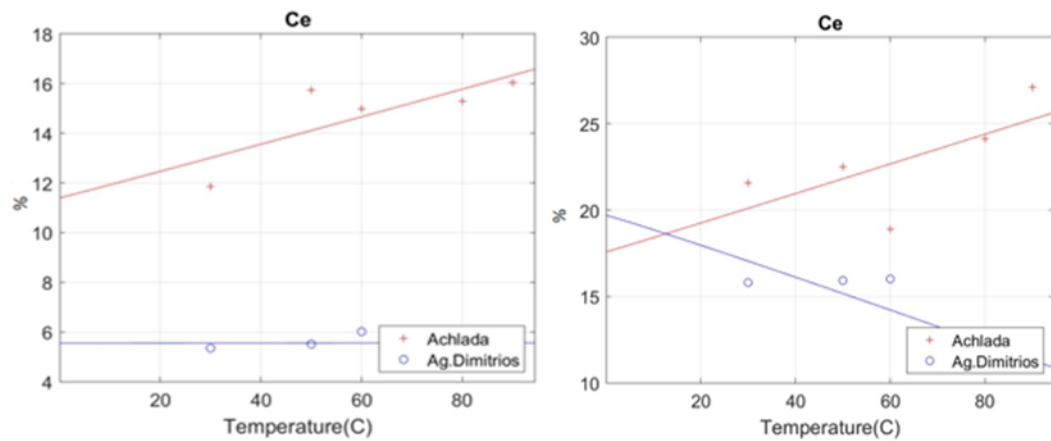
Διάγραμμα 39: Παράμετρος θερμοκρασίας οξικού και κιτρικού για La



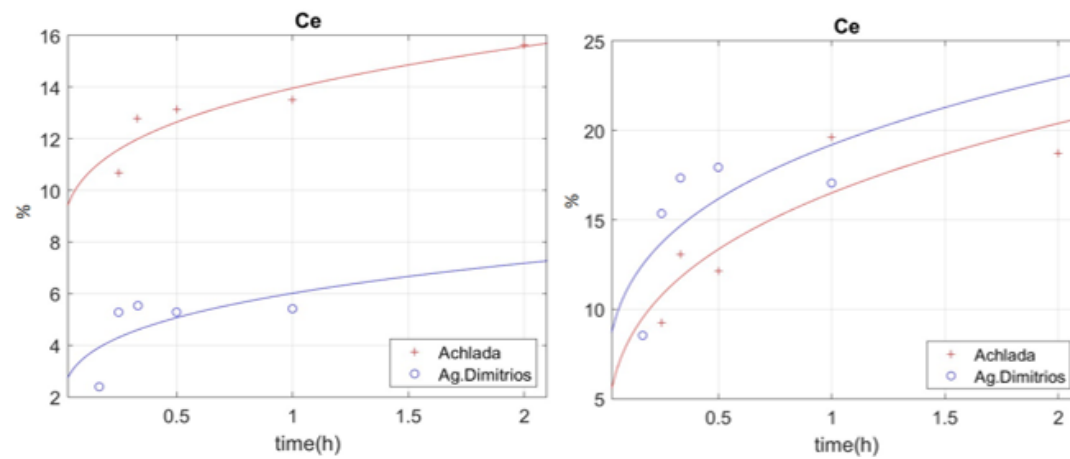
Διάγραμμα 40: Παράμετρος χρόνου οξικού και κιτρικού για La



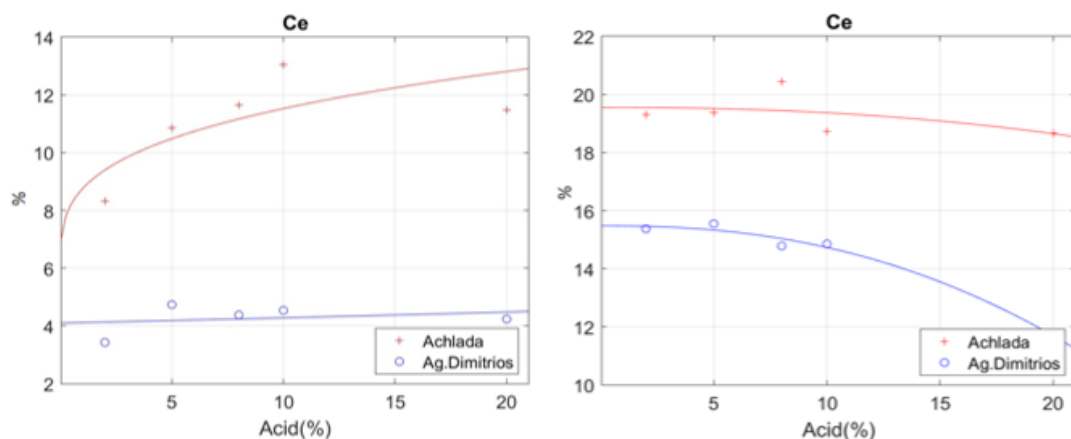
Διάγραμμα 41: Παράμετρος περιεκτικότητας του οξέος οξικού και κιτρικού La



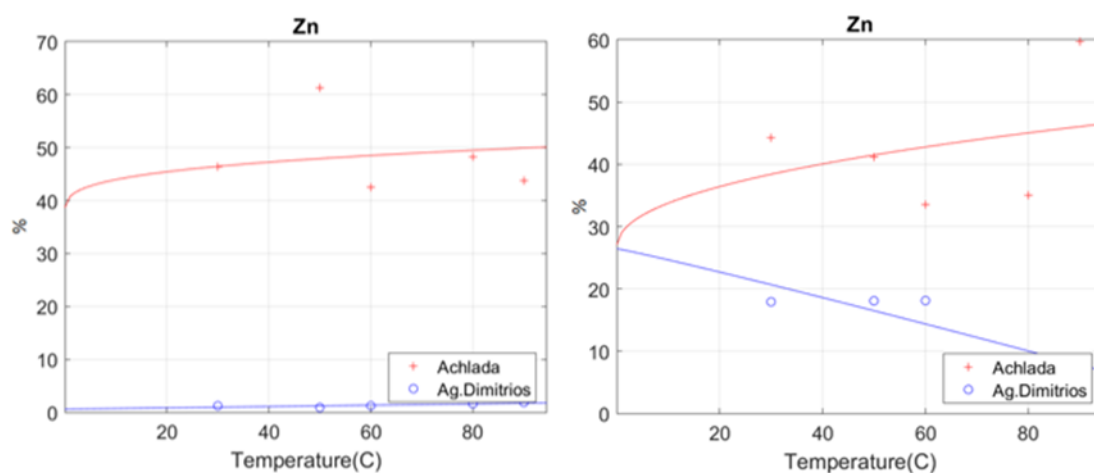
Διάγραμμα 42: Παράμετρος θερμοκρασίας οξικού και κιτρικού για Ce



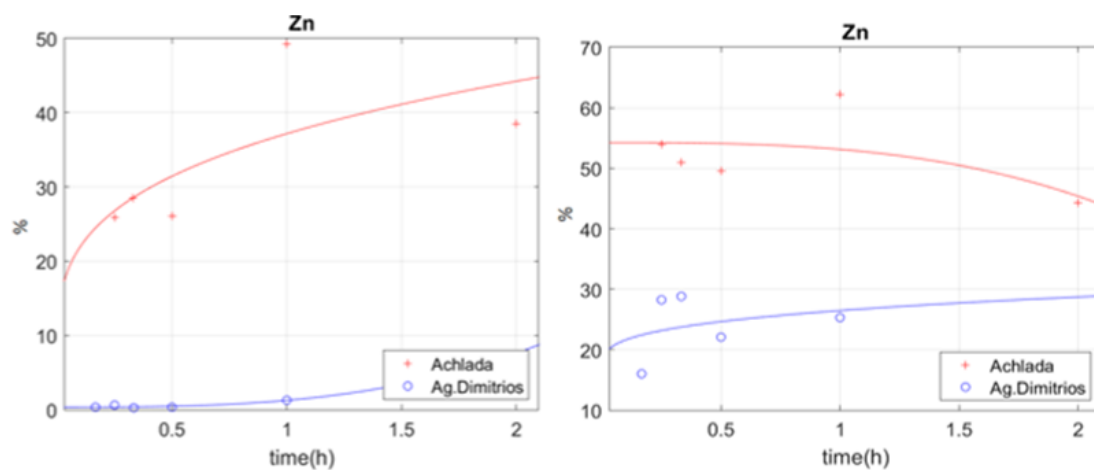
Διάγραμμα 4326: Παράμετρος χρόνου οξικού και κιτρικού για Ce



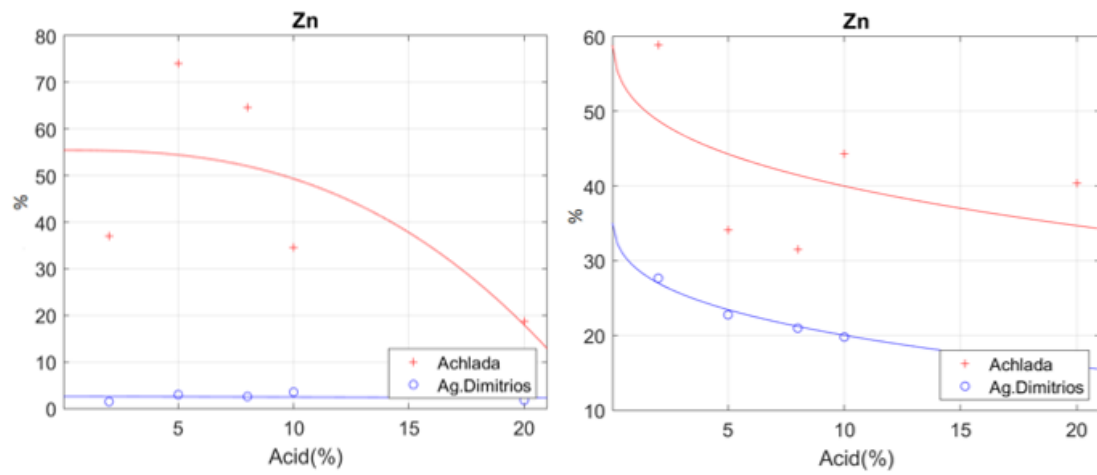
Διάγραμμα 44: Παράμετρος περιεκτικότητας του οξέος οξικού και κιτρικού Ce



Διάγραμμα 45: Παράμετρος θερμοκρασίας οξικού και κιτρικού για Zn



Διάγραμμα 46: Παράμετρος χρόνου οξικού και κιτρικού για Zn



Διάγραμμα 47: Παράμετρος περιεκτικότητας του οξέος οξικού και κιτρικού Zn

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] The circular economy mitigates the material rebound due to investments in renewable energy, Karolina Safarzynska, Lorenzo Di Domenico, Marco Raberto, Journal of Cleaner Production Volume 402, 20 May 2023, 136753
- [2] By R.A. Washington, Roger Pielke, JR. posts a chart from The Economist's recent world economy survey, Oct 14th 2011.
- [3] Fragkos, P. (2022). Analysing the systemic implications of energy efficiency and circular economy strategies in the decarbonisation context. AIMS Energy, 10(2), 191-218.
- [4] The future of manufacturing: From linear to circular, Santiago Miret, February 24, 2014, Recent Commodity Price Trends - Source: McKinsey & Company
- [5] Through a combination of resource efficiency, climate mitigation, carbon removal, and biodiversity protection policies, this report finds that it is feasible and possible to grow economies, increase well-being and remain within planetary boundaries. IRP (2019). Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want. Oberle, B., Bringezu, S., Hatfeld-Dodds, S., Hellweg, S., Schandl, H., Clement, J., and Cabernard, L., Che, N., Chen, D., Droz-Georget, H., Ekins, P., Fischer-Kowalski, M., Flörke, M., Frank, S., Froemelt, A., Geschke, A., Haupt, M., Havlik, P., Hüfner, R., Lenzen, M., Lieber, M., Liu, B., Lu, Y., Lutter, S., Mehr, J., Miatto, A., Newth, D., Oberschelp, C., Obersteiner, M., Pfster, S., Piccoli, E., Schaldach, R., Schüngel, J., Sonderegger, T., Sudheshwar, A., Tanikawa, H., van der Voet, E., Walker, C., West, J., Wang, Z., Zhu, B. A Report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya.
- [6] Sustainable Development Strategies Engineering, Culture and Economics 2021, Pages 189-214 Sustainable Development Strategies Chapter 7 - Circular economy: a new sustainable management paradigm Author links open open overlay panel Mousumi Roy
- [7] Sustainability of photovoltaics: The case for thin-film solar cells, Fthenakis, Vasilis, Renewable and Sustainable Energy Reviews Open Access Volume 13, Issue 9, Pages 2746 - 2750 December 2009
- [8] Challenges in assessment of clean energy supply-chains based on byproduct minerals: A case study of tellurium use in thin film photovoltaics, Bustamante, Michele L. Gaustad, Gabrielle, Applied Energy Volume 123, Pages 397 - 414 June 2014
- [9] Considerations of resource availability in technology development strategies: The case study of photovoltaics, Zuser, Anton, Send mail to Zuser A., Rechberger, Helmut, Resources, Conservation and Recycling Volume 56, Issue 1, Pages 56 - 65 November 2011
- [10] Closing the low-carbon material loop using a dynamic whole system approach, Busch, Jonathan Dawson, David, Roelich, Katy, Journal of Cleaner Production Open Access Volume 149, Pages 751 - 761 April 2017
- [11] Review of critical metal dynamics to 2050 for 48 elements, Takuma Watari, Keisuke Nansai, Kenichi Nakajima, Resources, Conservation & Recycling 155 (2020) 104669

- [12] Γεωργιάδης, Ν. Η. (1997). «Στρατηγικά Μέταλλα»: Μία Εναλλακτική Επένδυση στις Αγορές Εμπορευμάτων. Ποιες Ευκαιρίες Προσφέρονται Σήμερα στον Επενδυτή. Investment Research & Analysis Journal. http://iraj.gr/IRAJ/Strategic_Metals.pdf
- [13] Criticality of metals and metalloids, T. E. Graedel, E. M. Harper, N. T. Nassar, and Barbara K. Reck, research article, Edited by B. L. Turner, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America Open Access Volume 112, Issue 14, Pages 4257 - 4262 April 2015
- [14] Global material requirements for the energy transition. An exergy flow analysis of decarbonisation pathways, Alicia Valero, Antonio Valero, Guiomar Calvo, Abel Ortego, Sonia Ascaso, Jose-Luis Palacios, Energy Open Access Volume 159, 15 September 2018, Pages 1175-1184
- [15] Scenarios for Demand Growth of Metals in Electricity Generation Technologies, Cars, and Electronic Appliances, Deetman, Sebastiaan, Pauliuk, Stefan, VanVuuren, Detlef P., Van Der Voet, Ester, Tukker, Arnold, Environmental Science and Technology Open Access Volume 52, Issue 8, Pages 4950 - 4959 April 2018
- [16] Overview of Institutional Contexts and Empirical Methods, Douglas J. Cumming, Sofia A. Johan, in Venture Capital and Private Equity Contracting (Second Edition), 2014
- [17] Analysis of Potential for Critical Metal Resource Constraints in the International Energy Agency's Long-Term Low-Carbon Energy Scenarios, Takuma Watari, Benjamin C. McLellan, Seiichi Ogata, Tetsuo Tezuka, Minerals 2018, 8(4), 156 Received: 27 December 2017 / Revised: 28 March 2018 / Accepted: 10 April 2018 / Published: 12 April 2018
- [18] Ebbing, D. & Gammon, S. (2006). Γενική Χημεία (μτφ. Ν. Δ. Κλούρας). Αθήνα: Τραυλός.
- [19] Major countries in worldwide lithium mine production in 2022, Leading lithium producing countries worldwide 2022 Published by M. Garside, Aug 29, 2023
- [20] Manganese chemical element Written and fact-checked by The Editors of Encyclopædia Britannica
- [21] Journal of Hazardous Materials Volume 415, 5 August 2021, 125556 Selective recovery of manganese from electrolytic manganese residue by using water as extractant under mechanochemical ball grinding: Mechanism and kinetics Author links open overlay panel Jirong Lan, Yiqie Dong, Yuwei Xiang, Shanshan Zhang, Tao Mei, Haobo Hou School of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, PR China Hubei Environmental Remediation Material Engineering Technology Research Center, Wuhan 430072, PR China
- [22] Chromium – Element information, properties and uses | Periodic Table. (n.d.). Chromium – Element Information, Properties and Uses | Periodic Table.
- [23] Encyclopedia of Analytical Science (Second Edition) 2005, Pages 113-126 Encyclopedia of Analytical Science CHROMIUM Author links open overlay panel M. Sperling
- [24] Enhanced methods for nickel recovery from low-grade ores and bleed streams Posted by Sara Wollschlaeger on Sep 6, 2017 5:09:46 PM

- [25] Agrawal, A., Kumari, S., Parveen, M. and Sahu, K. (2012). Exploitation of Copper Bleed Stream for the Extraction and Recovery of Copper and Nickel by Bis(2,4,4-trimethylpentyl)phosphinic Acid. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 33(5), pp.339-351.
- [26]. Tables of Physical & Chemical Constants, Kaye & Laby Online, 16th edition, 1995. Version 1.0 (2005), accessed December 2014. J. S. Coursey, D. J. Schwab, J. J. Tsai, and R. A. Dragoset, Atomic Weights and Isotopic Compositions (version 4.1), 2015, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, accessed November 2016. T. L. Cottrell, The Strengths of Chemical Bonds, Butterworth, London, 1954.
- [27] Tables of Physical & Chemical Constants, Kaye & Laby Online, 16th edition, 1995. Version 1.0 (2005), accessed December 2014. J. S. Coursey, D. J. Schwab, J. J. Tsai, and R. A. Dragoset, Atomic Weights and Isotopic Compositions (version 4.1), 2015, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, accessed November 2016. T. L. Cottrell, The Strengths of Chemical Bonds, Butterworth, London, 1954.
- [28] Handbook on the Toxicology of Metals (Fifth Edition) Specific Metals 2022, Pages 963-984 Handbook on the Toxicology of Metals Chapter 38 – Zinc Author links open overlay panel Jana Wolf, Harold H. Sandstead,, Lothar Rink
- [29] Minerals Engineering Volume 160, 1 January 2021, 106656 Minerals Engineering Geometallurgy of cobalt ores: A review Author links open overlay panel Quentin Dehaine a b, Laurens T. Tijsseling a c, Hylke J. Glass a, Tuomo Törmänen b, Alan R. Butcher b
- [30] Tables of Physical & Chemical Constants, Kaye & Laby Online, 16th edition, 1995. Version 1.0 (2005), accessed December 2014. J. S. Coursey, D. J. Schwab, J. J. Tsai, and R. A. Dragoset, Atomic Weights and Isotopic Compositions (version 4.1), 2015, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, accessed November 2016. T. L. Cottrell, The Strengths of Chemical Bonds, Butterworth, London, 1954.
- [31] High-efficiency recovery of cerium ions from monazite leach liquor by polyamines and polycarboxylates chitosan sorbents prepared from marine industrial wastes, Mahmoud O. Abd El-Magied, *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 243, 15 July 2023, 125243
- [32] Exploring global supply and demand of scandium oxide in 2030, Sinoun Phoung, Eric Williams, Gabrielle Gaustad, Ajay Gupta, *Journal of Cleaner Production* Volume 401, 15 May 2023, 136673
- [33] Recovery of scandium from silicate minerals by high-pressure leaching in sulfuric acid, Peng Yan, Xiaoming Chen, Likun Gao, Bo Yang, *Journal of Rare Earths* Available online 23 February 2023
- [34] Production of Rare Metal Powders Oleg D. Neikov, ... Irina B. Murashova, in *Handbook of Non-Ferrous Metal Powders (Second Edition)*, 2019
- [35] Επιλεκτική ανάκτηση σκανδίου, τιτανίου και υτρίου από ερυθρά ιλύ - Ιδρυματικό Αποθετήριο (tuc.gr)

- [36] lanthanum chemical element, This article was most recently revised and updated by Erik Gregersen, Timothy P. Hanusa, John P. Rafferty.
- [37] Ο λιγνίτης ως πηγή μετάλλων υψηλής τεχνολογίας. Τρόποι εμφάνισης και ανάκτηση Λανθανίου και Λιθίου - Ιδρυματικό Αποθετήριο (tuc.gr)
- [38] Including Actinides Gopi K. Samudrala, Yogesh K. Vohra, in Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths, 2013
- [39] ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΓΕΩΠΟΛΥΜΕΡΙΚΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΙΠΤΑΜΕΝΗ ΤΕΦΡΑ. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΑ Ν. Νικολουτσόπουλος, Α. Σωτηροπούλου, Γ. Κακάλη, Σ. Τσιβιλής Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα, Ελλάδα Τμήμα Εκπαιδευτικών Πολιτικών Μηχανικών, ΑΣΠΑΙΤΕ, Νέο Ηράκλειο, Ελλάδα
- [40] Effect Of Application Of Fly Ash, Derived From Lignite Fired Plants, On Some Physicochemical Characteristics Of Three Soils And On Nutrient Uptake By Plants. Μάτση, Θεοδώρα του Αλέξανδρου
- [41] Recovery of metals and other beneficial products from coal fly ash: a sustainable approach for fly ash management, Prafulla Kumar Sahoo, Kangjoo Kim, M. A. Powell & Sk Md Equeenuddin, Review Open Access Published: 19 August 2016, volume 3, pages 267–283 (2016)
- [42] Optimization of Metal Recovery from MSWI Fly Ash by Acid Leaching: Findings from Laboratory- and Industrial-Scale Experiments, by Gisela Weibel, Anna Zappatini, Mirjam Wolffers, and Stefan Ringmann, Processes 2021, 9(2), Received: 30 November 2020 / Revised: 8 February 2021 / Accepted: 10 February 2021 / Published: 14 February 2021
- [43] Bioleaching of Heavy Metals from Municipal Solid Waste Incineration Fly Ash: Availability of Recoverable Sulfur Prills and Form Transformation of Heavy Metals, by Ruichang Zhang, Xuefeng Wei, Qiang Hao and Ruofan Si, Metals 2020, 10(6), 815; Received: 29 May 2020 / Revised: 15 June 2020 / Accepted: 16 June 2020 / Published: 18 June 2020
- [44] Recovery of heavy metals from MSW molten fly ash by CIP method, Masami Tsunekawa 2009, Hydrometallurgy
- [45] Recovery of metals and other beneficial products from coal fly ash: a sustainable approach for fly ash management, Prafulla Kumar Sahoo, Kangjoo Kim, M. A. Powell & Sk Md Equeenuddin, Review Open Access Published: 19 August 2016 volume 3, pages 267–283 (2016)
- [46] X-RAY FLUORESCENCE AND EMISSION | X-Ray Fluorescence Theory P.J. Potts, in Encyclopedia of Analytical Science (Second Edition), 2005
- [47] Geochemical Instrumentation and Analysis X-Ray Fluorescence (XRF) Karl Wirth, Macalester College and Andy Barth, Indiana University~Purdue University, Indianapolis
- [48] X Ray Diffraction Analysis, X-ray analyses like X-Ray diffraction analysis are developed for studying the crystal structure of crystalline materials, where the scattering of X-rays by periodic array of atoms cause definite diffraction patterns. Advanced Rare Earth-Based Ceramic Nanomaterials, 2022

- [49] Modern analytical techniques in failure analysis of aerospace, chemical, and oil and gas industries Seifollah Nasrazadani, Shokrollah Hassani, in Handbook of Materials Failure Analysis with Case Studies from the Oil and Gas Industry, 2016
- [50] Geochemical Instrumentation and Analysis X-ray Powder Diffraction (XRD) Barbara L Dutrow, Louisiana State University, Christine M. Clark, Eastern Michigan University
- [51] X-ray diffraction (XRD) basics and application Chemistry LibreTexts
- [52] A Beginner's Guide to ICP-MS, Mass Spectrometry basics | Agilent
- [53] Φασματομετρία μάζας με επαγωγικά συζευγμένο πλάσμα | Leandro Alegsa - 2021-12-07
- [54] Απλή μεθοδολογία Μόντε Κάρλο για τον υπολογισμό προσεγγιστικών ορίων εμπιστοσύνης D. Koutsoyiannis, and S. Kozanis, A simple Monte Carlo methodology to calculate generalized approximate confidence intervals, Research report, Hydrologic Research Center, 2005.
- [55] A single-step process to leach out rare earth elements from coal ash using organic carboxylic acids Author links open overlay panel Riya Banerjee, Ashok Mohanty, Sanchita Chakravarty, Saswati Chakladar, Paromita Biswas Hydrometallurgy Volume 201, May 2021, 105575