



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ



**Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας –
Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος**

**Τμήμα Οικονομικών Επιστημών (ΥΠΗ)
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών (ΥΠΗ)
Τμήμα Φυσικής (ΙΗΥ)**

Δ.Δ.Π.Μ.Σ. : “Οικονομική Φυσική - Χρηματοοικονομικές Προβλέψεις”

Διπλωματική Εργασία:

“Μελέτη τιμών Σπανίων Γαιών και Κρίσιμων Μετάλλων,
διασύνδεση με τεχνολογικές εξελίξεις και διερεύνηση σχηματισμού χαρτοφυλακίου”

Επιβλέπων Καθηγητής: Θεόδωρος Καρακασίδης

Ευστάθιος Τσουτσουμάνος

Φυσικός

Βόλος, Ιανουάριος 2021

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Διδρυματικού Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Οικονομική Φυσική – Χρηματοοικονομικές Προβλέψεις» του Τμήματος Οικονομικών της σχολής Οικονομικών και Διοικητικών Σπουδών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Θεόδωρο Καρακασίδη για την επίβλεψη και την καθοδήγηση στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους του καθηγητές για τις γνώσεις που μου μετέδωσαν μέσω της διδασκαλίας τους και για τις συμβουλές τους που αποτέλεσαν τη βάση για την επιστημονική και προσωπική μου εξέλιξη.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω του συμφοιτητές και συναδέλφους μου για τη πολύτιμη βοήθεια τους και για την φιλία τους.

*Στου γονείς μου Χριστίνα και Δημήτρη,
και στη σύντροφο μου Ζένα*

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
Περίληψη	6
Abstract	7
Α΄ ΣΠΑΝΙΕΣ ΓΑΙΕΣ ΚΡΙΣΙΜΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	8
I. ΣΠΑΝΙΕΣ ΓΑΙΕΣ	9
1. Σπάνιες Γαίες: Φυσικά και Χημικά Χαρακτηριστικά	9
1.1 Τι είναι οι σπάνιες γαίες	9
1.2 Ειδικές φυσικές και χημικές ιδιότητες	10
2. Διαθεσιμότητα και εκμετάλλευση σπανίων γαιών	13
2.1 Γεωγραφία παραγωγής	13
2.2 Αλυσίδα Εφοδιασμού Σπανίων γαιών	13
2.3 Ανακύκλωση και απόρριψη	15
II. ΚΡΙΣΙΜΑ ΜΕΤΑΛΛΑ	16
3. Κρίσιμα Μέταλλα: Λίθιο, Κοβάλτιο, Νικέλιο, Μαγγάνιο	16
3.1 Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του Λιθίου.....	16
3.2 Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του Κοβαλτίου	17
3.3 Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του Νικελίου.....	18
3.4 Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του Μαγγανίου.....	19
4. Διαθεσιμότητα και εκμετάλλευση κρίσιμων μετάλλων	20
4.1 Γεωγραφία παραγωγής κρίσιμων μετάλλων	20
4.2 Αλυσίδα Εφοδιασμού κρίσιμων μετάλλων	24
III. ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ	26
5. Εφαρμογές σπανίων γαιών στη Βιομηχανία & Τεχνολογία	26
5.1 Γενικές εφαρμογές & Ιστορική αναδρομή.....	26
5.2 Κυριότερες κατηγορίες εφαρμογών σπανίων γαιών	27
6. Οικονομικά στοιχεία για σπάνιες γαίες	32
6.1 Η Αγορά και Κατανάλωση σπανίων γαιών.....	32
6.2 Τιμές και προοπτικές αγοράς σπανίων γαιών.....	34
7. Εφαρμογές κρίσιμων μετάλλων στη Βιομηχανία & Τεχνολογία	37
7.1 Γενικές εφαρμογές & Ιστορική αναδρομή.....	37
7.2 Κυριότερες κατηγορίες εφαρμογών κρίσιμων μετάλλων	38
8. Οικονομικά στοιχεία για κρίσιμα μέταλλα	43
8.1 Η Αγορά και Κατανάλωση κρίσιμων μετάλλων.....	43
8.2 Τιμές και προοπτικές αγοράς κρίσιμων μετάλλων.....	46

IV. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΟΥ	48
9. Θεωρία Χαρτοφυλακίου	48
9.1 Μετοχές.....	52
9.2 Παράγωγα.....	53
9.3 Διαπραγματεύσιμα Αμοιβαία Κεφάλαια (ΔΑΚ)	56
Β' ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	58
V. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	59
10. Ανάλυση Οικονομικών Χρονοσειρών	59
10.1 Στασιμότητα (Απαλοιφή Τάσης).....	59
10.2 Εποχικότητα (Περιοδικότητα).....	60
10.3 Αυτοσυσχέτιση & Μερική Αυτοσυσχέτιση	61
11. Θεωρητικά Μοντέλα Προβλέψεων	63
11.1 Αυτοπαλίνδρομα Μοντέλα (ARIMA).....	63
11.2 Προσομοίωση Monte Carlo	65
11.3 Νευρωνικά Δίκτυα	67
Γ' ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	70
12. Δεδομένα & Διαδικασία Ανάλυσης	71
13. Ανάλυση Χρονοσειρών Χρηματιστηριακών Παραγώγων	75
13.1 Παρουσίαση των Χρονοσειρών	75
13.2 Απαλοιφή Τάσης και Εποχικότητας Χρονοσειρών	77
13.3 Υπολογισμός Αυτοσυσχέτισης & Μερική Αυτοσυσχέτισης Χρονοσειρών	79
13.4 Μελέτη Εφαρμοστικότητας Μοντέλων ARIMA στις Χρονοσειρές	81
14. Προβλέψεις Μελλοντικών τιμών Παραγώγων	85
14.1 Πρόβλεψη με Αυτοπαλίνδρομα Μοντέλα (ARIMA).....	85
14.2 Πρόβλεψη με Προσομοίωση Monte Carlo.....	87
14.3 Πρόβλεψη με Νευρωνικά Δίκτυα.....	89
14.4 Σύγκριση μεταξύ Πραγματικών τιμών και τιμών Πρόβλεψης.....	93
15. Προτεινόμενο Χαρτοφυλάκιο	98
15.1 Χαρτοφυλάκιο Υψηλού Κινδύνου (High Risk Rate).....	99
15.2 Χαρτοφυλάκιο Μεσαίου Κινδύνου (Medium Risk Rate)	101
15.3 Χαρτοφυλάκιο Χαμηλού Κινδύνου (Low Risk Rate)	103
Συμπεράσματα	107
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	111
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	116

Περίληψη

Οι Σπάνιες Γαίες και τα Κρίσιμα Μέταλλα, βρίσκονται στο επίκεντρο πολλών ερευνών τα τελευταία χρόνια λόγω της συμβολής τους σε νέες καινοτόμες υψηλής τεχνολογίας εφαρμογές. Συνεπώς, πολλές οικονομικές μελέτες στρέφουν της προσοχή τους στα στοιχεία αυτά, καθώς αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη και βελτίωση τεχνολογιών όπως οι Μόνιμοι Μαγνήτες, οι Τεχνολογίες Μπαταριών, τα Ηλεκτρικά Αυτοκίνητα και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, που αποτελούν την κύρια δραστηριότητα εταιρειών υψηλού επενδυτικού ενδιαφέροντος.

Σκοπός τη παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των Σπανίων Γαιών και Κρίσιμων Μετάλλων και των εφαρμογών τους, η ανάλυση των ιστορικών τιμών τους καθώς και η εφαρμογή στατιστικών μοντέλων πρόβλεψης μελλοντικών τιμών. Επιπλέον, δημιουργήθηκε Χαρτοφυλάκιο μέγιστης απόδοσης κερδών λαμβάνοντας υπόψιν το ρίσκο της επένδυσης.

Αρχικά παρουσιάζονται οι επιπτώσεις των Σπανίων Γαιών και Κρίσιμων Μετάλλων στην ανάπτυξη των τεχνολογιών αιχμής, πραγματοποιήθηκε Ανάλυση Χρονοσειρών (Time Series Analysis) σε ιστορικές τιμές και προβλέφθηκαν μελλοντικές τιμές με τη χρήση μοντέλων ARIMA, Προσομοιώσεων Monte-Carlo και με τη χρήση Νευρωνικών Δικτύων και τελικά συγκρίθηκαν οι προβλεπόμενες τιμές με τις πραγματικές.

Τέλος, προτάθηκε η κατασκευή ενός χαρτοφυλακίου επενδύσεων το οποίο αποτελείται από Μετοχές, Χρηματιστηριακά Παράγωγα και Διαπραγματεύσιμα Αμοιβαία Κεφάλαια, η επιλογή των οποίων βασίστηκε στη χρήση των Σπανίων Γαιών και Κρίσιμων Μετάλλων σε νέες τεχνολογίες. Το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο σχηματίστηκε με τη χρήση του αποτελεσματικού ορίου (Efficient Frontier) και του δείκτη Sharpe, θέτοντας διαφορετικά επίπεδα ρίσκου με σκοπό να μελετηθεί το φαινόμενο της διαφοροποίησης χαρτοφυλακίου.

Abstract

Rare Earths and Critical Metals have been the focus of several studies in recent years due to their contribution to plenty innovative high-tech applications. Therefore, financial studies are increasingly focusing on these elements as they form the basis for technological development and improvement of technologies such as Permanent Magnets, Battery technology, Electric Vehicles and Electricity Production.

The aim of this study was to explore Rare Earths and Critical Metals and their technological applications, analyze their historical prices and forecast future prices using statistical models. In addition, a Portfolio which gives the maximum expected return at the desired level of risk was formed.

Initially, the implications of Rare Earths and Critical Metals on the development of cutting-edge technologies were presented. Furthermore, Time Series Analysis on their historical prices and future prices forecasting was conducted using ARIMA models, Monte-Carlo Simulations and Neural Networks and eventually the forecasted prices were compared with actual prices.

Finally, an Investment Portfolio was proposed consisting of Commodities, Stocks and Exchange Traded Funds, whose selection was based on the integration of Rare Earths and Critical Metals for new applications and technologies. The Optimal Investment Portfolio was formed using Efficient Frontier and Sharpe Ratio while setting different levels of risk in order to study portfolio diversification.

Α' ΣΠΑΝΙΕΣ ΓΑΙΕΣ ΚΡΙΣΙΜΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

I. ΣΠΑΝΙΕΣ ΓΑΙΕΣ

1. Σπάνιες Γαίες: Φυσικά και Χημικά Χαρακτηριστικά

1.1 Τι είναι οι σπάνιες γαίες

Οι σπάνιες γαίες ή αλλιώς "Μέταλλα Σπανίων Γαιών" ή "Στοιχεία Σπανίων Γαιών" (Rare Earth Metals, REMs ή Rare Earth Elements, REEs) είναι μια κατηγορία 17 στοιχείων του περιοδικού πίνακα που αποτελείται από τα 15 στοιχεία της σειράς των λανθανίδων, η οποία ξεκινά με το λανθάνιο (^{57}La) και τελειώνει στο λουτήτιο (^{71}Lu), και 2 στοιχεία των στοιχείων μεταπτώσεων σκάνδιο (^{21}Sc) και ύττριο (^{39}Y), τα οποία έχουν παρόμοιες φυσικές και χημικές ιδιότητες. Οι Σπάνιες Γαίες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις ελαφρές και βαριές σπάνιες γαίες, οι ελαφριές (Light REE) είναι τα στοιχεία La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm και οι βαριές (Heavy REE) που είναι τα υπόλοιπα στοιχεία της ομάδας των λανθανίδων Eu, Gd, Tb, Dy, Hm, Er, Tm, Yb, Lu. Τα τελευταία δύο στοιχεία που δεν ανήκουν στις λανθανίδες αλλά προσαρτώνται στις σπάνιες γαίες είναι το ύττριο και το σκάνδιο.

H																	He	
Li	Be	HEAVY Rare Earth Elements										B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg	LIGHT Rare Earth Elements										Al	Si	P	S	Cl	A	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt										
Lanthanides		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
Actinides		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

Εικόνα 1: Οι Σπάνιες Γαίες πάνω στο περιοδικό πίνακα

(Πηγή: <https://www.apsense.com/article/researchers-have-produced-high-grade-rare-earths-concentrates-from-coal-and-coal-ash.html>)

Το ύττριο (Y), παρόλο που είναι πιο ελαφρύ από τις Light REE (ελαφριές σπάνιες γαίες), ενσωματώνεται από τους ερευνητές στην ομάδα των Heavy REE (βαριές σπάνιες γαίες), επειδή παρουσιάζει ίδια συμπεριφορά με τις Heavy REE. Το σκάνδιο (Sc), παρόλο που πολλοί το τοποθετούν στις βαριές σπάνιες γαίες, δεν ανήκει στην πραγματικότητα στις σπάνιες γαίες επειδή δεν εξάγεται από τα ίδια ορυκτά που εξάγονται οι άλλες σπάνιες γαίες και πολλοί ερευνητές δεν το κατατάσσουν στην ομάδα των σπανίων γαιών [1].

Υπήρξε δυσκολία στο διαχωρισμό των σπανίων γαιών λόγω των παρόμοιων φυσικοχημικών ιδιοτήτων, το 1794 κατάφερε να απομονωθεί το πρώτο οξειδίο του Υτρίου από τον Φιλανδό Χημικό J. Gadolin, ο οποίος και λαθεμένα εισήγαγε τον όρο "σπάνια γαία", σπάνια διότι πίστευε ότι ήταν δύσκολη η απομόνωση τους, χαρακτηριστικό ενός "σπάνιου" στοιχείου, και γαία επειδή είχε γαιώδη μορφή, σαν οξειδίο.

Μετά από περίπου 85 χρόνια, το 1878, κατάφερε να γίνει η πρώτη απομόνωση σε μεταλλική μορφή. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται πληροφορίες σχετικά με τις ανακαλύψεις των σπανίων γαιών.

Πίνακας 1: Σχετικές πληροφορίες για Σπάνιες Γαίες

Έτος	Στοιχείο	Σύμβολο	Ανακαλύφθηκε από:
1789	Ύτριο	Y	Gadolin
1803	Δημήτριο	Ce	Berzelius & Hisinger
1839	Λανθάνιο	La	Berzelius
1843	Έρβιο	Er	Mosander
1878	Τέρβιο	Tb	Mosander
1878	Υπτέρβιο	Yb	Mosander
1879	Σαμάριο	Sm	Boisbaudran
1879	Σκάνδιο	Sc	Nilsen
1879	Όλμιο	Ho	Cleve
1879	Θούλιο	Tm	Cleve
1880	Γαδολίνιο	Gd	Marignac
1885	Πρασεοδύμιο	Pr	Welsbach
1885	Νεοδύμιο	Nd	Welsbach
1886	Δυσπρόσιο	Dy	Boisbaudran
1896	Ευρώπιο	Eu	Demarcay
1907	Λουτήτιο	Lu	Urbain & Welsbach
1945	Προμήθειο	Pm	Coryell, Glendenin & Marinsky

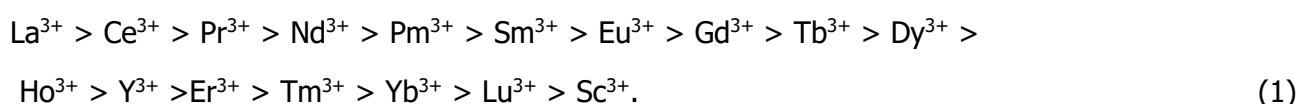
1.2 Ειδικές φυσικές και χημικές ιδιότητες

Οι Σπάνιες Γαίες εμφανίζουν αργυρή χροιά, μεταλλική λάμψη και είναι αρκετά δραστικές. Στις περισσότερες περιπτώσεις αντιδρούν με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, γι' αυτό και πιο συχνά βρίσκονται σε μορφή οξειδίων, επίσης σαν στοιχεία έχουν αναγωγικό χαρακτήρα δηλαδή εκλύουν υδρογόνο όταν έρχονται σε επαφή με το νερό ή άλλα οξέα, ενώ αντιδρούν και με στοιχεία όπως το υδρογόνο, το χλώριο και το άζωτο σε υψηλές θερμοκρασίες. Στην στοιχειώδη (μεταλλική) μορφή τους έχουν χρώμα γκρι προς το ασημί και είναι εύκαμπτα. Κατά κανόνα (με μερικές μόνο εξαιρέσεις) όσο αυξάνεται η σειρά των λανθανιδών αυξάνεται και το σημείο τήξης τους εκάστοτε στοιχείου από 798°C στο Ce μέχρι τους 1663°C στο Lu. Το σημείο στο οποίο λιώνουν (σημείο τήξης) είναι πολύ σημαντικό και έχει άμεσες συνέπειες για την διαδικασία παραγωγής του εκάστοτε μετάλλου.

Μία από τις σημαντικές ιδιότητες των σπανίων γαιών, που σχετίζεται με το ιοντικό τους μέγεθος, είναι η βασικότητα, η οποία σχετίζεται με τη συστολή των λανθανιδών. Η βασικότητα καθορίζει, κατά τον ένα ή τον άλλο τρόπο, ορισμένα σημαντικά χημικά χαρακτηριστικά των σπανίων γαιών σχετικά

με τη μεταλλουργία τους. Η βασικότητα καθορίζει την έκταση στην οποία τα κατιόντα υδρολύονται σε υδατικό διάλυμα, η ευκολία με την οποία τα άλατα που περιέχουν οξυανιόντα αποσυντίθενται όταν θερμαίνονται καθώς και την σταθερότητα των πολύπλοκων ιόντων, όπως αναφέρει ο Moeller (1961 σύμφωνα με τους C.G. Gupta and N. Krishnamurthy). Μια βάση τείνει να χάσει ανιόντα ή ηλεκτρόνια. Έτσι, αυτά τα κατιόντα με τη λιγότερη έλξη για το ανιόν ή το ηλεκτρόνιο, θεωρούνται πιο βασικά και εκείνα με την ισχυρότερη έλξη να είναι τα λιγότερο βασικά.

Λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις σχέσεις μεγέθους, τα ιόντα σπανίων γαιών ταξινομούνται ως εξής στη σειρά μείωσης της βασικότητας.



Όσον αφορά την ηλεκτρονική διαμόρφωση των σπανίων γαιών, είναι τρισθενής (Ln^{3+}) με εξαίρεση το δημήτριο (Ce^{4+}) και το ευρώπιο (Eu^{2+}) υπό κάποιες συνθήκες. Ένα από τα χαρακτηριστικά της ομάδας των λανθανίδων είναι ότι παρόλο που αυξάνεται ο ατομικός αριθμός από ^{57}La σε ^{71}Lu τα ηλεκτρόνια δεν διευθετούνται στις εξωτερικές στοιβάδες, αλλά στα 4f τροχιακά, αυτή η φυσική τους συμπεριφορά είναι που καθορίζει και την "παρόμοια" συμπεριφορά των στοιχείων της ομάδας. Μέσω αυτής της ομοιότητας που εμφανίζουν το κάθε στοιχείο μπορεί με ευκολία να αντικαταστήσει το ένα το άλλο στις δομές των κρυσταλλικών πλεγμάτων, αυτός είναι και ο λόγος που εμφανίζονται πολλά στοιχεία της ομάδας των λανθανίδων κυρίως στον φλοιό της Γης καταρρίπτοντας έτσι τον ισχυρισμό "σπάνια γαία" [2]. Στη συνέχεια στο παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2) παρουσιάζονται κάποιες ενδεικτικές φυσικές και χημικές ιδιότητες των σπανίων γαιών ανά στοιχείο.

Πίνακας 2: Φυσικές και Χημικές Ιδιότητες των Σπανίων Γαιών
(Πηγή: [2])

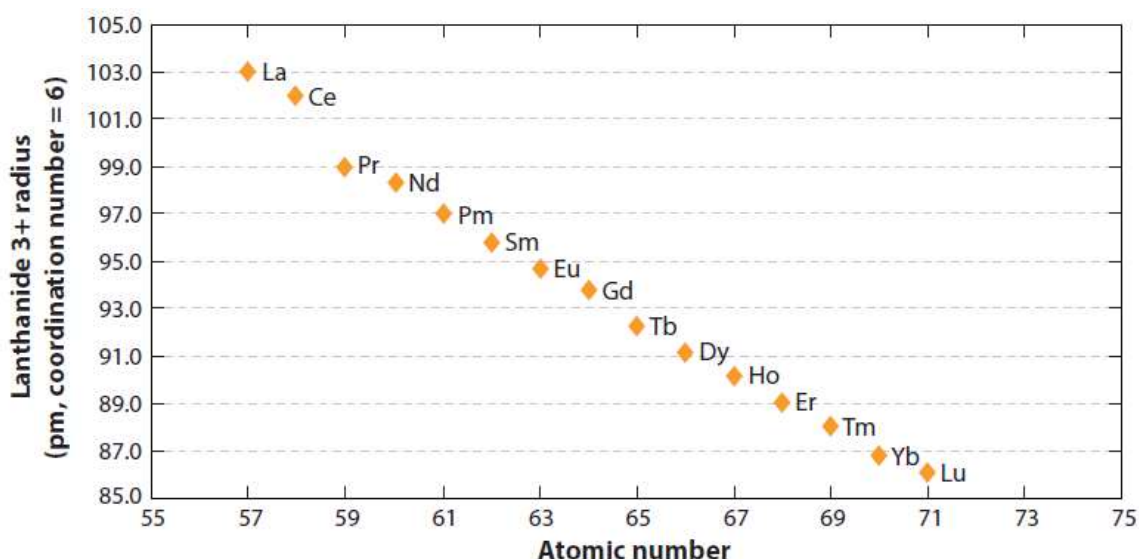
Στοιχείο	Ατομικός αριθμός	Ατομικό βάρος	Σημείο τήξης (°C)
Sc	21	44.95	1541
Y	39	88.90	1522
La	57	138.90	918
Ce	58	140.11	798
Pr	59	140.90	931
Nd	60	144.24	1021
Pm	61	145.00	1042
Sm	62	150.36	1074
Eu	63	151.96	822
Gd	64	157.25	1313
Tb	65	158.92	1356
Dy	66	162.50	1412
Ho	67	164.93	1474
Er	68	167.26	1529
Tm	69	168.93	1545
Yb	70	173.04	819
Lu	71	174.97	1663

Τα 4f τροχιακά καθορίζουν και την μαγνητική συμπεριφορά των σπανίων γαιών. Όλα τα μέταλλα σπανίων γαιών, εκτός από το σκάνδιο, το ύτριο, το λανθάνιο, το υπέρβιο και το λουτέτιο, είναι έντονα παραμαγνητικά. Μια άλλη συναφής συνέπεια είναι η αποκαλούμενη "Συστολή του λανθανιδίου", στην οποία η ιονική ακτίνα μειώνεται σταδιακά από La^{3+} (1,06 Å) σε Lu^{3+} (0,85 Å). Έτσι, η συστολή του λανθανιδίου επιτρέπει τον διαχωρισμό με εκλεκτική οξειδωση / αναγωγή, κλασματική κρυστάλλωση, ανταλλαγή ιόντων και εκχύλιση με διαλύτη.

Οι υποσχόμενες περιοχές έρευνας για τη χημική επεξεργασία περιλαμβάνουν τα εξής:

- Ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης αντιδραστηρίου μέσω τεχνικών, όπως η σταδιακή έκπλυση
- Νέες μέθοδοι διαχωρισμού, όπως ανταλλαγή ιόντων
- Χρήση επιλεκτικών ανταλλακτικών ρητινών, συμπεριλαμβανομένης της δυνατότητας για ρητίνες τεχνολογίας μοριακής αναγνώρισης
- Ενσωμάτωση συνεχών ιοντοανταλλακτικών στηλών σε υπάρχοντα φύλλα ροής
- Εκχύλιση με διαλύτη χρησιμοποιώντας εκλεκτικά εκχυλίσματα και επιλεκτικούς παράγοντες απογύμνωσης, καθώς και βελτιστοποίηση των φύλλων ροής με λειτουργικές μεθοδολογίες για την εξασφάλιση μέγιστης απόδοσης και αποδόμησης [3].

Κατά την ψύξη γίνονται αντισιδηρομαγνητικά, και κατά την περαιτέρω ψύξη πολλά από αυτά τα στοιχεία γίνονται σιδηρομαγνητικά. Εάν εφαρμοστεί πάνω τους ένα επαρκές αντοχής μαγνητικό πεδίο σε χαμηλή θερμοκρασία, όλες οι παραμαγνητικές σπάνιες γαίες γίνονται σιδηρομαγνητικές. Αυτή η έντονη ανισοτροπική και μαγνητική συμπεριφορά των σπανίων γαιών, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του κρυσταλλικού τους πλέγματος [2,4].



Γράφημα 1: Κατάταξη Σπανίων Γαιών σύμφωνα με τον ατομικό τους αριθμό.

(Πηγή: R. Eggert, C. Wadia, C. Anderson, D. Bauer, F. Fields, L. Meinert, P. Taylor. "Rare Earths: Market Disruption, Innovation and Global Supply Chains", *Annual Review of Environment and Resources*. Vol. 41 (2016), pp. 1-24)

2. Διαθεσιμότητα και εκμετάλλευση σπανίων γαιών

2.1 Γεωγραφία παραγωγής

Η παραγωγή σπανίων γαιών καθώς και ένα μεγάλο ποσοστό της χρήσης τους από κατασκευαστές επικεντρώνεται στην Κίνα. Τα ορυχεία στην Κίνα παράγουν το 80% ή και περισσότερο της παγκόσμιας παραγωγής και συνεπακόλουθα οι κινέζικες εταιρίες κατασκευάζουν ένα εκτιμώμενο ποσοστό το 80% προϊόντων που περιέχουν σπάνιες γαίες. Αυτή η έλλειψη γεωγραφικής ποικιλομορφίας είναι που άφησε την αγορά σπανίων γαιών ευάλωτη για χρήστες εκτός Κίνας. Οι χρήστες αυτοί, ιδίως στην Ιαπωνία, προσπαθούν να αγοράσουν σπάνιες γαίες όχι μόνο για τις τρέχουσες αλλά και για τις μελλοντικές ανάγκες που πρόκειται να αντιμετωπίσουν, αυξάνοντας με αυτό το τρόπο συνεχώς τα αποθέματα τους, καθώς επίσης και την κατασκευή εξορυκτικών ορυχείων στις χώρες τους, για την αποδέσμευσή τους από την Κίνα [4].

Rare earth metals production and reserves



Εικόνα 2: Παραγωγή και αποθέματα μετάλλων σπανίων γαιών για το 2018
(Πηγή: <http://www.rfi.fr/en/contenu/20190529-rare-earths-latest-weapon-us-china-trade-war>)

2.2 Αλυσίδα Εφοδιασμού Σπανίων γαιών

Η διαδικασία εφοδιασμού των σπανίων γαιών αποτελείται από έξι στάδια: Εξερεύνηση μεταλλευμάτων, ανάπτυξη ορυχείων, εξόρυξη, συμπύκνωση, διαχωρισμός και αναγωγή σε μέταλλα και κράματα.

Κατά την εξερεύνηση των ορυκτών, οι γεωεπιστήμονες ανακαλύπτουν και αξιολογούν τα γεωλογικά χαρακτηριστικά ενός ορυκτού αποθέματος. Στη συνέχεια, σταδιακά μετατρέπεται από μία γεωλογική έρευνα σε αντικείμενο μηχανικής και οικονομικής ανάλυσης για να εξακριβωθεί εάν υπάρχει κάποιο εξορύξιμο ορυκτό σε απόθεμα. Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των ορυχείων, γίνεται η προετοιμασία της εξόρυξης μέσω επενδύσεων σε εξοπλισμό, υποδομές και άλλες εγκαταστάσεις και δραστηριότητες προεπεξεργασίας.

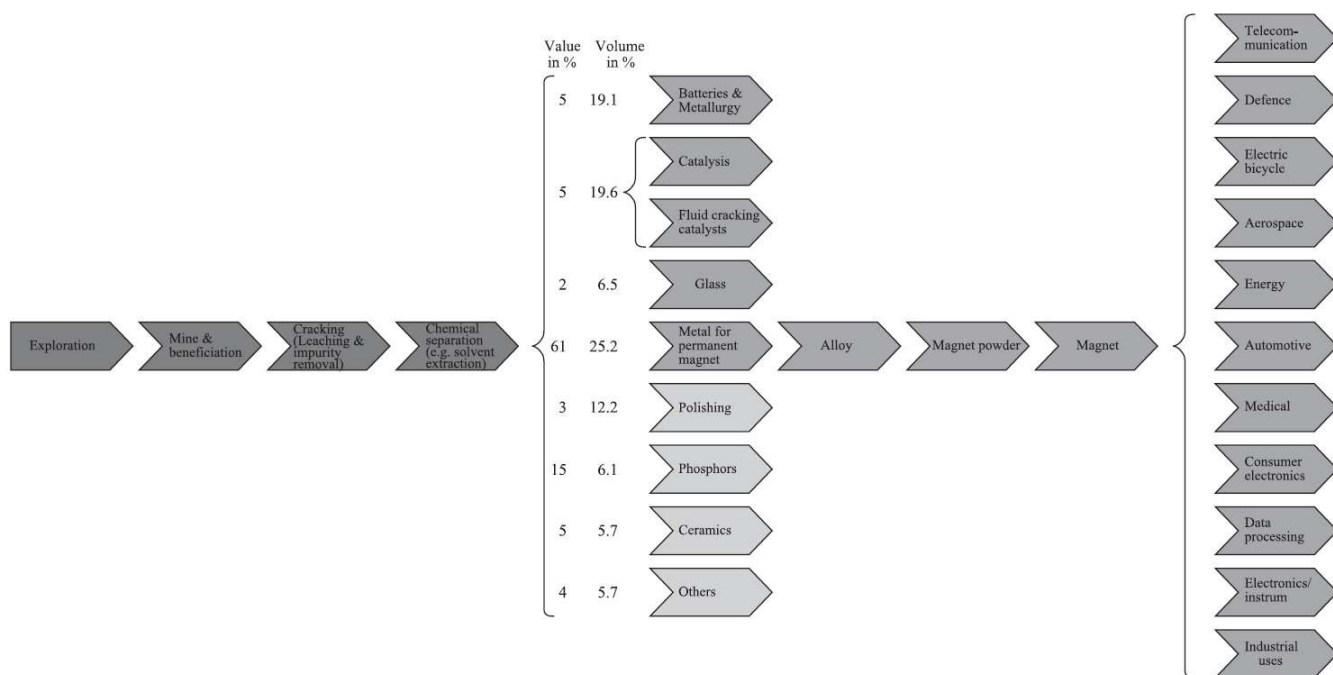
Ο βαθμός μεταλλοφορίας (η περιεκτικότητα του χρήσιμου συστατικού στο μεταλλεύμα) στις σπάνιες γαίες, κυμαίνεται από <1% έως 15% κατά βάρος του μεταλλεύματος που εξορύσσετε. Το μεγάλο εύρος στις τιμές του βαθμού μεταλλοφορίας αντικατοπτρίζει τη διαφορετική φύση των ορυκτών και των κοιτασμάτων ορυκτών που περιέχουν στοιχεία σπανίων γαιών. Η εξόρυξη μπορεί να είναι είτε επιφανειακή είτε υπόγεια. Στο σημείο της εξόρυξης γίνεται και η συγκέντρωση, συμπύκνωση και συλλογή των ορυκτών. Σε αυτό το στάδιο το υλικό που φέρει τις σπάνιες γαίες έχει 50%-70% κατά βάρος περιεκτικότητα στον μπαστνεσίτη (ένα φθοροανθρακικό ορυκτό) και τον μοναζίτη (ένα φωσφορικό ορυκτό) και 90% στους κινεζικούς αργίλους προσρόφησης ιόντων. Τα υλικά αναμειγνύονται και τελικά μετατρέπονται σε ένα μείγμα μεταλλεύματος που φέρει τις σπάνιες γαίες. Το επόμενο βήμα περιλαμβάνει το διαχωρισμό των σπανίων γαιών ώστε να δημιουργηθούν ενώσεις φθοριούχες, νιτρικές, ανθρακικές και οξειδία. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για το διαχωρισμό διαφέρουν ανάλογα με το στοιχείο και είναι οι εξής: κλασματική κρυστάλλωση, κλασματική κατακρήμνιση, εκχύλιση με διαλύτη και ανταλλαγή ιόντων. Κατά τη διαδικασία διαχωρισμού περίπου το 90% των στοιχείων σπανίων γαιών ανακτώνται σε μικτά και διαχωρισμένα οξειδία.



Εικόνα 3: Στοιχεία σπανίων γαιών σε μορφή σκόνης
(Πηγή: <https://www.siliconexpert.com/blog/rare-earth-elements-will-win-war-china-u-s/>)

Τα οξειδία των σπανίων γαιών μετατρέπονται σε καθαρά μέταλλα και κράματα κατά την διαδικασία διαχωρισμού τους. Συνήθως όμως η εκμετάλλευσή τους γίνεται από κράματα που εκτός

από σπάνιες γαίες περιέχουν σίδηρο, νικέλιο, μαγνήσιο, χαλκό και άλλα στοιχεία, ανάλογα με το ενδιάμεσο προϊόν και τη χρήση. Η μετατροπή τους σε μέταλλα και κράματα επιφέρει απώλεια απόδοσης που ποικίλλει στην εκάστοτε περίπτωση, αλλά συνήθως είναι της τάξης του 10%. Η παραγωγή εξευγενισμένων που είναι ανάλογη του βαθμού μεταλλοφορίας των μετάλλων σπανίων γαιών τελειώνει στην αλυσίδα εφοδιασμού. Η ζήτηση ή η χρήση τους γίνεται μέσα από την χρήση ενώσεων, μετάλλων, κραμάτων και άλλων στοιχείων σπανίων γαιών που τα συναποτελούν και παράγονται σε διαφορετικά στάδια του κύκλου ζωής τους από παραγωγούς ενδιάμεσων και τελικών προϊόντων που περιέχουν σπάνιες γαίες [4].



Εικόνα 4: Αλυσίδα εφοδιασμού και βασικές εφαρμογές των Σπανίων Γαιών στη βιομηχανία & τεχνολογία (Πηγή: Erika Machacek and NielsFold, Resources Policy, 42, 55-56 (2014) όπως αναφέρεται από Kingsnorth, 2014)

2.3 Ανακύκλωση και απόρριψη

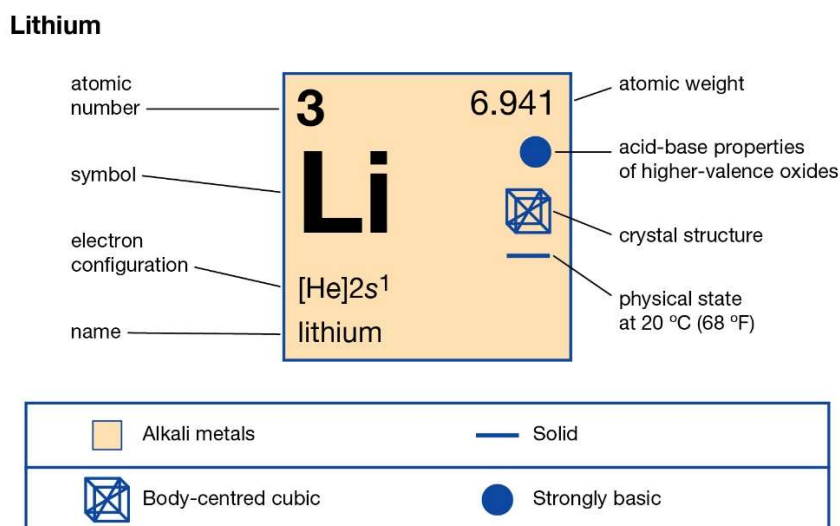
Το τελικό στάδιο στον κύκλο ζωής των σπανίων γαιών είναι ανακύκλωση και η απόρριψη. Η ανακύκλωση σπανίων γαιών που συμβαίνει μέχρι και σήμερα είναι πολύ μικρή και το μικρό αυτό ποσοστό που ανακυκλώνεται είναι κυρίως από χρησιμοποιημένους μόνιμους μαγνήτες μια από τις πιο δημοφιλείς εφαρμογές τους καθώς και την χρήση τους, που γίνεται κατά κόρον, ως καταλύτες στη χημική βιομηχανία, συμπεριλαμβανομένης και της διύλισης του πετρελαίου [4].

II. ΚΡΙΣΙΜΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

3. Κρίσιμα Μέταλλα: Λίθιο, Κοβάλτιο, Νικέλιο, Μαγγάνιο

3.1 Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του Λιθίου

Το Λίθιο (Li), σε κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος, σε καθαρή χημικά μορφή είναι μαλακό αργυρόλευκο μεταλλικό στερεό. Η θερμοκρασία τήξης του είναι στους 180,5°C και η θερμοκρασία βρασμού του είναι στους 1330°C, υψηλότερη όλων των στοιχείων από την ομάδα των Αλκαλιμετάλλων (ή Αλκαλίων) στην οποία ανήκει και είναι η πρώτη ομάδα του περιοδικού πίνακα. Τα στοιχεία της ομάδας, σχηματίζουν οξειδία από την αντίδραση τους με το νερό και όλα τους (Li, Na, K, Rb, Cs, Fr) έχουν ένα ηλεκτρόνιο στην εξωτερική τους στοιβάδα. Αυτό το χαρακτηριστικό τους είναι που τα κάνει υψηλής δραστηριότητας σε εκρηκτικό βαθμό με το νερό και οξέα. Επίσης, γι' αυτό το λόγο, δεν συναντιούνται στη φύση σε καθαρή μορφή, αλλά σε μέρος απλών ή και σύνθετων ενώσεων.




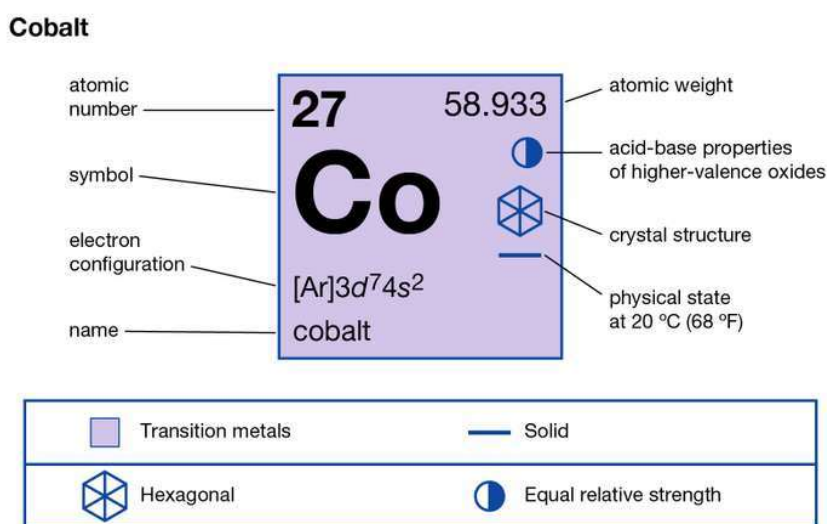
Εικόνα 5: Φυσικά χαρακτηριστικά του Λιθίου
(Πηγή: <https://www.britannica.com/science/lithium-chemical-element>)

Το ηλεκτρόνιο που υπάρχει στην εξωτερική στοιβάδα με ευκολία μπορεί να αποβληθεί και να σχηματίσει ένα κατιόν. Χάριν αυτού του φαινομένου, το λίθιο σε μεταλλική μορφή είναι καλός αγωγός και του ηλεκτρισμού και της θερμότητας και είναι πολύ δραστικό χημικά λόγω του ότι το ηλεκτρόνιο σθένους του, βρίσκεται κοντά στο πυρήνα του ατόμου του. Σε αντίθεση τα δύο ηλεκτρόνια της εσωτερικής του στοιβάδας έχουν πολύ μικρή ενέργεια και δεν συμμετέχουν σε χημικούς δεσμούς. Επίσης, εμφανίζει κρυσταλλική δομή bcc και σχηματίζει δυαδικές ενώσεις, ανόργανες, όπου τα κατιόντα του συνδυάζονται με ανιόντα άλλων στοιχείων και σχηματίζουν άλατα [7].

3.2 Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του Κοβαλτίου

Το χημικό στοιχείο Κοβάλτιο (Co) είναι μέταλλο με ατομικό αριθμό 27, ατομικό βάρος ~58,9 και ανήκει στην ομάδα της πρώτης κύριας σειράς των στοιχείων μετάπτωσης. Η θερμοκρασία τήξης του 1495°C και η θερμοκρασία βρασμού του είναι 2870°C.

Είναι σιδηρομαγνητικό μέταλλο και βρίσκεται ελεύθερο στη φύση παρά μόνο σαν μέρος άλλων ενώσεων. Η πιο συνήθης μορφή που μπορεί να απαντηθεί είναι υπό μορφή ορυκτών, καθώς και σε μέρος από πέτρες και χώμα. Σαν δομή, το κρυσταλλικό του πλέγμα συναντάται σε δύο μορφές την hcp  ως κύρια δομή και την fcc, και η θερμοκρασία που μεταβαίνει από την μια δομή στην άλλη αντίστοιχα είναι οι 450°C. Το κοβάλτιο μπορεί να βρεθεί στη φύση σε πολλά ραδιενεργά ισότοπα (μέχρι στιγμής 22 ραδιενεργά ισότοπα) αλλά το σταθερότερο ισότοπο είναι το ⁵⁹Co.



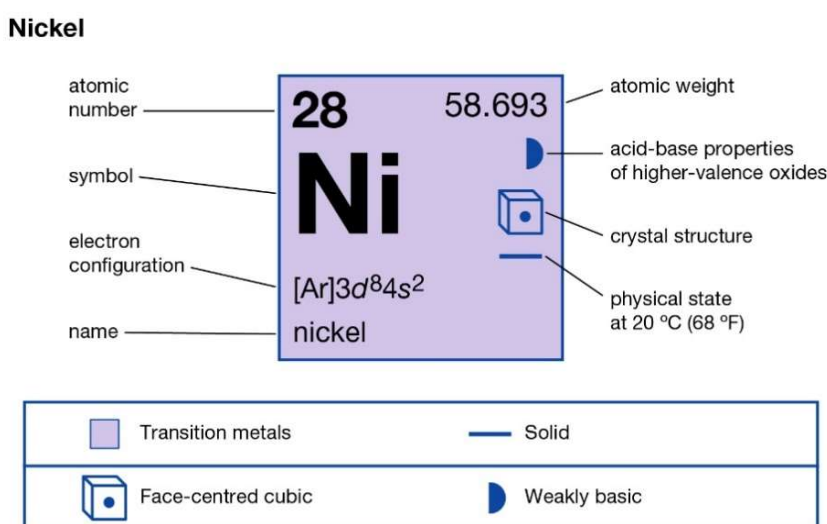
Εικόνα 6: Φυσικά χαρακτηριστικά του Κοβαλτίου
(Πηγή: <https://www.britannica.com/science/cobalt-chemical-element>)

Το κοβάλτιο και αυτό σαν στοιχείο σχηματίζει πολλές δυαδικές ενώσεις και αντιδρά και με το οξυγόνο (O₂) σχηματίζοντας ενώσεις οξειδίων, μόνο του (CoO) και σε διάφορες θερμοκρασίες, χαμηλή θερμοκρασία και θερμοκρασία ~600-700°C, οξείδια Co₃O₄ και Co₂O₃ αντίστοιχα, τα οποία είναι αντισηδηρομαγνητικά. Σαν στοιχείο περιέχει δύο μονήρη ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα τα οποία αντιδρούν με άλλα στοιχεία και μπορεί να συμμετέχει σε ανόργανες αλλά και οργανικές ενώσεις, κλασσικό παράδειγμα είναι η ύπαρξη μικρής ποσότητας κοβαλτίου ως βάση στη Βιταμίνη B₁₂.

Μια από τις ενώσεις που παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον στη παρούσα εργασία είναι το Διοξείδιο του Λιθίου-Κοβαλτίου (LiCoO₂), το οποίο παρατηρείται σε μια σειρά ενεργειακών κατασκευών, συγκεκριμένα στις καθόδους των μπαταριών Λιθίου. Ευκρινέστερα θα αναλυθεί στις τεχνολογικές εφαρμογές των κρίσιμων μετάλλων [7,8].


3.3 Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του Νικελίου

Το Νικέλιο (Ni) στη καθαρή μορφή του είναι αργυρόλευκο μέταλλο με ατομικό αριθμό 28 και θερμοκρασία τήξης τους 1453°C και θερμοκρασία βρασμού τους 2732°C. Όπως και το κοβάλτιο, ανήκει στην κατηγορία των στοιχείων μετάπτωσης του περιοδικού πίνακα και κάτω από τη θερμοκρασία των 385°C είναι ελαφρώς μαγνητικό μέταλλο. Ανήκει στην κατηγορία που μαζί με τα άλλα τέσσερα μέταλλα σίδηρο, κοβάλτιο και γαδολίνιο, εμφανίζει σιδηρομαγνητική συμπεριφορά σε θερμοκρασία δωματίου. Έχει παρόμοια σκληρότητα όπως αυτή του σιδήρου και υπό επεξεργασία γίνεται ελατό και σε πολλές περιπτώσεις ανθεκτικότερο του σιδήρου. Δεν μεταβάλλεται με ευκολία στην επαφή του με τον αέρα της ατμόσφαιρας και είναι συμπαγές, παρόλα αυτά σχηματίζει ενώσεις οξειδίων αλλά αντιδρά με αργή ταχύτητα και θεωρείται ότι αντιστέκεται στη διάβρωση.




Εικόνα 7: Φυσικά Χαρακτηριστικά του Νικελίου
(Πηγή: <https://www.britannica.com/science/nickel-chemical-element>)

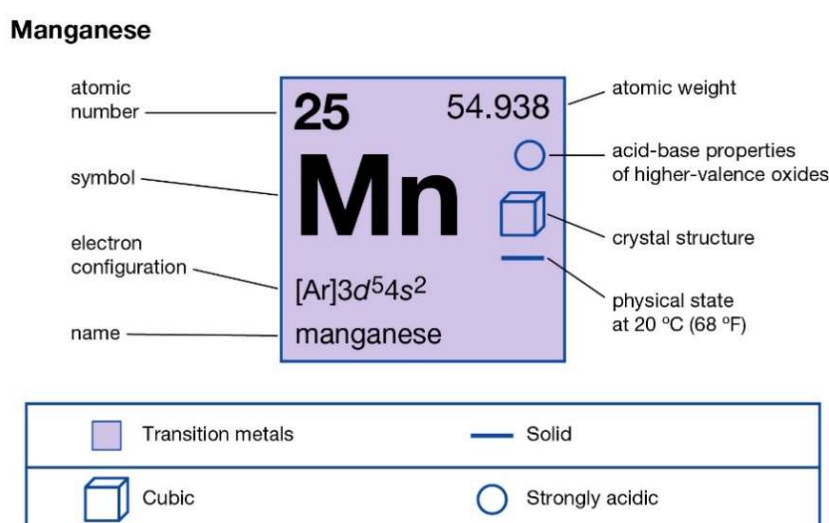
Το νικέλιο, το οποίο λαμβάνεται για βιομηχανική χρήση, σε φυσική μορφή συντίθεται από ένα μίγμα πέντε ισοτόπων: ⁵⁸Ni, ⁶⁰Ni, ⁶¹Ni, ⁶²Ni και ⁶⁴Ni, με το ⁵⁸Ni να βρίσκεται σε μεγαλύτερο ποσοστό αφθονίας, περίπου 68% φυσικής αφθονίας. Τουλάχιστον 22 ραδιενεργά ισότοπα έχουν βρεθεί και χαρακτηριστεί με το ⁵⁹Ni να εμφανίζει το μεγαλύτερο χρόνο ημι-ζωής (76.000 χρόνια).

Το κρυσταλλικό του πλέγμα του εμφανίζει δομή fcc  και επειδή έχει δύο μονήρη ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα συμμετέχει σε μια σειρά από χημικές ενώσεις, ανόργανης αλλά και οργανικής φύσεως, καθώς αποτελεί μικροποσότητα σε μέρος ενζύμων σαν απαραίτητο συστατικό καθώς και φυτών. Διαλύεται στο νιτρικό και υδροχλωρικό οξύ μετά από διαδικασία και δεν αντιδρά με τα αλκάλια. Επίσης αντιδρά με το υδρογόνο και το διαλύει σε ποσοστό 17 φορές τον όγκο του, βρίσκοντας έτσι εφαρμογή και σαν καταλύτης.

3.4 Φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του Μαγγανίου

Το Μαγγάνιο (Mn) έχει ατομικό αριθμό 25 και τους 1246°C ως θερμοκρασία τήξης και τους 2061°C θερμοκρασία βρασμού. Σαν στοιχείο ανήκει στην ομάδα των στοιχείων μετάπτωσης και δεν έχει βρεθεί ποτέ σαν ελεύθερο στοιχείο στη φύση, παρά μόνο σε ορυκτά που περιέχουν σίδηρο.

Στην μεταλλική του μορφή, υπό κανονικές συνθήκες, είναι αργυρόγκριζο ομοιάζοντας την όψη του σιδήρου. Η κρυσταλλική δομή που εμφανίζει είναι bcc  και είναι σκληρό, δύστηκτο και εύθρυπτο όπως ο σίδηρος, παρουσιάζοντας συμπεριφορά οξειδωσης όταν έρθει σε επαφή με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας ή σημαντικό χρονικό διάστημα με νερό που περιέχει διαλυμένο οξυγόνο, θαμπώνοντας αργά και σκουριάζοντας (οξειδωση).



Εικόνα 8: Φυσικά Χαρακτηριστικά του Μαγγανίου
(Πηγή: <https://www.britannica.com/science/manganese>)

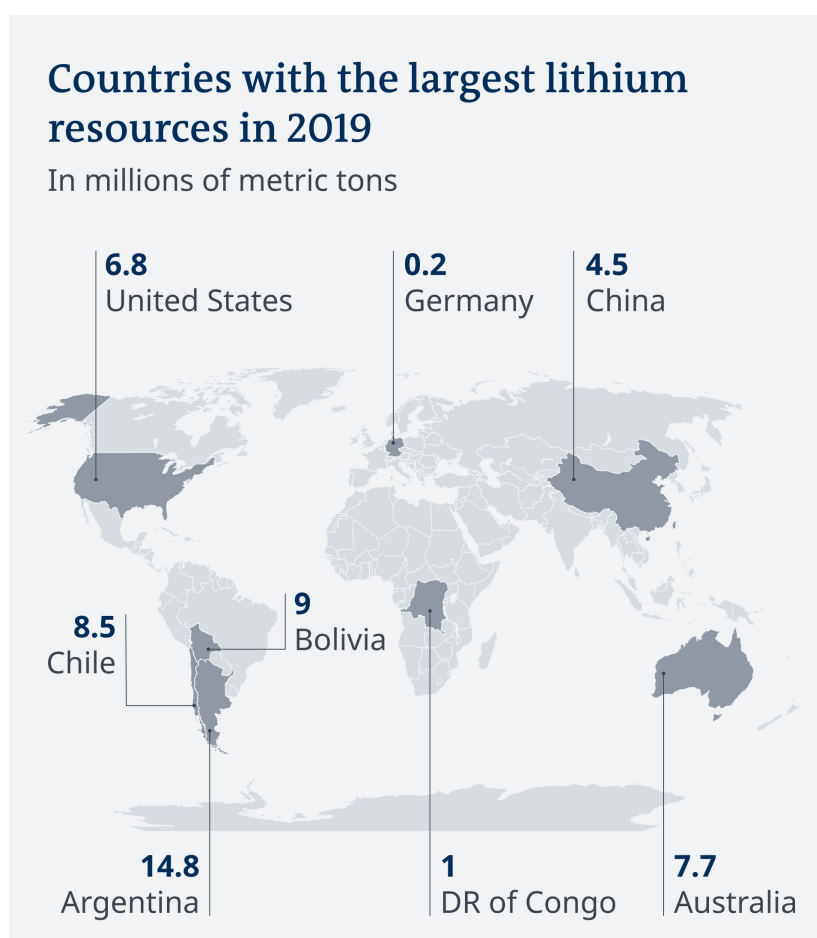
Το μαγγάνιο, το οποίο λαμβάνεται από τη φύση, αποτελείται μόνο από ένα σταθερό ισότοπο το ⁵⁵Mn, γενικά έχουν βρεθεί και απομονωθεί 18 ραδιενεργά ισότοπα με μαζικούς αριθμούς που κυμαίνονται από 46 έως 65. Τα σταθερότερα από τα ραδιενεργά ισότοπα είναι το ⁵³Mn, που έχει χρόνο ημι-ζωής τα 3,7 εκατομμύρια έτη, το ⁵⁴Mn με ημι-ζωή τα 312,3 έτη και το ⁵²Mn με ημιζωή τα 5,6 έτη, τα υπόλοιπα ραδιοισότοπα έχουν χρόνο ημιζωής βραχύτερο από τις 3 ώρες και άλλα μικρότερους του ενός λεπτού.

Επίσης ένα άλλο ενδιαφέρον του Μαγγανίου είναι ότι μπορεί να υπάρχει σε πολλές και διαφορετικές καταστάσεις οξειδωσης Mn²⁺, Mn³⁺, Mn⁴⁺, Mn⁶⁺, Mn⁷⁺ αν και έχουν παρατηρηθεί καταστάσεις όπως το Mn³⁻. Λόγω αυτού του του χαρακτηριστικού και των δύο μονήρη ηλεκτρονίων στην εξωτερική του στοιβάδα, το μαγγάνιο συμμετέχει σε πολλές ανόργανες αλλά και οργανικές ενώσεις, στα βιολογικά συστήματα λόγου χάριν, το Mn²⁺ συχνά ανταγωνίζεται το Mg²⁺.

4. Διαθεσιμότητα και εκμετάλλευση κρίσιμων μετάλλων

4.1 Γεωγραφία παραγωγής κρίσιμων μετάλλων

Σύμφωνα με την κοσμολογική θεωρία, το Λίθιο είναι στα τρία κύρια στοιχεία που συντέθηκαν από την Μεγάλη Έκρηξη (Big Bang). Εμφανίζεται με ευρεία διασπορά στο φλοιό της Γης, όμως δεν μπορεί να βρεθεί σε στοιχειακή μορφή λόγω της υψηλής δραστηριότητάς του. Η παραγωγή του προς χρήση, αυξήθηκε πολύ μετά το πέρας του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου. Στην Εικόνα 9 και στο Πίνακα 3, παρουσιάζονται οι χώρες στις οποίες εμφανίζονται υψηλότερα ποσοστά παραγωγής λιθίου, αποθέματα και πόροι [7].



Εικόνα 9: Χάρτης με τις χώρες παραγωγής Λιθίου για το 2019

(Πηγή: <https://energyindemand.com/2020/09/05/development-in-sodium-ion-batteries-has-made-significant-progress-recently/>)

Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 9, στο νότιο ημισφαίριο παράγονται οι υψηλότερες ποσότητες Λιθίου σε σχέση με το βόρειο.

Αναλυτικότερα στο Πίνακα 3 παρουσιάζεται η λίστα όλων των χωρών, όπως αυτή ανακοινώθηκε από το United States Geological Survey (USGS) για το έτος 2019.

Πίνακας 3: Παραγωγή Λιθίου παγκοσμίως (2019), αποθέματα και πόροι σε τόνους
(Πηγή: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/lithium-statistics-and-information>)

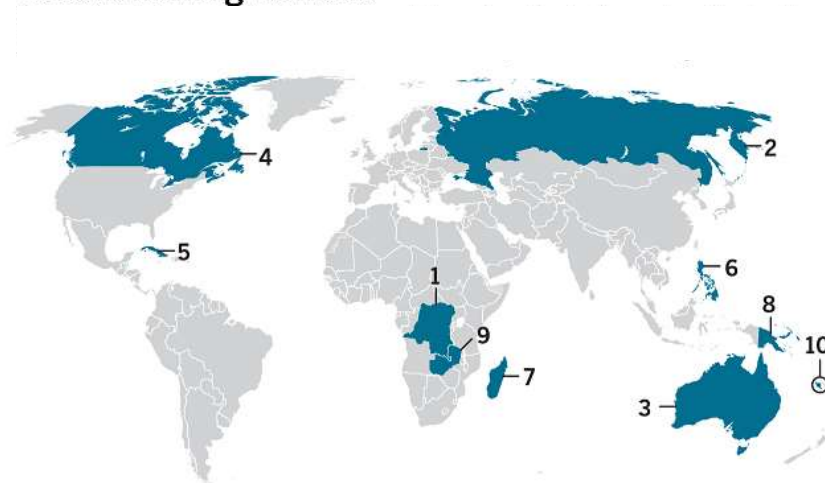
<i>Country</i>	<i>Production</i>	<i>Reserves</i>	<i>Resources</i>
World total	77,000	17,000,000	80,000,000+
<i>Bolivia</i>	-	-	21,000,000
<i>Argentina</i>	6,400	1,700,000	17,000,000
<i>Chile</i>	18,000	8,600,000	8,600,000
<i>United States</i>	870	630,000	6,800,000
<i>Australia</i>	42,000	2,800,000	6,300,000
<i>China</i>	7,500	1,000,000	4,500,000
<i>DR Congo</i>	-	-	3,000,000
<i>Germany</i>	-	-	2,500,000
<i>Canada</i>	200	370,000	1,700,000
<i>Mexico</i>	-	-	1,700,000
<i>Czech Republic</i>	-	-	1,300,000
<i>Mali</i>	-	-	1,000,000
<i>Russia</i>	-	-	1,000,000
<i>Serbia</i>	-	-	1,000,000
<i>Zimbabwe</i>	1,600	230,000	540,000
<i>Brazil</i>	300	95,000	400,000
<i>Spain</i>	-	-	300,000
<i>Portugal</i>	1,200	60,000	250,000
<i>Peru</i>	-	-	130,000
<i>Austria</i>	-	-	75,000
<i>Finland</i>	-	-	40,000
<i>Kazakhstan</i>	-	-	40,000
<i>Namibia</i>	500	?	9,000

Κατά κύριο λόγο το Λίθιο απομονώνεται από μερίσματα αλάτων που λαμβάνονται από ειδικές πισίνες άλμης, οι οποίες είναι πλούσιες σε Λίθιο. Τέτοιες πισίνες γνωστές είναι η Salar del Hombre Muerto στην Αργεντινή και Uyuni της Βολιβίας. Κατά κύριο λόγο τα υψηλότερα ποσοστά παραγωγής είναι στην Νότια Αμερική, σε αυτές τις ειδικές γεωλογικές πισίνες το λίθιο συγκεντρώνεται από τα άλατα εφόσον αυτά έχουν αφυδατωθεί μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας. Σαν διαδικασία μπορεί να διαρκέσει από 18 μέχρι 24 μήνες [7,10].

Υπολογίζεται επίσης, ότι υπάρχουν περίπου 230 δισεκατομμύρια τόνοι Λιθίου στους ωκεανούς όμως σε αρκετά μικρή συγκέντρωση (~0,1-0,2 ppm) κάνοντας έτσι δαπανηρή και πρακτικά αδύνατη την εκμετάλλευσή του.

Από την άλλη πλευρά το Κοβάλτιο παράγεται κατά την διαδικασία έκρηξης υπερκαινοφανών αστέρων (Supernova). Βρίσκεται σε σχετική αφθονία στο φλοιό της Γης, αλλά το ελεύθερο κοβάλτιο, σαν φυσικό μέταλλο, δεν μπορεί να βρεθεί γιατί αντιδρά με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας και το χλώριο στον ωκεανό. Το οξυγόνο και το χλώριο βρίσκονται σε υψηλά ποσοστά αφθονίας στα ανώτερα στρώματα του φλοιού, γι' αυτό και αποτρέπουν τον σχηματισμό φυσικού μεταλλικού κοβαλτίου. Στην Εικόνα 10 παρουσιάζονται οι χώρες που παγκοσμίως εξορύσσουν Κοβάλτιο μαζί με την παραγωγή και τα αποθέματα τους.

Cobalt mining centers



Cobalt mining and reserves (in metric tons)

Country	Mine production (2017)	Reserves (economically viable)
1. D.R. Congo	64,000	3.5 million
2. Russia	5,600	250,000
3. Australia	5,000	1.2 million
4. Canada	4,300	250,000
5. Cuba	4,200	500,000
6. Philippines	4,000	280,000
7. Madagascar	3,800	150,000
8. P. New Guinea	3,200	51,000
9. Zambia	2,900	270,000
10. New Caledonia	2,800	N/A
United States	650	23,000
Other	8,400	589,000

Εικόνα 10: Χάρτης με τις χώρες παραγωγής Κοβαλτίου

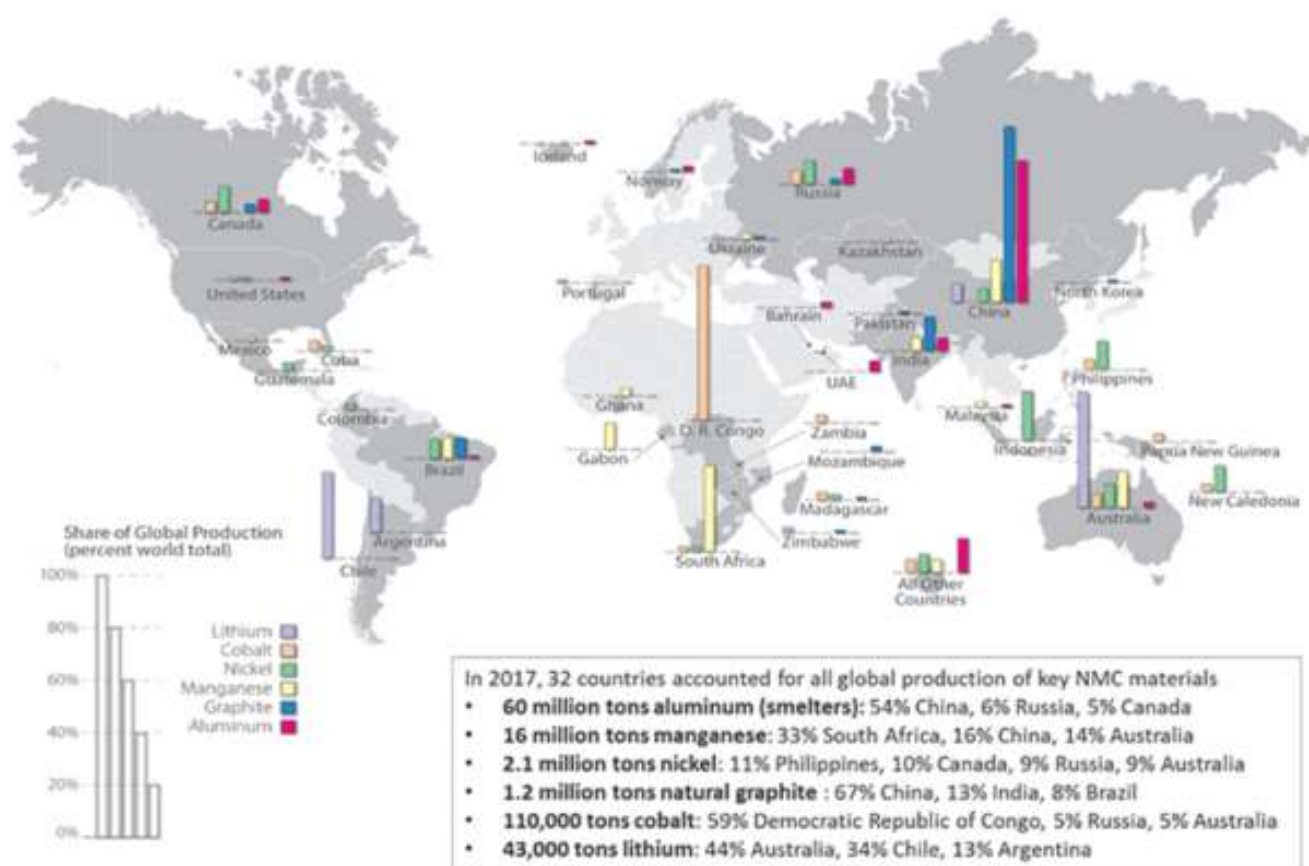
(Πηγή: <https://www.americanexperiment.org/2018/09/wall-street-journal-mining-cobalt-congo-still-dirty-dangerous/>)

Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται όπως ανακοινώθηκαν από το United States Geological Survey (USGS) για το έτος 2017.

Έχει παρατηρηθεί ότι σε αρκετά ορυκτά μετεωριτών σιδηρού υπάρχουν ποσότητες καθαρού μεταλλικού κοβαλτίου, παρόλα αυτά η μορφή αυτή δεν έχει βρεθεί στη Γη. Το μεγαλύτερο ποσοστό είναι σε ορυκτά, βράχους και πέτρες σε πολλές ενώσεις που περιέχουν κοβάλτιο αλλά σε μικρά ποσοστά στην κάθε ένωση.

Το Νικέλιο και το Μαγγάνιο και αυτά όπως και το κοβάλτιο παράγονται στο τελικό στάδιο πριν την έκρηξη υπερκαινοφανών αστέρων (Supernova), όπως και το κοβάλτιο, βρίσκονται σε ικανοποιητικές ποσότητες στο φλοιό της Γης, το μαγγάνιο παραδείγματος χάριν είναι το δωδέκατο πιο σύννηθες στοιχείο στην επιφάνεια της Γης.

Στην Εικόνα 11, παρουσιάζονται οι χώρες παγκοσμίως που εμφανίζουν τα υψηλότερα ποσοστά παραγωγής και αποθεμάτων όλων των κρίσιμων μετάλλων σε ποσοστά.



Εικόνα 11: Χάρτης με τις χώρες παγκόσμιας παραγωγής κρίσιμων μετάλλων
(Πηγή: <https://www.greencarcongress.com/2019/09/20190917-fotw.html>)

Η ομάδα των κρίσιμων μετάλλων (Λίθιο, Κοβάλτιο, Νικέλιο, Μαγγάνιο) αλλά και άλλων κρίσιμων τεχνολογικών μετάλλων όπως του Αλουμινίου, αλλά και ο γραφίτης (άνθρακας) που αποτελούν κύρια μέρη σε τεχνολογικές εφαρμογές ενεργειακής φύσεως, παραδείγματος χάριν τις μπαταρίες λιθίου, νοούνται με το τρόπο αυτό σαν κρίσιμα γιατί είναι συστατικά, ζωτικής τεχνολογικής σημασίας για την κατασκευή εφαρμογών. Έτσι συνθέτουν την συγκεκριμένη ομάδα και χαρακτηρίζονται ως κρίσιμα.

4.2 Αλυσίδα Εφοδιασμού κρίσιμων μετάλλων

Όπως και στην υποενότητα 2.2, έτσι και στην υποκείμενη ενότητα η διαδικασία εφοδιασμού ενός ορυκτού για τα κρίσιμα μέταλλα ομοιάζει της περιπτώσεως αυτής των σπανίων γαιών ακολουθώντας έτσι, μια παρόμοια διαδρομή έξι σταδίων και εδώ:

- Εξερεύνηση μεταλλευμάτων
- Ανάπτυξη ορυχείων
- Εξόρυξη
- Συμπύκνωση
- Διαχωρισμός
- Αναγωγή σε μέταλλα και κράματα
- Απόρριψη και ανακύκλωση

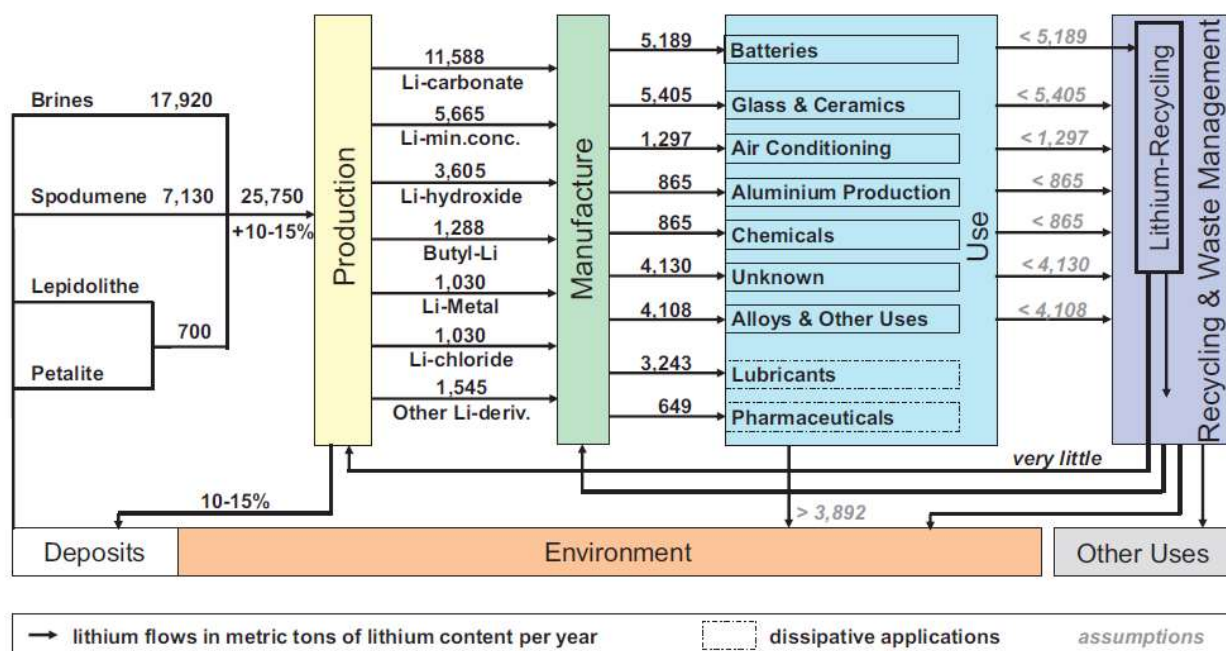
Γενικά κατά την εξερεύνηση των ορυκτών, οι γεωεπιστήμονες ανακαλύπτουν και αξιολογούν τα γεωλογικά χαρακτηριστικά ενός ορυκτού αποθέματος. Στη συνέχεια, σταδιακά μετατρέπεται από μία γεωλογική έρευνα σε αντικείμενο μηχανικής και οικονομικής ανάλυσης για να εξακριβωθεί εάν υπάρχει κάποιο εξορύξιμο ορυκτό σε απόθεμα. Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των ορυχείων, γίνεται η προετοιμασία της εξόρυξης μέσω επενδύσεων σε εξοπλισμό, υποδομές και άλλες εγκαταστάσεις και δραστηριότητες προεπεξεργασίας.

Όλα τα κρίσιμα μέταλλα, δεν βρίσκονται στην καθαρή μεταλλική τους μορφή παρά μόνο σε μέρη συγκεκριμένων ορυκτών τα οποία βρίσκονται εκεί είτε σε μικρές αλλά και μεγάλες ποσότητες. Παραδείγματος χάριν το λίθιο, σε συμφωνία με την ονομασία του προέλευσης (λίθος) σχηματίζεται στις περισσότερες περιπτώσεις σε μικρό ποσοστό κατά βάρος συμμετοχής. Τέτοια πετρώματα είναι ο ηφαιστειογενείς γρανίτης, οι πηγματίτες γρανίτες που περιέχουν υψηλά ποσοστά λιθιούχων ορυκτών, ο αποδριμμένης, ο πεταλίτης, ο οποίος είναι μια βιώσιμη εμπορική πηγή, ένα ακόμη σημαντικό ορυκτό λιθίου είναι ο λεπιδολίτης και μια νέα πηγή είναι ο εκτορίτης άργιλος.

Για το Κοβάλτιο από τις κύριες πηγές προέλευσης του για βιομηχανική χρήση είναι τα ορυκτά χαλκού, νικελίου και σε συνδυασμό με θείο και αρσενικό, στα οποία ανευρίσκεται, τέτοια ορυκτά είναι ο κοβαλτίτης και ο ερυθρίτης.

Όσον αφορά το Νικέλιο και το Μαγγάνιο και τα δύο μέταλλα αυτά προέρχονται από μια σειρά ορυκτών όπως τα μαγγανίτης, ο ροδοχρωσίτης, ο πυρολουσίτης και κρυπτομέλας για το μαγγάνιο και λατερίτης, νικελινός λιμονίτης, γαρνιερίτης (μείγμα νικελίων και πυριτικών πλουσίων σε νικέλιο) και πενταντίτης.

Ενδεικτικά στην Εικόνα 12, παρουσιάζεται η αλυσίδα εφοδιασμού για το Λίθιο, η οποία σαν διαδικασία παρομοιάζει και τις υπόλοιπες εφοδιαστικές αλυσίδες των κρίσιμων μετάλλων. Τα σημεία που επηρεάζονται είναι τα ορυκτά εξόρυξης, η παραγωγή και οι εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται.



Εικόνα 12: Αλυσίδα Εφοδιασμού και βασικές εφαρμογές των προϊόντων Λιθίου στη Βιομηχανία & Τεχνολογία (Πηγή: Saskia Ziemann, Marcel Weil, Liselotte Schebek. "Tracing the fate of lithium—The development of a material flow model", Resources, Conservation and Recycling. Vol. 63 (2012), pp. 26– 34.)

Ένα από τα σημαντικότερα αίτια της τροφοδοσίας της εφοδιαστικής αλυσίδας, είναι το κομμάτι της εξόρυξης. Πολύ σημαντικό στην διαδικασία αυτή είναι το κλίμα πολιτικής σταθερότητας το οποίο είναι απαραίτητο για την ομαλή κύλιση της διαδικασίας. Και για το Κοβάλτιο που κύριος παραγωγός του είναι το Κονγκό, αλλά και για το Λίθιο που είναι η Βολιβία και η Αργεντινή και για τα άλλα κρίσιμα μέταλλα, κατά καιρούς εμφανίζουν συμπτώματα πολιτικής αστάθειας που επηρεάζουν το κόστος αλλά και την ίδια την εξόρυξη, καθιστώντας έτσι ένα γενικό κλίμα ανασφάλειας [8].

Όσο οι απαιτήσεις για περισσότερους πόρους θα αυξάνονται στο μέλλον με την χρήση ανάλογων τεχνολογικών εφαρμογών τόσο περισσότερο προβλέπεται η ανησυχία στις περιοχές αυτές να αυξάνεται και αυτό είναι ένα ενδεχόμενο το οποίο θα έπρεπε να ληφθεί σοβαρά.

Επίσης ένα άλλο πολύ σημαντικό γεγονός που θα έπρεπε να ληφθεί σοβαρότερα υπόψιν είναι η απόρριψη και ανακύκλωση των στοιχείων αυτών, διότι στο μέλλον που θα αυξηθεί η χρήση τους θα είναι απαραίτητο μέρος της διαδικασίας, διότι η κατασκευή νέων πισινών και ορυχείων εξόρυξης είναι μια δύσκολη διαδικασία, συγκαταλέγοντας και τα προβλήματα κοινωνικοπολιτικής αστάθειας.

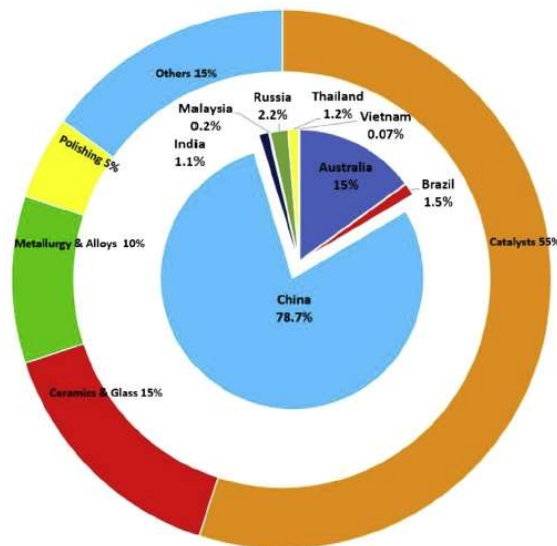
III. ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ

5. Εφαρμογές σπανίων γαιών στη Βιομηχανία & Τεχνολογία

5.1 Γενικές εφαρμογές & Ιστορική αναδρομή

Οι σπάνιες γαίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ευρέως σε πολλές βιομηχανικές και τεχνολογικές εφαρμογές, όπως μαγνήτες, καταλύτες, μεταλλικά κράματα, ηλεκτρονικά, γυαλί, κεραμικά, νέα υλικά καθώς και σε εφαρμογές υψηλής τεχνολογίας. Έτσι η χρήση τους στην βιομηχανία (συμπεριλαμβάνοντας και την στρατηγική βιομηχανία), οι εφαρμογές υψηλού τεχνολογικού ενδιαφέροντος καθώς και η προστιθέμενη αξία τους, τις καθιστούν στόχους γεωπολιτικού ενδιαφέροντος [5].

Η πρώτη εφαρμογή σπανίων γαιών και η αρχή της εκ βιομηχανοποίησής τους χρονολογείται από το 1891 όταν ο αυστριακός επιχειρηματίας και επιστήμονας Carl Auer von Welsbach, χρησιμοποίησε σπάνιες γαίες για να λύσει ένα σημαντικό τεχνικό πρόβλημα της εποχής – την παραγωγή δυνατού φωτεινού φωτός.



Εικόνα 13: Κύριες εφαρμογές και χώρες παραγωγής σπανίων γαιών για το 2017
(Πηγή: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2017/mcs2017.pdf>)

Εκείνη την εποχή ήταν ήδη γνωστό ότι ένα στερεό κατάλληλης σύνθεσης και μεγάλης επιφάνειας όταν εισήχθη σε θερμή ζώνη φλόγας αερίου θα πραγματοποιηθεί λάμψη προερχόμενη από το στερεό, δίνοντας το απαιτούμενο έντονο φως. Όταν λοιπόν βρήκε το κατάλληλο στερεό που υπό την επαφή του με τον πυρακτωμένο μανδύα, ο Auer έλυσε το πρόβλημα. Πρώτα, ανήγγειλε το 1866 την

ανακάλυψη ενός μανδύα αερίου λάμπης που αποτελούταν από ζirkόνιο με προσμίξεις λανθανίου. Αυτός ο μανδύας ήταν πολύ εύθραυστος και παρήγαγε κρύο μπλε φως. Αργότερα όμως μετά από συνεχή πειράματα το 1891 χρησιμοποίησε ένα μανδύα αερίου που αποτελούταν από 99% θόριο και 1% δημήτριο. Το φως υπό αυτό το μανδύα αερίου δεν ήταν μόνο λευκό, φωτεινό και ανώτερο του ηλεκτρικού φωτός αλλά και φθηνότερο [2].

5.2 Κυριότερες κατηγορίες εφαρμογών σπανίων γαιών

Σε πρωτογενή μορφή τα στοιχεία σπανίων γαιών χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο ως πρώτες ύλες για υψηλής καθαρότητας αυτόνομες εφαρμογές ως χημικά στοιχεία, όπως μόνιμους μαγνήτες, γυαλί κ.α. καθώς και για την κατασκευή καταλυτών για την προστασία του πετρελαίου αλλά και του περιβάλλοντος από την χημική επεξεργασία του. Πιο συγκεκριμένα κάποιες από τις πιο σημαντικές τεχνολογικές εφαρμογές είναι οι εξής.

5.2.1.1 Μαγνήτες

Οι μόνιμοι μαγνήτες νεοδυμίου-σιδήρου-βορίου είναι από τις πιο συχνές εφαρμογές σπανίων γαιών, εκτός από το νεοδύμιο, επίσης σε μαγνήτες πέρα από το νεοδύμιο, χρησιμοποιούνται το τέρβιο και το δυσπρόσιο. Ένα σύνηθες χαρακτηριστικό είναι ότι οι μαγνήτες χάνουν την μαγνήτισή τους σε υψηλές θερμοκρασίες, με προσθήκη στοιχείων σπανίων γαιών το ίδιο φαινόμενο αποτρέπεται. Επίσης το πρασινοδύμιο πολλές φορές χρησιμοποιείται αντί του νεοδυμίου, συνήθως για ελάττωση του κόστους, παρόλα αυτά μικροποσότητες πρασινοδυμίου εμφανίζονται λόγω της συνύπαρξης νεοδυμίου στα ορυκτά από τα οποία προέρχονται. Η ύπαρξη νεοδυμίου στους μαγνήτες τους κάνει ισχυρότερους από άλλα στοιχεία και παρέχει υψηλή επίδοση σε μικρότερο μέγεθος, αυτό το χαρακτηριστικό συνέβαλε στη ελάττωση του μεγέθους των εφαρμογών και στην εκτόξευσή της απόδοσης τους σε σχέση με το παρελθόν. Μόνιμοι μαγνήτες νεοδυμίου-σιδήρου-βορίου (Nd-Fe-B) χρησιμοποιούνται σε πάρα πολλά προϊόντα όπως κινητά, υπολογιστές, laptop, tablet και πολλές άλλες ευρείας κατανάλωσης ηλεκτρικών συσκευών όπως πλυντήρια, κλιματιστικά κ.α. Όπως είναι κατανοητό από την ευρεία εφαρμογή χρήσης των μαγνητών αυτών, επήλθε και εξέλιξη στον τομέα των υπολογιστών προσφέροντας την δυνατότητα μείωσης του μεγέθους που προσφέρουν και της υψηλότερης απόδοσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι σκληροί δίσκοι υπολογιστών (HDD) που το μέγεθος και η δυνατότητα αποθηκευτικού χώρου έχουν μεταβληθεί αντιστρόφως ανάλογα, χωρίς τους μαγνήτες νεοδυμίου δεν θα ήταν εφικτό κάτι τέτοιο. Επιπλέον, ένα πολύ θετικό χαρακτηριστικό ήταν ότι κατάφεραν αυτοί οι δίσκοι που πρόσφεραν υψηλή απόδοση παράλληλα να είναι και προσιτοί στους καταναλωτές [2].

5.2.1.2 Καταλύτες

Ένα από το σημαντικότερο κομμάτι στην αγορά των σπανίων γαιών, είναι η χρήση τους σε καταλυτικές χημικές μετατροπές στα αυτοκίνητα με την μετατροπή των κύριων ρύπων από τοξικούς σε μη τοξικούς, τέτοιες ενώσεις είναι το οξειδίο του δημητρίου αλλά και το ανθρακικό δημήτριο. Σημαντικός είναι ο ρόλος των σπανίων γαιών στις χημικές αντιδράσεις καθώς επιτρέπουν την λειτουργία των καταλυτών σε θερμοκρασίες καύσης, εκτοξεύοντας θετικά την απόδοση και μειώνοντας σημαντικά το κόστος. Επίσης πολύ σημαντική εφαρμογή είναι στην κατάλυση FCC (ρευστοποιημένης κλίνης) μιας εφαρμογής που βελτιώνει το ακατέργαστο (ή αργό) πετρελαίο, σχηματίζοντας ελαφρύτερες ενώσεις από βαρύτερα μόρια που υπάρχουν στα καύσιμα και στους κινητήρες. Τα μέταλλα σπανίων γαιών που συναντώνται πιο συχνά σε αυτή την διαδικασία σταθεροποίησης της δομής μέσα στα μοριακά φίλτρα είναι ενδεικτικά το λανθάνιο και πιο σπάνια το δημήτριο [2].

5.2.1.3 Μεταλλουργικά κράματα

Πρώτη φορά που χρησιμοποιήθηκαν σπάνιες γαίες στην βιομηχανία, ήταν σε μορφή κράματος με τον όρο *mischmetal* που περιείχε μέταλλα σπανίων γαιών και βρισκόταν στις ίδιες αναλογίες που υπάρχουν στον μπαστναζίτη μαζί με παρουσία σιδήρου. Κλασική και πολύ γνωστή εφαρμογή του κράματος αυτού ήταν στον μηχανισμό των αναπτήρων που προκαλούν την ανάφλεξη, αλλά και στους φακούς των γυαλιών, για να τοποθετηθεί όμως το κράμα αυτό πρέπει να αναμιχθεί με οξειδία που περιέχουν σίδηρο και μαγνήσιο. Το *mischmetal*, καθώς επίσης και το δημήτριο χρησιμοποιείται στο γέμισμα ρωγμών στα δοχεία χυτηρίων χάλυβα και σιδήρου. Τα υπερκράματα αυτά είναι υψηλής αντοχής στη θερμότητα γι' αυτό και χρησιμοποιούνται σε υψηλής θερμοκρασίας μηχανών αεροστρόβιλων, μηχανές ηλεκτρικών γεννητριών αλλά και άλλων μηχανών. Επίσης χρησιμοποιούνται σε επαναφορτιζόμενες μπαταρίες με ευρεία χρήση σε πολλά ηλεκτρικά είδη [2].

5.2.1.4 Φώσφοροι

Οι φώσφοροι (φως) που περιέχουν σπάνιες γαίες χρησιμοποιούνται σε τηλεοράσεις, οθόνες υπολογιστών και γενικά σε συσκευές απεικόνισης. Τα χρώματα που προέρχονται σε αυτές τις οθόνες προέρχονται από χημικές ενώσεις που περιέχουν στοιχεία σπανίων γαιών και με διαφορετικό συνδυασμό προκύπτουν διαφορετικά χρώματα, όπως για παράδειγμα η ένωση ευρώπιου-υπτρίου που δίνει κόκκινο ή δημητρίου-σουλφιδίου-στρόντιου που δίνει μπλε, οι φώσφοροι αυτοί έχουν το χαρακτηριστικό να προσφέρουν φωταύγεια όταν ενεργοποιούνται από φωτόνια (οπτικώς προτρεπόμενη φωταύγεια, OSL). Σύμφωνα με αυτή τους την ιδιότητα βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή

στους λαμπτήρες φθορισμού LED, οι οποίοι είναι πολύ αποδοτικοί ως προς τον φωτισμό αλλά και την ενεργειακή τους κατανάλωση. Τέλος, σημαντικό αντίκτυπο είχαν στην εξέλιξη της κατασκευής των οπτικών ινών αλλά και των λέιζερ, που χρησιμοποιούνται στην γρήγορη μετάδοση δεδομένων για μεγάλες αποστάσεις και σε ιατρικές/οδοντιατρικές εφαρμογές αντίστοιχα [2].

5.2.1.5 Ύαλοι & Κεραμικά

Μεγάλο ποσοστό χρήσης (15%) βρίσκουν επίσης και στη βιομηχανία γυαλιού και κεραμικών, το δήμετριο ήταν από τις πρώτες σπάνιες γαίες που χρησιμοποιήθηκε στον αποχρωματισμό γυαλιού. Αλλά χρησιμοποιούνται και σαν βαφές στο γυαλί, τέτοια παραδείγματα είναι το νεοδύμιο που προσφέρει μια ερυθρή χροιά στο γυαλί, το πρασινοδύμιο μια πράσινη, το όλμιο μια μπλε και άλλες σπάνιες γαίες που προσφέρουν διαφορετικά χρώματα με ανάμειξη με άλλα στοιχεία. Όπως είναι κατανοητό είναι αναγκαία η παρουσία τους στην παρασκευή γυαλιού και λόγω της ιδιότητας τους απορρόφησης της UV ακτινοβολίας, χρησιμοποιούνται δηλαδή ακόμα και σαν προστατευτικά προϊόντων εμποδίζοντας την εισχώρηση της UV ακτινοβολίας, γι' αυτό και χρησιμοποιούνται και σε γυαλιά ηλίου λόγω αυτού τους του χαρακτηριστικού σαν συστατικά φίλτρων για επιλεγμένη απορρόφηση φωτός.

Επιπρόσθετα σε μορφή οξειδίων και μη είναι στοιχειώδεις στα κεραμικά, προσφέρουν μεγάλη αντοχή και σκληρότητα στην σταθεροποίηση της θερμοκρασίας και μείωσης του κόστους παραγωγής. Στην μορφή των οξειδίων είναι επίσης σημαντικές στην ηλεκτρονική, σαν ημιαγωγικοί αισθητήρες, διηλεκτρικά και πιεζοηλεκτρικά κεραμικά αλλά και στους πυκνωτές που μάλιστα προσφέρουν την δυνατότητα μεγάλης διάρκειας ζωής [2].

5.2.1.6 Άλλες εφαρμογές

Γενικά λόγω της πολυπλοκότητας και των ιδιοτήτων τους, οι σπάνιες γαίες βρίσκουν συνεχώς νέες εφαρμογές σε γνωστούς υπάρχοντες τομείς όπως στην πυρηνική ενέργεια λόγω του χαρακτηριστικού απορρόφησης νετρονίων που εμφανίζουν [2], στις ηλεκτρικές συσκευές, στα ηλεκτρονικά είδη, στην ρομποτική, την ιατρική, την βιολογία, την αεροδιαστημική, σε καινοτόμες εφαρμογές νανοτεχνολογίας και πολλούς άλλους τομείς.

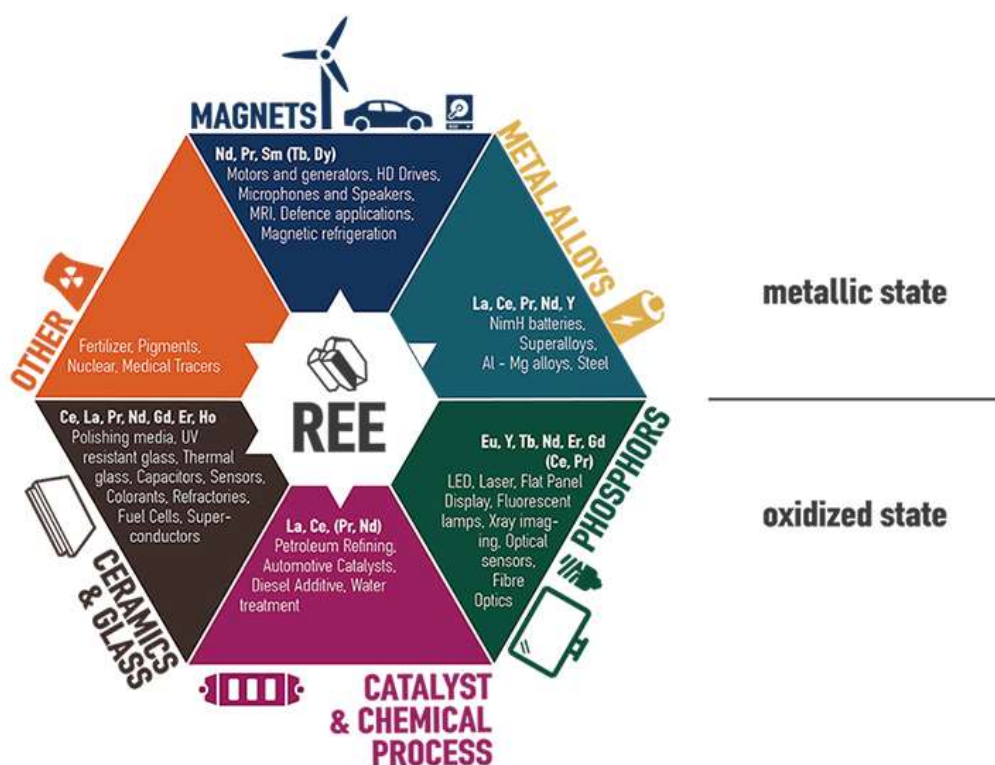
Σε συνοπτική μορφή στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται διάφορες εφαρμογές για κάθε στοιχείο σπάνιας γαίας ξεχωριστά.

Πίνακας 4: Ενδεικτικές εφαρμογές για κάθε στοιχείο σπάνιας γαίας ξεχωριστά.
(Πηγή: [2] σελ.44-46)

Λανθάνιο	Οι ενώσεις σπανίων γαιών πλούσιες σε λανθάνιο χρησιμοποιούνται εκτενώς ως καταλύτες FCC, ειδικά στην κατασκευή καυσίμων χαμηλό σε οκτάνιο από βαρύ αργό πετρέλαιο. Τα πλούσια σε λανθάνιο μέταλλα σπανίων γαιών έχουν σημαντικό ρόλο στις μπαταρίες αποθήκευσης υδρογόνου.
Δημήτριο	Το δημήτριο βρίσκει πολλές εμπορικές εφαρμογές, οι οποίες περιλαμβάνουν υαλοποίηση, το γυάλισμα υαλών, φωσφόρους, κεραμικά, καταλύτες και μεταλλουργία
Πρασινοδύμιο	Για το πρασινοδύμιο έχουν γίνει πολλές έρευνες όσον αφορά τις οπτικές του ιδιότητες, για χρήση στην ενίσχυση τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, και ως πρόσμιξη σε ίνες φθορίου, επίσης χρησιμοποιείται στην ιατρική στη συσκευή του αξονικού τομογράφου..
Νεοδύμιο	Οι κύριες εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιείται το νεοδύμιο είναι στο τομέα των λέιζερ, στον χρωματισμό αλλά και χρωματισμό γυαλιού, αλλά και η πιο κύρια εφαρμογή στους μόνιμους μαγνήτες νεοδυμίου-σιδήρου-βορίου ($Nd_2Fe_{14}B$).
Σαμάριο	Η κύρια χρήση του σαμαρίου είναι στην παραγωγή μόνιμων μαγνητών σαμαρίου-κοβαλτίου (Sm_2Co_{17}), επίσης χρησιμοποιείται σε εφαρμογές λέιζερ για τις διηλεκτρικές του ιδιότητες.
Ευρώπιο	Το ευρώπιο εμφανίζει μοναδική φωταυγειακή συμπεριφορά, η διέγερση του ατόμου του ευρωπαϊού όταν απορροφά UV ακτινοβολία, μπορεί να οδηγήσει σε συγκεκριμένες μεταβάσεις ενέργειας μέσα στο άτομο του, εκπέμποντας στο ορατό. Αρκετοί κόκκινη φώσφοροι (κόκκινο φως) βασίζονται στο ευρώπιο στις έγχρωμες τηλεοράσεις, οθόνες ηλεκτρονικών υπολογιστών και λαμπτήρες φθορισμού, επίσης βρίσκει εφαρμογές στην ιατρική, την χειρουργική και τη βιοχημεία.
Γαδολίνιο	Το γαδολίνιο χρησιμοποιείται λόγω της μαγνητικής ροπής που εμφανίζει, σε φωσφόρους και σπινθηρίζοντα υλικά. Όταν αναμιγνύεται με προσμίξεις EDTA (Αιθυλενοδιαμινοτετραοξικό οξύ) χρησιμοποιείται ως ενέσιμο μέσο αντίθεσης σε απεικονίσεις μαγνητικού συντονισμού (NMR) που υποβάλλονται ασθενείς.
Τέρβιο	Το τέρβιο χρησιμοποιείται σε φωσφόρους, ιδιαίτερα σε λαμπτήρες φθορισμού και χρησιμοποιείται στις τηλεοράσεις ως πράσινος πομπός υψηλής έντασης. Τα κράματα τερμίου χρησιμοποιούνται επίσης σε μαγνητο-οπτικές ταινίες εγγραφής, όπως το $TbFeCo$.
Δυσπρόσιο	Κύρια το δυσπρόσιο χρησιμοποιείται σε μόνιμους μαγνήτες νεοδυμίου-σιδήρου-βορίου, επίσης χρησιμοποιείται σε κεραμικές συνθέσεις που βασίζονται σε $BaTiO$ αλλά και στην ιατρική ως πρόσμιξη σε δοσίμετρα θειικού ασβεστίου ($CaSO_4:Dy$) για εφαρμογές πάνω στην προσωπική δοσιμετρία.
Όλμιο	Το όλμιο εμφανίζει πολύ μεγάλη μαγνητική ροπή (10,6 μB) σε σχέση με άλλα στοιχεία, λόγω αυτού του το χαρακτηριστικό χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει υψηλά μαγνητικά πεδία τοποθετώντας το μέσα σε μαγνήτες υψηλής αντοχής ως ένα κομμάτι πόλου ή ως συγκεντρωτή μαγνητικής ροής.
Έρβιο	Το έρβιο βρίσκει εφαρμογή στο χρωματισμό γυαλιού, στην ενίσχυση των οπτικών ινών και σε λέιζερ που προορίζονται για ιατρική και οδοντιατρική χρήση.
Θούλιο	Προϊόντα θουλίου χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κρυστάλλων και λέιζερ, σημαντική εφαρμογή στον τομέα της ιατρικής, σαν πρόσμιξη σε θειικό ασβέστιο ($CaSO_4:Tm$) σε τεχνητά δοσίμετρα προσωπικής δοσιμετρίας

Υπέρβιο	Το υπέρβιο χρησιμοποιείται σε πολλές τεχνολογικές εφαρμογές ενισχυτών, οπτικών και μη ινών, καθώς επίσης και σε εφαρμογές λέιζερ, επίσης χρησιμοποιείται και ως επικάλυψη σε θερμοσυσσωρευτές νικελίου, σιδήρου και άλλων υποστρωμάτων κραμάτων στοιχείων μετάπτωσης.
Λουτήτιο	Το λουτήτιο είναι το τελευταίο στην σειρά των λαθανιδών και σε αντίθεση με τα υπόλοιπα στοιχεία της ομάδας δεν εμφανίζει μαγνητική ροπή, έχει επίσης μικρή μεταλλική ακτίνα και είναι το λιγότερο φυσικά άφθονο στοιχείο της ομάδας, χρησιμοποιείται κυρίως ως ξενιστής σε φωσφόρους ακτινών Χ
Ύτριο	Το ύτριο εμφανίζει υψηλή έλξη με το οξυγόνο και εκεί είναι η βάση του για πολλές εφαρμογές τους. Ορισμένες, περιλαμβάνουν τη χρήση του σε κεραμικά, όπως χωνευτήρια για τετηγμένα αντιδρώντα μέταλλα, φωσφορίζοντα φωτιστικά φθορισμού, οθόνες ηλεκτρονικών υπολογιστών και αισθητήρες κατανάλωσης καυσίμου για αυτοκίνητα.
Σκάνδιο	Τα προϊόντα σκανδίου χρησιμοποιούνται κυρίως σε κεραμικά, λέιζερ, φωσφόρους αλλά και σε κράματα υψηλής απόδοσης.

Το μόνο που δεν συγκαταλέγεται στον Πίνακα 4 είναι το προμήθειο αν και χρησιμοποιείται σε ατομικές μπαταρίες για αεροδιαστημικές εφαρμογές λόγω της εκπομπής ιονίζουσας ακτινοβολίας που εμφανίζει. Πιο συνοπτικά στην Εικόνα 14, παρουσιάζεται η ευρείας χρήση των σπανίων γαιών στην βιομηχανία και τεχνολογία σε μεταλλική κατάσταση και σε μορφή οξειδίων.



Εικόνα 14: Κύριες εφαρμογές στοιχείων σπανίων γαιών
(Πηγή: <http://www.eurare.eu/RareEarthElements.html>)

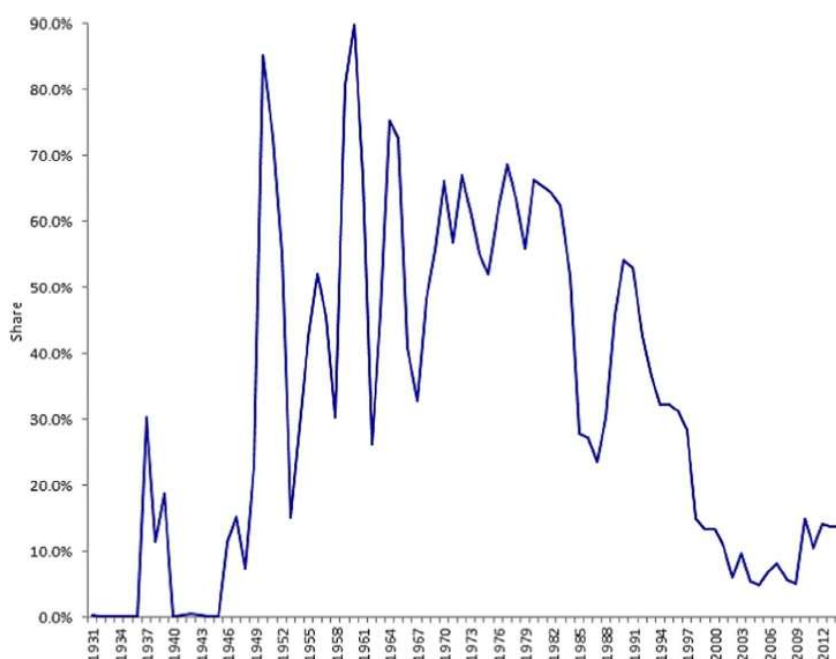
Πολλοί τομείς της επιστήμης όπως η Γεωλογία, η Φυσική, η Χημεία και άλλες, με την χρήση τεχνολογίας και μηχανικής ερευνούν συνεχώς νέους τρόπους και νέους τομείς αξιοποίησης των

στοιχείων, μετάλλων και οξειδίων σπανίων γαιών. Η χρήση τους παρόλο το δύσκολο γεωπολιτικό περιβάλλον, δεν αναμένεται να μειωθεί και στο μέλλον μπορεί να υπάρξουν και μεγαλύτερα ποσοστά χρήσης τους σε καινοτόμες τεχνολογίες.

6. Οικονομικά στοιχεία για σπάνιες γαίες

6.1 Η Αγορά και Κατανάλωση σπανίων γαιών

Μόλις στη δεκαετία του 1880 παρήχθησαν σε εμπορική κλίμακα στη Σουηδία και Νορβηγία, σε καθαρή μορφή παράχθηκαν για πρώτη φορά το 1931 και ορισμένες εφαρμογές του κράματος μετάλλων σπανίων γαιών με όλκιμο σίδηρο έγινε την δεκαετία του 1940. Η χρήση των μεμονωμένων μετάλλων σπανίων γαιών δεν γινόταν σε μεγάλη κλίμακα και αυξήθηκε η χρήση τους, την δεκαετία του 1950 με την βελτίωση των τεχνολογιών διαχωρισμού και μεταλλουργίας. Οι τιμές των μετάλλων σπανίων γαιών δημοσιεύτηκαν πρώτη φορά στις ΗΠΑ στα τέλη της δεκαετίας του 1950 με αρχές 1960. Η μείωση των τιμών των μετάλλων σπανίων γαιών από το 1958 έως το 1971 ήταν το αποτέλεσμα της έναρξης των επιχειρήσεων στο Mountain Pass της Καλιφόρνιας το 1952 [2,6].



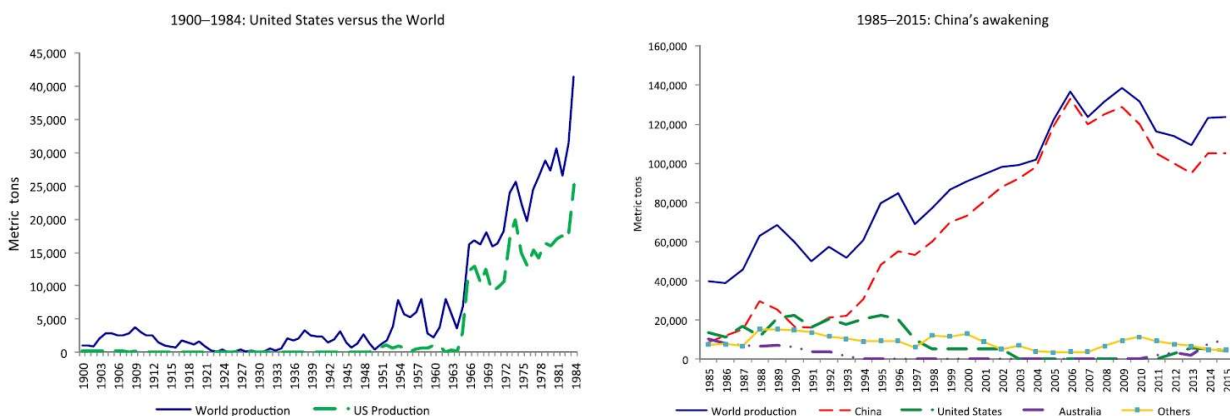
Γράφημα 2: Η κατανάλωση σπανίων γαιών της ΗΠΑ σε σχέση με τον υπόλοιπο κόσμο.

(Πηγή: **Fernandez, V.** "Rare-earth elements market: A historical and financial perspective", *Resources Policy*. Vol. **53** (2017), pp. 26-45 (όπως αναφέρεται από Kelly and Matos, 2014)

Η παγκόσμια και η αμερικάνικη παραγωγή στοιχείων σπανίων γαιών παρουσίασε μεγάλη αύξηση στα μέσα της δεκαετίας του 1960. Την χρονική περίοδο μάλιστα του 1965-1966 η παραγωγή των ΗΠΑ

αυξήθηκε από 2900 σε 12200 μετρικούς τόνους (1000 kgr), ενώ η παγκόσμια παραγωγή αυξήθηκε από 6960 σε 16200 μετρικούς τόνους.

Οι ΗΠΑ αντιπροσώπευαν ένα μεγάλο ποσοστό των παγκοσμίων επιπέδων παραγωγής κατά την περίοδο 1966-1984, το μερίδιο της εκείνη την περίοδο ανερχόταν κατά μέσο όρο στο 63% της παγκόσμιας παραγωγής, φθάνοντας το 78% το 1974.



Γράφημα 3: Παραγωγή σπανίων γαιών από 1900-2015

(Πηγή: **Fernandez, V.** "Rare-earth elements market: A historical and financial perspective", *Resources Policy*.Vol. 53 (2017), pp. 26-45)

Οι ΗΠΑ άρχισαν να χάνουν έδαφος ως μεγάλος παραγωγός από τα μέσα της δεκαετίας του 1980 και μετά, το μερίδιο της στην παγκόσμια αγορά μειώθηκε από 31% το 1985 σε μόλις 6% το 2000. Την ίδια χρονική περίοδο το μερίδιο της Κίνας αυξήθηκε από 21% σε 80% στην παγκόσμια παραγωγή.

Εντωμεταξύ, το 2015 η Αυστραλία, ΗΠΑ, Κίνα και άλλοι παραγωγή έφθασαν στο 4,4%, 84,8% και 3,9% της παγκόσμιας αγοράς, ενώ εμφανίστηκαν και καινούργιες χώρες-παραγωγοί, όπως Μαλαισία, Ρωσία και Ταϊλάνδη και άλλες.

Όπως είναι κατανοητό σύμφωνα με τα στοιχεία της Γράφημα 3 και κατά την V.Fernandez (2017), το μερίδιο της Κίνας λόγω του ποσοστού παραγωγής της, έχει παρουσιάσει μια αυξανόμενη τάση και σε ένα μεγάλο βαθμό παραλληλίζεται με το παγκόσμιο ποσοστό παραγωγής, κατά την πάροδο του χρόνου. Ενώ σε αντίθεση τα μερίδια των ΗΠΑ, Ιαπωνία και Ευρώπης των 28 (ΕΕ 28), φαίνεται να έχουν καθοδική τάση, πιο συγκεκριμένα οι μετοχές των ΗΠΑ, της Κίνας, της Ιαπωνίας, της ΕΕ-28, της Μαλαισίας, της Αυστραλίας, της Ινδίας και της Ταϊλάνδης ήταν 28,8%, 24,5%, 17,0%, 27,2%, 0,5%, 0,0%, 1,6% , αντίστοιχα, ενώ το 2015 έφτασαν τα 7,5%, 58,5%, 13,9%, 6,7%, 3,3%, 7,3%, 0,9%, 2,0%, αντίστοιχα.

Συνολικά, κατά την περίοδο 2001-2015, αξίζει να παρατηρηθεί το μερίδιο κατανάλωσης της Κίνας, το οποίο εμφάνισε ποσοστιαία αύξηση της τάξεως του 140% και της Μαλαισίας 560%. Σε σχέση με τις άλλες χώρες το υπόλοιπο 49% από το 58,5% ποσοστό διαχείρισης της Κίνας, ήταν σχεδόν

διαιρεμένο στα μισά μεταξύ των ΗΠΑ/ΕΕ 28 (24%) και Ιαπωνίας, μαζί με άλλων χωρών της Ασίας και Αυστραλίας (25%) [6] (Πίνακας 5).

Πίνακας 5: Μερίδια κατανάλωσης διαφόρων χωρών

Μερίδια	Αρχικό Ποσοστό Διαχείρισης (%)	Τελικό Ποσοστό Διαχείρισης(%)	Ποσοστιαία Μεταβολή (%)
ΗΠΑ	28,8	7,5	-73,9
Κίνα	24,5	58,5	+140
Ιαπωνία	17	13,9	-18,2
ΕΕ 28	27,2	6,7	-75,4
Μαλαισία	0,5	3,3	+560
Αυστραλία	0	7,3	+100
Ινδία	1,6	0,9	-43,8
Ταϊλάνδη	-	2	-
Σύνολο	99,6	~100	-

6.2 Τιμές και προοπτικές αγοράς σπανίων γαιών

Όπως είναι κατανοητό δεν μπορεί να γίνει μοναδική εξόρυξη κάθε στοιχείου σπανίας γαίας ξεχωριστά σε εξευγενισμένη μορφή, διότι πρέπει να γίνουν διεργασίες απομόνωσης, του κάθε στοιχείου, αναλόγως την τεχνολογική εφαρμογή ενδιαφέροντος. Και όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2 υπάρχει συγκεκριμένο πρωτόκολλο εκμετάλλευσης των στοιχείων σπανίων γαιών. Όπως είναι κατανοητό η εξόρυξη γίνεται σε μορφή γεωλογικών στοιχείων (ορυκτών) που περιέχουν ακανόνιστα ποσοστά σπανίων γαιών και από αυτά γίνεται η διεργασία απομόνωσης, τέτοια ορυκτά είναι ο μπαστνεσίτη (βαστανίτη), μοναζίτης αλλά και άλλα ορυκτά.

Οι βαστανίτες και οι μοναζίτες περιέχουν συνήθως συγκέντρωση ελαφρών στοιχείων σπανίων γαιών, ενώ ο μοναζίτης παρουσιάζει ελαφρώς μεγαλύτερη συγκέντρωση βαρέων σπανίων γαιών σε σχέση με τον βαστανίτη. Τα αποθέματα βαστανίτη στην Κίνα και στις ΗΠΑ αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο ποσοστό στα ποσοστά των παγκοσμίων πόρων, ενώ τα αποθέματα μοναζίτη αποτελούν το δεύτερο μεγαλύτερο απόθεμα [2].

Οι εταιρίες όμως δεν είναι πάντα είτε κινεζικού είτε αμερικανικού ενδιαφέροντος, πολλές άλλες χώρες ανά τον κόσμο εμφανίζουν μεγάλο ενδιαφέρον στην εκμετάλλευση σπανίων γαιών και στην

Εικόνα 15 παρουσιάζονται κάποιες μεταλλευτικές εταιρίες σπανίων γαιών ανά τον κόσμο, καθώς και κάποιες πληροφορίες για την χώρα προέλευσης τους αλλά και τον τομέα ενασχόλησης τους [6].

(a) Company description		
Country	Company	Description
AUS	Alkane Resources Ltd	Mineral exploration and evaluation, development and extraction. It operates through two segments: gold operations and rare metals
CHN	Aluminum Corp of China (CHALCO)	CHALCO Guangxi Non-Ferrous Rare Earth Development Co., Ltd. focuses on rare earth industry and mineral rights investment, products' deep processing.
AUS	Arafura Resources Ltd	Rare earths producer. Main activities consist of mining and associated infrastructure, social and environmental feasibility evaluations, and mineral exploration, definition and development.
CAN	Avalon Rare Metals	Exploration and development company. It holds a diverse metals and minerals property portfolio of lithium, tantalum, zirconium, rubidium, cesium, indium, gallium, germanium, rare earths and tin.
CHN	China Minmetals Rare Earth	Mainly engaged in the rare earth oxides, processing of aluminum products, and provision of luminescent materials and lighting equipment.
CHN	China Molybdenum Co.	Engaged in the mining, smelting, processing and trading of metals, such as molybdenum, tungsten and copper. It offers tungsten concentrates, molybdenum oxide, molybdenum rare-earth material, and rare-earth products, among others.
CHN	China Northern Rare Earth	Principally engaged in the production and sale of rare earth raw materials and rare earth functional materials. The Company's main products include rare earth oxides, rare earth metals, rare earth salt products and magnetic materials.
CAN	Critical Elements Corp	Exploration company involved in the acquisition, exploration and development of mining properties. Company's properties include, among others, British Columbia rare earth properties.
AUS	Galaxy Resources Ltd	Company's principal activities include the production of lithium carbonate and exploration for minerals. Its segments include Australian operation, Argentina operation and Canada operation.
CAN	Great Western Minerals	Engaged in the manufacture and supply of rare earth element-based metal alloys. Its specialty alloys are used in the battery, magnet and aerospace industries.
GRL	Greenland Minerals	Engaged in mineral exploration and project evaluation. Company's projects include Kvanefjeld-Rare earths, among others.
AUS	Iluka Resources	Engaged in mineral sands exploration, project development, operations and marketing. It is a producer of zircon and titanium dioxide products. The Company's segments include Australia, United States, and Mining Area C.
AUS	Kidman Resources	It operates in the exploration for base metal and rare earths industry within Australia.
AUS	Lynas Corporation	Engaged in integrated extraction and processing of rare earth minerals, primarily in Australia and Malaysia, and development of rare earth deposits.
USA	Molycorp Inc	Rare earths producer. The Company operates in four business segments: Resources, Chemicals and Oxides, Magnetic Materials and Alloys and Rare Metals
USA	Rare Elements Resources	Company's Bear Lodge Property consists of two projects: Bear Lodge Rare Earth Element (REE) Project and the Sundance Gold Project.
CHN	Rising Nonferrous Metals Share	Mainly engaged in mining, production, processing and distribution of nonferrous metals. Main products consist of tungsten and related products, as well as rare earth and related products.
SWE	Tasman Metals	Engaged in exploration of minerals and critical metals including rare earth elements and tungsten in Scandinavia.
USA	Ucore Rare Metals	Junior exploration and technology company engaged in the exploration and development of rare earth element properties within Canada and the United States
CHN	Xiamen Tungsten Co.	Company involves in the production of non-ferrous metal products, operation of rare earth business, provision of battery materials, and property development and management business.
CAN	Wealth Minerals Ltd	Junior mineral resource exploration company, which focuses on the acquisition, exploration and development of mineral properties primarily prospective for precious metals and lithium. I

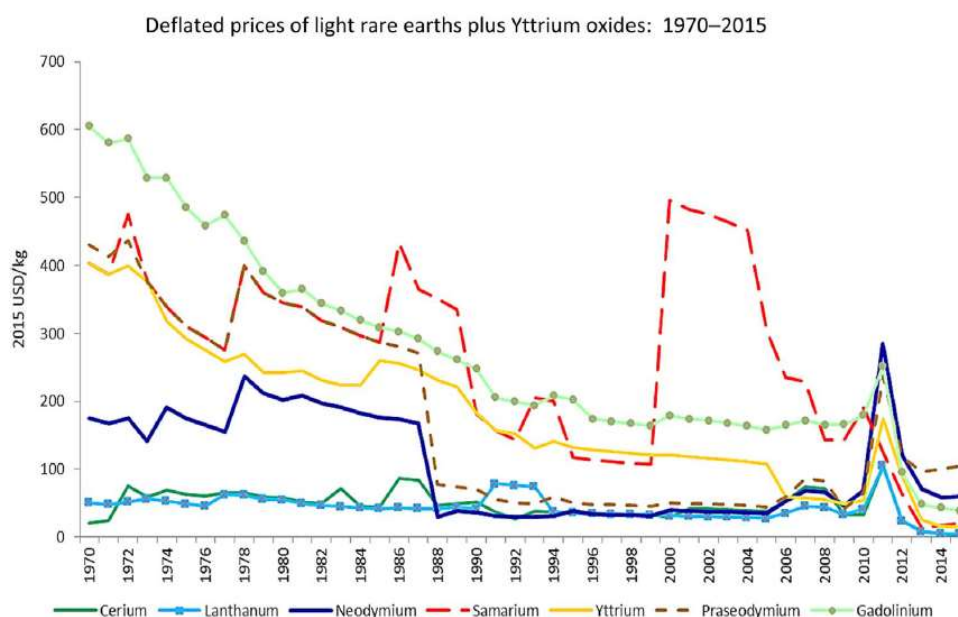
Εικόνα 15: Ενδεικτικές εταιρίες εξόρυξης σπανίων γαιών ανά τον κόσμο

(Πηγή: *Fernandez, V. "Rare-earth elements market: A historical and financial perspective", Resources Policy. Vol. 53 (2017), pp. 26-45*)

Η πορεία των τιμών σπανίων γαιών που εκλαμβάνονται από τον βαστανίτη, τον μοναζίτη και άλλα ορυκτά, είναι προφανές ότι η τελική τιμή προσαυξήσετέ όταν τα συμπυκνώματα διαχωρίζονται στα επιμέρους οξειδία σπανίων γαιών.

Επίσης, οι αποπληθωρισμένες τιμές των ελαφρών και βαρέων σπανίων γαιών παρουσιάζουν γενικά μειωμένη τάση από το 1970 και έκτοτε, με μια μόνο απότομη αύξηση κατά την χρονική περίοδο Φεβρουαρίου-Ιουνίου του 2011. Εξαιρεση μόνο αποτελεί το σαμάριο που χρησιμοποιείται κατά κόρο στους μαγνήτες σαμαρίου-κοβαλτίου και οι υψηλές τιμές μπορεί να οφείλονται στην υψηλή ζήτηση που εξακολουθούσε να είχε αυτό το στοιχείο, αργότερα με την έλευση των μαγνητών που περιέχουν νεοδύμιο, η τιμή του σαμαρίου έπεσε και φαίνεται ότι η παρόλη ανοδική τάση του 2011 δεν φαίνεται να επηρέασε το σαμάριο [6].

Πιο λεπτομερώς παρουσιάζεται στο Γράφημα 4 η ιστορική εξέλιξη των τιμών κάποιων σπανίων γαιών σε μια χρονική περίοδο από το 1970-2015.



Γράφημα 4: Ενδεικτικές ετήσιες τιμές οξειδίων των σπανίων γαιών από το 1970-2015

(Πηγή: **Fernandez, V.** "Rare-earth elements market: A historical and financial perspective", *Resources Policy*. Vol. **53** (2017), pp. 26-45)

Η αύξηση των τιμών την χρονική περίοδο 2009-2012 ήταν αποτέλεσμα της αυστηρής πολιτικής εξαγωγών της Κίνας.

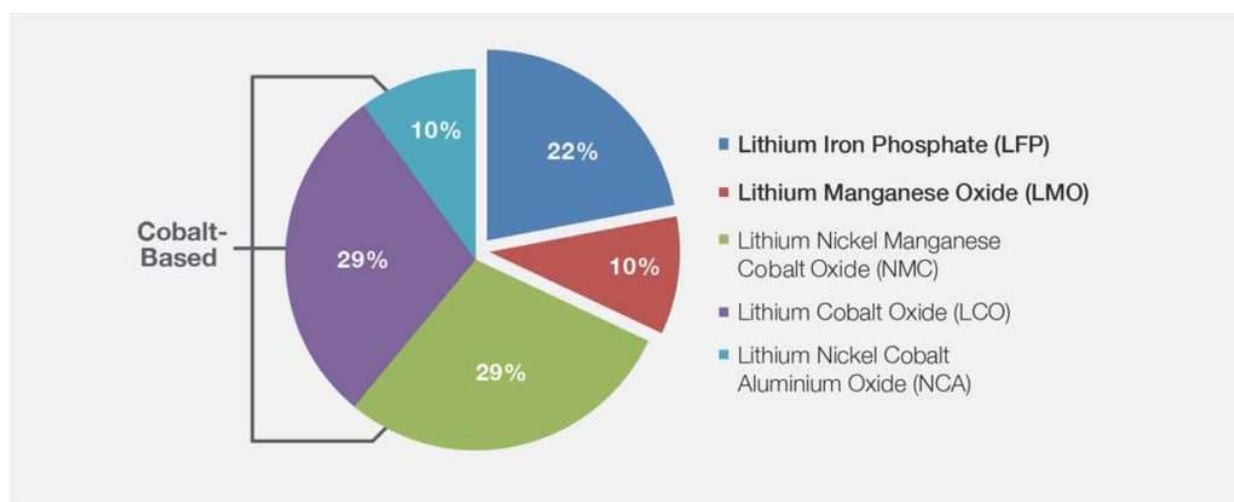
Οι εξαγωγές στοιχείων σπανίων γαιών προς τον υπόλοιπο κόσμο από την Κίνα μειώθηκε κατά 86%, ενώ τα ποσοστά εξαγωγών για τις εγχώριες εταιρίες της Κίνας αλλά και τις ξένες επιχειρήσεις στην Κίνα, μειώθηκαν κατά 47% την περίοδο 2011-2012. Αυτή η πτώση των ποσοστών στις εξαγωγές και εισαγωγές άρχισε να αντιστρέφεται από το 2013, σύμφωνα με τα στοιχεία του Γραφήματος 4, οι ονομαστικές τιμές άρχισαν να μειώνονται σε επίπεδα 2010 για τα περισσότερα οξείδια σπανίων γαιών [6].

7. Εφαρμογές κρίσιμων μετάλλων στη Βιομηχανία & Τεχνολογία

7.1 Γενικές εφαρμογές & Ιστορική αναδρομή

Όλα τα κρίσιμα μέταλλα βρίσκουν μια ευρεία χρήση σε αρκετούς τομείς της Βιομηχανίας, όπως σε κράματα μετάλλων, καταλύτες, υαλούς, κεραμικά, λιπαντικά, πολυμερή ακόμη και σε χημικές αλλά και φαρμακευτικές εφαρμογές. Μια όμως από τις κυριότερες εφαρμογές που εμφανίζουν και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον στην παρούσα εργασία είναι σε μαγνητικά υλικά αλλά και σε εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας, στη συγκεκριμένη περίπτωση μπαταρίες, όπως μπαταρίες λιθίου [7,8,9,10,11,12].

Στην Εικόνα 16, παρουσιάζονται όλοι οι τύποι μπαταριών λιθίου που υπάρχουν στην παγκόσμια αγορά ενδεικτικά μαζί με το ποσοστό χρήσης τους.



Εικόνα 16: Τύποι μπαταριών Λιθίου
(Πηγή: <https://www.cobaltblueholdings.com/cobalt/>)

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί όλα τα κρίσιμα μέταλλα (Λίθιο, Κοβάλτιο, Νικέλιο, Μαγγάνιο) αλλά και το Αλουμίνιο που είναι βασικό βιομηχανικό μέταλλο και ο Φώσφορος, είναι από τα κύρια χημικά συστατικά για τις μπαταρίες που βασίζονται σε τεχνολογία ιόντων Λιθίου.

Το 1979 δουλεύοντας σε ξεχωριστές ομάδες, ο Ned A. Godshall και οι John B. Goodenough και ο Koichi Mizushima, κατάφεραν να παρουσιάσουν ένα επαναφορτιζόμενο κύτταρο (cell) λιθίου με 4V τάση, χρησιμοποιώντας σαν κύριο συστατικό το διοξείδιο λιθίου κοβαλτίου (LiCoO_2) ως θετικό ηλεκτρόδιο και μέταλλο λιθίου ως αρνητικό. Το LiCoO_2 είναι σαν θετικό ηλεκτρόδιο ένα σταθερό υλικό το οποίο δρα ουσιαστικά ως δότης ιόντων λιθίου, με αυτό το τρόπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί παρουσία με ένα αρνητικό υλικό ηλεκτροδίου διαφορετικό από το μέταλλο λιθίου.

Με τη χρήση αυτή, σταθερών και εύχρηστων υλικών αρνητικών ηλεκτροδίων, το LiCoO_2 επέτρεψε την δημιουργία νέων επαναφορτιζόμενων συστημάτων μπαταριών. Μετά την ανακάλυψη τους, η εμπορευματοποίηση τους σαν τεχνολογία μπόρεσε να πραγματοποιηθεί μια δεκαετία αργότερα το 1990 από την Sony και την Asahi Kasei παρουσιάζοντας έτσι τις πρώτες γνωστές μπαταρίες λιθίου για φορητή χρήση ηλεκτρικών συσκευών.

7.2 Κυριότερες κατηγορίες εφαρμογών κρίσιμων μετάλλων

Κατά κύριο λόγο τα κρίσιμα μέταλλα χρησιμοποιούνται σαν πρώτες ύλες σε μια σειρά από τεχνολογικές και βιομηχανικές εφαρμογές και ως χημικά στοιχεία, σε διάφορες εφαρμογές, παραδείγματος χάριν ηλεκτρικά αυτοκίνητα, μπαταρίες, μαγνητικά μέταλλα, κεραμικά, πολυμερή, γυαλί, για την κατασκευή καταλυτών όσον αφορά την χημική επεξεργασία, ακόμη και στο τομέα της υγείας ως φαρμακευτικά σκευάσματα. Πιο συγκεκριμένα σε αυτή την ενότητα θα αναλυθούν οι κυριότερες τεχνολογικές εφαρμογές και θα σχολιαστούν οι πιο σημαντικές από αυτές. Επίσης παράλληλα θα αναφερθούν και εφαρμογές στις οποίες σπάνιες γαίες και κρίσιμα μέταλλα συνυπάρχουν.

7.2.1.1 Μπαταρίες

Σαν συσκευή η μπαταρία αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές και απαραίτητες εφαρμογές της καθημερινότητας, διότι αποτελεί μέρος μιας πληθώρας συσκευών. Μια τυπική μπαταρία αποτελείται από ένα ή περισσότερα ηλεκτροχημικά κελιά με εξωτερικές συνδέσεις, τροφοδοτώντας την συσκευή στην οποία βρίσκεται με ηλεκτρική ενέργεια. Όταν παρέχει ηλεκτρική ενέργεια, ο θετικός ακροδέκτης της (κάθοδος) δημιουργεί μια ροή ενέργειας προς τον αρνητικό ακροδέκτη (άνοδος), ο οποίος είναι και η κύρια πηγή ηλεκτρονίων ροής μέσω ενός εξωτερικού ηλεκτρικού κυκλώματος προς την κάθοδο.

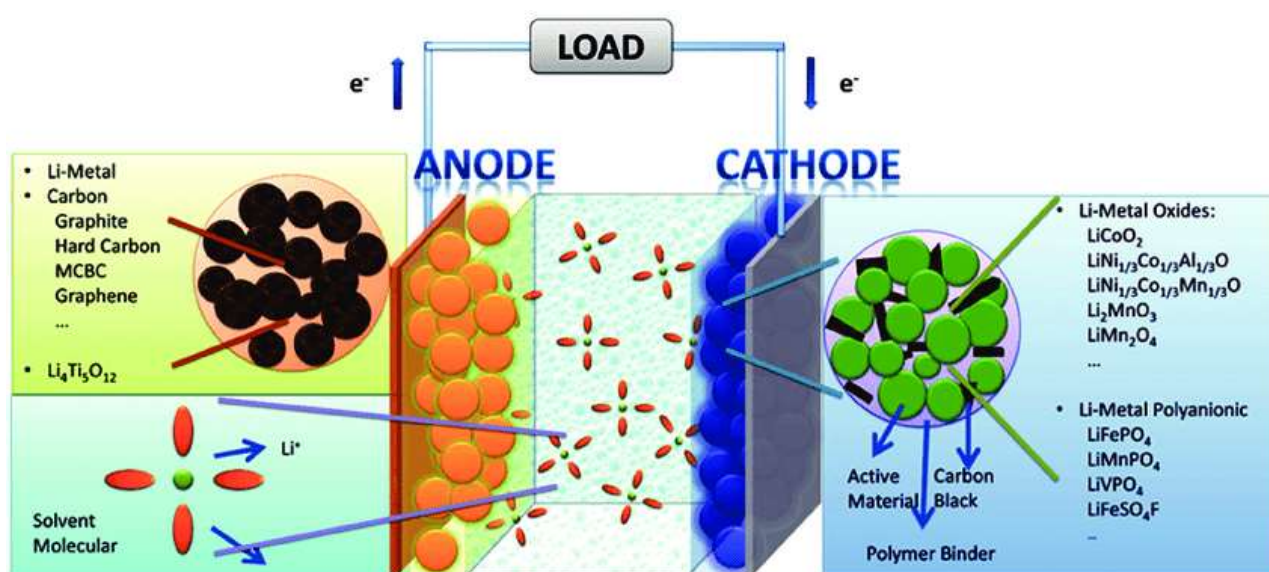
Οι μπαταρίες χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες τις πρωτογενείς και τις δευτερογενείς μπαταρίες.

Οι πρωτογενείς ή "μιας χρήσης" μπαταρίες χρησιμοποιούνται για μία φορά και απορρίπτονται καθώς η μεταβολή των υλικών μετά την λειτουργία τους είναι ανεπανόρθωτη. Ένα κοινό παράδειγμα είναι οι αλκαλικές μπαταρίες (βασίζονται στο νικέλιο) και χρησιμοποιούνται σε χαμηλής απόδοσης ηλεκτρικές συσκευές όπως φακούς, φορητές αριθμομηχανές και άλλες παρόμοιες εφαρμογές.

Η άλλη κατηγορία είναι οι δευτερεύουσες ή "επαναφορτιζόμενες" μπαταρίες, που μπορούν να φορτιστούν και να αποφορτιστούν πολλές φορές μέσω του ηλεκτρικού ρεύματος. Η σύνδεση αυτή με ένα εξωτερικό ηλεκτρικό φορτίο μετατρέπει τα αντιδραστήρια υψηλής ενέργειας σε προϊόντα

χαμηλότερης ενέργειας και η διαφορά της ελεύθερης ενέργειας παραδίδεται στο εξωτερικό κύκλωμα ως ηλεκτρική ενέργεια.

Ένας από τους πολυχρησιμοποιημένους τύπους επαναφορτιζόμενων μπαταριών είναι οι μπαταρίες ιόντων λιθίου. Όπως προαναφέρθηκε στην Ενότητα 7.1 και παρουσιάστηκε στην Εικόνα 16, υπάρχουν μια σειρά από διάφορους τύπους επαναφορτιζόμενων μπαταριών που βασίζονται σε μια σειρά από διαφορετικά υλικά και βρίσκουν διαφορετικές εφαρμογές ανάλογα με την ανάγκη που εξυπηρετούν. Στην Εικόνα 17 παρουσιάζεται η τυπική δομή μιας μπαταρίας ιόντων λιθίου, καθώς ενδεικτική παρουσίαση των υλικών κατασκευής της.



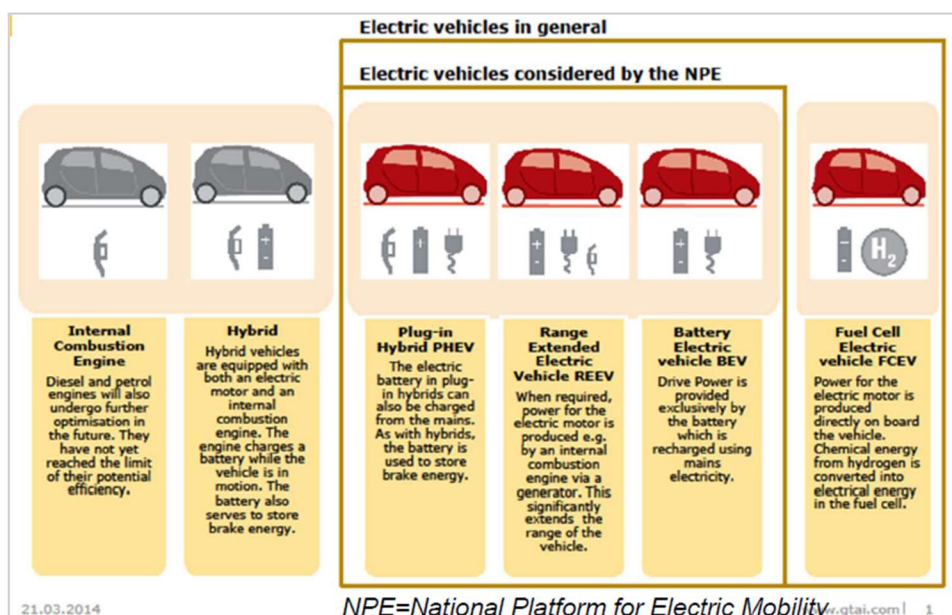
Εικόνα 17: Τυπική δομή μπαταρίας ιόντων λιθίου και υλικών κατασκευής της.

(Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/The-hierarchical-structure-of-lithium-ion-batteries_fig1_291389311)

Ανάμεσα από την άνοδο και κάθοδο της μπαταρίας, γίνεται η μετακίνηση των ελεύθερων ιόντων λιθίου τα οποία κινούνται στο υγρό που ονομάζεται ηλεκτρολύτης. Κατά την διάρκεια ζωής της μπαταρίας επέρχονται συνεχείς κύκλοι φόρτισης, εκφόρτισης και επαναφόρτισης, λόγω αυτής της διαδικασίας του κύκλου επαναλαμβανόμενων φορτίσεων καθώς και της ανάπτυξης θερμοκρασίας που προκαλείται και από την χρήση της συσκευής, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την στερεοποίηση του ηλεκτρολύτη στο εσωτερικό σχηματίζοντας δενδρίτες (κρυστάλλους) ελαττώνοντας τη λειτουργικότητα της (γρήγορη εκφόρτιση) αλλά και τον χρόνο χρήσης της. Γι' αυτό πολλοί ερευνητές μελετούν την αντικατάσταση του υγρού ηλεκτρολύτη με στερεό τύπου πολυμερούς υλικού για την αποφυγή σχηματισμών δενδριτών. Οι μπαταρίες αυτές ονομάζονται "Μπαταρίες Στερεάς Κατάστασης (Solid State Batteries)" και η εκβιομηχανοποίηση τους θα επιτρέψει την αποφυγή τέτοιων φαινομένων (σχηματισμού δενδριτών), θα είναι αποδοτικότερες έχοντας μεγαλύτερο χρόνο χρήσης, θα λειτουργούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες και θα είναι μικρότερες σε μέγεθος [13,14].

7.2.1.2 Τεχνολογίες Αυτοκινήτων

Τα κρίσιμα μέταλλα αλλά και οι σπάνιες γαίες αποτελούν μέρος της τεχνολογίας αυτοκινήτων. Οι τεχνολογίες αυτές χωρίζονται σε τρεις γενικευμένες κατηγορίες, στα “συμβατικά” αυτοκίνητα ή αυτοκίνητα μηχανών εσωτερικής καύσης, τα οποία βασίζονται στη καύση ορυκτών καυσίμων (βενζίνη και πετρέλαιο) και είναι ο πιο διαδεδομένος βιομηχανικά τύπος αυτοκινήτων, τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, τα οποία βασίζονται στην τεχνολογία των ηλεκτρικών κινητήρων για την κίνηση τους και την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με την χρήση μπαταριών, τα αυτοκίνητα υδρογόνου, τα οποία βασίζονται στην αντίδραση υδρογόνου με οξυγόνο (διαδικασία καύσης) επιτρέποντας την κίνηση από την παραγωγή ενέργειας μέσω της διαδικασίας και τέλος τα υβριδικά αυτοκίνητα, τα οποία είναι συνδυασμός τουλάχιστον δύο από όλων των παραπάνω τεχνολογιών αυτοκινήτων που αναφέρθηκαν. Στην Εικόνα 18, παρουσιάζονται οι τύποι τεχνολογιών αυτοκινήτων.



Εικόνα 18: Τύποι τεχνολογιών αυτοκινήτων
(Πηγή: haee.gr/media/2810/καραμπι-λας_ιδέα.pdf → σελ. 18)

Η τεχνολογία όλων των τύπων αυτοκινήτων βασίζεται σε μια σειρά από ξεχωριστές τεχνολογίες που συνυπάρχουν, όπως ηλεκτρονικές συσκευές, οθόνες (φωσφόρους), πυκνωτές, μαγνήτες, συστήματα επικοινωνίας αισθητήρων, μεταλλουργία και άλλες πολλές τεχνολογίες. Όσον αφορά την περιβαλλοντική επιβάρυνση οι τύποι αυτοκινήτων και μηχανών που είναι υπεύθυνοι είναι οι μηχανές εσωτερικής καύσης που χρησιμοποιούν άμεσα ορυκτά καύσιμα. Παρόλα αυτά και οι τύποι αυτοκινήτων που βασίζονται στην ηλεκτρική ενέργεια ή την καύση υδρογόνου, οι πηγές αυτών για τη παραγωγή ενέργειας, δεν παράγονται 100% από πράσινες εναλλακτικές πηγές και το μεγαλύτερο μέρος τους βασίζεται και αυτό σε ορυκτά καύσιμα, όπως για παράδειγμα στην ηλεκτρική ενέργεια που γίνεται καύση λιγνίτη και είναι επιβαρυντικός για την ατμόσφαιρα αλλά και στη παραγωγή υδρογόνου που

πραγματοποιείται με καύση φυσικού αερίου και προϊόντα της καύσης αυτής είναι το μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα (CO και CO₂).

Τη παρούσα στιγμή, γίνονται εκτιμήσεις και η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ξεκινήσει προσπάθειες δράσης για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος με στόχο μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse gas) κατά 80-95% έως το 2050 σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Μέχρι το 2030 ζητείται μείωση της τάξεως του 40% και για την επίτευξη αυτών των στόχων, η Ευρώπη πρέπει να μετατραπεί σε οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα [13]. Στόχος των κυβερνήσεων παγκοσμίως είναι η στροφή προς την ηλεκτροκίνηση, μάλιστα στην Ελλάδα μέχρι το 2030 το ποσοστό των ηλεκτρικών αυτοκινήτων να έχει αυξηθεί στο 30%, σήμερα είναι στο 0,3%. Μέχρι τη μελλοντική στιγμή που θα μπορεί να γίνει η πλήρης κάλυψη των ενεργειακών αναγκών από πράσινες εναλλακτικές μορφές ενέργειας, τότε και μόνο αυτές οι τεχνολογίες θα μπορούν πραγματικά να θεωρηθούν φιλικές ως προς το περιβάλλον.

7.2.1.3 Εναλλακτικές μορφές ενέργειας: Ηλιακή και Αιολική Ενέργεια

Όσον αφορά το κομμάτι της ηλιακής ενέργειας υπάρχουν τρεις γενιές συλλεκτών ηλιακής ενέργειας και μετατροπείς της σε ηλεκτρική ενέργεια, τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πυριτίου που είναι η πρώτη γενιά, τα πάνελ φωτοβολταϊκών λεπτών υμενίων (thin film) που ανήκουν στη δεύτερη γενιά και τα φωτοβολταϊκά ηλιακά κύτταρα (solar cells) που είναι οργανικά ηλιακά κύτταρα (βαφή, dye, που βασίζεται σε ρουθίνιο και όσμιο) και ανήκουν στην τρίτη γενιά φωτοβολταϊκών.

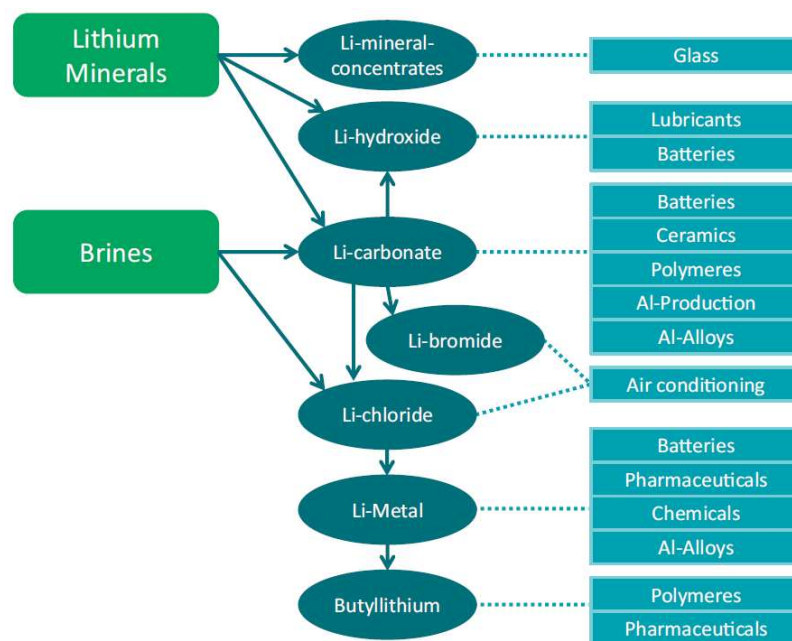
Γενικότερα πέρα από τους τύπους γενιών φωτοβολταϊκών αυτά που βρίσκουν ευρείας χρήσης και εφαρμογής είναι τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πυριτίου που χρησιμοποιούνται σε τάρτσες σπιτιών, ηλιακούς θερμοσίφωνες και άλλες εφαρμογές. Παρόλη την ευρεία χρήση τους οι άλλες δύο γενιές χρησιμοποιούνται σε πιο τεχνολογικές και εξεζητημένες εφαρμογές και η βιομηχανοποίηση τους είναι σε αρχικό στάδιο ακόμη, διότι εμφανίζουν μικρότερους χρόνους ζωής.

Η αιολική ενέργεια μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο κύριες κατηγορίες, σε περιστρεφόμενους ανεμόμυλους με γρανάζια και ανεμόμυλους χωρίς γρανάζια. Οι γεννήτριες των ανεμομύλων έχουν υψηλή ταχύτητα περιστροφής, γεγονός που συνήθως οδηγεί σε μεγαλύτερη ανάγκη συντήρησης και κόστους αντίστοιχα. Από την άλλη πλευρά, οι τύποι γεννητριών περιλαμβάνουν κρίσιμα μέταλλα και σπάνιες γαίες.

Οι μόνιμοι μαγνήτες που βασίζονται σε στοιχεία σπανίων γαιών, παράγουν πολύ υψηλά μαγνητικά πεδία, έτσι ακόμη και οι συμπαγείς και οι γεννήτριες φωτός παράγουν υψηλή ροπή. Επομένως, οι γεννήτριες αυτές μπορούν να λειτουργούν με χαμηλές ταχύτητες περιστροφής και είναι κατάλληλες τόσο για ανεμόμυλους με και χωρίς γρανάζια.

7.2.1.4 Λοιπές εφαρμογές

Γενικότερα στη βιομηχανία τα κρίσιμα μέταλλα, άλλες φορές και σε συνδυασμό με τις σπάνιες γαίες χρησιμοποιούνται σε μια σειρά από πολλές τεχνολογικές εφαρμογές όπως κατά τη παραγωγή κραμάτων στην μεταλλουργία, σαν υλικά σε μαγνήτες και μαγνητικά μέσα εγγραφής, ως καταλύτες για της βιομηχανίες πετρελαίου και χημικών αλλά και ξηραντικοί παράγοντες για χρώματα και μελάνια, σε χρωστικές ουσίες και σε φωσφορίζουσα υλικά. Επίσης χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό και στην κοσμηματοποιία για την αύξηση της λάμπης των διαμαντιών και άλλων κρυστάλλων. Στη σιδηρουργία για παραγωγή και κατασκευή ανοξειδωτού ατσάλιου για οικοδομικές και άλλες χρήσεις, στην διαδικασία καθαρισμού του αέρα (air conditioning) σε κατασκευή υλικών διαφόρων τύπων όπως πολυμερικών υλικών, στη διαδικασία παραγωγής αλουμινίου και άλλων παρόμοιων εφαρμογών.



Εικόνα 19: Παραγωγική διαδικασία προϊόντων λιθίου σε επιμέρους εφαρμογές από κύρια ορυκτά
(Πηγή: *Saskia Ziemann, Marcel Weil, Liselotte Schebek. "Tracing the fate of lithium—The development of a material flow model", Resources, Conservation and Recycling. Vol. 63 (2012), pp. 26– 34.*)

Χρησιμοποιούνται σε πολλές οργανικές ενώσεις όπως παραγωγοί αρωματικών και φαρμακευτικών ουσιών αλλά ακόμη συμμετέχουν και στον ανθρώπινο οργανισμό σαν στοιχεία μέρος πολλών χημικών ενώσεων, όπως μέρη βιταμινών.

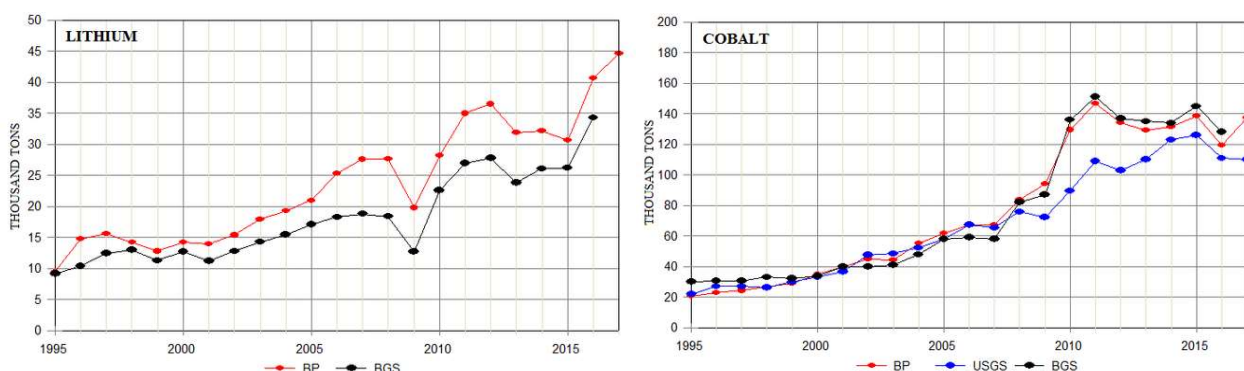
Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά το λίθιο, χρησιμοποιείται για τη θεραπεία και την πρόληψη επεισοδίων μανίας, όπως φρενίτιδα, ασυνήθιστα ενθουσιασμένη διάθεση, σε άτομα με διπολική διαταραχή αλλά είτε και μανιακή καταθλιπτική διαταραχή, που είναι μια ασθένεια που προκαλεί επεισόδια κατάθλιψης, επεισόδια μανίας αλλά και άλλες μη φυσιολογικές διαθέσεις. Το λίθιο ανήκει σε μια κατηγορία φαρμάκων που ονομάζονται αντι-μανιακοί παράγοντες.

8. Οικονομικά στοιχεία για κρίσιμα μέταλλα

8.1 Η Αγορά και Κατανάλωση κρίσιμων μετάλλων

Οι εναλλακτικές μορφές ενέργειας βρίσκονται για ένα σχετικά μικρό χρονικό διάστημα στην επικαιρότητα. Άρχισαν να λαμβάνονται σοβαρά υπόψιν, σε βιομηχανικό επίπεδο παραγωγής, μόλις την δεκαετία του 1990. Αυτή ήταν και η χρονιά που κυκλοφόρησαν σε βιομηχανικό επίπεδο οι πρώτες μπαταρίες λιθίου. Μετά από κάποια χρονική περίοδο προσαρμογής των τεχνολογικών εφαρμογών στη συγκεκριμένη τεχνολογία, από τότε ήταν που σταδιακά ξεκίνησε μια αύξηση της παραγωγής για χρήση κρίσιμων μετάλλων για κάλυψη στις νέες τεχνολογικές ανάγκες.

Στο Γράφημα 5, παρουσιάζονται οι ποσότητες (χιλιάδες μετρικούς τόνους) που χρησιμοποιήθηκαν από το 1995 έως το 2018, σύμφωνα με στατιστική έρευνα της BP (British Petroleum) και τα γεωλογικά ινστιτούτα USGS (United States Geological Survey) και BGS (British Geological Survey).



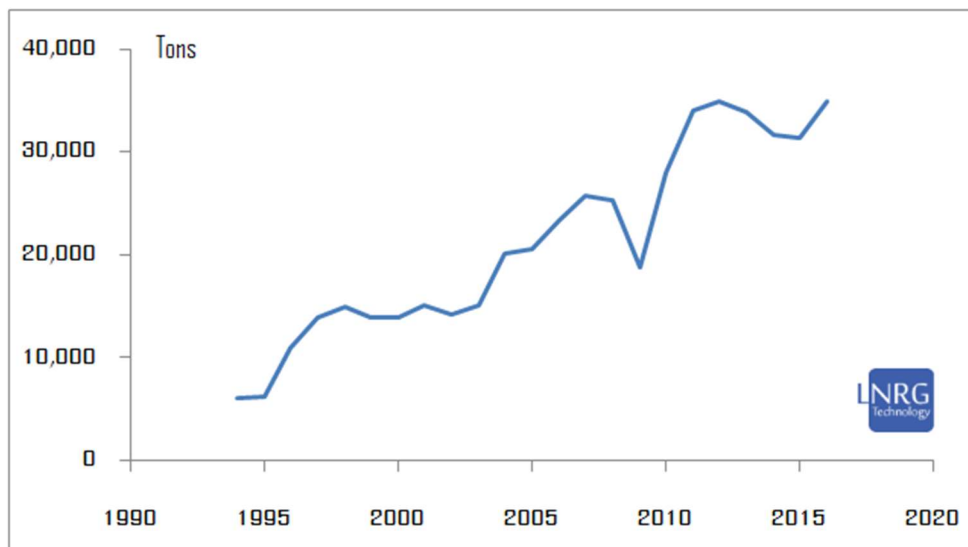
Γράφημα 5: Ετήσια παραγωγή Λιθίου και Κοβαλτίου τη περίοδο 1995-2018 από στατιστική μελέτη της BP, του αμερικανικού (USGS) και βρετανικού (BGS) γεωλογικού ινστιτούτου.

(Πηγή: <http://euanmearns.com/batteries-mine-production-lithium-and-the-cobalt-crunch/>)

Όπως παρατηρείται υπάρχει μια απόκλιση μεταξύ των οργανισμών που διεξήγαγαν την έρευνα και αυτό ίσως οφείλεται στις πηγές των δεδομένων που αντλήθηκαν για τη συγκεκριμένη έρευνα. Παρόλα αυτά οι περισσότεροι ερευνητές, όπως παραδείγματος χάριν οι Martin et al. (2017), λαμβάνουν υπόψιν τους τα δεδομένα του USGS. Τα συγκεκριμένα δεδομένα για το Λίθιο δεν εμφανίζονται στο Γράφημα 5 γι' αυτό παρατίθενται σε ξεχωριστά στο Γράφημα 6.

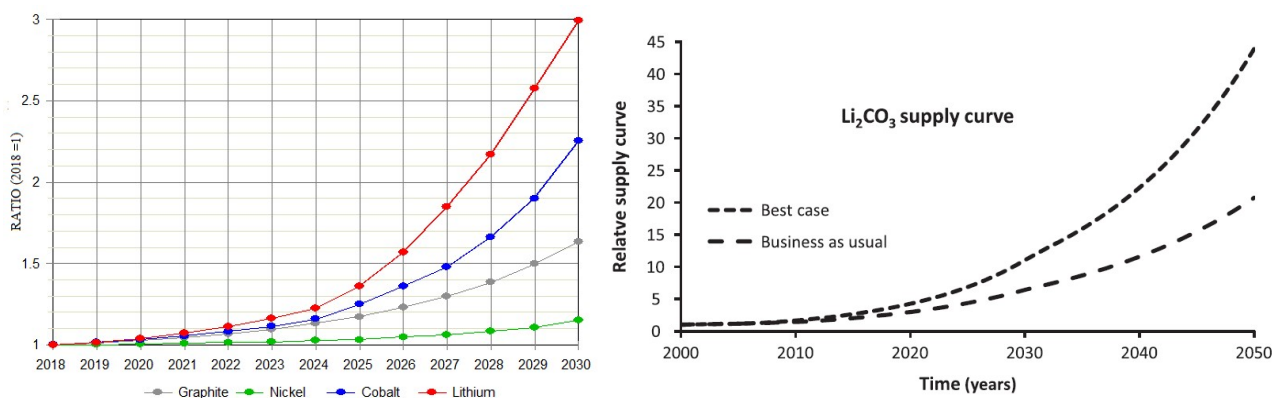
Σύμφωνα με την Αμερικανικό Γεωλογικό Ινστιτούτο (USGS), η παγκόσμια παραγωγή λιθίου εκτός των ΗΠΑ, έφτασε τους 35.000 μετρικούς τόνους το 2016 μια αύξηση της τάξεως του 12% σε σχέση με το 2015, αλλά εξακολουθεί να μην ξεπερνά την παραγωγή ρεκόρ το 2012. Αυτό πρέπει να προστεθεί με την μη αναφερόμενη παραγωγή των ΗΠΑ, η οποία είναι περίπου 870 μετρικοί τόνοι ετησίως

Συγκεκριμένα στο Γράφημα 6, περιλαμβάνει από την μέση ετήσια παραγωγή Λιθίου από το 1990 μέχρι το 2017.



Γράφημα 6: Ετήσια παραγωγή Λιθίου τη περίοδο 1995-2017 από στατιστική μελέτη του αμερικανικού (USGS) γεωλογικού ινστιτούτου.

(Πηγή: <https://www.inrg.technology/2017/10/31/lithium-production-prospects-2017/>)



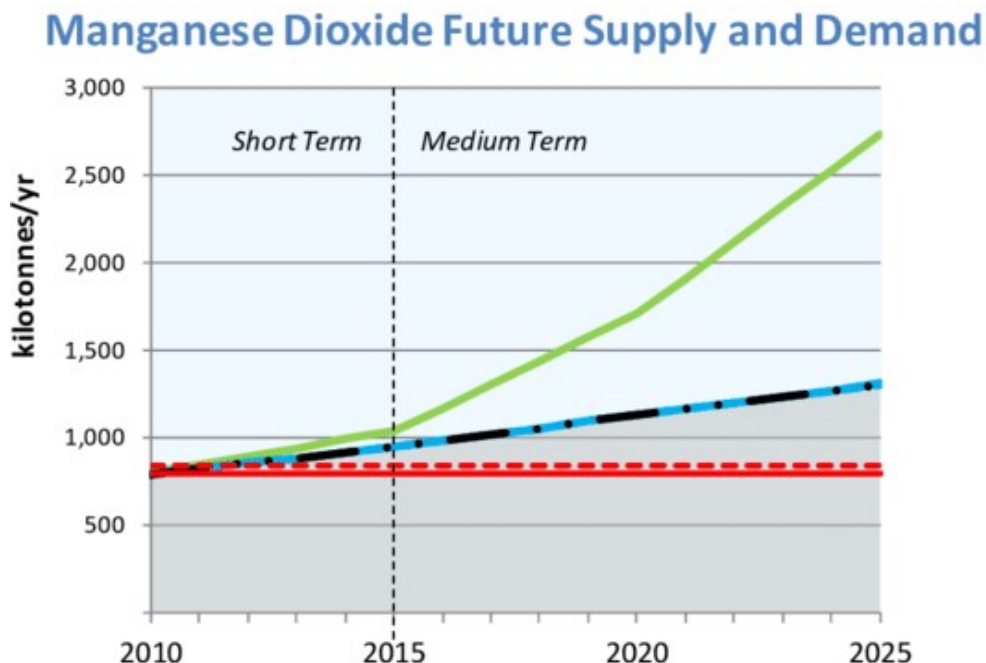
Γράφημα 7: Αναμενόμενη Ετήσια ζήτηση κρίσιμων μετάλλων τη περίοδο 2018-2035 (αριστερά) και Carbonate Λίθιο (δεξιά) για τη περίοδο 2000-2050.

(Πηγή: <http://euanmearns.com/batteries-mine-production-lithium-and-the-cobalt-crunch/> και [15])

Η παγκόσμια ζήτηση λιθίου το 2020 εκτιμάται σε περισσότερους από 37800 μετρικούς τόνους, παρουσιάζοντας μια δραματική ετήσια αύξηση άνω του 12% από τα προηγούμενα έτη, κυρίως λόγω της ταχείας επέκτασης των εγκαταστάσεων παραγωγής μπαταριών ιόντων λιθίου.

Αριστερά του Γραφήματος 7 γίνεται μια πρόβλεψη στη ζήτηση Νικελίου, Κοβαλτίου και Λιθίου για την περίοδο από το 2018 μέχρι το 2030, παρατηρείται ότι η ζήτηση των μετάλλων αυτών να εμφανίζει εκθετική αύξηση. Αντίστοιχα και δεξιά του Γραφήματος 7 εκθετική αύξηση παρουσιάζει και η ζήτηση του ανθρακικού λιθίου που παρουσιάζεται από το 2000 μέχρι το 2050 για δύο σενάρια ζήτησης, αυξημένης και τυπικής ζήτησης.

Παράλληλα στο Γράφημα 8, παρουσιάζεται το γράφημα ζήτηση παράλληλα και πρόβλεψης για την περίπτωση του Μαγγανίου.



Γράφημα 8: Ετήσια παραγωγή Μαγγανίου και πρόβλεψη για τη χρονική περίοδο από το 2010 μέχρι το 2025
(Πηγή: G. Giannopoulos, R. Salikhov, B. Zingsem, A. Markou, I. Panagiotopoulos, V. Psycharis, M. Farle and D. Niarchos. " Large magnetic anisotropy in strained Fe/Co multilayers on AuCu and the effect of carbon doping", APL Materials Vol. 3 (2015), 041103)

Στο Γράφημα 8, παρουσιάζεται και γίνεται και πρόβλεψη για τη χρονική περίοδο από το 2010 μέχρι στο 2025 για το Οξειδίο του Μαγγανίου, με κόκκινο παρουσιάζεται η προσφορά και με πράσινο η ζήτηση. Όπως γίνεται κατανοητό η αύξηση στις οποίες βρίσκει εφαρμογές αναμένεται από τους ερευνητές να οδηγήσει σε μη ικανοποίηση των αναγκών [16]. Παρόλα αυτά μέχρι στιγμής δεν έχουν παρατηρηθεί φαινόμενα έλλειψης, αλλά με τις νέες πολιτικές εναλλακτικών ενεργειών στο μέλλον υπάρχει περίπτωση να παρατηρηθούν φαινόμενα έλλειψης εφόσον δεν υπάρξει και ανάλογη δυνατότητα προσφοράς, είτε μέσω εξόρυξης αλλά και είτε μέσω της ανακύκλωσης.

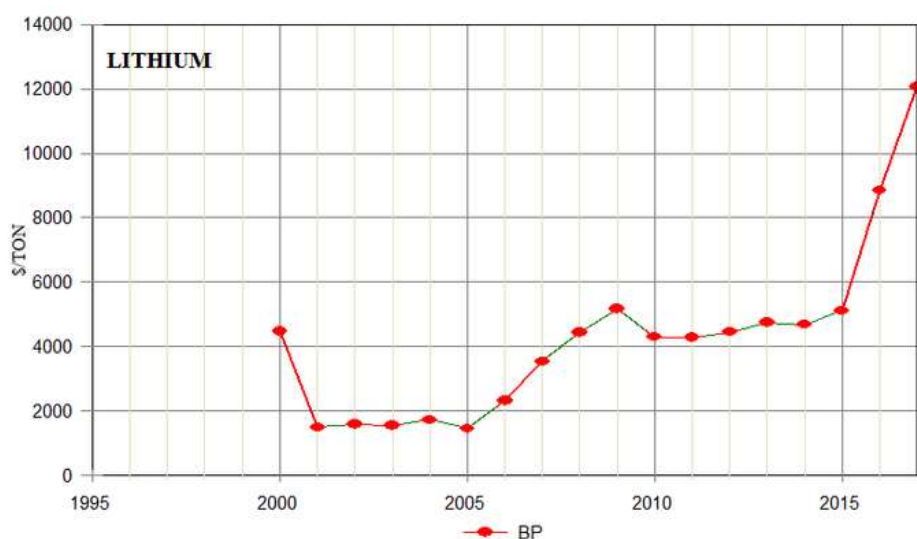
Παρόλα αυτά εφόσον αυτή η στροφή προς εναλλακτικές μορφές ενέργειας γίνει μέρος της καθημερινότητας και υπάρξει με τέτοια ενεργειακή μετάβαση, στοιχεία όπως τα κρίσιμα μέταλλα και οι σπάνιες γαίες θα είναι ζωτικής σημασίας προϊόντα για την βιομηχανία και την τεχνολογία και εν γένει για τις ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας.

8.2 Τιμές και προοπτικές αγοράς κρίσιμων μετάλλων

Σύμφωνα με Martin et al. (2017), αλλά και άλλους ερευνητές, από τα κρίσιμα μέταλλα οι ενώσεις που εμφανίζουν την υψηλότερη σημασία για παραγωγή εμπορεύσιμων προϊόντων είναι το Li_2CO_3 , με ποσοστό 46% το 2015 και μικρής αλλά αυξανόμενης σημασίας είναι το LiOH με ποσοστό 19%. Αυτές οι δύο ενώσεις λιθίου καλύπτουν περίπου τα 2/3 της αγοράς. Λόγω της ευρείας εφαρμογής όμως γενικότερα των κρίσιμων μετάλλων σε τεχνολογικές εφαρμογές μαζί και του ανθρακικού λιθίου αλλά και άλλων ενώσεων, που χρησιμοποιούνται σε τεχνολογικές εφαρμογές όπως LiFePO_4 , LiCoO_2 , LiMn_2O_4 , $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$. Οι τρέχουσες ερευνητικές δραστηριότητες για υλικά καθόδου ή ανόδου με βάση τα κρίσιμα μέταλλα ποικίλλουν, αλλά επιβεβαιώνουν την προτιμώμενη χρήση τους για αποθήκευση ενέργειας στο μέλλον.

Η αύξηση της ζήτησης τους απαιτεί εκτενή γνώση της κατάστασης των πρώτων υλών, καθώς και της τρέχουσας και της μελλοντικής προσφοράς και ζήτησης. Αυτό προϋποθέτει επίσης λεπτομερείς πληροφορίες για βιομηχανικές εφαρμογές σημαντικών ενώσεων κρίσιμων μετάλλων καθώς και πιθανά υποκατάστατα τους. Αυτές οι τάσεις της αγοράς είναι ζωτικής σημασίας όχι μόνο για βασικούς χρήστες και παραγωγούς, αλλά και για επιστήμονες με ερευνητικό υπόβαθρο πάνω στα κρίσιμα μέταλλα.

Στο Γράφημα 9, παρουσιάζονται η μέση ετήσια τιμή εξέλιξης για τη περίοδο 2000-2017 για το λίθιο, όπως αυτή καταγράφηκε από στατιστική μελέτη της BP.



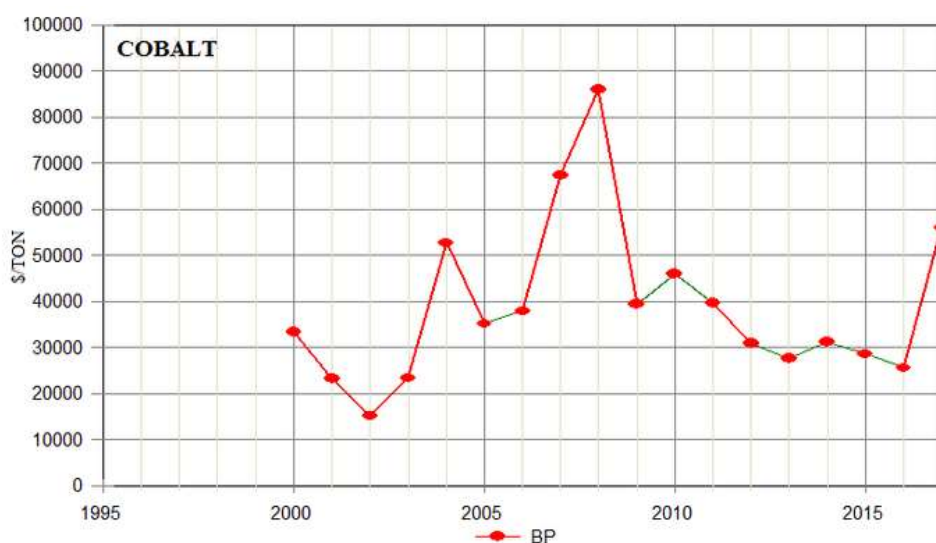
Γράφημα 9: Μέσες Ετήσιες τιμές Λιθίου και Κοβαλτίου τη περίοδο 2000-2017 από στατιστική μελέτη της BP (Πηγή: <http://euanmearns.com/batteries-mine-production-lithium-and-the-cobalt-crunch/>)

Λεπτομερείς μελέτες δημοσιεύονται ως επί το πλείστον σε εμπορικές αναφορές από εταιρείες (π.χ. "Λίθιο: Παγκόσμιες Αγορές και Προοπτικές" της Roskill) ή ακόμα και από τη παγκόσμια τράπεζα [17].

Ωστόσο δεν υπάρχει πλήρης δημοσιοποίηση των δεδομένων και των στοιχείων παρά μόνο μέσες τιμές με αποτέλεσμα να μην μπορεί να πραγματοποιηθεί εκτενής ανάλυση από τους ερευνητές. Αν και οι εμπορικές μελέτες είναι πραγματικά καλά ερευνημένες, υπάρχει ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών εκθέσεων, οι οποίες δεν έχουν ακόμη συγκεντρωθεί για μια εις βάθος μελέτη.

Η παρούσα εργασία στοχεύει όχι μόνο στην κάλυψη της επιστημονικής προόδου, αλλά και στη συζήτηση της εξέλιξης της αγοράς και των τιμών κρίσιμων μετάλλων και σπανίων γαιών.

Στο Γράφημα 10, παρουσιάζονται η μέση ετήσια τιμή εξέλιξης για τη περίοδο 2000-2017 για το κοβάλτιο, όπως αυτή καταγράφηκε από στατιστική μελέτη της BP.



Γράφημα 10: Μέσες Ετήσιες τιμές Κοβαλτίου τη περίοδο 2000-2017 από στατιστική μελέτη της BP
(Πηγή: <http://euanmearns.com/batteries-mine-production-lithium-and-the-cobalt-crunch/>)

Και στα δύο γραφήματα (Γράφημα 9 και Γράφημα 10), σύμφωνα με τα δημοσιοποιημένα δεδομένα της BP, οι μέσες ετήσιες τιμές λιθίου και κοβαλτίου για το 2017, αλλά και για το 2018-2019 εμφάνισαν αύξηση. Οι τιμές και για τα δύο προϊόντα δείχνουν ανοδική τάση, ενδεικτικά των ελλείψεων προσφοράς. Οι τιμές του λιθίου έχουν αυξηθεί από το 2005 και γενικότερα εμφανίζουν μια πιο φυσιολογική συμπεριφορά ανόδου. Ενώ για τις τιμές του κοβαλτίου το 2017, αλλά και το 2018 ήταν ακόμα χαμηλότερες από το ιστορικό υψηλό που σημειώθηκε το 2008.

Όσον αφορά το μέλλον, εφόσον οι τεχνολογικές ανάγκες αυξηθούν, συνεπακόλουθα θα υπάρξει και αύξηση της ζήτησης για κρίσιμα μέταλλα και σπάνιες γαίες, αυτή η αύξηση θα επιφέρει και αύξηση των τιμών, διότι σαν πρώτες ύλες αυτών των τεχνολογικών εφαρμογών είναι απαραίτητα. Ο μόνος τρόπος που θα μπορούσε να αποτρέψει την αύξηση των τιμών αυτών, είναι η αντικατάσταση τους από άλλα φθηνότερα υλικά, παραδείγματος χάριν δημιουργία μπαταριών ιόντων νατρίου, αλλά και τη χρήση βαναδίου [18] ή αύξηση της προσφοράς με τη δημιουργία νέων ορυχείων και διαδικασιών εξόρυξης.

IV. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΧΑΡΤΟΦΥΛΑΚΙΟΥ

9. Θεωρία Χαρτοφυλακίου

Ένα χαρτοφυλάκιο επενδύσεων (Portfolio Investment), εκφράζει την κυριότητα κατοχής μια σειράς χρηματοοικονομικών προϊόντων, όπως μετοχές (stocks), χρηματιστηριακά παράγωγα (derivatives ή commodities), εμπορεύσιμα αμοιβαία κεφάλαια (exchange traded funds, ETFs), ομόλογα (bonds), συνάλλαγμα σε ξένα νομίσματα (foreign exchange, Forex) και γενικότερα οποιοδήποτε εν δυνάμει εμπορεύσιμο προϊόν που μπορεί να διατεθεί προς αγορά ή πώληση σε παγκόσμιες αγορές δημοσίου ενδιαφέροντος (public interest).

Ο κάτοχος του χαρτοφυλακίου προσδιορίζεται ως επενδυτής (investor), διότι πραγματοποιεί μια οικονομική επένδυση με σκοπό την μελλοντική προσδοκία αύξησης της χρηματικής αξίας των περιουσιακών χρηματοοικονομικών στοιχείων που έχει στην κατοχή του, με τη πάροδο του χρόνου. Είναι λογικό, πως πολλές φορές η αύξηση της αξίας του χαρτοφυλακίου δεν είναι δεδομένη και μπορεί να επέλθει μείωση της, λόγω διαφόρων παραγόντων όπως κάποιου συστηματικού ή μη συστηματικού κινδύνου (systematic/unsystematic risk), αλλά και λάθος στρατηγικών αποφάσεων. Δεν είναι απαραίτητο ο διαχειριστής του χαρτοφυλακίου να είναι ο ίδιος ο επενδυτής, αλλά μπορεί να είναι και κάποιο άλλο εξουσιοδοτημένο πρόσωπο, όπως παραδείγματος χάριν κάποιος οικονομικός σύμβουλος (financial advisor), ο οποίος μπορεί να εκτελεί χρέη διαχειριστή (manager) και να έχει κάποιο σταθερό μισθό ή να πληρώνεται με κάποιο ποσοστό προμήθειας επί των κερδών (managerial fees/costs). Υπάρχει μια σειρά από χρηματοοικονομικούς οργανισμούς που ασχολούνται επαγγελματικά με την διαχείριση επενδυτικών χαρτοφυλακίων, είτε αποκλειστικά με αυτό αλλά είτε και σαν κομμάτι των δραστηριοτήτων τους (π.χ. Τράπεζες).

Εφόσον επιλεγθεί ο τρόπος διαχείρισης, το αμέσως επόμενο και πιο σημαντικό κομμάτι είναι η φιλοσοφία της επενδυτικής στρατηγικής (investment strategy) που θα ακολουθηθεί, μαζί με το είδος των χρηματοοικονομικών προϊόντων που θα επιλεγθούν για να επέλθουν στην κυριότητα του επενδυτή.

Όσον αφορά το κομμάτι της επενδυτικής στρατηγικής, καίριο είναι το αν θα ακολουθηθεί μια ενεργητική (tactical) ή μια παθητική (strategic) στρατηγική, δηλαδή αν ο διαχειριστής του χαρτοφυλακίου θα επιλέξει να κάνει μια σειρά από συνεχείς κινήσεις αγοροπωλησιών (διορθωτικές κινήσεις) για την συνεχή βελτιστοποίηση της αξίας του χαρτοφυλακίου λόγω των παραγόντων που επηρεάζουν την αξία του, έχοντας ένα μικρό χρονικά ορίζοντα επένδυσης ή αν θα επιλέξει μια παθητική στρατηγική, δηλαδή εφόσον καθοριστούν τα προϊόντα σύνθεσης του χαρτοφυλακίου, να εναποτεθεί η αξία του για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, στη συμπεριφορά (τάση) που θα

ακολουθήσουν οι παγκόσμιες αγορές, προσαρμόζοντας το μόνο με κάποιες μικρές διορθωτικές κινήσεις.

Όπως αναφέρεται από S. Papadamou (2002, 2008 και 2009), Bodie et. al. (2012), αλλά και άλλους ερευνητές, έχει παρατηρηθεί στην επιστημονική βιβλιογραφία ότι κερδοφόρα στρατηγική έναντι των δύο, είναι η παθητική στρατηγική και αυτό διότι υπό φυσιολογικές συνθήκες λόγω της προσδοκώμενης βελτιστοποίησης που επιδιώκουν όλες οι εταιρείες συνεχώς, η αξία τους μεγιστοποιείται, μεγιστοποιώντας συνεπακόλουθα και την αξία του χαρτοφυλακίου. Ενώ από την άλλη πλευρά οι επενδυτές που επιδιώκουν μια ενεργητική στρατηγική μικρού χρονικού ορίζοντα δεν εμφανίζουν το ίδιο ποσοστό αύξησης της αξίας του χαρτοφυλακίου τους, σε σχέση με τους πρώτους. Αν συμπεριληφθούν μάλιστα και τα έξοδα διαχείρισης καθώς και οι προμήθειες των συναλλαγών αλλά και η φορολόγηση τους, αυτό το κέρδος είναι σημαντικότερα μειωμένο.

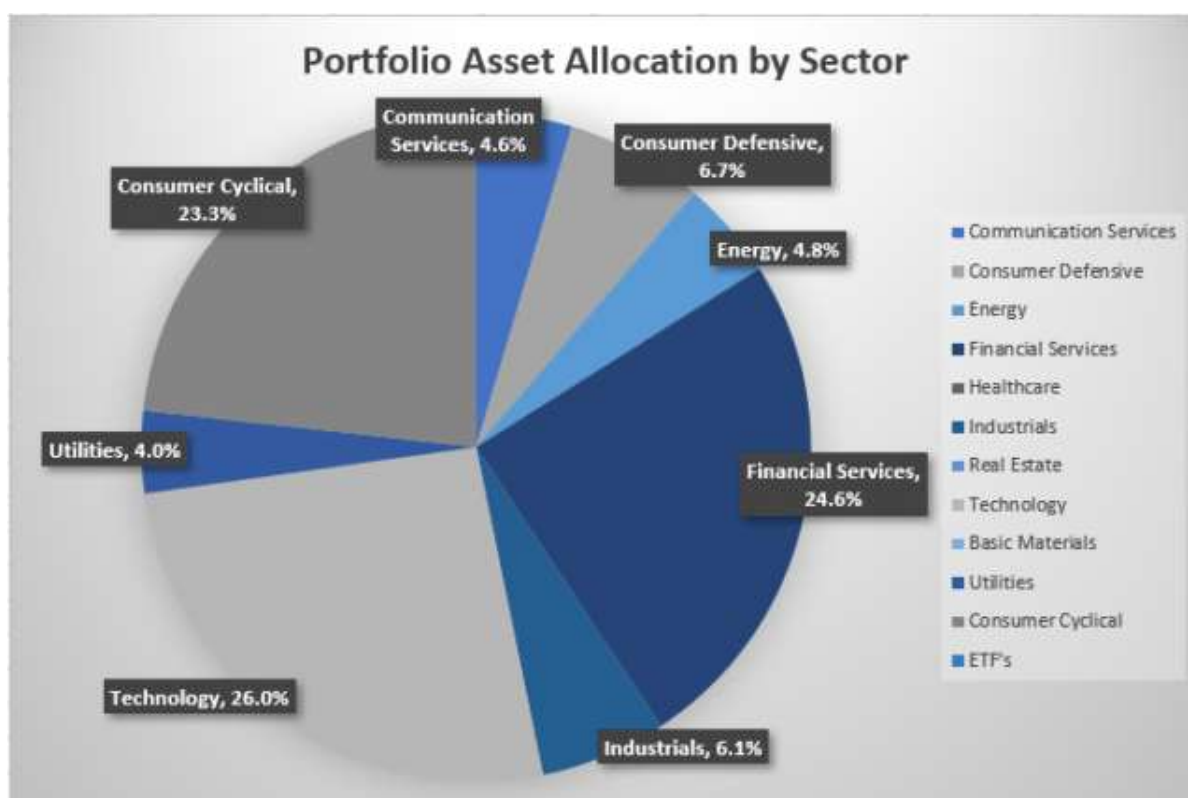
Το επόμενο κομμάτι είναι το κομμάτι των ειδών των χρηματοοικονομικών προϊόντων που συμπεριλαμβάνονται στο επενδυτικό χαρτοφυλάκιο. Ανάλογα με τα προϊόντα που το συνθέτουν (μετοχές, ομόλογα, παράγωγα κ.α.), υπάρχουν και διαφορετικά είδη τύπων χαρτοφυλακίου. Μια τυπική μορφή χαρτοφυλακίου είναι η δομή αποκλειστικά από μετοχές εταιρειών, όσο περισσότερα διαφορετικά προϊόντα προστίθενται τόσο το χαρτοφυλάκιο τείνει να χαρακτηρίζεται υβριδικό (Hybrid Portfolio), δηλαδή να συντίθεται από διαφορετικά μεταξύ τους χρηματοοικονομικά προϊόντα. Έπειτα μια περαιτέρω τμηματοποίηση μπορεί να γίνει και με τον τομέα επενδύσεων, δηλαδή τον επαγγελματικό/βιομηχανικό τομέα στον οποίο δραστηριοποιούνται τα προϊόντα που βρίσκονται σε κατοχή, όπως παραδείγματος χάριν τον τομέα της τεχνολογίας, τηλεπικοινωνιών, μεταλλουργίας, τραπεζικό τομέα, ιατρο-φαρμακευτικό, ενέργειας και άλλους τομείς.

Το φαινόμενο της ποικιλίας τομέων επενδύσεων αλλά και προϊόντων χαρακτηρίζεται ως διαφοροποίηση (diversification) και εκφράζει την ποικιλομορφία ενός επενδυτικού χαρτοφυλακίου. Σύμφωνα με Papadamou (2002), το φαινόμενο αυτό είναι ζωτικής σημασίας για τη σύγχρονη θεωρία χαρτοφυλακίου. Η διαφοροποίηση μπορεί να μειώσει το ρίσκο της επένδυσης και να ενισχύσει τις οικονομικές απολαβές (returns). Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, έχουν υπάρξει αρκετές έρευνες που αναλύουν τα προνόμια της διαφοροποίησης για τους διαχειριστές κεφαλαίων και τους επενδυτές γενικότερα, γι' αυτό και υπάρχει αυξημένο ενδιαφέρον όσον αφορά το συγκεκριμένο ζήτημα.

Τέλος, άλλος ένας σημαντικός παράγοντας στη συγκεκριμένη μορφή επένδυσης είναι και το προφίλ του επενδυτή, αν ο επενδυτής είναι ενημερωμένος σχετικά με ένα συγκεκριμένο τομέα, είτε λόγω επαγγέλματος, είτε λόγω ακαδημαϊκού ενδιαφέροντος μπορεί να διαφοροποιήσει ακόμη περισσότερο τα προϊόντα του σε επιμέρους τομείς που μπορεί για κάποιους επενδυτές μη σχετικούς πάνω στο συγκεκριμένο ζήτημα να είναι άγνωστοι. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει και το επενδυτικό προφίλ που μπορεί να έχει ένας επενδυτής, δηλαδή αν εμφανίζει συμπεριφορά έλξης ως προς τον κίνδυνο (risk seeking), είτε εμφανίζει συμπεριφορά αποστροφής ως προς τον κίνδυνο (risk averse).

Το επενδυτικό προφίλ, υπό την έννοια της επενδυτικής συμπεριφοράς, εκφράζει το τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίζει ο επενδυτής ή ο διαχειριστής ενός χαρτοφυλακίου τις επενδύσεις που διεξάγει και ανάλογα αυτού πολλές φορές, ενώ μπορεί να ακολουθούνται σωστές πρακτικές, εν τέλει το αποτέλεσμα να μην είναι το επιθυμητό.

Στην Εικόνα 20, παρουσιάζεται μια ενδεικτική δομή ενός διαφοροποιημένου υβριδικού χαρτοφυλακίου σε μορφή Pie Chart.



Εικόνα 20: Ενδεικτική δομή ενός υβριδικού διαφοροποιημένου χαρτοφυλακίου
(Πηγή: <https://seekingalpha.com/article/4337894-march-dividend-income-report-covidminus-19-portfolio-construction-guide>)

Όπως είναι κατανοητό δεν είναι απαραίτητο το χαρτοφυλάκιο να στρέφεται προς ένα συγκεκριμένο τομέα και ούτε τα ποσοστά επιλογής των τομέων αυτών να είναι ισομερώς κατανομημένα. Ο τρόπος με τον οποίο κατανέμονται τα ποσοστά που επενδύονται μπορεί να βασίζεται σε επιλογές που προκύπτουν, από μαθηματικούς υπολογισμούς όπως αυτούς της αποτελεσματικότητας (efficient frontier), σε απλούστερες επενδύσεις που επιλέγονται σύμφωνα με νοητικούς υπολογισμούς ή από σχετική δημόσια πληροφόρηση (διάσημες εταιρείες), αλλά ακόμα και σε πιο σύνθετους παράγοντες όπως για παράδειγμα με οικονομετρικά εργαλεία και άλλες τεχνικές μεθόδους. Εφόσον δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός ή προκαθορισμός ως προς τον τρόπο των επενδύσεων, μπορούν να διεξάγονται από τον καθένα που ενδιαφέρεται να πραγματοποιήσει μια επένδυση και η αποτελεσματικότητα της βασίζεται στο βάρος της ευθύνης των επιλογών του διαχειριστή/επενδυτή.

Στη παρούσα εργασία, πραγματοποιήθηκε η διερεύνηση σχηματισμού ενός υβριδικού χαρτοφυλακίου που συντάθηκε από μετοχές, χρηματιστηριακά παράγωγα (commodities), από εμπορεύσιμα αμοιβαία κεφάλαια και η επιλογή τους έγινε με βάση το τομέα απασχόλησης, δηλαδή για παράδειγμα επιλέχθηκαν εξορυκτικές εταιρείες σπανίων γαιών και κρίσιμων μετάλλων, εταιρείες κατασκευής αυτοκινήτων, τεχνολογιών μπαταρίας και άλλα κριτήρια.

Το κριτήριο διαφοροποίησης των επιλεγμένων προϊόντων βασίστηκε στη θεωρία της αποτελεσματικότητας ή αποδοτικού ορίου (Efficient Frontier), η μέθοδος αυτή εκφράζει το όριο στο οποίο προσφέρεται η υψηλότερη αναμενόμενη απόδοση βάσει ενός καθορισμένου, από τον επενδυτή, επιπέδου κινδύνου. Το επίπεδο αυτό μπορεί να είναι είτε υψηλό (high risk) είτε χαμηλό (low risk) αναλόγως το προφίλ του επενδυτή/διαχειριστή. Για την διαδικασία της εύρεσης της βέλτιστης κατανομής χαρτοφυλακίου με βάση τον κίνδυνο που καθορίζει ο επενδυτής, χρησιμοποιείται ο δείκτης Sharpe. Ο δείκτης Sharpe είναι ένας αριθμητικός δείκτης που βοηθάει τους επενδυτές στην κατανόηση των επενδυτικών αποδοχών (returns) σε σχέση με το ρίσκο που λαμβάνουν, ο τύπος αυτός έχει μορφή:

$$\text{Sharpe Ratio} = \frac{R_p - r_f}{\sigma_p} \quad (1)$$

Όπου, R_p είναι η απόδοση του χαρτοφυλακίου, r_f είναι το ποσοστό του ρίσκου που τίθεται από τον επενδυτή και σ_p είναι η τυπική απόκλιση των αποδόσεων του χαρτοφυλακίου. Το σημείο στο οποίο μεγιστοποιείται ο δείκτης Sharpe είναι το βέλτιστο χαρτοφυλάκιο με βάση την μεγιστοποίηση της μέσης τιμής των αποδόσεων με την μικρότερη τυπική απόκλιση [21,23].

Το αποδοτικό όριο γενικά είναι το σύνολο των βέλτιστων χαρτοφυλακίων που προσφέρουν την υψηλότερη αναμενόμενη απόδοση για ένα καθορισμένο επίπεδο κινδύνου ή τον χαμηλότερο κίνδυνο για ένα δεδομένο επίπεδο αναμενόμενης απόδοσης. Τα χαρτοφυλάκια που βρίσκονται κάτω από τα αποδοτικά σύνορα δεν είναι βέλτιστα επειδή δεν παρέχουν αρκετή απόδοση για το επίπεδο κινδύνου. Ενώ τα χαρτοφυλάκια που συσσωρεύονται δεξιά από τα αποδοτικά σύνορα δεν είναι βέλτιστα επειδή έχουν υψηλότερο επίπεδο κινδύνου για το καθορισμένο ποσοστό απόδοσης.

Στη συνέχεια θα σχολιαστεί το κάθε χρηματιστηριακό προϊόν ξεχωριστά και θα τεθούν οι βάσεις από τις οποίες πραγματοποιήθηκε η παρούσα μελέτη.

9.1 Μετοχές

Οι μετοχές (stocks) ή κοινές μετοχές (common stocks) είναι από τα πιο διάσημα επενδυτικά προϊόντα, εκφράζουν το μερίδιο κυριότητας που εμφανίζει ο κάτοχός της εταιρείας της οποίας αγόρασε το μερίδιο μέσω της μετοχοποίησης της. Η ίδια η εταιρεία είναι και αυτή που διοχετεύει τις μετοχές της στο χρηματιστήριο αξιών (Stock Exchange) το οποίο υπάγεται. Ο κάτοχος της μετοχής ή αλλιώς μέτοχος (Shareholder) μέσω της κίνησης αγοράς της μετοχής, πλέον είναι κάτοχος ενός μικρού ποσοστιαίου κομματιού/μεριδίου της εταιρείας αυτής, έχοντας και δικαίωμα ψήφου. Αυτή είναι και η κύρια διαφορά τους με τις προτιμώμενες μετοχές (preferred stocks), οι οποίες είναι ακριβότερες έναντι των κοινών μετοχών, οι κάτοχοι αυτών δεν έχουν δικαιώματα ψήφου, αλλά έχουν προτεραιότητα στη πληρωμή μερισμάτων, τα οποία είναι και ποσοστιαία μεγαλύτερα σε σχέση με τις κοινές.

Για την εισαγωγή μιας εταιρείας στο χρηματιστήριο θα πρέπει να ικανοποιούνται κάποια κριτήρια εισαγωγής, να πληροί τους βασικούς όρους εισαγωγής, να εφαρμόζει τα παγκόσμια λογιστικά πρότυπα, να υπόκειται σε φορολογικό έλεγχο από ορκωτό λογιστή κ.α. Εφόσον εισαχθεί η εταιρεία στο χρηματιστήριο έπειτα δημοσιοποιεί σε μορφή μετοχών ένα μέρος της με σκοπό τη συγκέντρωση κεφαλαίων για την χρηματοδότηση των αναγκών της. Από την άλλη πλευρά, οι μέτοχοι εισπράττουν μερίσματα επί των κερδών (dividends) τα οποία προκύπτουν από τις οικονομικές δραστηριότητες της στη διάρκεια του οικονομικού έτους και ως μέλη της εταιρείας τους δύνανται επιπλέον και η δυνατότητα είσπραξης κέρδους μέσω της πώλησης της μετοχής σε περίπτωση που ανέβει η αξία της.

Οι τιμές των μετοχών καθορίζονται από την προσφορά και τη ζήτηση που έχουν στη χρηματιστηριακή αγορά. Παραδείγματος χάριν η μειωμένη προσφορά και αυξημένη ζήτηση που μπορεί να έχει μια διάσημη εταιρεία, προκαλεί και αύξηση της τιμής της αξίας της. Ο υποψήφιος μέτοχος λόγω της αυξημένης επιθυμίας να επέλθει η συγκεκριμένη μετοχή στη κατοχή του, διότι εκτιμά περαιτέρω μελλοντική αύξηση της αξίας της, δύνανται να πληρώσει ένα μεγαλύτερο χρηματικό ποσό για την αγορά της. Αντίστοιχα με διαφορετική μεταβολή των συνθηκών προσφοράς και ζήτησης καθορίζεται με αυτό το τρόπο η τιμή μιας μετοχής.

Η αγοροπωλησία μετοχών πραγματοποιείται από φυσικά πρόσωπα, όπως traders ή brokers και οι συναλλαγές πραγματοποιούνται σε ειδικές ηλεκτρονικές πλατφόρμες συναλλαγών. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα των NYSE (New York Stock Exchange) και NASDAQ (National Association of Securities Dealers Automated Quotations), το πρώτο είναι ένα σύστημα δημοπρασιών που βασίζεται σε έναν αριθμό ειδικών χειριστών, ενώ το NASDAQ σε αντίθεση είναι μια αγορά εμπορικής φύσεως που οι συμφωνίες εκτελούνται μέσω υπολογιστή.

Οπότε πολύ σημαντικό είναι και το χρηματιστήριο στο οποίο θα τοποθετηθεί μια εταιρεία, αυτό που παρατήρησαν οι Baruch and Saar είναι ότι η ρευστότητα μιας μετοχής αυξάνεται όταν τοποθετείται σε ένα χρηματιστήριο όπου και άλλες εταιρείες ίδιας ή παρόμοιας φύσεως υπάρχουν σε

αυτό. Επακόλουθα αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ακόμη και η απόφαση τοποθέτησης από τους διαχειριστές (μάντζερ) των εταιρειών παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην ρευστότητα της εταιρείας. Επίσης και οι διαφορές στις προϋποθέσεις τοποθέτησης στο χρηματιστήριο φαίνεται τελικά να επηρεάζουν το μέλλον της εταιρείας, για παράδειγμα στις προϋποθέσεις για ένταξη στο NYSE μπορούν να ανταπεξέλθουν μόνο πολύ μεγάλου μεγέθους εταιρείες, ενώ το Nasdaq κατά ένα μεγάλο ποσοστό παρατηρείται ότι ελκύει μικρές start-up εταιρείες [25].

9.2 Παράγωγα

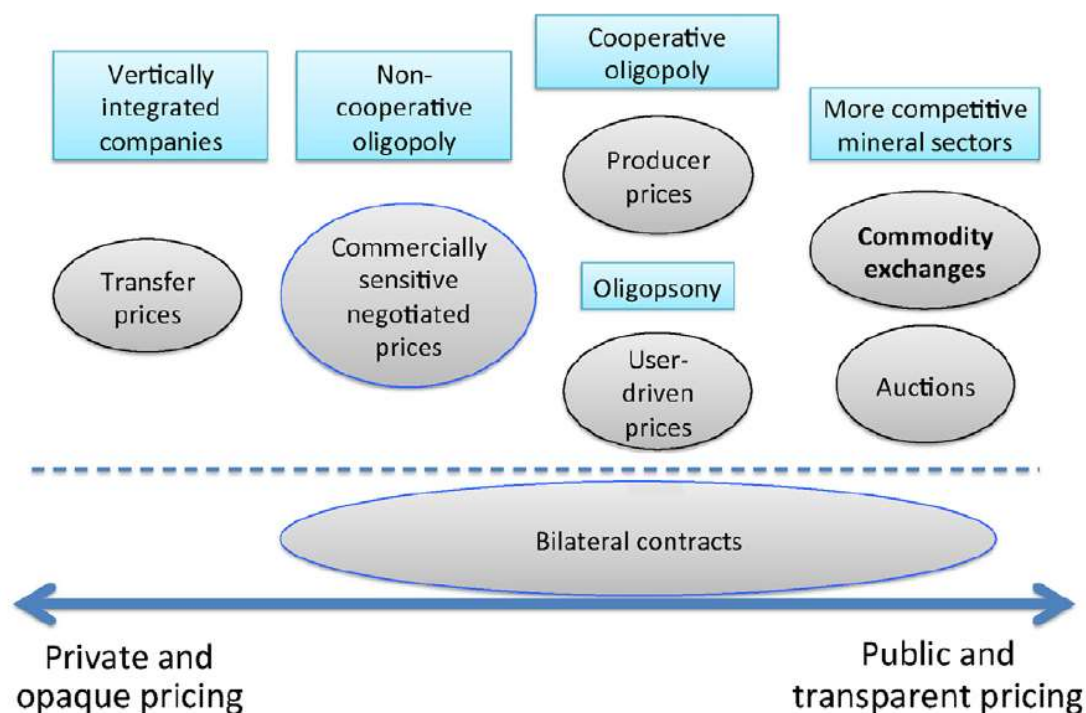
Σαν προϊόν, ο όρος παράγωγο (derivative) ή χρηματιστηριακό παράγωγο (financial derivative), κατηγοριοποιείται στην κατηγορία των χρηματοοικονομικών ασφαλειών (securities) και εκφράζει το προϊόν του οποίου η αξία, βασίζεται ή προέρχεται από ένα ή και περισσότερα περιουσιακά στοιχεία, που αποτελούν ως σημεία αναφοράς. Το ίδιο το παράγωγο αποτελεί μια μορφή σύμβασης μεταξύ δύο ή και περισσότερων μερών/μελών και η τιμή του εμφανίζει τη μορφή της διαδικασίας αιτίας-αιτιατού διότι αντλείται από τις διακυμάνσεις του υποκείμενου περιουσιακού στοιχείου.

Στο χρηματιστήριο ονομάζονται Options και Futures, μεταξύ τους έχουν τις ίδιες τιμές διαπραγμάτευσης απλά διαφέρει, ο τύπος εκπλήρωσης του συμβολαίου τους. Είναι χρηματιστηριακά προϊόντα (παράγωγα), που η αξία τους προκύπτει βάσει των υποκείμενων τίτλων που διαπραγματεύονται. Στη παρούσα εργασία μελετήθηκαν μια σειρά από παράγωγα κρίσιμων μετάλλων και σπανίων γαιών, που ανήκουν στην κατηγορία των commodities. Ένα συμβόλαιο προσφέρει στον ενδιαφερόμενο, την δυνατότητα αγοράς ή πώλησης, ανάλογα με τον τύπο της σύμβασης που κατέχει το υποκείμενο περιουσιακό στοιχείο [26]. Το πετρέλαιο για παράδειγμα, αφορά είτε την αγορά είτε την πώληση 1000 βαρελιών. Τα μέταλλα σε αντίθεση, λόγω της φύσης τους,πραγματεύονται είτε σε μετρικούς τόνους (metric tons ή tons) όπως το νεοδύμιο, είτε σε λίβρες (lbs.) όπως το κοβάλτιο, είτε σε ουγγιές (oz.) όπως ο χρυσός ή το παλλάδιο. Δηλαδή η ποσότητα διάθεσης τους στην αγορά καθορίζεται ανάλογα με την δυνατότητα προσφορά τους, τις ποσότητες που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές και τεχνολογικές εφαρμογές και την ποσότητα ζήτησης τους από τους επενδυτές.

Στην Εικόνα 21, παρουσιάζονται όλοι οι τρόποι με τους οποίους, ένα commodity συναλλάσσεται στη παγκόσμια αγορά, καθώς και τις μορφές αγοράς που υπάρχουν στο συγκεκριμένο είδος προϊόντων.

Η διαφορά των Options έναντι των Futures (συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης) είναι, ότι ο κάτοχος δεν έχει την υποχρέωση της αγοράς ή πώλησης του περιουσιακού στοιχείου στην λήξη του συμβολαίου, αν δεν επιθυμεί να πραγματοποιήσει την συγκεκριμένη συναλλαγή. Πιο συγκεκριμένα τα Options είναι χρηματιστηριακά παράγωγα που δίνουν στον αγοραστή το δικαίωμα, μα όχι την υποχρέωση, να αγοράσει ή να πουλήσει ένα υποκείμενο περιουσιακό στοιχείο σε μια συμφωνημένη

τιμή και ημερομηνία. Σε αντίθεση τα Futures είναι προϊόντα μελλοντικής εκπλήρωσης που ο κάτοχος τους είναι υποχρεωμένος να εκτελέσει τη συναλλαγή στη λήξη του συμβολαίου. Άλλα γνωστά παράγωγα εκτός των Options και Futures είναι τα Προθεσμιακά Συμβόλαια (Forwards) και Ανταλλάξιμα Συμβόλαια (Swaps) [26]. Στη παρούσα εργασία θα γίνει μελέτη των τιμών των συμβολαίων futures/option πάνω σε commodities σπανίων γαιών και κρίσιμων μετάλλων.



Εικόνα 21 : Συναλλακτικές περιπτώσεις commodities
(Πηγή: Philip Maxwell. "Transparent and opaque pricing: The interesting case of lithium",
Resources Policy. Vol. 45 (2015), pp. 92–97)

Ένας επενδυτής μπορεί να τοποθετηθεί με δύο τρόπους στην διαπραγμάτευση ενός συμβολαίου. Αυτές οι θέσεις είναι, η θέση Call, που επιτρέπει την αγορά ενός προϊόντος σε μία καθορισμένη τιμή συγκεκριμένου χρονικού πλαισίου και η θέση Put, που επιτρέπει την πώληση ενός προϊόντος που έχει κάποιος στην κατοχή του σε μια προκαθορισμένη τιμή σε ένα συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο. Οι δύο αντισυμβαλλόμενοι έχουν τη θέση του αγοραστή (long position) και του πωλητή (short position), χαρακτηρίζονται έτσι λόγω του χρονικού πλαισίου συναλλαγής. Κάθε συμβόλαιο έχει μια καθορισμένη ημερομηνία λήξης, στην οποία ο κάτοχος πρέπει να εκτελέσει την συναλλαγή του και η καθορισμένη τιμή αυτή ονομάζεται Strike Price, η συναλλαγή εκτελείται μέσω διαδικτυακών υπηρεσιών ή μέσω brokers [26].

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα παράδειγμα συναλλαγών ενός Option συμβολαίου (Πίνακας 6). Ενδεικτικά παρουσιάζεται η τιμή του δείκτη για τις 10/7/2020 που έκλεισε στα 40,56\$, άρα η τιμή

εξάσκησης καθορίζεται στα 40,50\$, έτσι για τιμές άνω και κάτω του δείκτη καθορίζονται αναλόγως οι τιμές.

Πίνακας 6: Ενδεικτικές τιμές Option Crude Oil για 10/07/20

ΕΠΙΠΕΔΟ ΟΡΤΙΟΝ (\$)	ΑΞΙΑ ΟΡΤΙΟΝ (Χ.Μ.)	ΘΕΣΗ
50,50	0,02	Call
48,50	0,03	
44,50	0,07	
42,50	0,22	
40,50	-	
38,50	0,28	Put
36,50	0,12	
32,50	0,04	
30,50	0,03	

Οι αξίες των συμβολαίων παρουσιάζονται σε χρηματικές μονάδες οι οποίες πολλαπλασιάζονται επί 1000\$. Έτσι αν για παράδειγμα αγοραστεί το συγκεκριμένο Option στο επίπεδο των 42,50\$, τότε η αξία του θα είναι για τον αγοραστή $0,22 \cdot 1000\$ = 220\$$.

Τώρα αν ο αγοραστής επιλέξει να πουλήσει το συγκεκριμένο δικαίωμα, τότε ο νέος αγοραστής (Παίκτης Α) θα δώσει 220\$ για την αγορά του, αν μέχρι την λήξη του συμβολαίου η τιμή του δείκτη ξεπεράσει τα 42,50\$ τότε ο νέος αγοραστής (Παίκτης Α) κερδίζει έναντι του πωλητή (Παίκτης Β) διότι αγοράζει πετρέλαιο φθηνότερα από την πραγματική τιμή, αλλιώς αν ο δείκτης δεν ξεπεράσει τα 42,50\$ τότε ο πωλητής (Παίκτης Β) του συμβολαίου κερδίζει διότι πουλάει πετρέλαιο ακριβότερα από την πραγματική τιμή και κερδίζει επί της διαφοράς.

Τέλος πολύ σημαντική είναι και η έννοια της διάκρισης της τιμής άσκησης ενός συμβολαίου έναντι της τρέχουσας τιμής (τιμή δείκτη). Αν συγκριθεί η τιμή άσκησης έναντι της τρέχουσας τιμής τότε υπάρχουν 3 κύριες περιπτώσεις. Η πρώτη περίπτωση που η τιμή άσκησης είναι ευνοϊκότερη από την τρέχουσα τιμή, τότε οι τιμές των συμβολαίων χαρακτηρίζονται in-the-money (καταχρηστικές), ενώ αν είναι δυσμενέστερη από την τρέχουσα χαρακτηρίζονται out-of-the-money, πάνω στο δείκτη ονομάζονται at-the money.

9.3 Διαπραγματεύσιμα Αμοιβαία Κεφάλαια (ΔΑΚ)

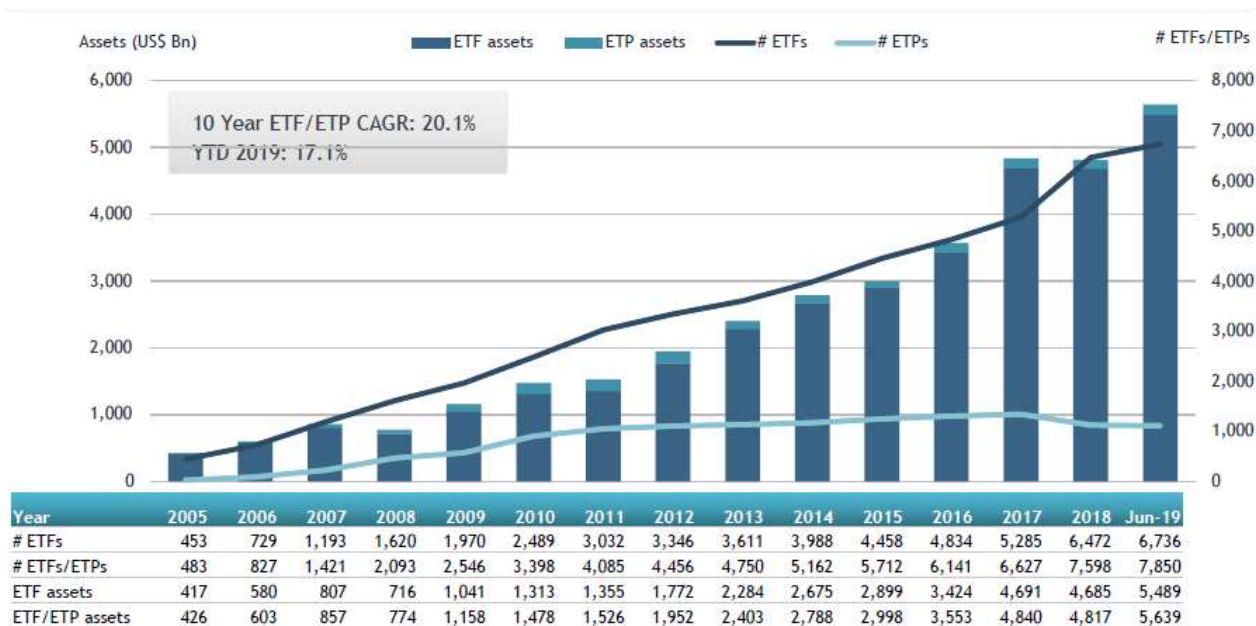
Τα Διαπραγματεύσιμα Αμοιβαία Κεφάλαια (ΔΑΚ) ή αλλιώς Αμοιβαία Κεφάλαια (Exchange Traded Funds, ETFs), αποτελούν μέρος της κατηγορίας των Διαπραγματεύσιμων Αμοιβαίων Προϊόντων ή Exchange Traded Products (ETPs). Χαρακτηρίζονται ως χρηματοοικονομικά προϊόντα τα οποία, η τιμή της αξίας τους καθορίζεται από την απόδοση των χρηματοοικονομικών τίτλων, όπως μετοχές, ομόλογα, παράγωγα, συνάλλαγμα και άλλα προϊόντα τα οποία εμπεριέχονται σε αυτά. Τα ETFs διαπραγματεύονται όπως οι μετοχές στο χρηματιστήριο και οι συναλλαγές τους πραγματοποιούνται και αυτών σε ηλεκτρονικές πλατφόρμες συναλλαγών [27].

Με μια απλοϊκή εξήγηση της φύσης τους, είναι έτοιμα επενδυτικά χαρτοφυλάκια, τα οποία η διαχείριση τους πραγματοποιείται από τους εκδότες τους και προσφέρονται σε μορφή προϊόντος. Ο εκάστοτε επενδυτής με την αγορά ενός ETF, επενδύει τα χρήματά του σε ένα χαρτοφυλάκιο κάποιου άλλου που επιδιώκει την συγκέντρωση κεφαλαίων για την αύξηση της αξίας του. Ουσιαστικά η συναλλαγή αυτή είναι μιας μορφής κοινής ωφέλειας, διότι και οι δύο αντισυμβαλλόμενοι επιδιώκουν το ίδιο αποτέλεσμα. Ο επενδυτής που επενδύει σε ETF (Παίκτης Α), αλλά και ο επενδυτής που επενδύονται χρήματα στο χαρτοφυλάκιο του και διανέμεται σε μορφή ETF (Παίκτης Β), επιδιώκουν αύξηση της αξίας του. Ο Παίκτης Β γιατί θέλει να διανέμει στην αγορά ένα προϊόν δημοφιλές που επιλέγεται για επένδυση, έτσι ώστε να αυξάνεται η ζήτηση του και να συλλέγει περισσότερα χρήματα και ο Παίκτης Α γιατί θέλει να ακολουθήσει μια σύνθετη μορφή παθητικής στρατηγικής, η οποία υποστηρίζεται από ένα μεγάλο επενδυτικό οίκο και προσφέρει την δυνατότητα να μη χρειάζεται μια συνεχής παρακολούθηση, διορθωτικές κινήσεις και διαφοροποίηση. Επίσης ένα πολύ σημαντικό γεγονός είναι ότι στα ETFs δεν συμπεριλαμβάνονται κόστος από τις διορθωτικές κινήσεις που πραγματοποιούνται από τους διαχειριστές τους και διανέμονται μερίσματα επί των κερδών στους επενδυτές τους. Πέρα από αυτό προσφέρεται στον επενδυτή η δυνατότητα είσπραξης κέρδους μέσω της πώλησης του αμοιβαίου κεφαλαίου σε περίπτωση που ανέβει η αξία του [27].

Τα περισσότερα ETFs προσομοιάζουν την κίνηση/τάση ενός υποκείμενου δείκτη και επιδιώκουν να τον αντιγράψουν. Αυτό που επιδιώκει κατά κύριο λόγο είναι, όταν ο δείκτης και οι αγορές ακολουθούν ανοδική τάση, να προσαυξάνει την αξία του με τις κατάλληλες διορθωτικές κινήσεις και σε περίπτωση καθοδικής τάσης, να μειώσει όσο περισσότερο είναι δυνατόν με διορθωτικές κινήσεις τις απώλειες. Τα αμοιβαία κεφάλαια γενικότερα μπορούν να υπόκεινται σε πολλούς και διαφορετικούς τομείς επένδυσης όπως τράπεζες, τομέας υγείας, ενέργειας, πολύτιμων μετάλλων, δείκτες, αλλά και επενδυτικά κεφάλαια που προτείνονται από τράπεζες και επενδυτικούς οίκους. Το πλαίσιο επένδυσης τους ελέγχεται από την ανεξάρτητη οικονομική αρχή και οι οίκοι που τα εκδίδουν είναι υποχρεωμένοι να δημοσιεύουν ενημερωτικό φυλλάδιο στο οποίο αναφέρουν, τη πορεία που είχε το χαρτοφυλάκιο κατά τη διάρκεια του οικονομικού έτους καθώς και τα προϊόντα στα οποία επενδύουν [28,29].

Πιο συγκεκριμένα τις μεγαλύτερες θέσεις τους, καθώς και το ποσοστό επένδυσης τους σε αυτές. Παρόλα αυτά οι διαχειριστές τους, δεν είναι υποχρεωμένοι να αναφέρουν όλες τις δραστηριότητες που πραγματοποιούνται για διόρθωση και τις διορθωτικές κινήσεις που πραγματοποιούνται σε ένα χρονικό διάστημα [27].

Στο Γράφημα 11, παρουσιάζεται η αύξηση των ποσοστών δημιουργίας και εμπορευσιμότητας των χρηματοοικονομικών προϊόντων ETFs και ETPs την τελευταία περίπου δεκαπενταετία.



Γράφημα 11: Ιστορική αύξηση των προϊόντων ETFs/ETP τη περίοδο 2005-2019s

(Πηγή: <https://etfgi.com/news/press-releases/2019/07/etfgi-reports-assets-invested-global-etf-and-etp-industry-reached>)

Όπως παρατηρείται από το Γράφημα 11, υπάρχει μια ποσοστιαία αύξηση της ποσότητας των ETFs από το 2005 μέχρι το 2019 της τάξεως του πάνω από 1350%, κάτι που υποδηλώνει ότι εμφανίζουν πολλή μεγάλη δημοτικότητα και προτιμώνται από ένα μεγάλο αριθμό επενδυτών σαν μια κερδοφόρα επένδυση. Αυτό υποδηλώνει ότι η δημιουργία καινούργιων προϊόντων είναι κερδοφόρα διαδικασία. Στο τέλος του Ιουνίου του 2019, ο παγκόσμιος κλάδος ETF είχε 6736 καταχωρίσεις και τα περιουσιακά στοιχεία άγγιζαν το ποσό των 5,64 τρισεκατομμυρίων δολαρίων, από 420 παρόχους σε 71 χρηματιστήρια 58 χωρών.

Β' ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

V. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

10. Ανάλυση Οικονομικών Χρονοσειρών

Με την έννοια Χρονοσειρά (Time Series) ή Μαθηματική Χρονοσειρά, νοείται μια ακολουθία διαδοχικής σειράς αριθμητικών σημείων (δεδομένων). Πιο συγκεκριμένα είναι μια σειρά στην οποία η μετρήσιμη μεταβλητή μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου. Δεν υπάρχει κάποιο χρονικό περιθώριο στη καταγραφή δεδομένων, αλλά είναι απαραίτητο η καταγραφή των δεδομένων να γίνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Τα χρονικά σημεία από τα οποία το ένα δεδομένο μπορεί να “απέχει” από το επόμενο, εξαρτάται από το φαινόμενο που μελετάται και το χρονικό περιθώριο που μπορούν να απέχουν μεταξύ τους, αυτό μπορεί να είναι από κλάσματα του δευτερολέπτου, δευτερόλεπτα, λεπτά μέχρι μήνες και χρόνια [30,31].

Υπάρχουν πολλά φαινόμενα μελέτης χρονοσειρών εν γένει στην επιστήμη. Γενικότερα χρησιμοποιούνται στη στατιστική, στην καταγραφή ηλεκτρικών σημάτων ή συχνοτήτων, στην ανάλυση καιρικών φαινομένων, στη καταγραφή σεισμικής δραστηριότητας, στα ηλεκτροεγκεφαλογραφήματα, στο τομέα επικοινωνιών, στα χρηματοοικονομικά μαθηματικά, σε δυναμικά φαινόμενα εφαρμοσμένης φυσικής (θερμοδυναμική κ.α.), στην αστρονομία (ηλιακές κηλίδες κ.α.) και γενικότερα σε φαινόμενα εφαρμοσμένης επιστήμης και μηχανικής, τα οποία απαιτούν περιοδική καταγραφή [36].

Στη παρούσα εργασία θα μελετηθούν οι ημερήσιες (daily) χρηματιστηριακές τιμές κλεισίματος χρηματιστηριακών παραγώγων (commodities), μετοχών και αμοιβαίων κεφαλαίων. Εκτενέστερα από αυτά τα τρία προϊόντα θα μελετηθούν οι τιμές κλεισίματος των παραγώγων σπανίων γαιών και κρίσιμων μετάλλων με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων τεχνικής ανάλυσης (MATLAB, Fractan). Πιο συγκεκριμένα θα μελετηθεί η δομή της εκάστοτε χρονοσειράς θα μελετηθούν φαινόμενα στασιμότητας, εποχικότητας, αυτοσυσχέτισης και μερικής αυτοσυσχέτισης και τέλος θα γίνει πρόβλεψη μελλοντικών τιμών με τη χρήση διαφόρων μοντέλων πρόβλεψης χρονοσειρών. Εκτενέστερα θα αναλυθούν οι αναφερόμενες μέθοδοι στις επόμενες ενότητες [37].

10.1 Στασιμότητα (Απαλοιφή Τάσης)

Η τάση εκφράζει, στη περίπτωση των χρηματοοικονομικών, τη συνολική κατεύθυνση μια αγοράς, μέσω τις γενικής μεταβολής των τιμών, ενός περιουσιακού στοιχείου. Αναλόγως τα φαινόμενα ζήτησης και προσφοράς προϊόντων στις χρηματοοικονομικές αγορές, η τάση παρατηρείται κατά κύριο λόγο σε δύο μορφές. Μπορεί να εμφανίζεται με τη μορφή της ανοδικής τάσης στη περίπτωση που

παρατηρείται μια μέση γενική αύξηση των τιμών με το πέρασ του χρόνου, παρά τις διακυμάνσεις. Με την μορφή της καθοδικής τάσης ή πτωτικής τάσης όταν παρατηρείται μια μέση γενική μείωση των τιμών, παρά τις διακυμάνσεις και σπάνια στα χρηματοοικονομικά, μόνο για μικρά χρονικά διαστήματα, παρατηρείται ούτε ανοδική ούτε καθοδική τάση και φαίνεται να μην υπάρχει κάποιο είδους τάσης, τότε χαρακτηρίζεται ως χωρίς τάση. Παρόλα αυτά στα χρηματοοικονομικά επειδή εξετάζονται σε μεγάλες χρονικές κλίμακες πάντα παρατηρείται μια από τις δύο μορφές τάσεων ή και οι δύο για μερικά κομμάτια του συνολικού χρονικού διαστήματος που μελετάται [34].

Για την μελέτη των χρηματοοικονομικών χρονοσειρών, απαραίτητη διαδικασία είναι η απαλοιφή της τάσης (detrending) μια οικονομικής χρονοσειράς, η διαδικασία αυτή μετατρέπει μια χρονοσειρά σε στάσιμη (stationary). Υπάρχουν διάφοροι τρόποι που μετατρέπουν μια δυναμική χρονοσειρά σε στάσιμη, όπως απαλοιφή τάσης με τη χρήση κινούμενου μέσου (moving average, MA), με τη χρήση πολυωνύμων (polynomial), με τη χρήση πρώτων διαφορών, πρώτων λογαριθμικών διαφορών και άλλων μεθόδων. Στη παρούσα εργασία η μέθοδος των πρώτων διαφορών εμφάνιζε ένα μεγάλο εύρος τιμών και γι' αυτό η μέθοδος που τελικά χρησιμοποιήθηκε ήταν εκείνη των πρώτων λογαριθμικών διαφορών, πιο συγκεκριμένα:

$$r(t) = \ln(P_t) - \ln(P_{t-\Delta t}) = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-\Delta t}}\right) \quad (2)$$

Όπου $r(t)$ η λογαριθμική διαφορά, απόδοση (return), με $P(t)$ τη τιμή κλεισίματος ενός προϊόντος το χρόνο t και $P(t - \Delta t)$ τη τιμή κλεισίματος ενός προϊόντος για τη χρονική υστέρηση. Η μέθοδος αυτή είναι ένα πρώτο βήμα για την απαλοιφή τάσης, παρόλα αυτά απαραίτητη είναι και η απαλοιφή της εποχικότητας, έτσι ώστε να γίνει πλήρης απαλοιφή τάσης [37].

10.2 Εποχικότητα (Περιοδικότητα)

Η εποχικότητα είναι μια έννοια που έχει αποδοθεί λόγω ενός χαρακτηριστικού που εμφανίζουν οι χρονοσειρές. Στις οικονομικές χρονοσειρές παρατηρούνται πολλές φορές στα δεδομένα κάποιες τακτικές και προβλέψιμες αλλαγές, οι οποίες επαναλαμβάνονται κάθε ημερολογιακό έτος. Οι αλλαγές αυτές μπορεί να είναι είτε ανοδικές, είτε καθοδικές και συμβαίνουν μια συγκεκριμένη εποχή. Δεν θα έπρεπε να συγχέεται με τις κυκλικές επιπτώσεις στην οικονομία, που αφορούν παραδείγματος χάριν αύξηση στις πωλήσεις που παρατηρούνται λόγω χαμηλών ποσοστών ανεργίας ή κάποιου φαινομένου παρόμοιας φύσεως, οι οποίες μπορούν να διαρκέσουν περιόδους μικρότερες ή και μεγαλύτερες ενός ημερολογιακού έτους και δεν εμφανίζουν το χαρακτηριστικό της περιοδικότητας και τακτικής επανάληψης, παρά μόνο ένα φαινόμενο αιτίας και αποτελέσματος.

Είναι πολύ σημαντικό να ληφθεί υπόψη η εποχικότητα, διότι οι επιπτώσεις της μπορεί να έχουν ένα σημαντικό αντίκτυπο στην αξία και στα κέρδη ενός επενδυτικού χαρτοφυλακίου. Μια εταιρεία που εμφανίζει υψηλότερες πωλήσεις μια συγκεκριμένη εποχή, μπορεί να αυξήσει σημαντικά τα κέρδη αυτές τις περιόδους αιχμής και συνεπακόλουθα να μεγιστοποιήσει την αξία της. Επίσης λόγω της φύσης της δραστηριότητας των εταιρειών, πολλές φορές επηρεάζονται από εποχιακούς παράγοντες, όπως για παράδειγμα ο τομέας του τουρισμού που εξαρτάται από το καιρό και τις διακοπές.

Λαμβάνοντας υπόψιν αυτούς τους παράγοντες, μπορεί να ληφθεί μια ευκρινέστερη εικόνα της αγοράς για το πως κινείται η οικονομία, προσαρμόζοντας τις αναλύσεις βάσει αυτών των παραγόντων.

10.3 Αυτοσυσχέτιση & Μερική Αυτοσυσχέτιση

Η Αυτοσυσχέτιση (Autocorrelation) και Μερική Αυτοσυσχέτιση (Partial Autocorrelation) είναι μαθηματικές διαδικασίες που εκφράζουν τον βαθμό ομοιότητας που εμφανίζει μια χρονοσειρά σε σχέση με μια καθυστερημένη εκδοχή της, για διαδοχικές χρονικές υστερήσεις. Σαν διαδικασία ομοιάζει αυτή της συσχέτισης με τη διαφορά αντί να συσχετίζονται δυο διαφορετικές χρονοσειρές, συσχετίζεται η ίδια χρονοσειρά με τον εαυτό της για μια ή παραπάνω χρονικές υστερήσεις. Μια φορά στην αρχική μορφή της και μετά ανάλογα με τον αριθμό των παρελθοντικών βημάτων που θέτονται υπό μελέτη υπολογισμού.

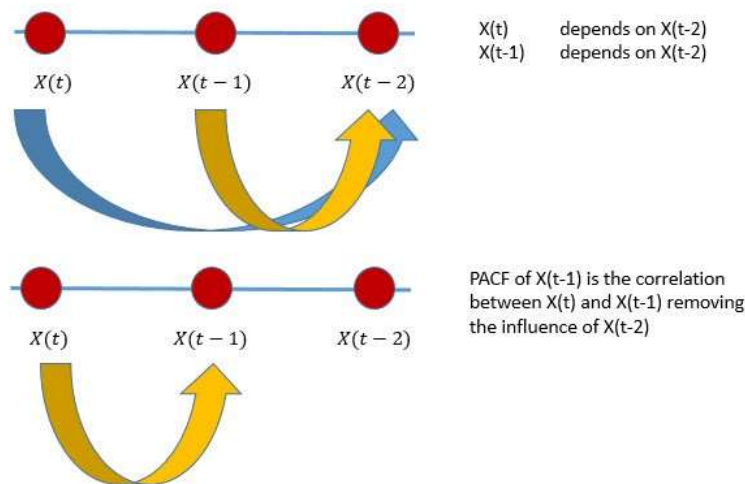
Ο αριθμός της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης (Autocorrelation Function, ACF) ποσοτικοποιεί το βαθμό της ομοιότητας δύο χρονικά εξαρτώμενων μεταβλητών, της αρχικής χρονοσειράς έναντι της καθυστερημένης εκδοχής της και υπολογίζεται ως εξής:

$$ACF_{(Y_i, Y_{i-t})} = \rho_{i, i-t} = \frac{\langle Y_i Y_{i-t} \rangle - \langle Y_i \rangle \langle Y_{i-t} \rangle}{\sqrt{(\langle Y_i^2 \rangle - \langle Y_i \rangle^2)(\langle Y_{i-t}^2 \rangle - \langle Y_{i-t} \rangle^2)}} \quad (3)$$

Όπου i η ετικέτα της εξεταζόμενης χρονοσειράς και $i-t$ η ετικέτα της καθυστερημένης εκδοχής της, $Y_i = \ln P_i(t)$, με $P_i(t)$ τη τιμή κλεισίματος της μετοχής i . Οι τιμές που μπορεί να πάρει ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης κυμαίνονται μεταξύ του -1 και του 1 ($-1 \leq \rho_{i, i-t} \leq 1$) [37,38].

Η μερική αυτοσυσχέτιση προσομοιάζει σαν διαδικασία αυτή της αυτοσυσχέτισης με τη διαφορά ότι υπολογίζει τη συσχέτιση που μπορεί να εμφανίζει μια χρονοσειρά με τη καθυστερημένη εκδοχή της, απαλείφοντας την επιρροή των μεταξύ τους βημάτων, αυτό βέβαια ισχύει για βήματα μεγαλύτερα της μια χρονικής υστέρησης και αυτό διότι για ένα μόνο βήμα χρονικής υστέρησης δεν υπάρχει κάποια προηγούμενη χρονική υστέρηση που να επηρεάζει το αποτέλεσμα της αυτοσυσχέτισης. Πιο συγκεκριμένα, αν γίνει η μελέτη της αυτοσυσχέτισης της χρονοσειράς για δύο χρονικές υστερήσεις τότε στη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης, υπολογίζεται και η επιρροή που μπορεί να εμφανίζει η παρούσα

χρονική υστέρηση στη παρελθοντική στιγμή, ενώ στη συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης (Partial Autocorrelation Function, PACF) η επιρροή αυτή απαλείφεται. Στην Εικόνα 22, παρουσιάζεται οπτικώς η παραπάνω διαδικασία:



Εικόνα 22: Η διαφορά μεταξύ Αυτοσυσχέτισης και Μερικής Αυτοσυσχέτισης

(Πηγή: <https://medium.com/analytics-vidhya/5-steps-to-get-an-understanding-on-correlation-auto-correlation-and-partial-auto-correlation-e71f6b4bba81>)

Όπως είναι κατανοητό, η απαλοιφή της επιρροής των προηγούμενων υστερήσεων στη παρούσα στιγμή μελέτης γίνεται μέσω της συνάρτησης μερικής αυτοσυσχέτισης, η οποία υπολογίζεται ως εξής:

$$PACF_{(Y_i, Y_{i-t})} = \frac{Covariance(Y_i, Y_{i-t} | Y_{i-1}, Y_{i-2}, \dots, Y_{i-t+1})}{\sigma_{Y_i | Y_{i-1}, Y_{i-2}, \dots, Y_{i-t+1}} \cdot \sigma_{Y_{i-t} | Y_{i-1}, Y_{i-2}, \dots, Y_{i-t+1}}} \quad (4)$$

Όπου $Covariance(Y_i, Y_{i-t} | Y_{i-1}, Y_{i-2}, \dots, Y_{i-t+1})$, η συνδιακύμανση της χρονοσειρά έναντι της καθυστερημένης εκδοχής της, διαιρεμένη από τις τυπικές αποκλίσεις ($\sigma_{Y_i | Y_{i-1}, Y_{i-2}, \dots, Y_{i-t+1}}, \sigma_{Y_{i-t} | Y_{i-1}, Y_{i-2}, \dots, Y_{i-t+1}}$). Αντίστοιχα όπως και στην αυτοσυσχέτιση η συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης μπορεί να πάρει τιμές μεταξύ του -1 και 1.

Η κατανόηση της αυτών των διαδικασιών είναι πολύ χρήσιμη στην τεχνική ανάλυση που ασχολείται με τις τάσεις και τις σχέσεις μεταξύ των τιμών στα οικονομικά. Οι τεχνικοί αναλυτές χρησιμοποιώντας αυτές τις σχέσεις μπορούν να δουν το αντίκτυπο που έχουν κάποιες προηγούμενες τιμές στο καθορισμό της παρούσας τιμής, με σκοπό να προβλέψουν μελλοντικές. Παραδείγματος χάριν αν μια τιμή έχει ιστορικά υψηλή θετική τιμή και εμφανίζει κέρδη τις τελευταίες μέρες, τότε αναμένεται ότι οι μελλοντικές κινήσεις αυτές θα είναι θετικές και θα ταιριάζουν με αυτές των καθυστερημένων τιμών.

11. Θεωρητικά Μοντέλα Προβλέψεων

Μετά την διαδικασία ανάλυσης των οικονομικών χρονοσειρών μέσω του προγράμματος MATLAB (R2015a), πραγματοποιήθηκε πρόβλεψη μελλοντικών τιμών με τη χρήση τριών μοντέλων προβλέψεων.

Των αυτοπαλίνδρομων μοντέλων ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) που εφόσον καθορίστηκαν οι απαραίτητες παράμετροι, έγινε πρόβλεψη μελλοντικών τιμών με βάση αυτές.

Έπειτα της προσομοίωσης Monte Carlo (Monte Carlo Simulation), στο οποίο μοντέλο έγινε μια σειρά από προσομοιώσεις μαθηματικών διαδικασιών που βασίζονται στη μέθοδο Monte Carlo και υπολογίστηκαν οι μέσες τιμές των εκάστοτε προσομοιώσεων για το καθορισμό των μελλοντικών τιμών μέσα στο ορισμένο διάστημα εμπιστοσύνης.

Και τέλος έγινε πρόβλεψη με την χρήση Νευρωνικών Δικτύων (Neural Networks), στα οποία εφόσον πραγματοποιήθηκε μελέτη των χρονοσειρών μέσω του προγράμματος Fractan και του MATLAB και υπολογίστηκαν οι απαραίτητες παράμετροι, τέλος πραγματοποιήθηκαν προβλέψεις μελλοντικών τιμών στο MATLAB.

Στη συνέχεια παρατίθεται το θεωρητικό υπόβαθρο των παραπάνω πειραματικών διαδικασιών πρόβλεψης.

11.1 Αυτοπαλλίνδρομα Μοντέλα (ARIMA)

Τα αυτοπαλίνδρομα μοντέλα γενικότερα, στη συγκεκριμένη περίπτωση Αυτοπαλίνδρομα Μοντέλα Ολοκληρωμένου Κινούμενου Μέσου Όρου (Autoregressive Intergrated Moving Average, ARIMA), είναι μοντέλα στατιστικής ανάλυσης και απλούστερου αλγορίθμου μηχανικής μάθησης, τα οποία χρησιμοποιούν δεδομένα χρονοσειρών, με σκοπό τη καλύτερη κατανόηση της δομής τους και επίσης τη πρόβλεψη μελλοντικών τιμών και μελλοντικών τάσεων.

Τα συστατικά που συνθέτουν ένα μοντέλο ARIMA, είναι τα εξής:

Το μέρος Autoregression (AR), το οποίο αφορά μια μεταβλητή, η οποία παλινδρομείται με μια καθυστερημένη εκδοχή της, δηλαδή προηγούμενων τιμών της.

Το μέρος Integrated (I), το οποίο αντιπροσωπεύει τον αριθμό υστερήσεων των ανεπεξέργαστων δεδομένων που επέρχονται στη χρονοσειρά, με σκοπό να μετατραπεί σε στάσιμη. Να τονισθεί ότι σε μια χρονοσειρά που ήδη έχει μετατραπεί σε στάσιμη, τότε αυτός ο όρος δεν λαμβάνεται υπόψη.

Και τέλος, το μέρος Moving Average (MA), το οποίο ενσωματώνει την εξάρτηση που εμφανίζει μια παρατήρηση μεταξύ ενός υπολειπόμενου σφάλματος (residual), που έχει εφαρμοστεί από το μοντέλο MA σε καθυστερημένες παρατηρήσεις.

Κάθε μέρος ενός μοντέλου ARIMA λειτουργεί με μια συγκεκριμένη παράμετρο που έχει τη δική της σημειογραφία. Πιο συγκεκριμένα για το μέρος AR χρησιμοποιείται η παράμετρος p και αναγράφεται ως $AR(p)$, το μέρος I με παράμετρο d και αναγράφεται ως $I(d)$ και το μέρος MA με παράμετρο q και αναγράφεται ως $MA(q)$.

Συνολικά η ολοκληρωμένη εξίσωση, όπως αναφέρεται στο García et. al. (2018), ενός μοντέλου $ARIMA(p, d, q)$, έχει μορφή:

$$\left(1 - \sum_{i=1}^p \phi_i \cdot L^i\right) \cdot Y_t = \left(1 - \sum_{i=1}^p \phi_i \cdot L^i\right) \cdot (1 - L)^d \cdot X_t = \left(1 + \sum_{i=1}^q \theta_i \cdot L^i\right) \cdot \varepsilon_t \quad (5)$$

Όπου,

- ϕ_i η παράμετρος του αυτοπαλίνδρομου μέρους (AR) του μοντέλου.
- L ο συντελεστής υστέρησης (Lag Operator).
- Y_t είναι τα δεδομένων των παρατηρήσεων.
- X_t είναι μια χρονοσειρά με δεδομένα, όπου t ο ακέραιος δείκτης των δεδομένων χρονοσειράς.
- θ_i είναι η παράμετρος του κινούμενου μέσου.
- ε_t είναι ο συντελεστής λευκού θορύβου, δηλαδή η διασπορά του συντελεστή και είναι ανεξάρτητος εμφανίζοντας μοναδική διακύμανση.

Οι παράμετροι (p, d, q) , καθορίζονται μέσα από την ανάλυση της χρονοσειράς και συγκεκριμένα εκφράζουν:

Η παράμετρος p εκφράζει τον αριθμό των υστερήσεων (time lags) του αυτοπαλίνδρομου μοντέλου, προκύπτει από την συνάρτηση αυτοσυσχέτισης.

Η παράμετρος d εκφράζει το βαθμό υστέρησης (degree of differencing) ή βαθμό διαφοροποίησης, δηλαδή πόσες φορές εφαρμόστηκαν οι διαφορές με σκοπό τη μετατροπή της χρονοσειράς σε στάσιμη.

Και η παράμετρος q εκφράζει το βαθμό του μοντέλου κινούμενου μέσου, που προκύπτει από την συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης.

Πρέπει να τονισθεί στο συγκεκριμένο σημείο, γενικότερα στα μοντέλα ARIMA όταν μια παράμετρος από τις (p, d, q) τίθεται να είναι μηδενική, αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο κομμάτι μοντέλου που συντίθεται μέσω αυτής, δεν πρέπει να χρησιμοποιείται στο μοντέλο. Με αυτό το τρόπο ανάλογα ποια από τις τρεις παραμέτρους καθορίζεται μηδενική τότε προκύπτουν και τα ανάλογα μοντέλα ARIMA, τα οποία μπορούν να κατασκευάσουν "απλούστερα" μοντέλα όπως AR, MA και ARMA [36,37,39].

11.2 Προσομοίωση Monte Carlo

Η προσομοίωση Monte Carlo (Monte Carlo Simulation), είναι μια διαδικασία που μοντελοποιεί τη πιθανότητα διαφορετικών αποτελεσμάτων σε μια διαδικασία, στη συγκεκριμένη περίπτωση χρονοσειρά, που δεν μπορεί εύκολα να γίνει πρόβλεψη της, λόγω παρεμβολής τυχαιών μεταβλητών σε αυτήν. Επίσης επιτρέπει τον υπολογισμό του διαστήματος ασφαλείας με σκοπό την κατανόηση της επίδρασης του κινδύνου και της αβεβαιότητας, προσομοιώνοντας μια σειρά πολλαπλών πιθανολογικών σεναρίων.

Η ονομασία "Monte Carlo" δόθηκε από τον ελληνοαμερικανό φυσικό Nicolas Metropolis, όταν ήταν συνάδελφος τη δεκαετία του 1950 με μια ομάδα επιστημόνων, συμπεριλαμβανομένων των John von Neumann και Stanislaw Ulam, οι οποίοι ανέπτυξαν αρχικά σε πρώτο στάδιο αυτή τη μέθοδο, και αστειεύτηκε για την αγάπη του θείου του Ulam, για το καζίνο του Μόντε Κάρλο, το οποίο επισκεπτόταν συχνά. Η μέθοδος Monte Carlo είναι μια κατηγορία από υπολογιστικούς αλγόριθμους που βασίζονται στην επαναλαμβανόμενη τυχαία δειγματοληψία για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων τους [40].

Η προσομοίωση Monte Carlo, βρίσκει εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα επιστημών σε πολλούς διαφορετικούς τομείς και χρησιμοποιείται συχνά από τους ερευνητές ως μια μέθοδος προσέγγισης πραγματικών προβλημάτων, προσομοιώνοντας πολλαπλές πιθανότητες. Βάση της διαδικασίας λειτουργίας της, αποτέλεσε η κίνηση Brown που παρατηρήθηκε το 1827 από τον βοτανολόγο Robert Brown και περίπου 80 χρόνια αργότερα το 1905, δημοσιεύτηκε σε εργασία από τον Albert Einstein όπου μοντελοποίησε την κίνηση των μορίων γύρης στο νερό και έδωσε την ονομασία "Κίνηση Brown" (Brownian Motion). Αργότερα πειραματικά αποδείχθηκε από τον Jean Perrin, λαμβάνοντας με αυτό το τρόπο το Nobel Φυσικής το 1926, για τη μελέτη του πάνω στη δομή της ύλης.

Στη διαδικασία των χρονοσειρών, η Προσομοίωση Monte Carlo βασίζεται στη Γεωμετρική Κίνηση Brown (Geometric Brownian Motion, GBM), επίσης γνωστή και ως εκθετική κίνηση Brown. Είναι μια συνεχούς χρόνου στοχαστική διαδικασία, όπου στοχαστική νοείται μια διαδικασία στην οποία το προηγούμενο με το επόμενο βήμα είναι μια διαδικασία τυχαιού βήματος (Random Walk) και μεταξύ τους δεν εμφανίζουν καμία μορφή εξάρτησης και αιτιότητας. Στη συγκεκριμένη περίπτωση γίνεται μια διαδικασία στην οποία ο αλγόριθμος των τυχαιών μεταβλητών ακολουθεί μια κίνηση Brown (αλλιώς ονομάζεται και διαδικασία Wiener) και παράγει ένα νέο βήμα (τιμή) το οποίο κάθε φορά μετατοπίζεται κατά μια θέση στον άξονα του χρόνου.

Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται ανάλογα με τον αριθμό των προσομοιώσεων που τίθενται για να τρέξει ο αλγόριθμος. Στη ουσία μια διαδικασία υπολογισμού των μελλοντικών βημάτων είναι μια "προσομοίωση" και η επανάληψη της διαδικασίας με καινούργια αποτελέσματα, είναι μια καινούργια προσομοίωση. Δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός όσον αφορά τον αριθμό των προσομοιώσεων και ο αριθμός τους θέτεται από τους ερευνητές ανάλογα το πρόβλημα που

αντιμετωπίζουν, αλλά και τους τεχνολογικούς περιορισμούς που μπορεί να έχει ο υπολογιστής που πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί.

Η Γεωμετρική Κίνηση Brown (GBM) είναι μια στοχαστική συνεχούς χρόνου διαδικασία που ικανοποιεί τη Στοχαστική Διαφορική Εξίσωση (Stochastic Differential Equation, SDE) που έχει μορφή:

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dB_t \quad (6)$$

Όπου S_t είναι η στοχαστική διαδικασία και B_t είναι η κίνηση Brown (Brownian Motion) και χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω ιδιότητες:

- $B_0 = 0$
- Το B έχει σταθερές και ανεξάρτητες αυξήσεις
- Το B ακολουθεί Γκαουσιανή αύξηση

Στην ουσία αυτό που πρεσβεύει η Στοχαστική Διαφορική Εξίσωση (SDE) είναι ότι σε κάθε μετατόπιση νέας τιμής, αυτή η τιμή προκύπτει από τον όρο ($\mu S_t dt$) και το μέγεθος της διακύμανσης (volatility) της προκύπτει από τον όρο ($\sigma S_t dB_t$). Κάθε φορά το μέγεθος αυτό της διακύμανσης που προκύπτει από τον όρο ($\sigma S_t dB_t$) είναι τυχαίο και εκφράζει το σοκ, δηλαδή το ποσό της διακύμανσης που δέχεται η τιμή.

Για να ληφθεί η εξίσωση της Γεωμετρική Κίνησης Brown (GBM) αρχικά πρέπει να λυθεί η Στοχαστική Διαφορική εξίσωση (SDE), προκύπτει ότι η SDE έχει λύση αναλυτικής μορφής και αυτή είναι:

$$S_t = S_0 e^{\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma B_t} \quad (7)$$

Όπου S_t είναι η τιμή της μετοχής S που προκύπτει από την στοχαστική διαδικασία για χρόνο t , B_t εκφράζει την κίνηση Brown κανονική κατανομής, μ εκφράζει τον μέσο όρο (mean) και σ το τυπικό σφάλμα (standard deviation).

Αυτή η εξίσωση είναι που χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση των τιμών των μετοχών. Η ιδέα πίσω από την προσομοίωση των μελλοντικών τιμών και την μοντελοποίηση της πιθανότητας, είναι να παράγει τυχαία βήματα (random walks) που βασίζονται πάνω στη στοχαστική διαδικασία, με σκοπό να κατασκευάσει διαφορετικά πιθανολογικά σενάρια.

Σε κάθε βήμα της Προσομοίωσης Monte Carlo, η επόμενη τιμή υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση (Εξίσωση 8), που έχει μορφή:

$$S_i = S_{i-1} e^{\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)dt + \sigma\sqrt{dt}N(0,1)} \quad (8)$$

Όπου $i = 1, \dots, \frac{t}{dt}$, η μεταβλητή S_0 δίνεται από την τελευταία ιστορική τιμή της χρονοσειράς, $N(0,1)$ η τυχαία μεταβλητή από την κανονική κατανομή με μέσο όρο (μ) μηδέν και τυπική απόκλιση (σ) μονάδα. Εδώ t είναι ο χρόνος για τον οποίο γίνεται η προσομοίωση, δηλαδή τα βήματα προσομοίωσης στον άξονα του χρόνου. Κάθε τυχαίο βήμα, αποτελεί ένα πιθανολογικό σημείο και ακολουθεί την Γεωμετρική Κίνηση Brown χρησιμοποιώντας τον όρο $\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)dt$ σαν μετατόπιση και τον όρο $(\sigma\sqrt{dt}N(0,1))$ σαν σοκ (μέγεθος διακύμανσης) [41,42,43].

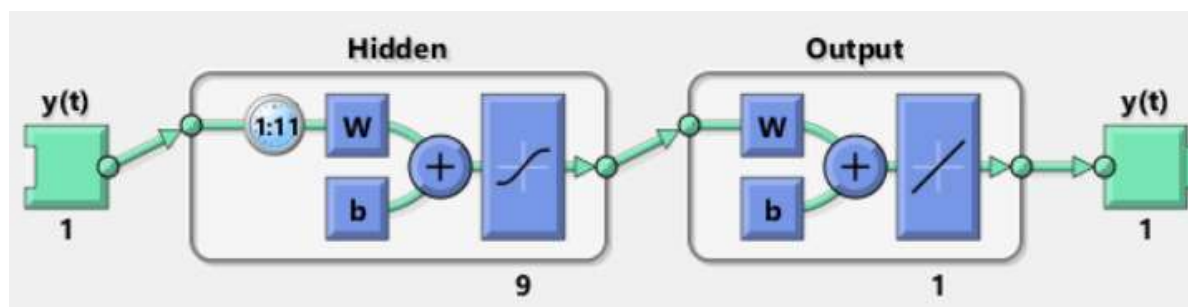
11.3 Νευρωνικά Δίκτυα

Για τους επενδυτές η ακριβής πρόβλεψη της αλλαγής της τιμής των μετοχών, αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό θέμα. Καλούνται επίσης, να κατανοήσουν ότι οι τιμές των μέτοχων είναι αρκετά ευμετάβλητες, μη γραμμικές και επηρεάζονται από πολλά αβέβαια γεγονότα, είτε οικονομικά είτε κοινωνικοπολιτικά σε ολόκληρο τον κόσμο [44].

Τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν ένα αποτελεσματικό εργαλείο για τη μοντελοποίηση των τιμών των μετοχών σε αρκετά ικανοποιητικό βαθμό. Ένα νευρωνικό δίκτυο είναι ένα κύκλωμα διασυνδεδεμένων νευρώνων (κόμβων). Κάθε τέτοιος κόμβος δέχεται ένα σύνολο αριθμητικών εισόδων (input layer) από διαφορετικές πηγές (είτε από άλλους νευρώνες, είτε από το περιβάλλον), επιτελεί έναν υπολογισμό με βάση αυτές τις εισόδους και παράγει μία έξοδο (output layer). Η εν λόγω έξοδος είτε κατευθύνεται στο περιβάλλον, είτε τροφοδοτείται ως είσοδος σε άλλους νευρώνες του δικτύου [45].

Ενδεικτικά παρουσιάζεται η δομή ενός Νευρωνικού Δικτύου, έτσι όπως λαμβάνεται από το MATLAB μέσω της συνάρτησης net του script των Νευρωνικών Δικτύων. Όπως παρατηρείται στη συγκεκριμένη εικόνα (Εικόνα 23) παρατηρείται ότι στη δομή του Νευρωνικού Δικτύου υπάρχει μια είσοδος. Για το συγκεκριμένο ενδεικτικό παράδειγμα χρησιμοποιήθηκαν 11 χρονικές υστερήσεις και 3 κρυφά επίπεδα (Hidden Layers), σαν κρυφά επίπεδα νοούνται στη συγκεκριμένη διαδικασία μελέτης, ο αριθμός των διαστάσεων που εμφανίζει η συγκεκριμένη χρονοσειρά που μελετάται. Μετά το καθορισμό των επιπέδων πραγματοποιείται πολλαπλασιασμός των διαστάσεων με σκοπό τον ορισμό των νευρώνων, τέσσερις νευρώνες ορίζουν ένα κρυφό επίπεδο. Η διαδικασία αυτή μελετάται κατά την διάρκεια της επεξεργασίας από το πρόγραμμα Fractan, αλλά εξετάζεται η εφαρμοστικότητα του μοντέλου και στο

παράθυρο εκπαίδευσης που παράγεται από το MATLAB. Εφόσον γίνει ο κατάλληλος ορισμός των παραμέτρων, η διαδικασία αυτή παράγει μια έξοδο, η οποία στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η προβλεπόμενη τιμή για την επόμενη μέρα [47],[48],[49].



Εικόνα 23: Ενδεικτική δομή ενός Νευρωνικού Δικτύου μέσω της συνάρτησης net του MATLAB

Απαραίτητες παράμετροι που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την δομή του Νευρωνικού Δικτύου είναι η εύρεση της χρονικής υστέρησης (Time Delay) και οι διαστάσεις των Συσχετίσεων (Correlation Dimension/Fractal Dimension) από τις οποίες προκύπτει ο αριθμός των κρυφών επιπέδων (Hidden Layers) που έχουν άμεση συσχέτιση με τον αριθμό των Νευρώνων (Neurons). Επίσης στη παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε και εύρεση των συντελεστών του εκθέτη Lyapunov, που καθορίζουν το ποσοστό της διαφοροποίησης των απειροστών κλειστών τροχιών και εν γένει αν μια χρονοσειρά δύναται να προβλεφθεί μέσα στο μελετώμενο χρονικό διάστημα και αν μπορούν να γίνουν ασφαλείς προβλέψεις, λόγω του ότι οι συντελεστές καθορίζουν αν μια χρονοσειρά εμφανίζει χαστική συμπεριφορά [50].

Όσον αφορά την χρονική υστέρηση αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο των δυναμικών συστημάτων, το οποίο περιγράφει τη σύνδεση μεταξύ φαινομένων. Συγκεκριμένα σε ένα νευρωνικό δίκτυο η χρονική υστέρηση (Time Delay Neural Network, TDNN) χρησιμοποιείται για την εξαγωγή κρυφών μοτίβων [51].

Στη θεωρία του χάους, το Correlation Dimension είναι ένα μέτρο της διάστασης του χώρου που καταλαμβάνεται από ένα σύνολο τυχαίων σημείων, συχνά αναφέρεται και ως Fractal Dimension. Το Correlation Dimension αποτελεί μέτρο πολυπλοκότητας ενός μη γραμμικού συστήματος και χαρακτηρίζει την κατανομή των σημείων στον χώρο των φάσεων.

Η πραγματική χρησιμότητα του Correlation Dimension είναι ο προσδιορισμός των (ενδεχομένως κλασματικών) διαστάσεων των κλασματικών αντικειμένων. Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι μέτρησης της διάστασης όπως η διάσταση Hausdorff, η διάσταση της καταμέτρησης πλαισίων και η διάσταση της πληροφόρησης, αλλά η διαδικασία που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία, το Correlation Dimension/Correlation Integral, αυτή είναι που δίνει πιο σαφή και γρήγορα αποτελέσματα διότι σαν

διαδικασία εμπεριέχει λιγότερο θόρυβο για τα δεδομένα και συμφωνεί συχνά με άλλους υπολογισμούς διάστασης.

Για τον υπολογισμό του Correlation Dimension θα πρέπει να υπολογιστεί το Correlation Integral $C_m(r)$, το οποίο ορίζεται ως:

$$C_m(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{[N-(m-1)\tau][N-(m-10)\tau-1]} \right) \chi \left(\sum_{t=1}^{N-(m-1)\tau} \sum_{j=t+1}^{N-(m-1)\tau} \theta(r - \|V_t - V_j\|) \right) \quad (9)$$

Όπου θ είναι η συνάρτηση Heaviside, r είναι η ακτίνα της σφαίρας, N το μέγεθος του δείγματος, το τ είναι η χρονική υστέρηση μεταξύ των σημείων στον χώρο τάσης, m είναι το Embedding Dimension και $\|V_t - V_j\|$ είναι η ευκλείδεια απόσταση μεταξύ ενός ζεύγους σημείων V_t και V_j στον χώρο φάσεων [46].

Σύμφωνα με τα παραπάνω, το Correlation Dimension, μέσω του Correlation Integral, υπολογίζεται ως εξής:

$$CD = \lim_{r \rightarrow 0} \left[\frac{\log_2(C_m(r))}{\log_2(r)} \right] \quad (10)$$

Στην επόμενη θεματική ενότητα (Γ' Αποτελέσματα) θα παρατεθούν τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Αρχικά θα γίνει η παρουσίαση των δεδομένων μαζί με τις χρονικές περιόδους που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των χρονοσειρών και έπειτα θα παρουσιαστούν και θα σχολιαστούν οι τρεις μέθοδοι πρόβλεψης που παρουσιάστηκαν παραπάνω (ARIMA, Monte Carlo Simulations, Neural Networks) και θα συγκριθούν οι προβλεπόμενες τιμές τους έναντι των πραγματικών τιμών κλεισίματος, με σκοπό να μελετηθεί ποιο από τα τρία μοντέλα πρόβλεψης είναι αυτό που οι προβλεπόμενες τιμές του παρουσιάζουν τη μικρότερη ποσοστιαία απόκλιση σε σχέση με τις πραγματικές τιμές, λαμβάνοντας υπόψιν πάντα και τις παραμέτρους που εμφανίζει η κάθε χρονοσειρά.

Γ' ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

12. Δεδομένα & Αποτελέσματα

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, αρχικά πραγματοποιήθηκε η λήψη των δεδομένων μέσω των sites "Investing.com" και "Tradingeconomics.com", σε υπολογιστικά φύλλα του προγράμματος Microsoft Office® Excel για κάθε χρηματιστηριακό προϊόν ξεχωριστά. Στο πρώτο κομμάτι της εργασίας, έγινε η λήψη των ημερήσιων τιμών κλεισίματος (Close Prices) των χρηματιστηριακών παραγώγων (Commodities) για τη χρονική περίοδο από 10/5/2017 μέχρι 11/12/2020, έπειτα με τη χρήση των προγραμμάτων EViews 10 και MATLAB (R2015a), έγινε η ανάλυση των χρονοσειρών για τη περίοδο από 10/5/2017 μέχρι 30/11/2020, οι εντολές δομήθηκαν σύμφωνα με τη θεωρία της Ενότητας 10.

Πίνακας 7: Χρηματιστηριακά παράγωγα (Commodities) - 10/5/17-11/12/20

Derivatives - Commodities	Ticker
<i>99.9% Min China Lithium Metal Spot - Future</i>	999MIN-LTMT
<i>Cobalt 99.8% Min United States Spot - Future</i>	998U-CBI
<i>Lithium Cobalt Oxide 60%Min China Spot – Future</i>	60C-LTCX
<i>Manganese Ore – Future</i>	IMR
<i>Neodymium - Future</i>	SREMNDM
<i>Nickel Futures - Future</i>	NICKELc1

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της πρόβλεψης μελλοντικών τιμών κλεισίματος των παραγώγων (Commodities) μέσω τριών διαφορετικών μεθόδων. Η χρονική περίοδος που χρησιμοποιήθηκε σαν βάση ανάλυσης από τα μοντέλα πρόβλεψης ήταν από τις 10/5/2017 μέχρι τις 30/11/2020 και η πρόβλεψη έγινε για τις επόμενες εννιά ημέρες διαπραγμάτευσης, δηλαδή από 1/12/2020 μέχρι 11/12/2020, ενώ πραγματοποιήθηκε και σύγκριση με τις πραγματικές τιμές (Actual Prices) με σκοπό την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Πρώτη μέθοδος πρόβλεψης ήταν με τη χρήση μοντέλων ARIMA (Autoregressive Intergrated Moving Average), οι εντολές του δομήθηκαν με βάση τη θεωρία της Ενότητας 11.1.

Δεύτερη μέθοδος πρόβλεψης ήταν με Προσομοιώσεις Monte Carlo (Monte Carlo Simulations), οι εντολές δομήθηκαν βάσει της θεωρίας της Ενότητας 11.2.

Τελευταία μέθοδος πρόβλεψης ήταν με τη χρήση Νευρωνικών Δικτύων (Neural Networks), αρχικά έγινε ανάλυση των χρονοσειρών μέσω του προγράμματος Fractan στο οποίο υπολογίστηκαν οι κατάλληλες παράμετροι του δικτύου και έπειτα πραγματοποιήθηκε ανάλυση του δικτύου, εκπαίδευση του και τέλος πρόβλεψη μελλοντικών τιμών μέσω του προγράμματος MATLAB και οι εντολές βασίστηκαν στη θεωρία της Ενότητας 11.3.

Τέλος έγινε σύγκριση των τιμών πρόβλεψης (Forecasted Prices) έναντι των πραγματικών (Actual Prices) με σκοπό την αξιολόγηση των τριών μεθόδων πρόβλεψης και σύγκρισής τους.

Στο δεύτερο κομμάτι της εργασίας, πραγματοποιήθηκε λήψη των τιμών κλεισίματος μετοχών (Equities) και διαπραγματεύσιμων αμοιβαίων κεφαλαίων (ETFs) με σκοπό την διερεύνηση σχηματισμού χαρτοφυλακίου. Η λήψη των δεδομένων έγινε για τη χρονική περίοδο από 2/1/2019 μέχρι τις 11/12/2020, τα κριτήρια της επιλογής των μετοχών έγιναν βάσει της θεωρητικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε και σχολιάστηκε στο Θεωρητικό μέρος Α΄ της εργασίας.

Κατά κύριο λόγο επιλέχθηκαν μετοχές από το τομέα Εξόρυξης μετάλλων, Αυτοκινητοβιομηχανιών, Κατασκευής Μπαταριών, Ενέργειας και άλλων.

Οι μετοχές των εταιρειών παρουσιάζονται στο Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Μετοχές εταιρειών χαρτοφυλακίου

Equities	Ticker
<i>Akasol AG</i>	ASLG
<i>Albemarle Corp.</i>	ALB
<i>Amplify Advanced Battery Metals and Materials</i>	BATT
<i>Arcimoto Inc.</i>	FUV
<i>Bayerische Motoren Werke AG</i>	BMWG
<i>BYD Co Ltd-H</i>	BYDDF
<i>Cadence Minerals PLC</i>	KDNC
<i>Canada Rare Earth Corp.</i>	LL
<i>China Molybdenum Co Ltd Class A</i>	603993
<i>China Northern Rare Earth Group High-Tech Co Ltd.</i>	600111
<i>China Rare Earth Holdings Ltd.</i>	769
<i>Contemporary Amperex Technology Co Ltd Class A.</i>	300750
<i>Continental AG O.N.</i>	CONG
<i>Electrameccanica Vehicles Corp.</i>	SOLO
<i>Electrovaya Inc.</i>	EFL
<i>Energizer Holdings Inc.</i>	ENR
<i>Energys</i>	ENS
<i>General Motors Company</i>	GM
<i>Glencore PLC</i>	GLEN
<i>GS Yuasa Corp.</i>	6674
<i>Honda Motor Co Ltd.</i>	7267
<i>Hyundai Motor</i>	5380
<i>Hyundai Motor Co DRC</i>	0538q
<i>Ilika</i>	IKA
<i>Ionic Rare Earths Ltd.</i>	IXR

<i>Jiangxi Ganfeng Lithium Co Ltd.</i>	2460
<i>Jl Mag Rare-Earth Co Ltd Class A</i>	300748
<i>Johnson Controls International PLC</i>	JCI
<i>Johnson Matthey PLC</i>	JMAT
<i>Kandi Technologies Group Inc.</i>	KNDI
<i>Leclanche SA</i>	LECN
<i>LG Chem Ltd.</i>	51915
<i>Lithium Americas Corp.</i>	LAC
<i>Livent Corp.</i>	LTHM
<i>MGE Energy Inc.</i>	MGEE
<i>Mineral Resources Ltd.</i>	MIN
<i>Mitsubishi Motors Corp.</i>	7211
<i>Namibia Critical Metals Inc.</i>	NMI
<i>Nio Inc Class A ADR</i>	NIO
<i>Nissan Motor Co. Ltd.</i>	7201
<i>Panasonic Corp.</i>	6752
<i>Peugeot SA</i>	PEUP
<i>Piedmont Lithium Ltd ADR</i>	PLL
<i>Rainbow Rare Earths Ltd.</i>	RBWR
<i>Renault SA</i>	RENA
<i>S.F. Holding Co. Ltd.</i>	2352
<i>Samsung SDI</i>	6400
<i>Shenzhen Desay Battery Technology Co Ltd.</i>	49
<i>Sichuan Yahua Industrial Group Co Ltd.</i>	2497
<i>Sociedad Quimica y Minera SA</i>	SQM
<i>Tesla Inc.</i>	TSLA
<i>Texas Rare Earth Resources Corp.</i>	TMRC
<i>Toshiba Tec Corp.</i>	6588
<i>Toyota Motor Corp.</i>	7203
<i>Vale SA ADR</i>	VALE
<i>Varta AG</i>	VAR1
<i>Volkswagen AG</i>	VOWG
<i>Workhorse Group Inc.</i>	WKHS
<i>Youngy Co Ltd.</i>	2192

Αντίστοιχα με τα ίδια κριτήρια, η επιλογή των Διαπραγματεύσιμων αμοιβαίων κεφαλαίων (ETFs), ήταν:

Πίνακας 9: Διαπραγματεύσιμα αμοιβαία κεφάλαια χαρτοφυλακίου

Exchange Traded Funds - ETFs	Ticker
<i>ETFS Battery Tech and Lithium</i>	ACDC
<i>Global X Autonomous & Electric Vehicles ETF</i>	DRIV
<i>Global X Lithium & Battery Tech ETF</i>	LIT
<i>iShares Global Clean Energy ETF</i>	ICLN
<i>iShares Global Clean Energy UCITS -CH</i>	INRG
<i>iShares Global Clean Energy UCITS - GB</i>	IQQH
<i>iShares Global Clean Energy UCITS</i>	INRG
<i>iShares STOXX Europe 600 Automobiles & Parts UCITS</i>	SXAPEX
<i>KraneShares Electric Vehicles and Future Mobility Index</i>	KARS
<i>L&G Battery Value-Chain UCITS ETF</i>	BATT
<i>L&G Battery Value-Chain UCITS ETF</i>	BATG
<i>Lyxor Index Fund - Lyxor STOXX Europe 600 Automobiles & Parts UCITS ETF Acc</i>	LAUT
<i>Lyxor New Energy (DR) UCITS ETF Dist</i>	ENY
<i>Lyxor New Energy (DR) UCITS ETF Dist</i>	LYM9
<i>Lyxor New Energy (DR) UCITS ETF Dist</i>	LYNRJ
<i>Samsung KODEX Secondary Battery Industry ETF</i>	305720
<i>VanEck Vectors Rare Earth Strategic Metals ETF</i>	REMX

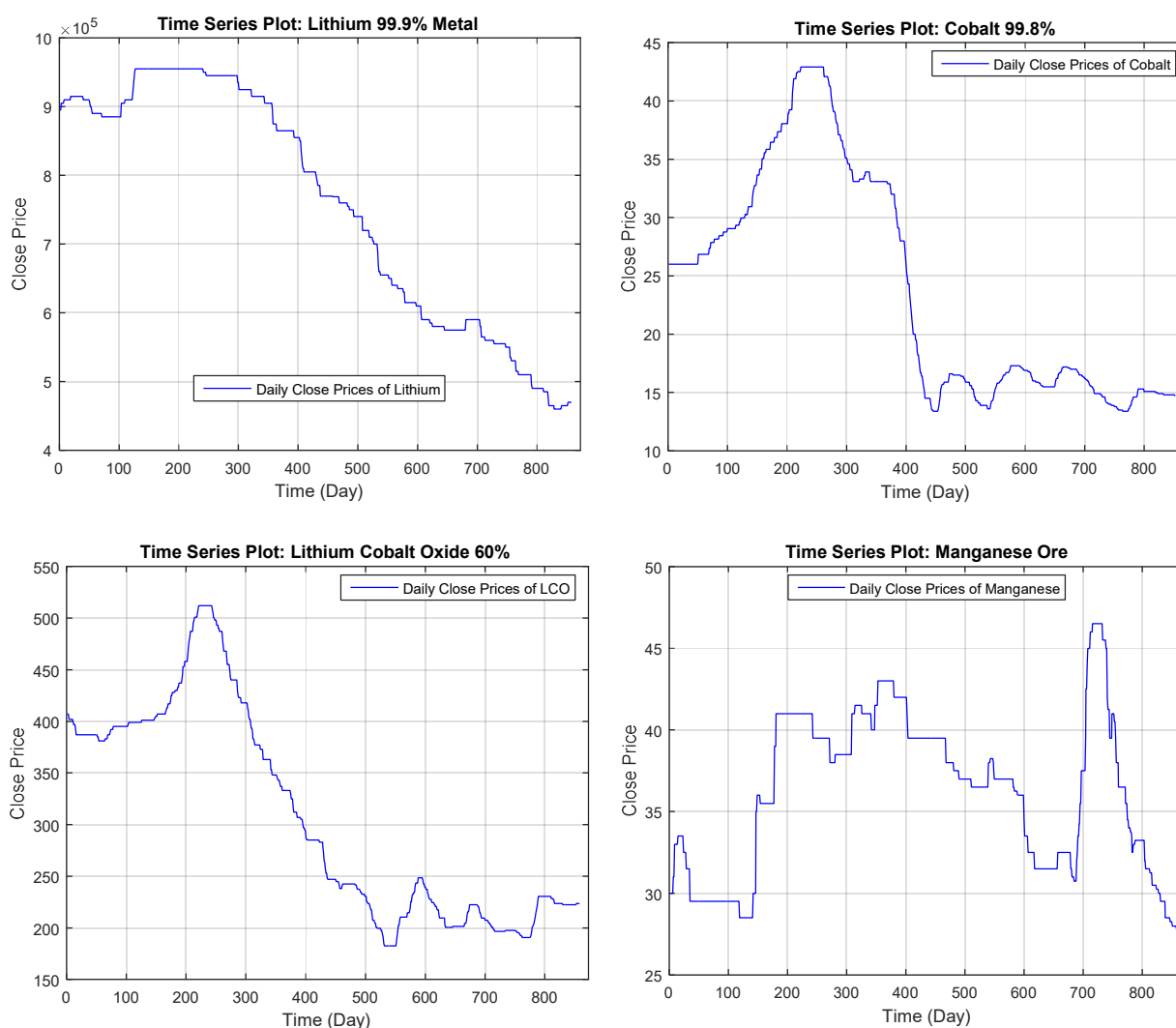
Μετά τον καθορισμό των περιουσιακών στοιχείων (Portfolio Assets) που απαρτίζουν το χαρτοφυλάκιο επένδυσης, πραγματοποιήθηκε η εύρεση του βέλτιστου χαρτοφυλακίου μέσω του προγράμματος MATLAB (R2015a), οι εντολές δομήθηκαν με βάση τη θεωρία του Κεφαλαίου 9 και πιο συγκεκριμένα την εύρεση αποδοτικού ορίου με μεγιστοποίηση του δείκτη Sharpe.

Συγκεκριμένα, έγινε η εύρεση του βέλτιστου χαρτοφυλακίου, βάσει της θεωρίας Efficient Frontier για τρεις περιπτώσεις κινδύνου. Για την περίπτωση υψηλού κινδύνου (High risk rate), για την περίπτωση μεσαίου επιπέδου κινδύνου (Medium risk rate) και για τη περίπτωση χαμηλού κινδύνου (Low risk rate). Τέλος πραγματοποιήθηκε σχολιασμός των αποτελεσμάτων των τριών αυτών περιπτώσεων.

13. Ανάλυση Χρονοσειρών Χρηματιστηριακών Παραγώγων

13.1 Παρουσίαση των Χρονοσειρών

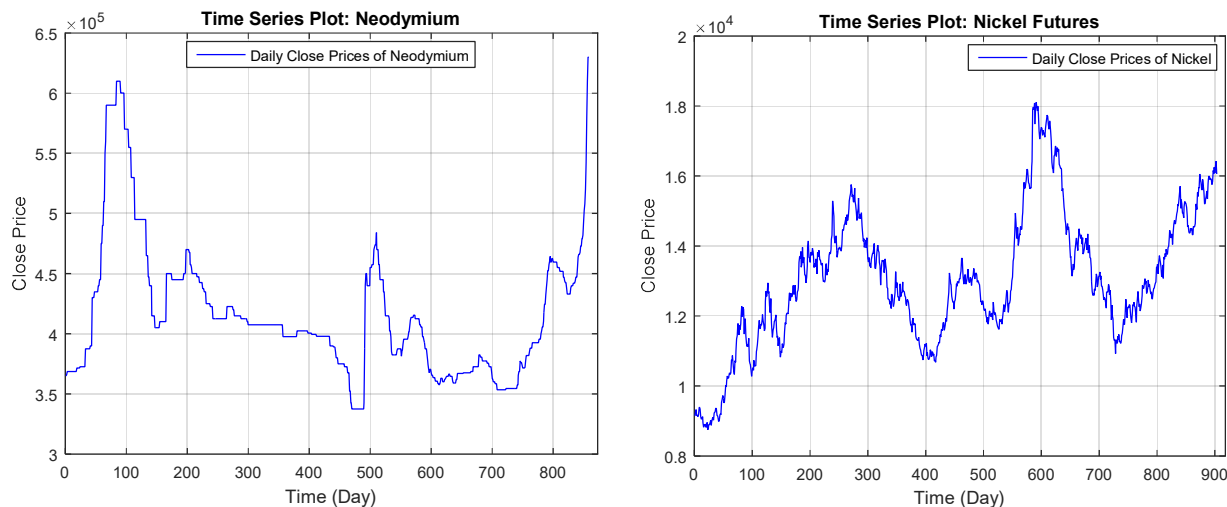
Αρχικά, θα γίνει η παρουσίαση των χρονοσειρών του Πίνακα 7, ο οποίος αναφέρει τα παράγωγα που μελετήθηκαν. Οι τιμές κλεισίματος (Close Prices) των χρηματιστηριακών παραγώγων λήφθηκαν από 10/5/2017 μέχρι τις 30/11/2020 και παρουσιάζονται σε μορφή Γραφημάτων όπως αυτά ανακτήθηκαν μέσω του προγράμματος MATLAB (Γράφημα 12).



Γράφημα 12: Τιμές κλεισίματος για τα παράγωγα Λιθίου, Κοβαλτίου, Οξειδίου Λιθίου-Κοβαλτίου και Μαγγανίου

Για τα παράγωγα του Λιθίου, Κοβαλτίου, Οξειδίου Λιθίου-Κοβαλτίου και Μαγγανίου που παρουσιάζονται στο Γράφημα 12.

Και παρακάτω στο Γράφημα 13, παρουσιάζονται οι τιμές κλεισίματος για τα παράγωγα Νεοδυμίου και Νικελίου.



Γράφημα 13: Τιμές κλεισίματος για τα παράγωγα Νεοδυμίου και Νικελίου

Όπως παρατηρείται από τα Γραφήματα 12 και 13, τα περισσότερα παράγωγα βρίσκονται χαμηλότερα σε σχέση με το ιστορικά υψηλό τους, σύμφωνα πάντα με τη χρονική περίοδο που μελετάται. Μάλιστα κάποια από αυτά, όπως το Λίθιο και το Μαγγάνιο φαίνεται να εμφανίζουν ιστορικό χαμηλό. Παρόλα αυτά εξαίρεση αποτελούν τα παράγωγα Νεοδυμίου και Νικελίου τα οποία εμφανίζουν ανοδική τάση, μάλιστα το Νεοδύμιο έχει ξεπεράσει και το ιστορικά υψηλό της χρονικής περιόδου που εξετάζεται. Όσον αφορά το Νικέλιο σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά που μελετώνται εμφανίζει έντονες διακυμάνσεις και αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη εμπορευσιμότητα του, διότι σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές χρησιμοποιείται έναντι του σιδήρου.

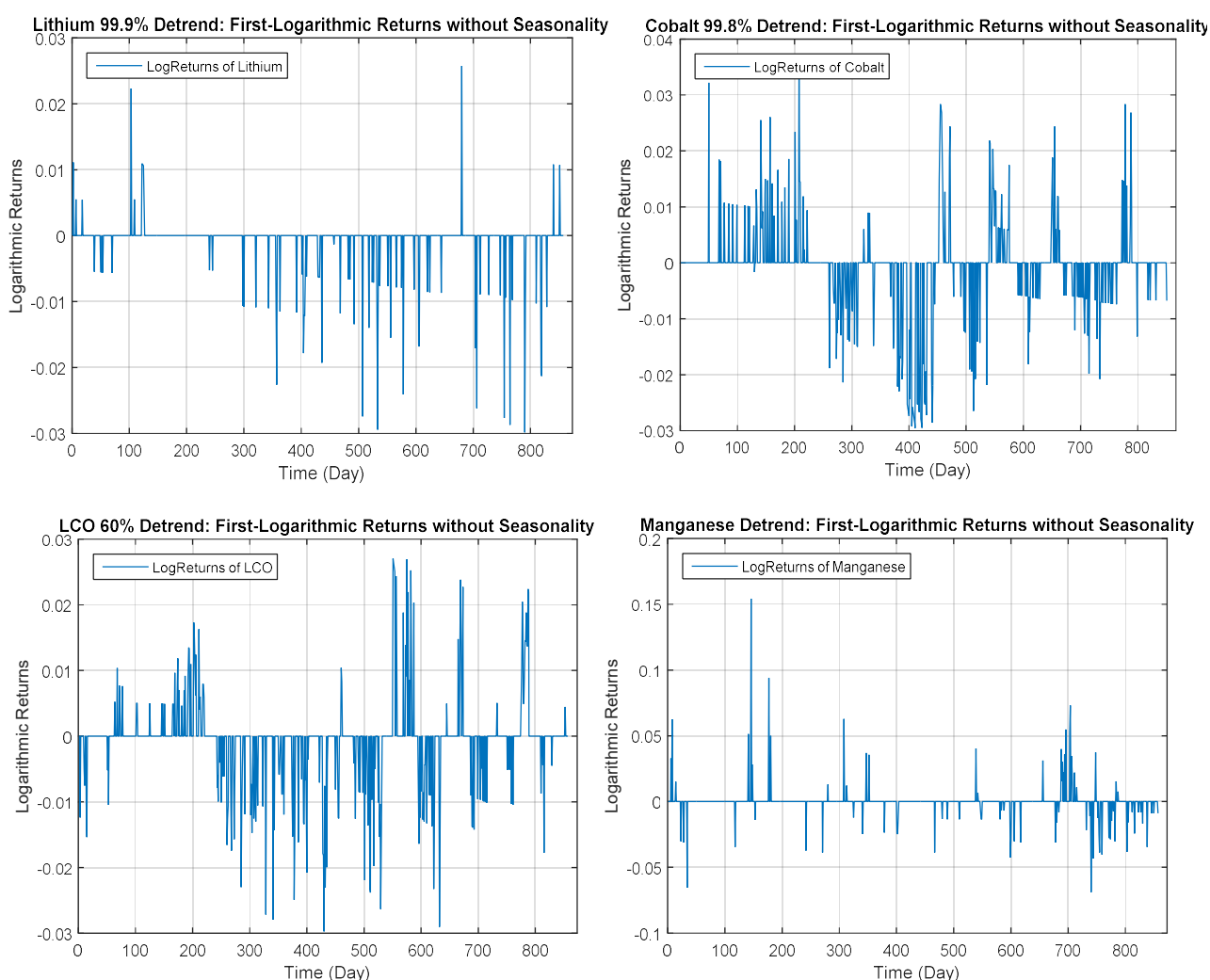
Επίσης σημαντικό είναι να αναφερθεί το νόμισμα με το οποίο το καθένα από τα παράγωγα διαπραγματεύεται στο Χρηματιστήριο Παραγώγων καθώς και την ποσότητα στην οποία διαπραγματεύεται. Στο Πίνακα 10 παρουσιάζονται τα παράγωγα μαζί με το συναλλάγμα και τη ποσότητα στην οποία διαπραγματεύονται (Price Quotation), παράλληλα στη τρίτη στήλη του Πίνακα 10 παρουσιάζεται αντιστοίχιση του συναλλάγματος σε δολάριο Αμερικής (USD), σύμφωνα με τις τιμές συναλλάγματος τις τελευταίας μέρας διαπραγμάτευσης (30/11/2020).

Πίνακας 10: Τα Χρηματιστηριακά παράγωγα μαζί με τη μορφή και μέγεθος συναλλάγματος και μετατροπή σε δολάριο

Derivatives - Commodities	Price Quotation	Exchange Rate
<i>99.9% Min China Lithium Metal Spot - Future</i>	CNY/T	1 CNY = 0,15 USD
<i>Cobalt 99.8% Min United States Spot - Future</i>	USD/lb	
<i>Lithium Cobalt Oxide 60%Min China Spot - Future</i>	CNY/kg	
<i>Manganese Ore - Future</i>	CNY/T	
<i>Neodymium - Future</i>	CNY/T	
<i>Nickel Futures - Future</i>	USD/T	

13.2 Απαλοιφή Τάσης και Εποχικότητας Χρονοσειρών

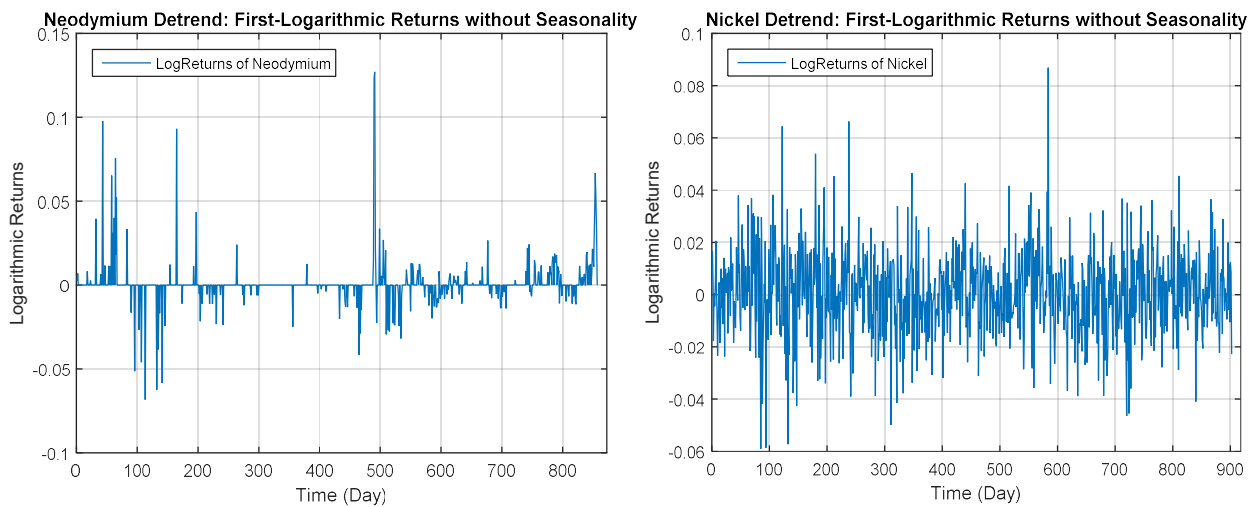
Όπως παρατηρείται από τα Γραφήματα 12 και 13, οι χρονοσειρές των παραγώγων δεν είναι στάσιμες καθώς σε αυτές παρατηρούνται φαινόμενα τάσης. Όπως προαναφέρθηκε στην Ενότητα 10.2, μέσω της Εξίσωσης 2 η μέθοδος που τελικά χρησιμοποιήθηκε για την απαλοιφή της τάσης ήταν μέθοδος των πρώτων λογαριθμικών διαφορών (First Logarithmic Differences). Έπειτα έγινε η αφαίρεση της εποχικότητας στην αρχική χρονοσειρά όπου αυτή ανιχνεύθηκε. Η τελική μορφή των πλέον στάσιμων χρονοσειρών παρουσιάζεται στα παρακάτω γραφήματα (Γράφημα 14 και Γράφημα 15).



Γράφημα 14: Απαλοιφή Τάσης και Εποχικότητας για τα παράγωγα Λιθίου, Κοβαλτίου, Οξειδίου Λιθίου-Κοβαλτίου και Μαγγανίου

Η απαλοιφή τάσης και εποχικότητας για τα πρώτα τέσσερα παράγωγα, παρουσιάζεται στο Γράφημα 14.

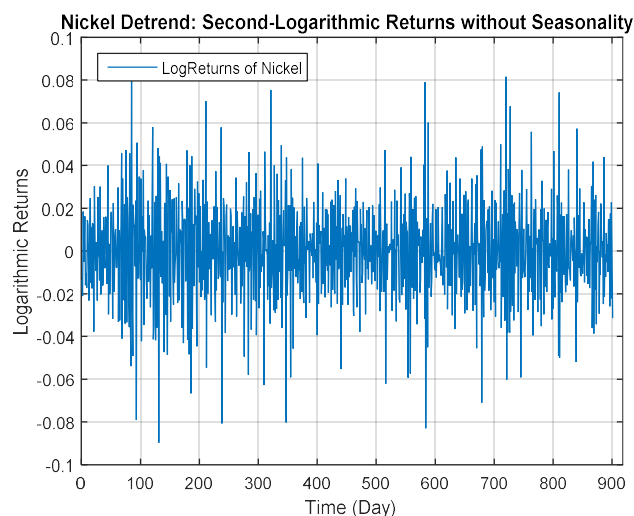
Αντίστοιχα στο Γράφημα 15, παρουσιάζεται η απαλοιφή τάσης και εποχικότητας για τα τελευταία δύο παράγωγα, το Νεοδύμιο και το Νικέλιο.



Γράφημα 15: Απαλοιφή Τάσης και Εποχικότητας για τα παράγωγα Νεοδυμίου και Νικελίου

Όπως παρατηρείται από τα Γραφήματα 14 και 15, στις χρονοσειρές πραγματοποιήθηκε διαδικασία απαλοιφής φαινομένων τάσης και εποχικότητας για προσπάθεια μετατροπής τους σε στάσιμες. Γενικότερα σε όλα τα Γραφήματα οι τιμές εμφανίζουν κάποιες μικρές ακραίες τιμές (spikes) και φαίνονται να κινούνται από έναν νοητό άξονα μέσης τιμής γύρω από το μηδέν, εμφανίζοντας παράλληλα φαινόμενα μικρής διακύμανσης των τιμών.

Εξαιρεση μόνο αποτελεί το Γράφημα του Νικελίου (Γράφημα 15, Δεξιά) το οποίο εμφανίζει έντονες διακυμάνσεις και φαίνεται να υπάρχουν υπολειπόμενα φαινόμενα τάσης και εποχικότητας. Για αυτό στο Γράφημα 16 παρουσιάζεται νέο γράφημα με χρήση Δεύτερων λογαριθμικών διαφορών και απαλοιφής εποχικότητας.



Γράφημα 16: Απαλοιφή Τάσης και Εποχικότητας με 2^{ες} Λογαριθμικές διαφορές για τα παράγωγα Νικελίου

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η χρήση των δευτέρων λογαριθμικών διαφορών (Second Logarithmic Differences) φαίνεται να απαλείφει φαινόμενα τάσης και η χρονοσειρά να μετατρέπεται τελικά με το συγκεκριμένο τρόπο σε στάσιμη.

Ο μαθηματικός τύπος υπολογισμού που χρησιμοποιείται για τις δεύτερες λογαριθμικές διαφορές είναι της μορφής:

$$\begin{aligned}\Delta^2 X_t &= \Delta(\Delta X_t) = \Delta(X_t - X_{t-1}) = \Delta X_t - \Delta X_{t-1} \\ &= (X_t - X_{t-1}) - (X_{t-1} - X_{t-2}) = X_t - 2X_{t-1} + X_{t-2}\end{aligned}\quad (11)$$

Όπου X_t εκφράζει την τιμή X , στη συγκεκριμένη περίπτωση την λογαριθμική τιμή, για συγκεκριμένο χρόνο t , με το χρόνο να εκφράζεται σε μέρες.

Με τη χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου (Εξίσωση 11), φαίνεται πως η χρονοσειρά προσεγγίζει την στασιμότητα και φαίνεται να έχουν απαλειφθεί υπολειπόμενα φαινόμενα τάσης που είχαν απομείνει από την μέθοδο των πρώτων λογαριθμικών διαφορών, γι' αυτό και στο Νικέλιο η μετέπειτα επεξεργασία πραγματοποιήθηκε με το βαθμό υστέρησης (βαθμό διαφοροποίησης) να είναι δεύτερης τάξης ($d = 2$).

13.3 Υπολογισμός Αυτοσυσχέτισης & Μερική Αυτοσυσχέτισης Χρονοσειρών

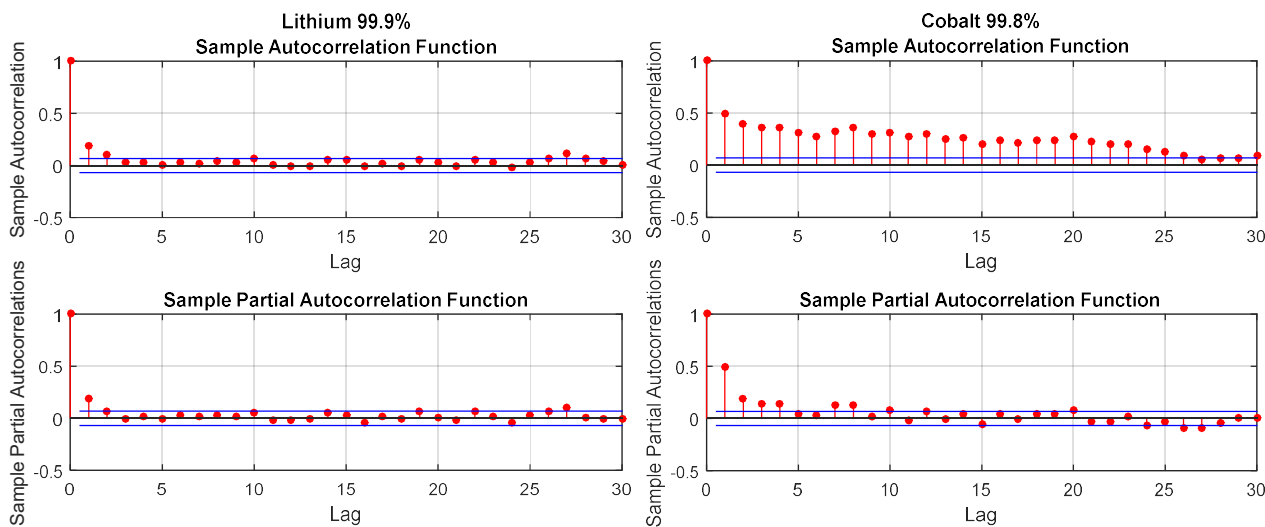
Εφόσον πραγματοποιήθηκε απαλοιφή τάσης και εποχικότητας από τις χρονοσειρές των παραγώγων στην Ενότητα 13.2 και μετατράπηκαν οι χρονοσειρές σε στάσιμες. Στη συνέχεια βάσει της θεωρίας της Ενότητας 10.3, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της Αυτοσυσχέτισης και Μερικής Αυτοσυσχέτισης για 30 βήματα υστέρησης.

Αρχικά έγινε μελέτη στο πρόγραμμα EViews, όπου εφόσον λογαριθμίστηκαν και υπολογίστηκαν οι πρώτες διαφορές (δευτερες λογαριθμικές διαφορές για το Νικέλιο), έγινε το Κορελόγραμμα των χρονοσειρών και υπολογίστηκε από το ίδιο το πρόγραμμα το Q-Stat της μεθόδου Box-Pierce, καθώς και το Probability, το οποίο καθορίζει τη στατιστική σημαντικότητα των αποτελεσμάτων, αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται για κάθε βήμα χρονικής υστέρησης ξεχωριστά.

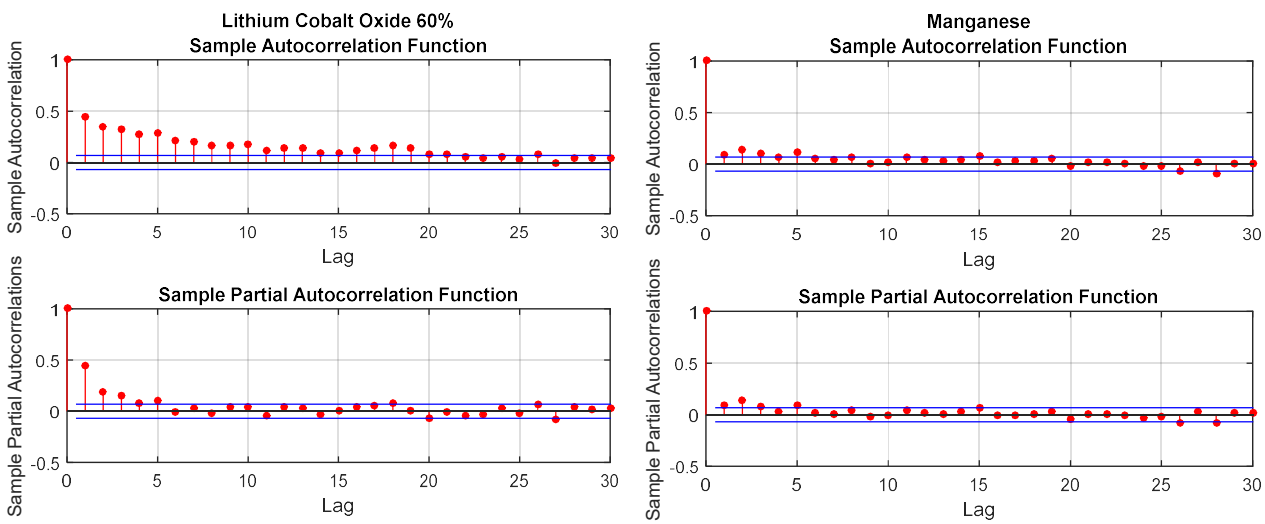
Μετέπειτα η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε και μέσω του προγράμματος MATLAB, με τη χρήση των εντολών "autocorr" και "parcorr" και σε αυτή την περίπτωση για 30 βήματα υστέρησης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση για την εύρεση της στατιστικής σημαντικότητας της κάθε παραμέτρου, χρησιμοποιήθηκε το Dickey-Fuller test και το τεστ Portmanteau. Παράλληλα πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων, όπου παρατηρήθηκε συμφωνία.

Στο Γράφημα 17, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών ACF και PACF για 30 βήματα υστέρησης σε μορφή γραφήματος όπως αυτά ανακτήθηκαν από το MATLAB.

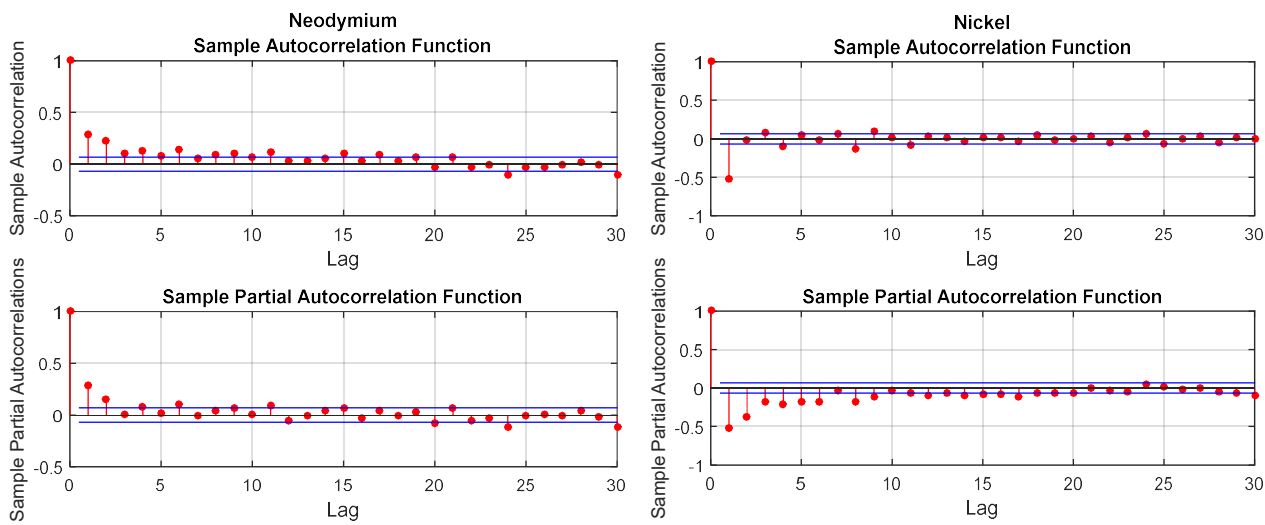
1



2



3



Γράφημα 17: Γραφήματα Αυτοσυσχέτισης και Μερικής Αυτοσυσχέτισης για όλα τα παράγωγα

Παρατηρείται στο Γράφημα 17, πως όλα τα παράγωγα εμφανίζουν θετικές αυτοσυσχετίσεις και μερικές αυτοσυσχετίσεις για κάθε χρονική υστέρηση. Μάλιστα όσον αφορά το Κοβάλτιο και το Οξειδίο Λιθίου-Κοβαλτίου φαίνεται πως εμφανίζουν τιμές πάνω από το όριο εμπιστοσύνης για παρατεταμένα βήματα υστερήσεων, τα οποία "εξασθενούν" μετά από αρκετά βήματα. Ενδιαφέρον είναι στο Γράφημα 17 το Νικέλιο το οποίο είναι το μόνο που εμφανίζει αρνητικές τιμές συσχετίσεων και μερικών αυτοσυσχετίσεων, κάτι τέτοιο μπορεί να οφείλεται στις έντονες διακυμάνσεις που μπορεί να εμφανίζουν οι τιμές του αλλά και στις δευτερες διαφορές.

Ο υπολογισμός των ACF και PACF είναι πολύ σημαντική διαδικασία στην ανάλυση χρονοσειρών διότι είναι η μέθοδος που καθορίζει τις απαραίτητες παραμέτρους, όπως αυτές αναφέρθηκαν στην Ενότητα 11.1, που θα χρησιμοποιηθούν με σκοπό την μελέτη εφαρμοστικότητας (fitting) των παραγόμενων τιμών από το μοντέλο (predicted values) έναντι των αρχικών τιμών (original values).

13.4 Μελέτη Εφαρμοστικότητας Μοντέλων ARIMA στις Χρονοσειρές

Η μέθοδος της εφαρμοστικότητας (fitting) είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία, όχι μόνο στη συγκεκριμένη περίπτωση αλλά και σε άλλους τομείς της επιστήμης που μελετούν διαφορετικά φαινόμενα. Γενικότερα η συγκεκριμένη μέθοδος ανάλυσης είναι αυτή που επιτρέπει τον μαθηματικό φορμαλισμό κάποιων φαινομενικά "άτακτων" δεδομένων που φαίνονται να εμφανίζουν, μια μικρή είτε και καθόλου κάποιες φορές, σχέση εξάρτησης. Κάθε διαδικασία λόγω της διαφορετικότητας του τομέα βασίζεται σε διαφορετικές εξισώσεις που μελετούν την σχέση μεταξύ πειράματος και θεωρίας.

Στην ανάλυση των χρονοσειρών υπάρχουν πολλά μαθηματικά μοντέλα τα οποία πραγματοποιούνται υπό διαφορετική βάση ανάλυσης, παραδείγματος χάριν από κάποιους ερευνητές πραγματοποιείται γραμμική ανάλυση ενώ από μια άλλη μερίδα μη γραμμική ανάλυση. Παρόλα αυτά όμως, δεν υπάρχει κάποια αξιωματική μέθοδος που να χριζει καθολικής εφαρμογής. Η ανάλυση των πειραματικών δεδομένων βασίζεται στο κριτήριο και εμπειρία του κάθε ερευνητή που τα αναλύει. Αυτό δεν είναι ένα φαινόμενο που παρατηρείται αποκλειστικά στην ανάλυση χρονοσειρών αλλά και σε άλλα επιστημονικά φαινόμενα, διότι υπάρχει μια συνεχής τάση από τους ερευνητές, να πραγματοποιείται βελτιστοποίηση των θεωρητικών μαθηματικών μοντέλων με στόχο τη μέγιστη άντληση πληροφορίας ενός πειραματικού φαινομένου [36].

Στη παρούσα μελέτη, η ανάλυση των χρονοσειρών βασίστηκε σε πρώτο κομμάτι στις γραμμικές μεθόδους και πιο συγκεκριμένα, όπως προαναφέρθηκε στην Ενότητα 11.1, χρησιμοποιήθηκαν Αυτοπαλίνδρομα Μοντέλα Ολοκληρωμένου Κινούμενου Μέσου Όρου (Autoregressive Intergrated Moving Average, ARIMA) στα οποία η επιλογή των παραμέτρων επιλέχθηκε με κριτήριο την "Φειδώ/Λακωνικότητα" ή πιο ευρέως χρησιμοποιημένα την ορολογία Parsimony. Γενικότερα στόχος των ερευνητών είναι η χρήση όσο το δυνατόν επιτρέπεται "απλούστερων" μοντέλων (Parsimonious

Models) και όχι πολύ σύνθετων μοντέλων με μεγάλες τιμές παραμέτρων διότι παρατηρείται ότι σε σύνθετα μοντέλα, όσο περισσότεροι παράμετροι προσπαθούν να μοντελοποιηθούν, τόσο περισσότερο τα μοντέλα φαίνεται να αποκλίνουν από την πραγματικότητα, εμφανίζοντας έντονες διακυμάνσεις (volatility) με τη τελική πληροφορία να μην διαφέρει από αυτή που παρουσιάζουν Parsimonious μοντέλα. Παραδείγματος χάριν οι García et. al. (2018), που μελέτησαν τιμές οξειδίων σπανίων γαιών με την χρήση μοντέλων ARIMA, τα τελικά μοντέλα που επιλέχθηκαν από τους ερευνητές για εφαρμογή ήταν μοντέλα πρώτων (μικρότερων) τάξεων.

Με τον ίδιο τρόπο και σε σύγκριση με τη βιβλιογραφία, όπου ήταν δυνατό και επιτρεπόταν, τα κριτήρια επιλογής που επιλέχθηκαν βασίστηκαν στο κριτήριο της Parsimony. Μετά τον υπολογισμό των συναρτήσεων Αυτοσυσχέτισης και Μερικής Αυτοσυσχέτισης (ACF και PACF), έγινε μελέτη των αποτελεσμάτων κάθε χρονικής υστέρησης. Σχεδόν όλα τα παράγωγα εμφάνισαν θετικές αυτοσυσχετίσεις με εξαίρεση το Νικέλιο, γεγονός που οφειλόταν στις δεύτερες λογαριθμικές διαφορές. Έπειτα πραγματοποιήθηκαν διάφορες δοκιμές πιθανών μοντέλων με κριτήριο επιλογής τα μοντέλα απλούστερων δομών (Parsimonious Models) και η μελέτη της εφαρμοστικότητας έγινε στο EViews.

Κριτήρια επιλογής για το καλύτερο μοντέλο αποτέλεσαν κριτήρια που εξηγούν τη παλινδρόμηση των δεδομένων και τα Akaike info criterion (AIC) και Schwarz criterion (Πίνακας 11), τα οποία υπολογίζουν το σχετικό ποσό απώλειας πληροφορίας στο σύστημα.

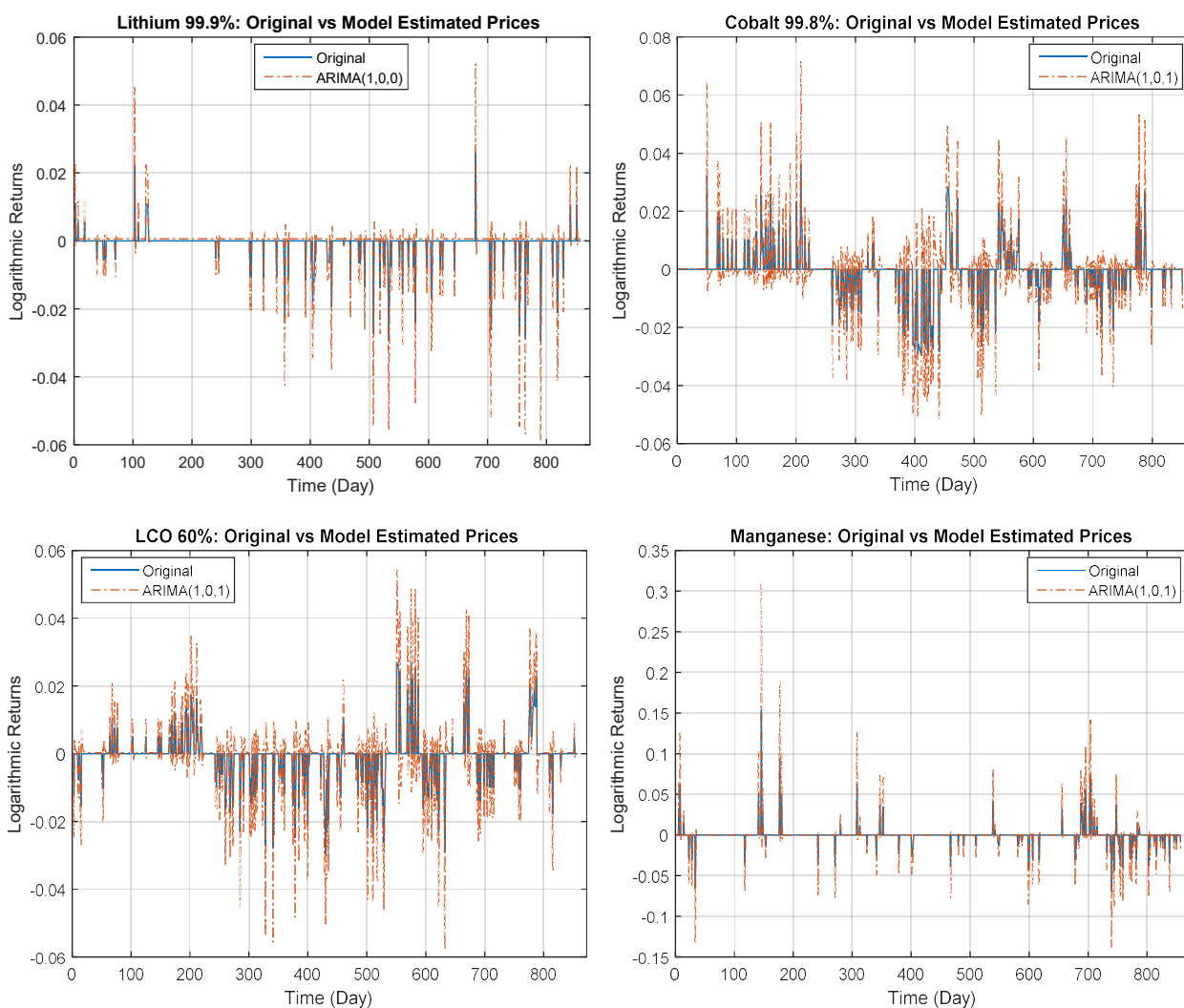
Πίνακας 11: Κριτήρια απώλειας πληροφορίας

Commodities		
Lithium 99.9%	Akaike info criterion	-8196912
	Schwarz criterion	-8180272
Cobalt 99.8%	Akaike info criterion	-7197217
	Schwarz criterion	-7174907
LCO 60%	Akaike info criterion	-7506023
	Schwarz criterion	-7483837
Manganese	Akaike info criterion	-6125799
	Schwarz criterion	-6103612
Neodymium	Akaike info criterion	-6052731
	Schwarz criterion	-6030544
Nickel	Akaike info criterion	-5346243
	Schwarz criterion	-5324918

Όσον αφορά τα κριτήρια πληροφορίας η μεγαλύτερη κατά απόλυτη τιμή είναι αυτή που εξηγεί την καλύτερη εφαρμοστικότητα του μοντέλου στα πραγματικά δεδομένα. Παρατηρείται λοιπόν, ότι καλύτερη προσεγγιστικά πληροφόρηση στη μεταξύ τους σύγκριση να εμφανίζει το Λίθιο και

ακολουθούν το Κοβάλτιο και το Οξειδίο Λιθίου-Κοβαλτίου. Αντίστοιχα μικρότερη τιμή πληροφόρησης εμφανίζει το Νικέλιο, το οποίο είναι λογικό διότι εμφάνιζε τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα παράγωγα. Έπειτα μέσω EViews και MATLAB, έγινε μελέτη της κατανομής υπολοίπων, παρατηρώντας αν εμφανίζουν κανονική κατανομή και τέλος εφαρμόστηκαν τα επιλεγόμενα μοντέλα έναντι των πραγματικών τιμών.

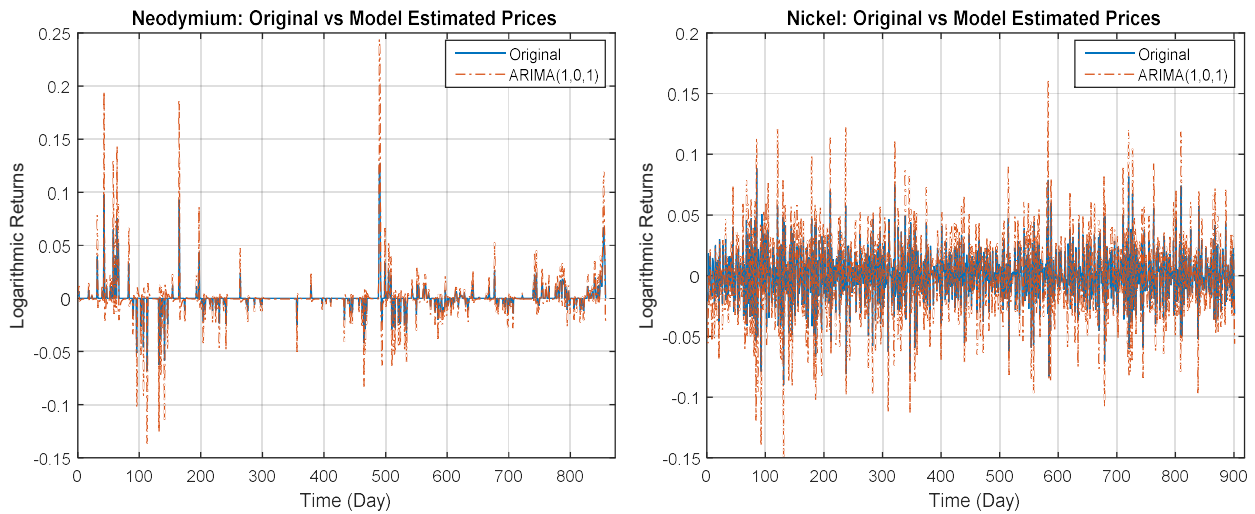
Τα μοντέλα αυτά παρουσιάζονται στα Γραφήματα 18 για το Λίθιο, Κοβάλτιο, Οξειδίο Λιθίου-Κοβαλτίου και Μαγγάνιο.



Γράφημα 18: Μελέτη Εφαρμογής μοντέλων ARIMA στα παράγωγα σε αντίθεση με τις πραγματικές τιμές.

Για τα πρώτα τέσσερα παράγωγα (Λιθίου, Κοβαλτίου, Οξειδίου Λιθίου-Κοβαλτίου και Μαγγανίου) παρουσιάζονται προβλεπόμενες τιμές των μοντέλων ARIMA έναντι των πραγματικών και φαίνεται σε πρώτο στάδιο οι τιμές των μοντέλων να εμφανίζουν μια σχετικά καλή εφαρμοστικότητα στις πραγματικές τιμές.

Έπειτα παρουσιάζονται στο Γράφημα 19 τα μοντέλα για το Νεοδύμιο και το Νικέλιο.



Γράφημα 19: Μελέτη Εφαρμογής μοντέλων ARIMA στα παράγωγα σε αντίθεση με τις πραγματικές τιμές.

Όπως παρατηρείται από τα Γραφήματα 18 και 19, εφόσον η εφαρμογή των μοντέλων πραγματοποιήθηκε στις χρονοσειρές, από τις οποίες έχει γίνει διαδικασία αφαίρεσης εποχικότητας όπου αυτή ανιχνεύθηκε, τα τελικά μοντέλα είχαν βαθμό υστέρησης (βαθμό διαφοροποίησης) μηδενικής τάξης ($d = 0$). Με το τρόπο αυτό η $I(d)$ παράμετρος, δεν υπολογίστηκε και προέκυψαν μοντέλα απλούστερης δομής όπως AR και $ARMA$.

Συγκεκριμένα στα παράγωγα, όλα τα μοντέλα που εφαρμόστηκαν ήταν $ARMA(1,1)$ με εξαίρεση το Λίθιο (Lithium 99.9%) στο οποίο καλύτερη εφαρμογή είχε το $AR(1)$. Στη περίπτωση του Νεοδυμίου το μοντέλο που επιλέχθηκε $ARMA(1,1)$ συμφώνησε και βιβλιογραφικά με το μοντέλο που επιλέχθηκε από τους García et. al. (2018). Όλα τα μοντέλα εμφάνισαν ικανοποιητική εφαρμοστικότητα (fitting) για όλα τα χρηματιστηριακά παράγωγα και οι προβλεπόμενες τιμές (Predicted Values) των μοντέλων φαίνεται να συμπίπτουν με τις πραγματικές τιμές (Original Values).

Εφόσον πραγματοποιήθηκε καθορισμός των μοντέλων, στην επόμενη Ενότητα (Ενότητα 14) θα γίνει πρόβλεψη μελλοντικών τιμών κλεισίματος (Close Prices Forecast) για τις επόμενες 9 ημέρες διαπραγμάτευσης.

14. Προβλέψεις Μελλοντικών τιμών Παραγώγων

Στη παρούσα Ενότητα πραγματοποιήθηκαν προβλέψεις για τη χρονική περίοδο από 1/12/2020 μέχρι 11/12/2020, δηλαδή για τις επόμενες 9 ημέρες διαπραγμάτευσης. Σαν βάση ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές της περιόδου από 10/5/2017 μέχρι 30/11/2020 και πραγματοποιήθηκαν τρόποι πρόβλεψης με Αυτοπαλίνδρομα Μοντέλα ARIMA, με προσομοίωση Monte Carlo (Monte Carlo Simulations), καθώς και με τη χρήση Νευρωνικών Δικτύων (Neural Networks). Οι συγκεκριμένες μέθοδοι παρουσιάζονται στις Ενότητες 14.1, 14.2 και 14.3 αντίστοιχα.

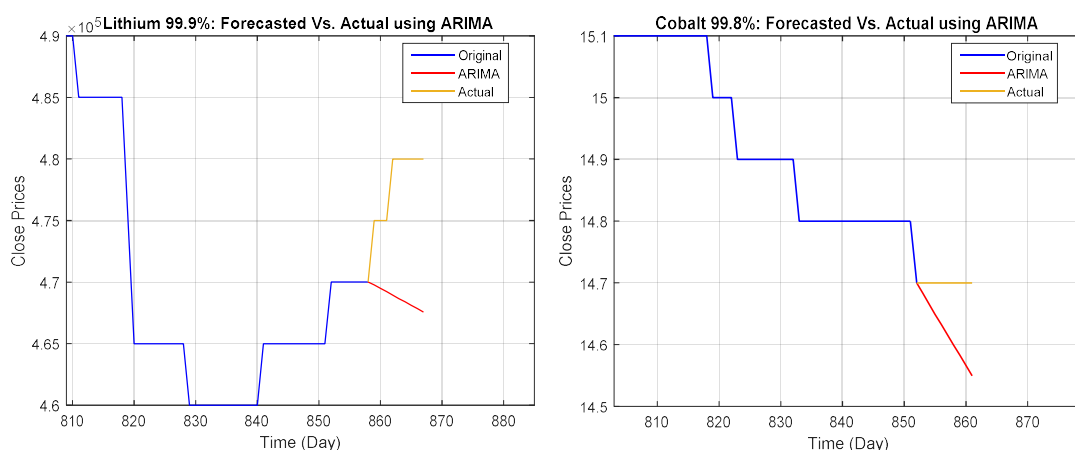
Τέλος στην Ενότητα 14.5 πραγματοποιήθηκε σύγκριση των αποτελεσμάτων των μεθόδων μεταξύ τους καθώς και σε σχέση με τις πραγματικές τιμές.

14.1 Πρόβλεψη με Αυτοπαλίνδρομα Μοντέλα (ARIMA)

Η Πρώτη μέθοδος πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκε ήταν με τη χρήση μοντέλων ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) και οι εντολές του δομήθηκαν με βάση τη θεωρία της Ενότητας 11.1.

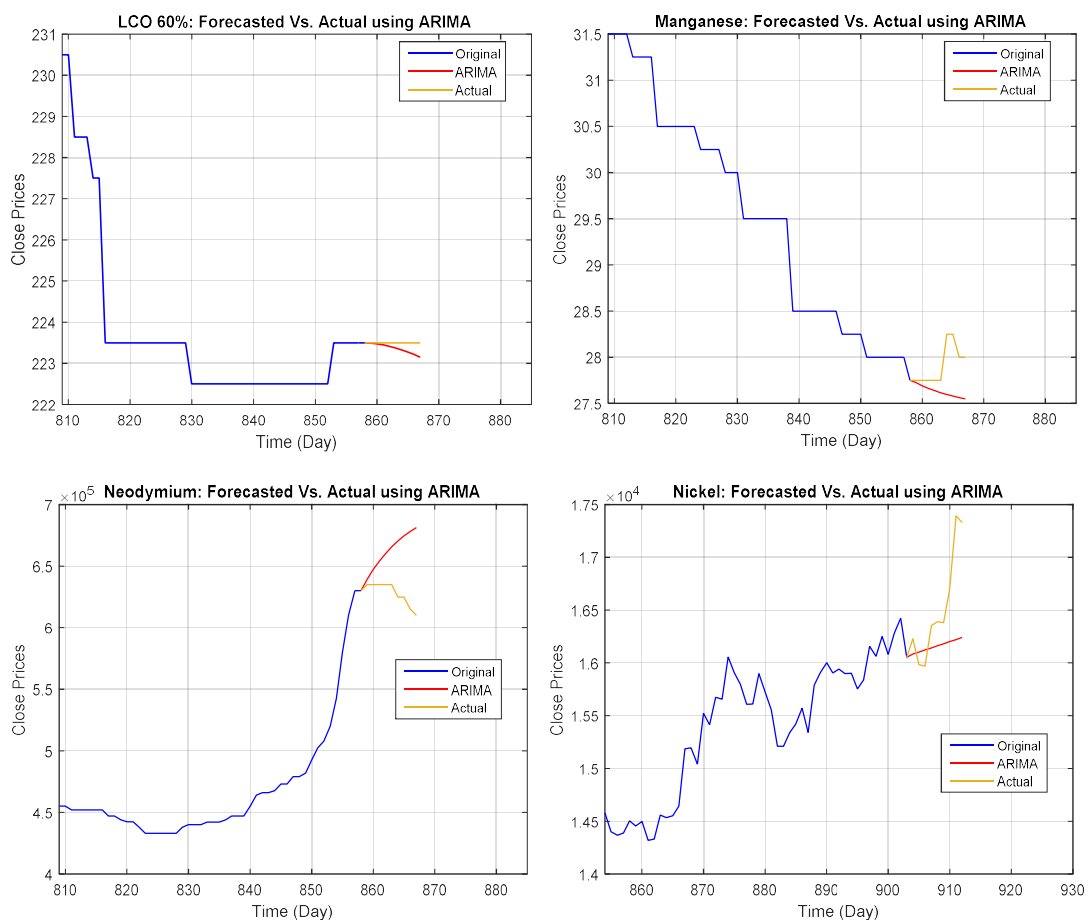
Τα μοντέλα στα οποία βασίστηκε η πρόβλεψη ήταν τα μοντέλα που επιλέχθηκαν, με διαφορά ότι σε σχέση με πριν που γινόταν εφαρμογή μοντέλων πάνω σε στάσιμες χρονοσειρές στη συγκεκριμένη περίπτωση η πρόβλεψη έγινε πάνω σε μη στάσιμες χρονοσειρές. Με τον τρόπο αυτό, ο βαθμός υστέρησης (βαθμός διαφοροποίησης) που πριν ήταν μηδενικός τώρα να καθοριστεί αναλόγως.

Συγκεκριμένα οι προβλέψεις που προέκυψαν σε μορφή γραφήματος (Γράφημα 20) για τις επόμενες εννέα μέρες διαπραγμάτευσης στο Λίθιο και το Κοβάλτιο.



Γράφημα 20: Πρόβλεψη περιόδου από 1/12/2020-11/12/2020 για τα παράγωγα Λιθίου και Κοβαλτίου..

Στη συνέχεια σε μορφή γραφήματος (Γράφημα 21) για τις επόμενες εννέα μέρες διαπραγμάτευσης στο Οξειδίο Λιθίου-Κοβαλτίου, το Μαγγάνιο, το Νεοδύμιο και το Νικέλιο.



Γράφημα 21: Πρόβλεψη περιόδου από 1/12/2020-11/12/2020 για τα παράγωγα Οξειδίου Λιθίου-Κοβαλτίου, Μαγγανίου, Νεοδύμιο και Νικελίου.

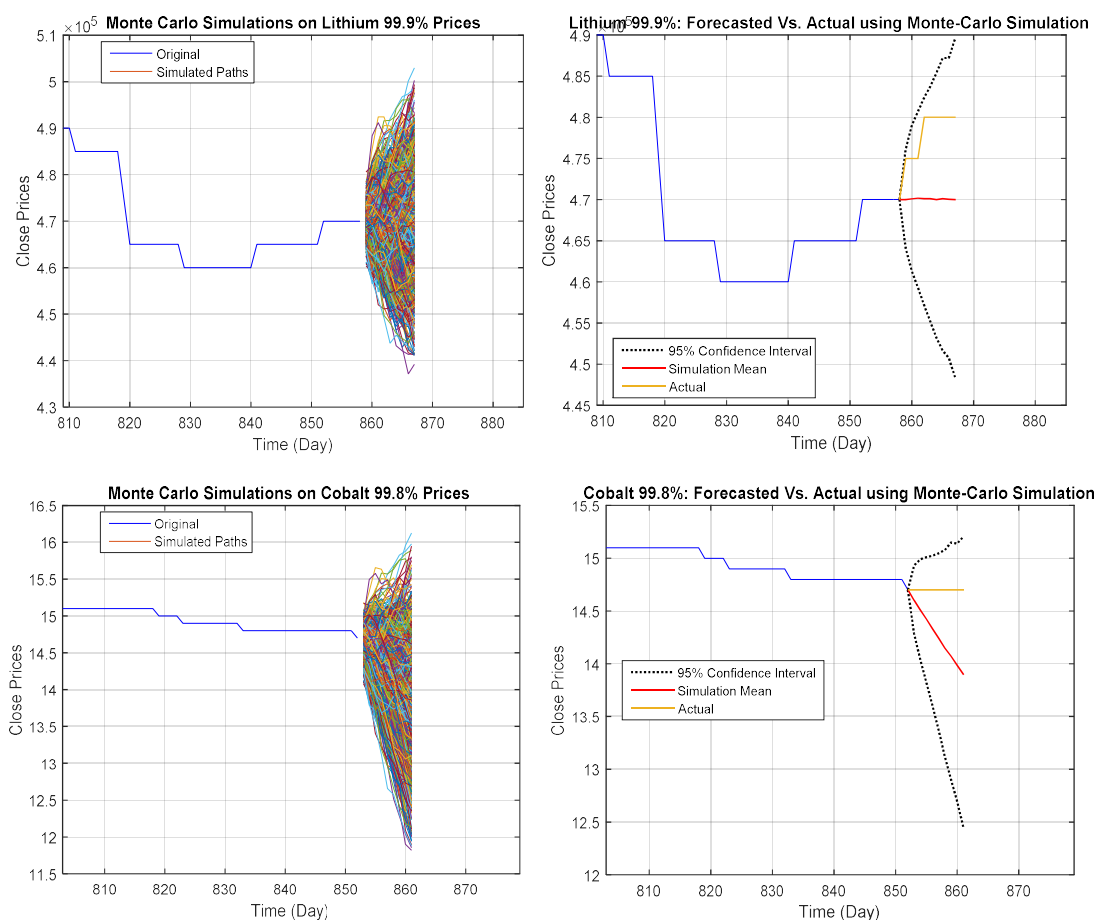
Τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για τις προβλέψεις ήταν αυτά όπως ορίστηκαν στη προηγούμενη ενότητα (Ενότητα 13.4) με μοναδική διαφορά το βαθμό διαφοροποίησης που πριν λόγω του ότι μελετιούνταν στάσιμες χρονοσειρές ήταν μηδενικός, τώρα προσδιορίστηκε ανάλογα με την Ενότητα 13.2, δηλαδή για όλες της χρονοσειρές είχε τιμή ένα και προκύπταν μοντέλα $ARIMA(1,1,1)$ με εξαίρεση το Λίθιο που το μοντέλο που εφαρμόστηκε ήταν $ARIMA(1,1,0)$ και το Νικέλιο όπου το μοντέλο που προέκυψε ήταν $ARIMA(1,2,1)$. Οι αποκλίσεις των προβλεπόμενων έναντι των πραγματικών τιμών παρουσιάζονται εκτενέστερα στην Ενότητα 14.4.

14.2 Πρόβλεψη με Προσομοίωση Monte Carlo

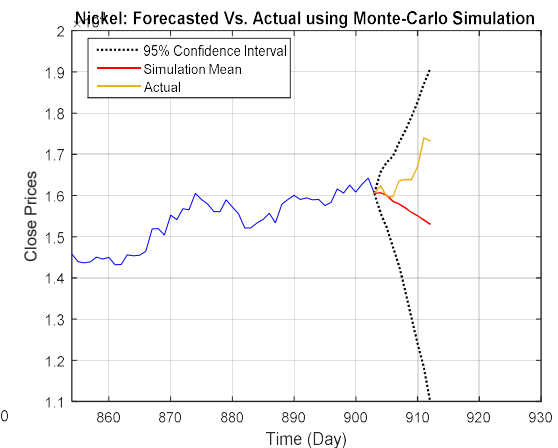
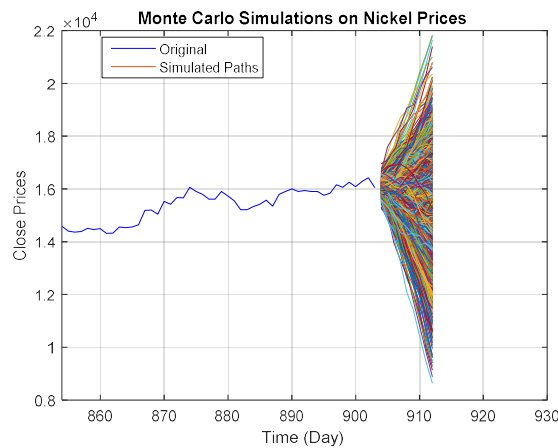
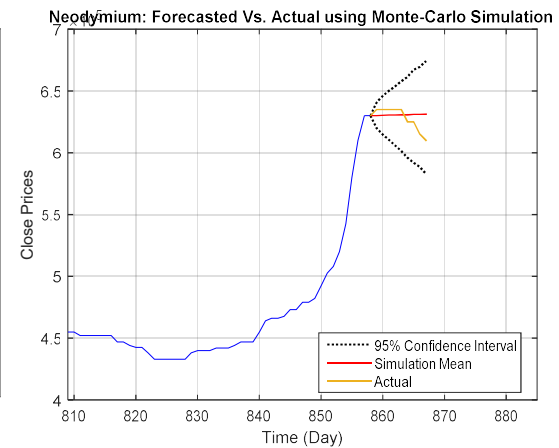
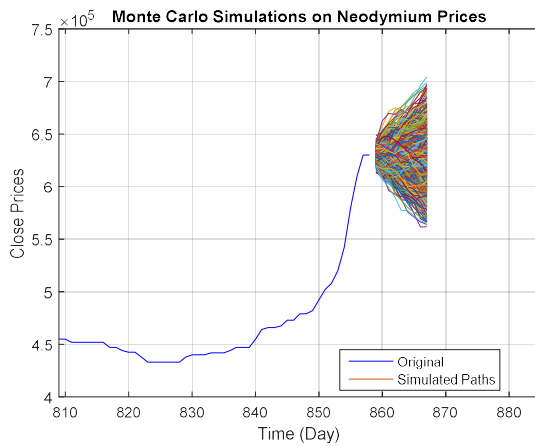
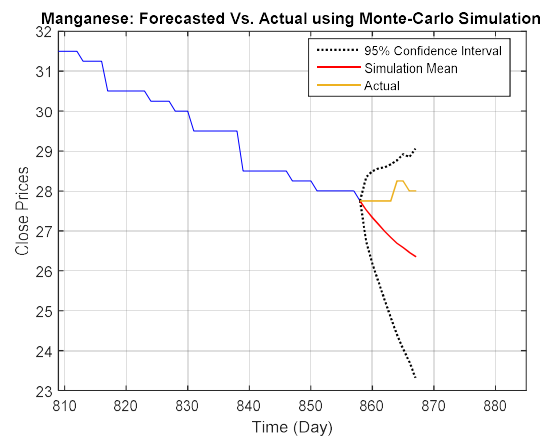
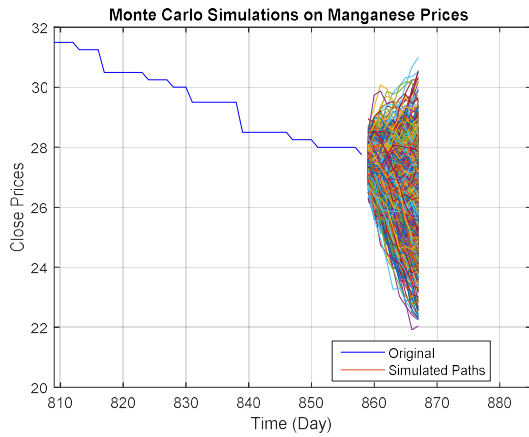
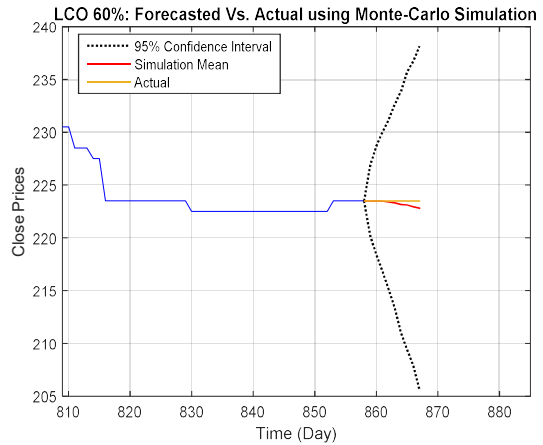
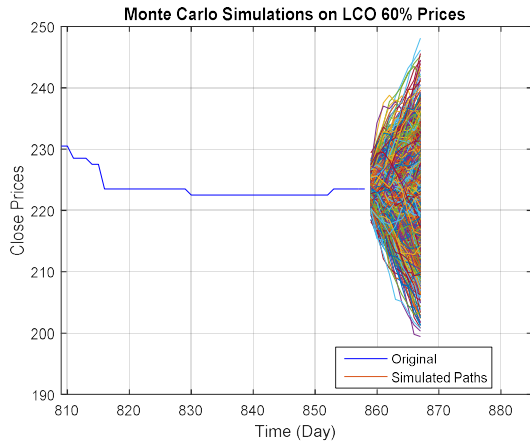
Στη συνέχεια η δεύτερη μέθοδος πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκε ήταν οι Προσομοιώσεις Monte Carlo (Monte Carlo Simulations), οι εντολές δομήθηκαν βάσει της θεωρίας της Ενότητας 11.2.

Η συγκεκριμένη διαδικασία χωρίζεται σε δύο κομμάτια, στο πρώτο κομμάτι πραγματοποιείται ένας αριθμός προσομοιώσεων στοχαστικής διαδικασίας που βασίζονται στην Εξίσωση 8. Μετέπειτα στο δεύτερο κομμάτι η μέση τιμή από κάθε βήμα για κάθε προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε ορίζει την τιμή μελλοντικής πρόβλεψης. Ο υπολογιστής στον οποίο διεξήχθησαν οι προσομοιώσεις έχει επεξεργαστή Intel® Core i5-8265U (8^{ης} Γενιάς) και ο αριθμός των προσομοιώσεων που ορίστηκε ήταν 1500 προσομοιώσεις, ο αριθμός αυτός ορίστηκε με το κριτήριο ότι για ένα αριθμό περισσότερων των χιλίων προσομοιώσεων τα αποτελέσματα φαίνονται να καλύπτουν ένα πολύ μεγάλο εύρος πιθανολογικών σεναρίων. Περαιτέρω προσομοιώσεις εμφανίζουν μικρές αποκλίσεις στις προβλεπόμενες τιμές και παράλληλα καθυστερούν την διαδικασία των υπολογισμών [41],[43].

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα γραφήματα (Γράφημα 22 και 23) της διαδικασίας προσομοιώσεων και πρόβλεψης Monte Carlo για όλα τα παράγωγα και τα γραφήματα αυτών που προκύπτουν είναι τα εξής:



Γράφημα 22: Προσομοίωση και Monte Carlo Πρόβλεψη περιόδου από 1/12/2020-11/12/2020 για το Λίθιο και το Κοβάλτιο.



Γράφημα 23: Προσομοίωση και Monte Carlo Πρόβλεψη περιόδου από 1/12/2020-11/12/2020 για το Οξείδιο Λιθίου-Κοβαλτίου, το Μαγγάνιο, το Νεοδύμιο και το Νικέλιο.

Σύμφωνα και με τη διαδικασία πρόβλεψης μελλοντικών τιμών της Ενότητας 14.1, έτσι και στη παρούσα ενότητα με μια πρώτη ματιά φαίνεται σε κάποιες περιπτώσεις να προκύπτει λίγο διαφορετική πρόβλεψη σε σχέση με τις προβλέψεις των μοντέλων ARIMA, αλλά δεν φαίνεται να παρουσιάζεται κάποια σημαντική απόκλιση. Ακόμα και για περιπτώσεις όπως το Νεοδύμιο και το Νικέλιο δεν φαίνεται μάλιστα η απόκλιση αυτή να είναι πολύ μεγάλη.

Με μια πρώτη ανασκόπηση παρατηρείται μια φαινομενικά σχετική συμφωνία μεταξύ των πρώτων δύο μεθόδων προβλέψεων, περαιτέρω όμως συζήτηση θα πραγματοποιηθεί μετά και την τρίτη μέθοδο πρόβλεψης (Νευρωνικά Δίκτυα). Οι αποκλίσεις των προβλεπόμενων έναντι των πραγματικών τιμών παρουσιάζονται εκτενέστερα στην Ενότητα 14.4.

14.3 Πρόβλεψη με Νευρωνικά Δίκτυα

Η τελευταία μέθοδος πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκε, ήταν αυτή των Νευρωνικών Δικτύων (Neural Networks). Αρχικά πραγματοποιήθηκε ανάλυση των χρονοσειρών μέσω του προγράμματος Fractan. Στόχος της ανάλυσης μέσω του συγκεκριμένου προγράμματος ήταν να υπολογιστεί το Correlation Dimension/Correlation Integral (βλ. Ενότητα 11.3, Εξίσωση 9 και 10). Μέσω αυτής της διαδικασίας υπολογισμού ήταν που καθοριζόταν και οι δύο σημαντικοί παράμετροι που χρησιμοποιούνταν στο Νευρωνικό δίκτυο, αυτοί ήταν ο αριθμός των χρονικών υστερήσεων (Time Delay) και ο αριθμός των νευρώνων/κρυφών επιπέδων (Neurons/Hidden Layers).

Να τονισθεί επίσης πως στη παρούσα ενότητα σε σχέση με την μέθοδο των μοντέλων ARIMA που βασίζονται στη Γραμμική ανάλυση, η ανάλυση για την εύρεση των παραγόντων των Νευρωνικών Δικτύων βασίζεται στη Μη Γραμμική ανάλυση. Όπως σε κάθε φαινόμενο ανάλυσης, έτσι και στα Νευρωνικά Δίκτυα, υπάρχουν πολλοί ερευνητές στη βιβλιογραφία που χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθόδους για το καθορισμό των κατάλληλων παραμέτρων αναλόγως το φαινόμενο που μελετούν. Και στη συγκεκριμένη περίπτωση, δεν υπάρχει μια αξιωματική μέθοδος καθορισμού των κατάλληλων παραμέτρων που να χρίζει καθολικής εφαρμογής, οπότε οι ερευνητές βασίζονται τις επιλογές τους σε διάφορα κριτήρια.

Το κριτήριο που επιλέχθηκε στη παρούσα διαδικασία καθορισμού δομής των Νευρωνικών Δικτύων ήταν η διαδικασία υπολογισμού του Correlation Dimension/Correlation Integral. Κατά τη διαδικασία αυτή γίνεται η εύρεση της εναποθέσασας διάστασης ή διάστασης ενσωμάτωσης (Embedding Dimension), η Embedding Dimension είναι η διάσταση στο χώρο των φάσεων που χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση ανακατασκευής. Έχει άμεση εξάρτηση με το χρόνο υστέρησης (Time delay), καθώς μια μεγάλη Embedding Dimension οδηγεί σε μεγάλες υστερήσεις (delays) και υπερβολικό αριθμό σημείων δεδομένων. Με την εύρεση της ελάχιστης εναποθέσασας διάστασης ή ελάχιστης διάστασης ενσωμάτωσης (Minimum Embedding Dimension), γίνεται μια περισσότερο ορθή προβολή

των πολλαπλών m-διαστάσεων του ανακατασκευασμένου ελκυστήρα/ατράκτορα (attractor). Στη πράξη, η Embedding Dimension βρίσκεται υπολογίζοντας το Correlation Dimension του ανακατασκευασμένου ελκυστήρα, επιλέγοντας τη συγκεκριμένη διάσταση εναπόθεσης στο σημείο του άξονα x το οποίο σταματά να μεταβάλλεται και φαίνεται να οριζοντικοποιείται [52]. Το συγκεκριμένο σημείο είναι που ορίζει και τις απαραίτητες παραμέτρους, πιο συγκεκριμένα το σημείο που σταματά να παρατηρείται μεταβολή (σημείο άξονα x) είναι η χρονική υστέρηση στην οποία η διάσταση εναπόθεσης σταματά να μεταβάλλεται και η τιμή της Embedding Dimension σε εκείνο το σημείο (τιμή άξονα y), είναι η ελάχιστη διάσταση εναπόθεσης (Minimum Embedding Dimension). Αν η τιμή αυτή (τιμή άξονα y) είναι μεταξύ του μηδέν και ένα, τότε το σύστημα είναι μονοδιάστατο, αν είναι μεταξύ του ένα και δύο είναι δυοδιάστατο, μεταξύ του δύο και τρία τρισδιάστατο, μεταξύ του τρία και τέσσερα τετραδιάστατο και ούτω καθεξής.

Στα Νευρωνικά Δίκτυα η εύρεση του Embedding Dimension είναι σημαντική, διότι η τιμή της Minimum Embedding Dimension καθορίζει τα κρυφά επίπεδα (Hidden Layers), τα οποία είναι που εκτελούν μη γραμμικούς μετασχηματισμούς των δεδομένων που εισέρχονται στο δίκτυο. Ένα κρυφό επίπεδο αποτελείται από τέσσερις νευρώνες, με άλλα λόγια υπάρχουν τέσσερις ταξινομητές/νευρώνες που ο καθένας δημιουργεί έναν μοναδικό δυαδικό ταξινομητή, ο οποίος ονομάζεται Αντίληπτρο/Perceptron. Γι' αυτό και η τιμή της Minimum Embedding Dimension αν δεν στρογγυλοποιηθεί προς τα πάνω πολλαπλασιάζεται με το τέσσερα, αλλιώς αν επέλθει στρογγυλοποίηση της τότε πολλαπλασιάζεται με το τρία έτσι ώστε να σχηματίζεται ακέραιος αριθμός νευρώνων.

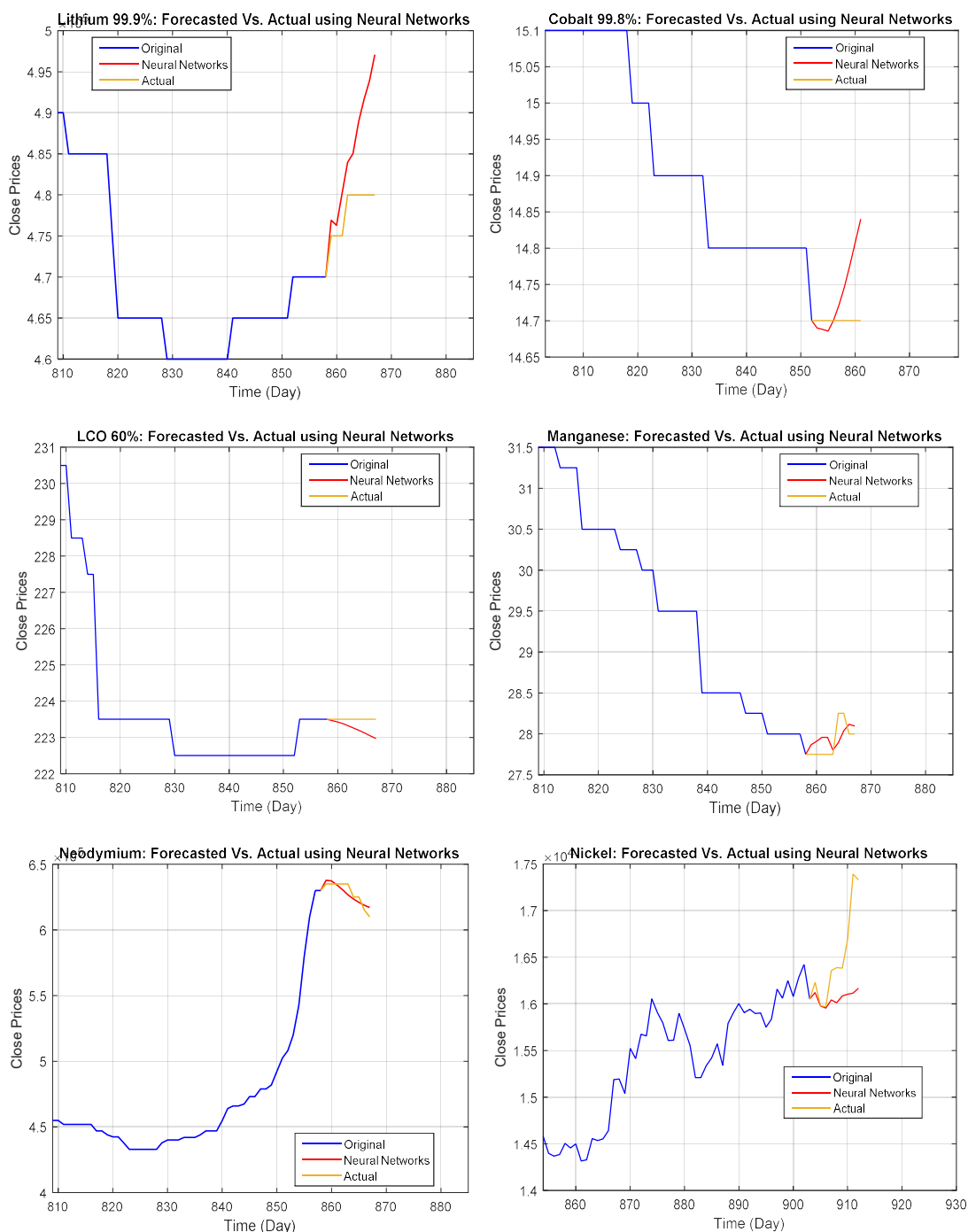
Σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία παρατίθεται το Time Delay, Minimum Embedding Dimension και οι Νευρώνες (Neurons) για όλες τις χρονοσειρές των παραγώγων (βλ. Παράρτημα). Αυτές ήταν και οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των Νευρωνικών Δικτύων. Οι τιμές αυτών των παραμέτρων παρουσιάζονται στο Πίνακα 12.

Πίνακας 12: Τιμές Embedding Dimension, Minimum Embedding Dimension και Neurons για τα παράγωγα

COMMODITIES	TIME DELAY	MIN. EMBEDDING DIMENSION (HIDDEN LAYERS)	NEURONS
LITHIUM 99.9%	3	≈ 1,5 → 2	6
COBALT 99.8%	4	≈ 1,5 → 2	6
LCO 60%	5	≈ 2,25 → 3	9
MANGANESE	11	≈ 2,25 → 3	9
NEODYMIUM	4	≈ 1,5 → 2	6
NICKEL	7	= 4	16

Από τον Πίνακα 12, παρατηρείται ότι όλα τα παράγωγα εμφανίζουν διαφορετικές διαστάσεις εναπόθεσης. Η πιο σημαντική παρατήρηση είναι ότι η ελάχιστη διάσταση στην οποία μπορεί να εναποτεθεί ο ατράκτορας του συστήματος είναι για το Νεοδύμιο, το Λίθιο και το Κοβάλτιο οι δύο

διαστάσεις κάνοντας το σύστημα δισδιάστατο. Για το Οξείδιο Λιθίου-Κοβαλτίου οι τρεις διαστάσεις κάνουντας το σύστημα τρισδιάστατο. Ενώ τέλος, για το Νικέλιο οι τέσσερις διαστάσεις κάνουντας το σύστημα τετραδιάστατο. Έπειτα με κριτήριο τον ακέραιο αριθμό νευρώνων και το ότι τέσσερις νευρώνες σχηματίζουν ένα επίπεδο (layer), προέκυψαν οι αριθμοί των Νευρώνων που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του δικτύου. Σύμφωνα με τις παραμέτρους του Πίνακα 12, κατασκευάστηκε η δομή των Νευρωνικών Δικτύων για κάθε παράγωγο και οι προβλέψεις που προέκυψαν παρουσιάζονται στο Γράφημα 24.



Γράφημα 24: Προβλέψεις Νευρωνικών Δικτύων από 1/12/2020-11/12/2020 για όλα τα παράγωγα

Επίσης κατά την διαδικασία προβλέψεων υπολογίστηκαν και οι συντελεστές Lyapunov (Lyapunov Exponents) για κάθε χρονοσειρά όλων των παραγώγων (Πίνακας 13).

Πίνακας 13 : Συντελεστές Lyapunov για όλα τα χρηματιστηριακά παράγωγα.

COMMODITY	LYAPUNOV EXPONENT
LITHIUM 99.9%	-0,0013
COBALT 99.8%	0,0663
LCO 60%	0,0396
MANGANESE	0
NEODYMIUM	0
NICKEL	1,1899

Παρατηρείται από το Πίνακα 13 ότι οι συντελεστές Lyapunov όλοι είναι κοντά στο μηδέν με το Λίθιο η τιμή του να είναι λίγο κάτω από το μηδέν, κάτι που υποδηλώνει ότι το σύστημα μπορεί να χαρακτηριστεί ως συντηρητικό (conservative), δηλαδή δεν παρατηρούνται φαινόμενα διάχυσης. Έτσι, ένα στοιχείο όγκου του χώρου φάσης θα παραμείνει ίδιο κατά το μήκος της τροχιάς. Με αυτό το τρόπο, μπορεί να χαρακτηριστεί σαν σταθερής κατάστασης (steady state mode). Από τα παράγωγα το μοναδικό που εμφανίζει αισθητά θετική τιμή είναι το Νικέλιο, κάτι που υποδηλώνει ότι εμφανίζει χαοτική συμπεριφορά κάτι το οποίο είναι λογικό λόγω των έντονων διακυμάνσεων.

Γενικότερα στόχος του υπολογισμού των συντελεστών Lyapunov ήταν ο καθορισμός της ασφάλειας των προβλέψεων των χρονοσειρών, την ασφάλεια των προβλέψεων καθώς και αν η χρονοσειρά εμφανίζει χαοτική συμπεριφορά.

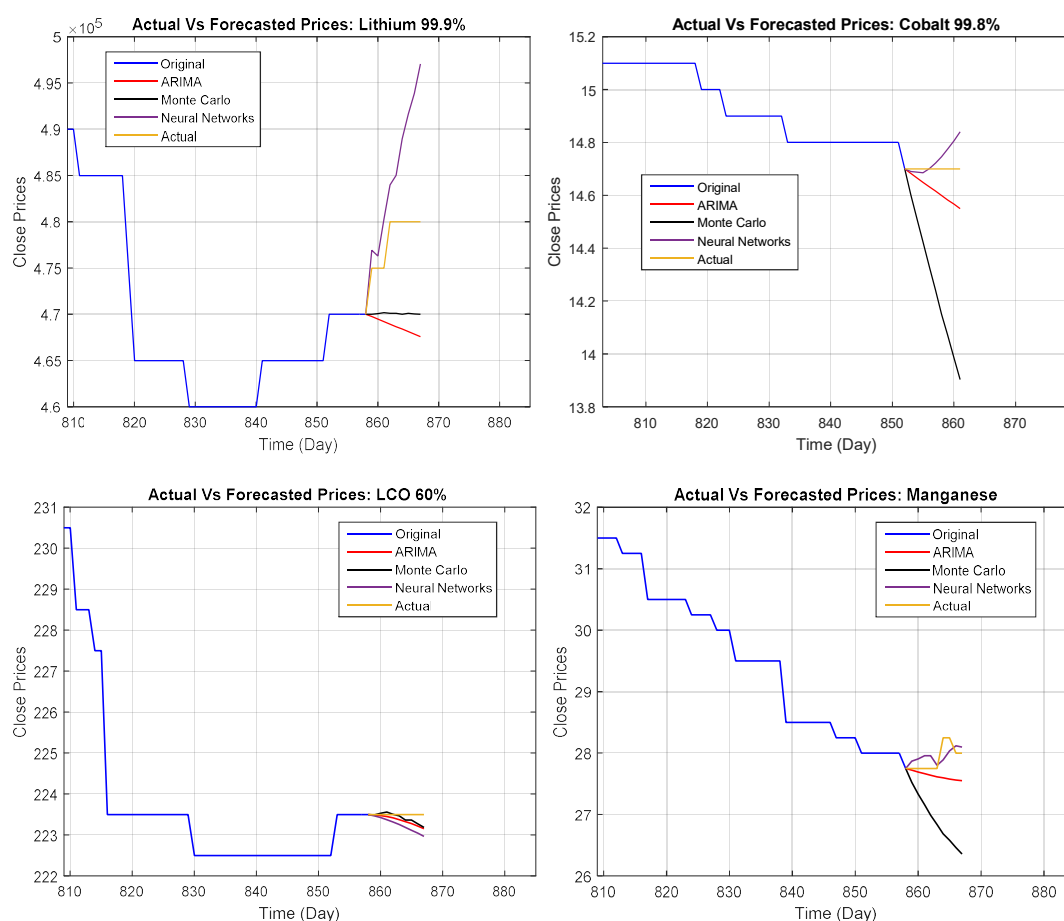
Γενικότερα αν οι συντελεστές είναι θετικοί τότε η χρονοσειρά εμφανίζει χαοτική συμπεριφορά. Όσον αφορά τις περιπτώσεις προβλέψεων μελλοντικών τιμών, παρατηρούνται διαφορετικά αποτελέσματα από τις δύο προηγούμενες μεθόδους (ARIMA και Monte-Carlo), όμως εκτενέστερος σχολιασμός θα πραγματοποιηθεί στην επόμενη ενότητα. Οι αποκλίσεις των προβλεπόμενων έναντι των πραγματικών τιμών παρουσιάζονται εκτενέστερα στην Ενότητα 14.4 (Πίνακας 14 και Πίνακας 15).

14.4 Σύγκριση μεταξύ Πραγματικών τιμών και τιμών Πρόβλεψης

Τέλος, στη παρούσα ενότητα παρουσιάζονται για τη χρονική περίοδο από 1/12/2020 μέχρι 11/12/2020, δηλαδή για τις επόμενες 9 ημέρες διαπραγμάτευσης, οι προβλέψεις που πραγματοποιήθηκαν μετά τις διαδικασίες προβλέψεων Autoregressive Intergrated Moving Average (ARIMA) μοντέλων, τις προσομοιώσεις Monte Carlo (Monte Carlo Simulations) και Νευρωνικών Δικτύων (Neural Networks).

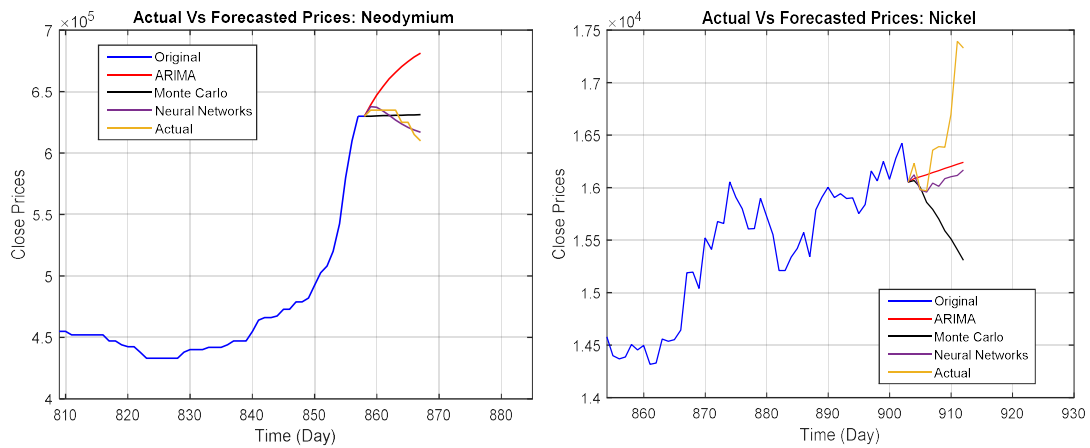
Παρουσιάζεται η σύγκριση που πραγματοποιήθηκε των τιμών πρόβλεψης (Forecasted Prices) όλων των μεθόδων, έναντι των πραγματικών (Actual Prices), με σκοπό την αξιολόγηση των μεθόδων πρόβλεψης και σύγκρισής μεταξύ τους.

Αρχικά στο Γράφημα 25, παρουσιάζονται σε γραφική μορφή οι προβλέψεις μελλοντικών τιμών για τα παράγωγα Λιθίου και Κοβαλτίου, Οξειδίου Λιθίου-Κοβαλτίου και Μαγγανίου για κάθε μέθοδο πρόβλεψης που πραγματοποιήθηκε έναντι των πραγματικών τιμών.



Γράφημα 25: Τιμές προβλέψεων των μεθόδων έναντι των πραγματικών τιμών για το Λίθιο, Κοβάλτιο, Οξείδιο Λιθίου-Κοβαλτίου και το Μαγγάνιο..

Έπειτα στο Γράφημα 26, παρουσιάζονται σε γραφική μορφή οι προβλέψεις μελλοντικών τιμών για τα παράγωγα Λιθίου και Κοβαλτίου για κάθε μέθοδο πρόβλεψης που πραγματοποιήθηκε έναντι των πραγματικών τιμών.



Γράφημα 26: Τιμές προβλέψεων των μεθόδων έναντι των πραγματικών τιμών για το Οξείδιο Λιθίου-Κοβαλτίου, το Μαγγάνιο Νεοδύμιο και το Νικέλιο.

Με μια πρώτη ανάλυση, οπτικά φαίνεται πως σε όλα τα Γραφήματα (Γράφημα 25 και 26) οι προβλέψεις που πραγματοποιήθηκαν από όλες τις μεθόδους να είναι πολύ κοντά με τις πραγματικές τιμές. Μπορεί να παρατηρούνται σε κάποιες περιπτώσεις κάποιες αποκλίσεις όπως για παράδειγμα στις προβλεπόμενες τιμές Κοβαλτίου με χρήση Monte Carlo (Γράφημα 25, δεξιά πάνω), παρόλα αυτά αν παρατηρηθεί πιο προσεκτικά ο άξονας των τιμών (άξονας y), φαίνεται πως η διαβάθμιση του άξονα είναι της τάξης του 0,2 οπότε μια φαινομενικά μεγάλη πτώση στη πραγματικότητα δεν είναι τόσο μεγάλη όσο φαίνεται. Γι' αυτό θα πρέπει να δοθεί προσοχή στη διαβάθμιση των αξόνων όταν παρατηρείται γραφικά η αποτελεσματικότητα του μοντέλου.

Για την ευκρινέστερη εικόνα των προβλέψεων έναντι των πραγματικών τιμών απαραίτητος ήταν ο υπολογισμός των ποσοστιαίων μεταβολών των αποτελεσμάτων των μεθόδων προβλέψεων έναντι των πραγματικών τιμών, για να παρατηρηθεί σε κάθε περίπτωση ποια μέθοδος είχε καλύτερη ποσοστιαία ανταπόκριση πρόβλεψης και για πόσο διάστημα. Τα ακριβή νούμερα των προβλέψεων των μεθόδων παρατίθενται στο Παράρτημα (Πίνακας Α και Β) της εργασίας.

Στο Πίνακα 14, παρουσιάζονται η ποσοστιαία μεταβολή των μεθόδων προβλέψεων έναντι των πραγματικών τιμών για το Λίθιο, Κοβάλτιο και Οξείδιο Λιθίου-Κοβαλτίου.

Πίνακας 14: Ποσοστιαίες μεταβολές τιμών προβλέψεων έναντι των πραγματικών για Λίθιο, Κοβάλτιο και Οξείδιο Λιθίου-Κοβαλτίου

	DATE	ARIMA	MONTE CARLO SIMULATION	NEURAL NETWORKS	ACTUAL
LITHIUM 99.9%	1/12/2020	-1,1%	-1,1%	0,4%	475000
	2/12/2020	-1,2%	-1,0%	0,3%	475000
	3/12/2020	-1,2%	-1,0%	1,1%	475000
	4/12/2020	-1,3%	-1,0%	1,9%	480000
	7/12/2020	-1,3%	-1,0%	2,1%	480000
	8/12/2020	-1,4%	-1,1%	2,9%	480000
	9/12/2020	-1,4%	-1,0%	3,5%	480000
	10/12/2020	-1,5%	-1,0%	4,0%	480000
	11/12/2020	-1,6%	-1,1%	4,6%	480000
COBALT 99,8%	1/12/2020	-0,1%	-0,7%	-0,1%	14,7
	2/12/2020	-0,2%	-1,3%	-0,1%	14,7
	3/12/2020	-0,3%	-1,9%	-0,1%	14,7
	4/12/2020	-0,5%	-2,5%	0,003%	14,7
	7/12/2020	-0,6%	-3,1%	0,1%	14,7
	8/12/2020	-0,7%	-3,7%	0,3%	14,7
	9/12/2020	-0,8%	-4,3%	0,5%	14,7
	10/12/2020	-0,9%	-4,9%	0,7%	14,7
	11/12/2020	-1,0%	-5,4%	1,0%	14,7
LITHIUM COBALT OXIDE 60%	1/12/2020	-0,004%	-0,004%	-0,01%	223,5
	2/12/2020	-0,01%	0,01%	-0,03%	223,5
	3/12/2020	-0,02%	0,03%	-0,06%	223,5
	4/12/2020	-0,04%	0,002%	-0,08%	223,5
	7/12/2020	-0,06%	-0,02%	-0,11%	223,5
	8/12/2020	-0,08%	-0,06%	-0,14%	223,5
	9/12/2020	-0,10%	-0,06%	-0,17%	223,5
	10/12/2020	-0,13%	-0,10%	-0,20%	223,5
	11/12/2020	-0,16%	-0,14%	-0,24%	223,5

Όπως παρατηρείται από το Πίνακα 14, οι απόλυτες τιμές προβλέψεων έχουν αποκλίσεις της τάξεως του 1-2 %, κάτι που υποδηλώνει ότι όλα τα μοντέλα πραγματοποίησαν πολύ καλές προβλέψεις. Εξαιρεση μόνο αποτελεί το Κοβάλτιο με τη μέθοδο Monte Carlo που φαίνεται μετά την τρίτη μέρα πρόβλεψης να αποκλίνει φτάνοντας σε ποσοστό απόκλισης της τάξεως του 4%.

Στο Πίνακα 15, παρουσιάζονται η ποσοστιαία μεταβολή των μεθόδων προβλέψεων έναντι των πραγματικών τιμών για το Μαγγάνιο, Νεοδύμιο και Νικέλιο.

Πίνακας 15: Ποσοστιαίες μεταβολές τιμών προβλέψεων έναντι των πραγματικών για Μαγγάνιο, Νεοδύμιο και Νικέλιο

	DATE	ARIMA	MONTE CARLO SIMULATION	NEURAL NETWORKS	ACTUAL
MANGANESE	1/12/2020	-0,1%	-0,8%	0,4%	27,75
	2/12/2020	-0,2%	-1,5%	0,6%	27,75
	3/12/2020	-0,3%	-2,1%	0,7%	27,75
	4/12/2020	-0,4%	-2,7%	0,7%	27,75
	7/12/2020	-0,5%	-3,3%	0,2%	27,75
	8/12/2020	-0,6%	-3,8%	0,5%	28,25
	9/12/2020	-0,6%	-4,2%	1,0%	28,25
	10/12/2020	-0,7%	-4,6%	1,3%	28
	11/12/2020	-0,7%	-5,0%	1,3%	28
	DATE	ARIMA	MONTE CARLO SIMULATION	NEURAL NETWORKS	ACTUAL
NEODYMIUM	1/12/2020	0,7%	-0,8%	0,4%	635000
	2/12/2020	1,9%	-0,7%	0,4%	635000
	3/12/2020	3,0%	-0,7%	-0,1%	635000
	4/12/2020	4,0%	-0,7%	-0,7%	635000
	7/12/2020	4,8%	-0,7%	-1,3%	635000
	8/12/2020	7,3%	0,9%	-0,2%	625000
	9/12/2020	7,9%	1,0%	-0,7%	625000
	10/12/2020	10,3%	2,6%	0,6%	615000
	11/12/2020	11,7%	3,5%	1,1%	610000
	DATE	ARIMA	MONTE CARLO SIMULATION	NEURAL NETWORKS	ACTUAL
NICKEL	1/12/2020	-0,9%	-1,0%	-0,7%	16230
	2/12/2020	0,8%	0,1%	0,0%	15982,5
	3/12/2020	1,0%	-0,7%	-0,1%	15970
	4/12/2020	-1,3%	-3,4%	-1,9%	16355
	7/12/2020	-1,4%	-4,2%	-2,3%	16390
	8/12/2020	-1,2%	-4,8%	-1,8%	16382,5
	9/12/2020	-3,0%	-7,1%	-3,5%	16695
	10/12/2020	-6,7%	-11,4%	-7,3%	17392,5
	11/12/2020	-6,3%	-11,7%	-6,7%	17330

Όπως παρατηρείται στο Πίνακα 15 αλλά και στο Πίνακα 14, τα μοντέλα φαίνεται να πραγματοποιούν καλές προβλέψεις έναντι των πραγματικών τιμών και η ποσοστιαία απόκλιση αυτών να είναι της τάξεως του 1-2 %. Παρόλα αυτά φαίνεται ότι στο Πίνακα 15, οι προβλέψεις μέσω ARIMA για το Νεοδύμιο και Monte Carlo για το Νικέλιο να εμφανίζουν ποσοστιαίες αποκλίσεις άνω του 2% μετά την τρίτη μέρα πρόβλεψης.

Γενικότερα σε όλα τα παράγωγα με εξαίρεση το Νικέλιο που εμφάνιζε μεγαλύτερες διακυμάνσεις στις τιμές του, οι τιμές διαπραγμάτευσης φαίνεται να ακολουθούσαν μια “ομαλή” εξέλιξη. Σε μερικές περιπτώσεις όπως το Κοβάλτιο και το Οξείδιο Λιθίου-Κοβαλτίου οι πραγματικές τιμές τους για όλη τη χρονική περίοδο που πραγματοποιήθηκαν προβλέψεις παρέμειναν σταθερές. Αυτό βέβαια δεν σημαίνει ότι και η πρόβλεψη των μελλοντικών τιμών είναι ευκολότερη στα παράγωγα σε σχέση με άλλα χρηματιστηριακά προϊόντα, διότι πολλές φορές η αύξηση ή μείωση της τιμής συμβολαίου ενός παραγώγου μπορεί να είναι απρόβλεπτη. Όπως παραδείγματος χάριν σε συμβόλαια Απριλίου του 2020 στο Πετρέλαιο που έφτασαν να εκτελούνται αρνητικές συναλλαγές στα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης (Futures).

Όσον αφορά την σύγκριση των μεθόδων προβλέψεων μεταξύ τους, δεν μπορεί να χαρακτηριστεί με απολυτότητα μια μέθοδος καλύτερη όλων, διότι σε κάποιες περιπτώσεις μια μέθοδος που είχε καλύτερα αποτελέσματα σε ένα παράγωγο έναντι ενός άλλου, σε κάποια άλλη περίπτωση φαίνεται να μην είχε την ίδια αποτελεσματικότητα. Παρόλα αυτά, αν έπρεπε να επιλεγεί μια μέθοδος η οποία φάνηκε να ανταποκρίνονται οι προβλέψεις της στην τάση και τις ακριβείς τιμές των δεδομένων, αυτή είναι η μέθοδος των Νευρωνικών Δικτύων. Η συγκεκριμένη μέθοδος φαίνεται ειδικά στις πρώτες μέρες προβλέψεων να έχει πολύ μικρές ποσοστιαίες αποκλίσεις έναντι των πραγματικών τιμών και φαίνεται να μπορεί να προβλέπει και διακυμάνσεις τιμών σε σχέση με την μέθοδο Monte Carlo που εμφάνιζε μικρότερες διακυμάνσεις και ειδικότερα την μέθοδο ARIMA που δεν παρατηρήθηκε οι προβλεπόμενες τιμές της να εμφανίζουν διακυμάνσεις ακόμα και στη περίπτωση του Νικελίου που οι ιστορικές τιμές του (Original Prices) είχαν έντονες διακυμάνσεις.

Εφόσον αυτά τα έξι παράγωγα είναι πολύ σημαντικοί “δομικοί λίθοι” στο τομέα της Βιομηχανίας και της Τεχνολογίας, στη συνέχεια (Ενότητα 15) έγινε επιλογή εταιρειών μετοχών και διαπραγματεύσιμων αμοιβαίων κεφαλαίων συνεπακόλουθα, με κριτήριο τη δραστηριότητα των εταιρειών, η οποία βασίζεται στη χρήση και επεξεργασία των υλικών αυτών.

15. Προτεινόμενο Χαρτοφυλάκιο

Μετά την ανάλυση των χρηματιστηριακών παραγώγων και την διαδικασία πρόβλεψης των μελλοντικών τιμών κλεισίματος, πραγματοποιήθηκε λήψη των τιμών κλεισίματος μετοχών (Equities) και διαπραγματεύσιμων αμοιβαίων κεφαλαίων (ETFs) με σκοπό την διερεύνηση σχηματισμού χαρτοφυλακίου. Η λήψη των δεδομένων έγινε για τη χρονική περίοδο από 2/1/2019 μέχρι τις 11/12/2020 και τα κριτήρια της επιλογής των μετοχών έγιναν βάσει της θεωρητικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε και σχολιάστηκε στο Θεωρητικό μέρος Α' της εργασίας.

Κατά κύριο λόγο οι μετοχές επιλέχθηκαν με κριτήριο το τομέα δραστηριότητα που εμφανίζουν, πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκαν εταιρείες Εξόρυξης μετάλλων, όπως Σπάνιες Γαίες και Κρίσιμα Μέταλλα. Έπειτα επιλέχθηκαν οι εταιρείες του τομέα των Αυτοκινητοβιομηχανιών, με κριτήριο επιλογής τις εταιρείες που έχουν κατασκευάσει και διαθέτουν προς εμπορική κατανάλωση τουλάχιστον ένα μοντέλο ηλεκτρικού αυτοκινήτου (EV), υβριδικά μοντέλα (Hybrid Cars) ή και αυτοκίνητα Υδρογόνου. Επίσης εταιρείες που απασχολούνται στη τεχνολογία Κατασκευής Μπαταριών, είτε συμβατικών μπαταριών Λιθίου αλλά και εταιρείες που πειραματίζονται με την κατασκευή μπαταριών σύγχρονης τεχνολογίας όπως Μπαταρίες Στερεάς Κατάσταση (Solid State Batteries). Επιπλέον, έγινε μια διευρυμένη επιλογή εταιρειών που απασχολούνται στο τομέα της Ενέργειας με προτίμηση εταιρείες που απασχολούνται με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας αλλά και άλλες παρόμοιες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας φιλικών ως προς το περιβάλλον.

Τέλος επιλέχθηκαν και Διαπραγματεύσιμα Αμοιβαία Κεφάλαια (ETFs) τα οποία η σύνθεση τους αποτελείται από εταιρείες που απασχολούνται σε τομείς σύμφωνους των κριτηρίων επιλογών μετοχών που προαναφέρθηκαν. Καθώς επιλέχθηκαν και τα παράγωγα των οποίων μελετήθηκαν οι χρονοσειρές τους, με σκοπό τη δημιουργία ενός Υβριδικού Χαρτοφυλακίου. Ο συνολικός αριθμός των χρηματιστηριακών προϊόντων που χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή της μελέτης ήταν 81 στοιχεία. Μετά τον καθορισμό των περιουσιακών στοιχείων (Portfolio Assets) που απαρτίζουν το χαρτοφυλάκιο επένδυσης, στο επόμενο βήμα πραγματοποιήθηκε η εύρεση του βέλτιστου χαρτοφυλακίου μέσω του προγράμματος MATLAB (R2015a), στο οποίο οι εντολές δομήθηκαν με βάση τη θεωρία του Κεφαλαίου 9 και πιο συγκεκριμένα την εύρεση αποδοτικού ορίου με μεγιστοποίηση του δείκτη Sharpe.

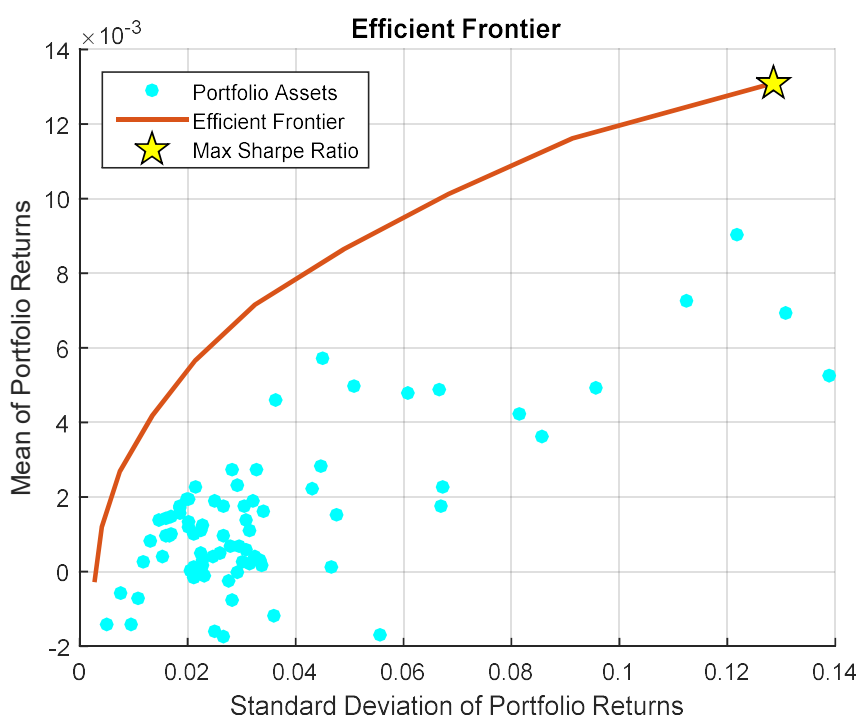
Συγκεκριμένα, έγινε η εύρεση του βέλτιστου χαρτοφυλακίου, βάσει της θεωρίας Efficient Frontier για τρεις περιπτώσεις κινδύνου. Για την περίπτωση υψηλού κινδύνου (High risk rate), για την περίπτωση μεσαίου επιπέδου κινδύνου (Medium risk rate) και για τη περίπτωση χαμηλού επιπέδου κινδύνου (Low risk rate). Τέλος πραγματοποιήθηκε σχολιασμός των αποτελεσμάτων των τριών αυτών περιπτώσεων με βασικό κριτήριο τη διαδικασία διασποράς του κινδύνου μέσω του φαινομένου της διαφοροποίησης (diversification).

15.1 Χαρτοφυλάκιο Υψηλού Κινδύνου (High Risk Rate)

Στη πρώτη περίπτωση μελέτης εύρεσης βέλτιστου χαρτοφυλακίου, το ποσοστό κινδύνου που τέθηκε σαν βάση για την μεγιστοποίηση του δείκτη Sharpe, ήταν το 1%. Αυτό είναι το ποσοστό που προτείνεται από τους περισσότερους ερευνητές στη Βιβλιογραφία αλλά και από πολλούς επενδυτές και οικονομικούς αναλυτές. Συγκεκριμένα προτείνεται ποτέ κάποιος επενδυτής να μην ρισκάρει περισσότερο από το 1% των χρημάτων που επένδυσε, μερικές φορές βέβαια προτείνεται και το 2%.

Παρόλα αυτά κατά την διαδικασία δοκιμών διαφόρων ποσοστών κινδύνου παρατηρήθηκε ότι τα αποτελέσματα για ρίσκο 2% και 1% δεν εμφάνιζαν καμία ουσιαστική διαφορά μεταξύ τους, γι' αυτό τελικά επιλέχθηκε το 1% σαν ποσοστό κινδύνου. Βέβαια ο κανόνας του 1% δεν μπορεί να χαρακτηριστεί στην πραγματικότητα υψηλού κινδύνου αλλά λόγω του ότι είναι το υψηλότερο ποσοστό που επιλέχθηκε στη παρούσα μελέτη, αυτός ήταν και ο λόγος που χαρακτηρίστηκε το συγκεκριμένο χαρτοφυλάκιο σαν υψηλού κινδύνου.

Αρχικά παρουσιάζεται το διάγραμμα του αποτελεσματικού ορίου (Efficient Frontier) που σχηματίζεται από τις μέσες τιμές των αποδόσεων προς τις τυπικές τους αποκλίσεις (Γράφημα 27).



Γράφημα 27: Αποτελεσματικό όριο (Efficient Frontier) Χαρτοφυλακίου Υψηλού Ρίσκου

Όπως παρατηρείται από το Γράφημα 27, η κόκκινη γραμμή (Efficient Frontier) σχεδιάζεται από όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των περιουσιακών στοιχείων του χαρτοφυλακίου για όλες τις πιθανές τιμές ρίσκου.

Το σημείο που μεγιστοποιείται ο δείκτης Sharpe είναι το σημείο στο οποίο μεγιστοποιούνται οι αποδόσεις (κέρδη) σύμφωνα πάντα με τον κίνδυνο που έχει τεθεί από τον επενδυτή/διαχειριστή του χαρτοφυλακίου.

Για το συγκεκριμένο σημείο το χαρτοφυλάκιο που προτείνεται μέσω του προγράμματος MATLAB παρουσιάζεται στο Πίνακα 16.

Πίνακας 16: Προτεινόμενα Περιουσιακά στοιχεία με ποσοστό επένδυσης, για το Χαρτοφυλάκιο Υψηλού Ρίσκου

	PORTFOLIO ASSETS	INVESTMENT PERCENTAGE (%)
RISK = 1%	Workhorse Group Inc. (WKHS)	99,9992
	Ionic Rare Earths Ltd. (IXR)	0,0008

Όπως παρατηρείται, με ρίσκο 1% το Βέλτιστο Χαρτοφυλάκιο (Optimal Portfolio) που προτείνεται συντίθεται από 2 μετοχές. Την Workhorse με ποσοστό της τάξεως του 99% και την Ionic Rare Earths με ποσοστό 0,0008%.

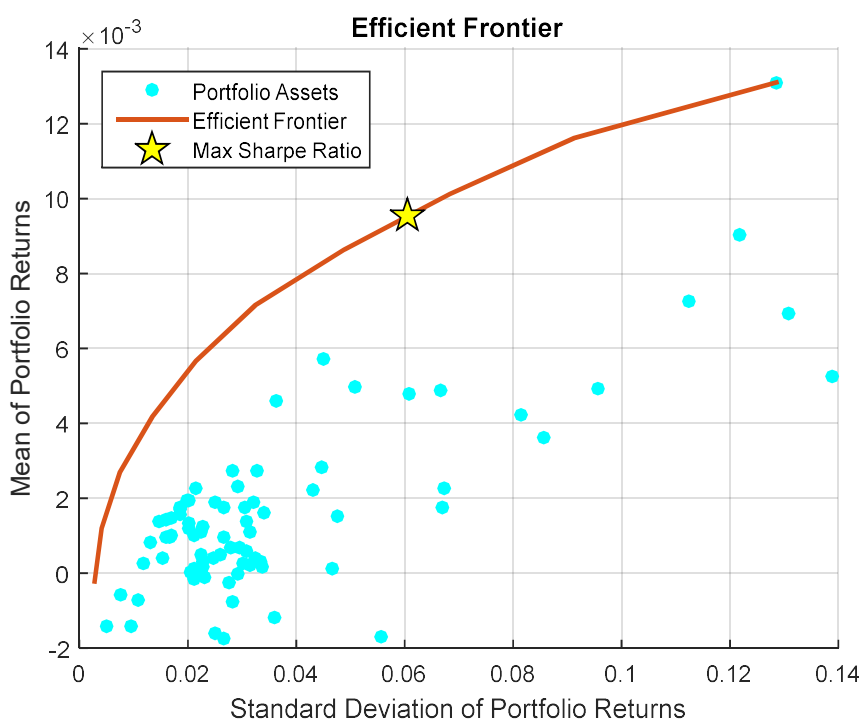
Η Workhorse είναι μια αμερικανική εταιρεία, η οποία απασχολείται στην παράδοση (delivery) με την χρήση ηλεκτρικών οχημάτων και στην κατασκευή βοηθητικών ηλεκτρικών οχημάτων (utility vehicles). Ο λόγος που προτάθηκε με τόσο μεγάλο ποσοστό είναι διότι σε σχέση με όλες τις άλλες μετοχές εταιρειών των Πινάκων 8, είναι η μοναδική που από το 2019 η απόδοση της αυξήθηκε με τόσο μεγάλο ρυθμό σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο από τα άλλα χρηματιστηριακά προϊόντα (Equities, ETFs, Commodities) που επιλέχθηκαν στην εργασία. Η τιμή της στις αρχές του 2019 ήταν 0,65\$ και έφτασε στα τέλη του 2020 να διαπραγματεύεται περίπου στα 20\$, δηλαδή μια ποσοστιαία μεταβολή της τάξεως του 3590% αύξηση.

Από την άλλη πλευρά η Ionic Rare Earths, είναι μια αυστραλιανή εταιρεία εξόρυξης Σπανίων Γαιών που δραστηριοποιείται στην Uganda, με στόχο την επιφανειακή εξόρυξη Σπανίων γαιών σε περιοχές υψηλών συγκεντρώσεων. Σαν εταιρεία έχει στόχο την ανάπτυξη του Makuutu Project που απασχολείται με την επιφανειακή εξόρυξη. Και αυτή με τη σειρά της είναι από τις εταιρείες που από το 2019 εμφάνισε υψηλά κέρδη, παρόλα αυτά το ποσοστό επένδυσης που προτείνεται σε αυτή τη περίπτωση ρίσκου είναι πολύ μικρό, πρακτικά αμελητέο.

15.2 Χαρτοφυλάκιο Μεσαίου Κινδύνου (Medium Risk Rate)

Στη δεύτερη περίπτωση μελέτης εύρεσης βέλτιστου χαρτοφυλακίου, το ποσοστό κινδύνου που τέθηκε σαν βάση για την μεγιστοποίηση του δείκτη Sharpe, ήταν το 0,5%. Αυτό είναι το ποσοστό που τέθηκε μετέπειτα από δοκιμές με κριτήριο ο δείκτης Sharpe να μεγιστοποιείται περίπου στο μέσο της καμπύλης του αποτελεσματικού ορίου (Efficient Frontier).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το διάγραμμα του αποτελεσματικού ορίου (Efficient Frontier) που σχηματίζεται από τις μέσες τιμές των αποδόσεων προς τις τυπικές τους αποκλίσεις (Γράφημα 28).



Γράφημα 28: Αποτελεσματικό όριο (Efficient Frontier) Χαρτοφυλακίου Μεσαίου Ρίσκου

Όπως παρατηρείται στο Γράφημα 28, το σημείο που μεγιστοποιείται ο δείκτης Sharpe είναι το σημείο στο οποίο μεγιστοποιούνται οι αποδόσεις (κέρδη) σύμφωνα πάντα με τον κίνδυνο που έχει τεθεί από τον επενδυτή/διαχειριστή του χαρτοφυλακίου.

Για το συγκεκριμένο σημείο το χαρτοφυλάκιο που προτείνεται μέσω του προγράμματος MATLAB παρουσιάζεται στο Πίνακα 17.

Πίνακας 17: Προτεινόμενα Περιουσιακά στοιχεία με ποσοστό επένδυσης, για το Χαρτοφυλάκιο Μεσαίου Ρίσκου

	PORTFOLIO ASSETS	INVESTMENT PERCENTAGE (%)
RISK = 0,5%	Workhorse Group Inc. (WKHS)	39,1
	Ionic Rare Earths Ltd. (IXR)	21,7
	Tesla Inc. (TSLA)	18,2
	Canada Rare Earth Corp. (LL)	13,4
	Electrameccanica Vehicles Corp. (SOLO)	4,4
	Cadence Minerals PLC (KDNC)	2,1
	Namibia Critical Metals Inc. (NMI)	1,1

Όπως παρατηρείται, με ρίσκο 0,5% το Βέλτιστο Χαρτοφυλάκιο (Optimal Portfolio) που προτείνεται συντίθεται από 7 μετοχές αυτή τη φορά.

Η Workhorse και η Ionic Rare Earths, που προτάθηκαν στη πρώτη περίπτωση με ποσοστά 99% και 0,0008% αντίστοιχα, παρατηρείται ότι το προτεινόμενο ποσοστό της Workhorse μειώθηκε (39,1%) και το προτεινόμενο ποσοστό της Ionic Rare Earths αυξήθηκε (21,7%) σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, παρατηρείται ότι με τη μείωση του κινδύνου αυτή τη φορά, παρατηρήθηκε ότι αυξήθηκε ο αριθμός των προϊόντων που προτάθηκαν προς επένδυση, ενώ παράλληλα έγινε και διαμερισμός του ποσοστού επένδυσης σε αυτά. Σαν γενική εικόνα, φάνηκε πως σύμφωνα με τις αποδόσεις τους, για ρίσκο 0,5%, επιλέχθηκαν μόνο μετοχές εταιρειών χωρίς να γίνει επιλογή προϊόντων όπως ETFs και Commodities.

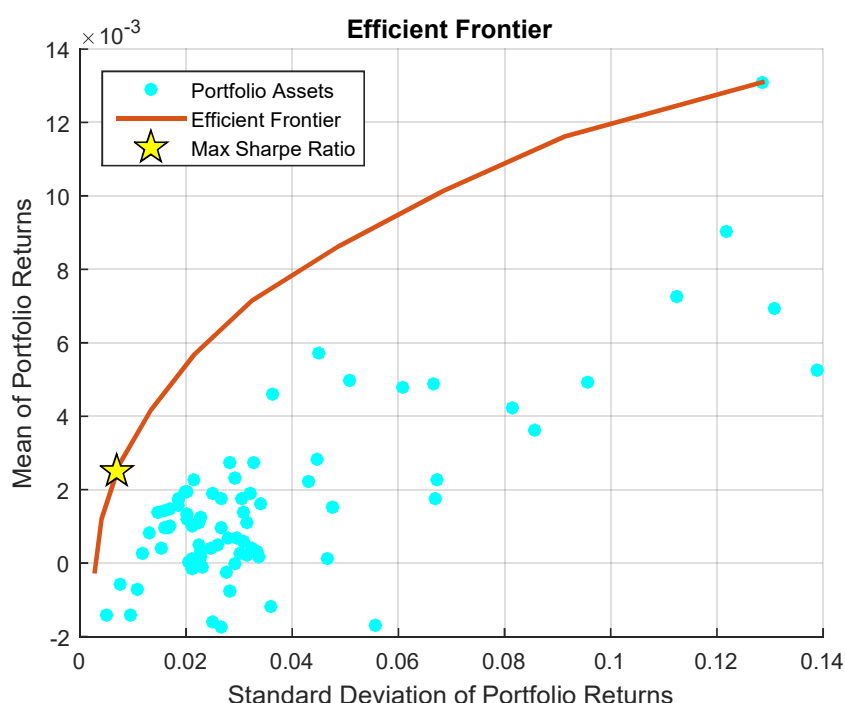
Η εταιρεία που ξεχωρίζει από το Πίνακα 17, είναι η Tesla η οποία είναι μια αμερικανική εταιρεία που δραστηριοποιείται στη κατασκευή ηλεκτρικών αυτοκινήτων και την ανάπτυξη τεχνολογιών μπαταριών. Από το 2019 η μετοχή της μεταβλήθηκε από περίπου 60\$ σε 600\$, δηλαδή μέσα σε ένα χρόνο δεκαπλασίασε την τιμή διαπραγμάτευσής της. Εκτός από την Tesla και η Electrameccanica Vehicles είναι μια αμερικανική εταιρεία που απασχολείται στη κατασκευή ηλεκτρικών οχημάτων και αυτή εμφάνισε μια ποσοστιαία μεταβολή της τάξεως του 600%.

Επίσης στο Πίνακα 17, προτείνονται και 4 μετοχές εταιρειών που απασχολούνται στην εξόρυξη σπανίων γαιών και κρίσιμων μετάλλων με υψηλότερο προτεινόμενο ποσοστό επένδυσης πέρα από την Ionic Rare Earths, τη Canada Rare Earth, με ποσοστό 13,4%, η οποία είναι μια καναδική εταιρεία εξόρυξης που πέρα από την εξόρυξη σπανίων γαιών ασχολείται και με την εξόρυξη Λιθίου.

15.3 Χαρτοφυλάκιο Χαμηλού Κινδύνου (Low Risk Rate)

Στη τρίτη και τελευταία περίπτωση μελέτης εύρεσης βέλτιστου χαρτοφυλακίου, το ποσοστό κινδύνου που τέθηκε σαν βάση για την μεγιστοποίηση του δείκτη Sharpe, ήταν το 0,01 %. Αυτό είναι το ποσοστό που τέθηκε μετέπειτα από διάφορες δοκιμές και σαν κριτήριο επιλογής ήταν να βρεθεί το μεγαλύτερο ποσοστό στο οποίο ο δείκτης Sharpe μεγιστοποιείται όσο περισσότερο γίνεται πιο αριστερά της καμπύλης του αποτελεσματικού ορίου (Efficient Frontier).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το διάγραμμα του αποτελεσματικού ορίου (Efficient Frontier) που σχηματίζεται από τις μέσες τιμές των αποδόσεων προς τις τυπικές τους αποκλίσεις (Γράφημα 29). Το σημείο στο οποίο σε αυτή τη περίπτωση μεγιστοποιείται ο δείκτης Sharpe είναι το σημείο το οποίο εμφανίζει τις μεγαλύτερες μέσες αποδόσεις με το μικρότερο τυπικό σφάλμα.



Γράφημα 29: Αποτελεσματικό όριο (Efficient Frontier) Χαρτοφυλακίου Χαμηλού Ρίσκου

Όπως παρατηρείται στο Γράφημα 29, αλλά και από διαφορετικές δοκιμές αυτό ήταν το σημείο στο οποίο ο μέγιστος δείκτης Sharpe μπορούσε να μετατεθεί αριστερά του αποτελεσματικού ορίου. Το συγκεκριμένο σημείο που μεγιστοποιείται ο Sharpe είναι το σημείο στο οποίο μεγιστοποιούνται οι αποδόσεις (κέρδη) σύμφωνα πάντα με τον κίνδυνο που έχει τεθεί από τον επενδυτή/διαχειριστή του χαρτοφυλακίου στη συγκεκριμένη περίπτωση για ρίσκο 0,01%.

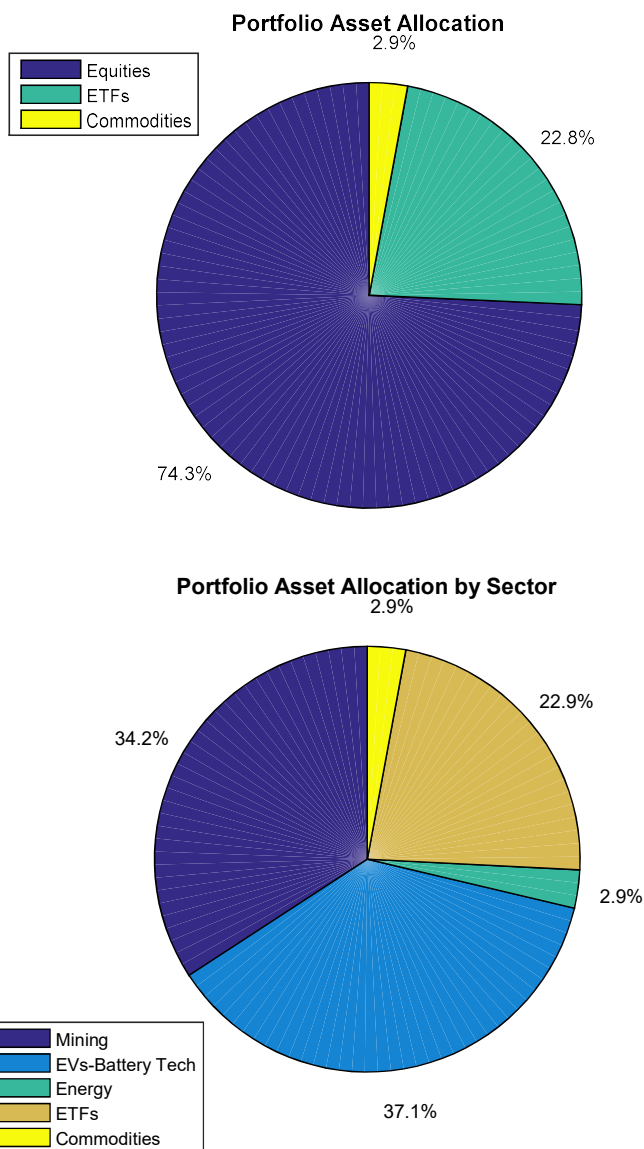
Για το συγκεκριμένο σημείο το χαρτοφυλάκιο που προτείνεται μέσω του προγράμματος MATLAB παρουσιάζεται στο Πίνακα 18.

Πίνακας 18: Προτεινόμενα Περιουσιακά στοιχεία με ποσοστό επένδυσης, για το Χαρτοφυλάκιο Χαμηλού Ρίσκου

	PORTFOLIO ASSETS	INVESTMENT PERCENTAGE (%)
RISK = 0,01%	Lyxor New Energy (DR) UCITS ETF Dist (LYNRJ)	10,3
	iShares Global Clean Energy UCITS (INRG) - CH	9
	S.F. Holding Co. Ltd. (2352)	7,8
	iShares Global Clean Energy UCITS (INRG) - GB	7,6
	Toshiba Tec Corp. (6588)	7,3
	Samsung SDI (6400)	5,2
	Samsung KODEX Secondary Battery Industry ETF (305720)	4,4
	Nickel Futures (NICKELc1)	4
	Varta AG (VAR1)	4
	Ilika (IKA)	3,5
	LG Chem Ltd. (51915)	3,5
	Tesla Inc. (TSLA)	3,4
	Mineral Resources Ltd. (MIN)	3
	Jiangxi Ganfeng Lithium Co Ltd. (2460)	2,9
	L&G Battery Value-Chain UCITS ETF (BATG)	2,6
	Contemporary Amperex Technology Co Ltd Class A. (300750)	2,5
	MGE Energy Inc. (MGEE)	2,3
	Electrovaya Inc. (EFL)	2,1
	Namibia Critical Metals Inc. (NMI)	1,8
	Ji Mag Rare-Earth Co Ltd Class A (300748)	1,6
	Ionic Rare Earths Ltd. (IXR)	1,5
	Piedmont Lithium Ltd ADR (PPL)	1,5
	Hyundai Motor (5380)	1,4
	Workhorse Group Inc. (WKHS)	1,4
	Shenzhen Desay Battery Technology Co Ltd. (49)	1,1
	Canada Rare Earth Corp. (LL)	1
	ETFS Battery Tech and Lithium (ACDC)	1
	Cadence Minerals PLC (KDNC)	0,7
	iShares Global Clean Energy UCITS (IQQH)	0,7
	China Rare Earth Holdings Ltd. (769)	0,2
	Electrameccanica Vehicles Corp. (SOLO)	0,2
	China Molybdenum Co Ltd Class A (603993)	0,1
	iShares Global Clean Energy ETF (ICLN)	0,1
	Rainbow Rare Earths Ltd. (RBWR)	0,1
	Kandi Technologies Group Inc. (KNDI)	0,01

Όπως παρατηρείται από το Πίνακα 18, με ρίσκο 0,01% το Βέλτιστο Χαρτοφυλάκιο (Optimal Portfolio) που προτείνεται συντίθεται από 35 προϊόντα αυτή τη φορά. Πιο συγκεκριμένα από 26 μετοχές εταιρειών, από 8 διαπραγματεύσιμα αμοιβαία κεφάλαια (ETFs) και από 1 χρηματιστηριακό παράγωγο (Commodity).

Στη συνέχεια στο Γράφημα 30, παρουσιάζονται τα διαγράμματα Pie Charts των προτεινόμενων προϊόντων χαρτοφυλακίου ανά είδος προϊόντος και ανά είδος προϊόντος και τομέα απασχόλησης.

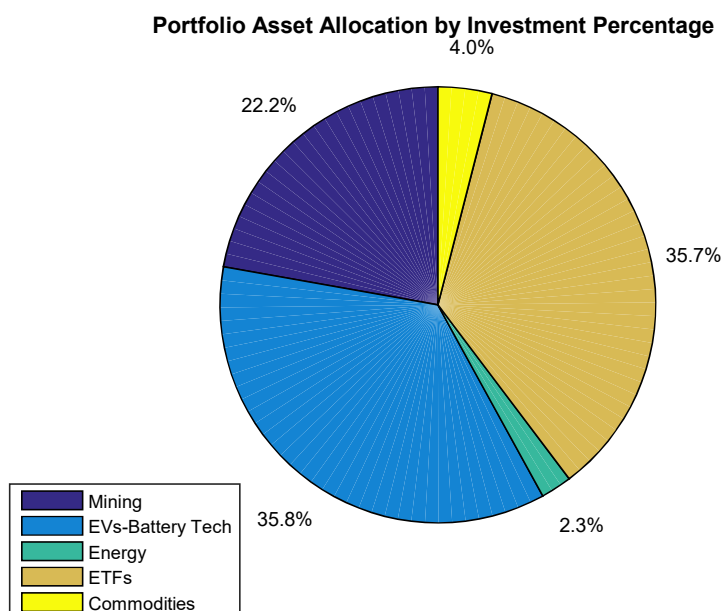


Γράφημα 30: Διάγραμμα Pie Chart με τα ποσοστά προϊόντων επένδυσης ανά είδος (Πάνω) και ανά τομέα απασχόλησης (Κάτω)

Όπως παρατηρείται από το Γράφημα 30 (Πάνω), σε σχέση με τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις ρίσκου 1% και ρίσκου 0,5%, στη περίπτωση του βέλτιστου χαρτοφυλακίου για ρίσκο 0,01% προτάθηκε η επενδυτική επιλογή όχι μόνο μετοχών, αλλά και ETFs καθώς και Commodities.

Πιο συγκεκριμένα προτείνεται το 74,3% των χρημάτων να επενδυθεί σε μετοχές, εκ των οποίων το 34,3% των μετοχών σε εταιρείες εξόρυξης σπανίων γαιών και κρίσιμων μετάλλων, το 37,1% σε εταιρείες κατασκευής ηλεκτρικών οχημάτων (EVs) και μπαταριών και το 2,9% σε εταιρείες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Έπειτα προτείνεται το 22,9% να επενδυθεί σε διαπραγματεύσιμα αμοιβαία κεφάλαια (ETFs) και το 2,9% σε παράγωγα (Commodities) και συγκεκριμένα σε παράγωγα Νικελίου (Nickel Futures).

Παρόλα αυτά αν ο διαχωρισμός των περιουσιακών στοιχείων του χαρτοφυλακίου πραγματοποιηθεί με κριτήριο το ποσοστό που προτάθηκε για επένδυση στο κάθε τομέα, τότε προκύπτει το Pie Chart του Γραφήματος 31.



Γράφημα 31: Διάγραμμα Pie Chart με κριτήριο το ποσοστό επένδυσης

Παρατηρείται λοιπόν ότι τελικώς προτάθηκε από το πρόγραμμα το 35,8% να επενδυθεί σε μετοχές εταιρειών ηλεκτρικών αυτοκινήτων και μπαταριών, το 35,7% σε ETFs, το 22,2% σε μετοχές εταιρειών εξόρυξης, το 4% σε Commodities (Νικέλιο) και το 2,3% σε μετοχή εταιρείας παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

Αυτό που επιτυγχάνεται από τη συγκεκριμένη διαδικασία διασποράς του κινδύνου είναι τελικά να αποφευχθούν φαινόμενα αρνητικών αποδόσεων σε περιπτώσεις αρνητικού κλίματος στην αγορά. Αν η επένδυση εμφανίζει εξάρτηση από ένα πολύ μικρό αριθμό περιουσιακών στοιχείων τότε η περίπτωση πτώσης της αξίας ενός από τα στοιχεία αυτά, μπορεί να φέρει ισχυρό πλήγμα στην αξία του χαρτοφυλακίου και συνεπώς στο κεφάλαιο των χρημάτων που επενδύθηκαν σε αυτό. Γι' αυτό και διασπορά του κινδύνου, δηλαδή η διαδικασία της διαφοροποίησης (diversification) μπορεί να μειώσει αισθητά το ρίσκο της επένδυσης και να ενισχύσει τις οικονομικές απολαβές. Αν σε κάποια περίπτωση υπάρξει πτώση της αξίας ενός από τα στοιχεία του χαρτοφυλακίου, λόγω του ότι το ποσοστό που επενδύθηκε στο συγκεκριμένο στοιχείο δεν θα είναι πολύ μεγάλο τότε και η απώλεια της αξίας του χαρτοφυλακίου και συνεπώς του κεφαλαίου που επενδύθηκε σε αυτό, θα είναι αντίστοιχα μικρή.

Συμπεράσματα

Στη παρούσα εργασία, αρχικά πραγματοποιήθηκε παρουσίαση των ιδιοτήτων των Σπανίων Γαιών και Κρίσιμων Μετάλλων και σχολιάστηκε η διαθεσιμότητα τους καθώς και οι αλυσίδες εφοδιασμού τους. Στη συνέχεια έγινε παρουσίαση των εφαρμογών που βρίσκουν στη βιομηχανία και τεχνολογία, καθώς επίσης και αναφορά μερικών οικονομικών στοιχείων σχετικά με τη μεταβολή της κατανάλωσης τους και των τιμών τους. Η χώρα που φαίνεται να ασκεί τη μεγαλύτερη επιρροή στη παγκόσμια αγορά είναι η Κίνα, με εκτιμώμενο ποσοστό μεριδίου αγοράς να ξεπερνά το 80% στην παραγωγή και εκμετάλλευση. Άλλες χώρες με σημαντικά μερίδια είναι η Αργεντινή, η Βολιβία, το Κονγκό και Αυστραλία, με πολλά υποσχόμενη όπως φαίνεται μέχρι παρούσας στιγμής την Ιαπωνία, η οποία δραστηριοποιείται εμφατικά στην εκμετάλλευση πρώτων τεχνολογικών υλών με τάσεις απ' εξαρτοποίησης από τη Κίνα [4].

Έπειτα αφού επεξηγήθηκαν τα δομικά στοιχεία που επιλέχθηκαν για τη σύσταση χαρτοφυλακίου καθώς και η θεωρία διαχείρισης του, πραγματοποιήθηκε η θεωρητική ανάλυση της πειραματικής διαδικασίας της ανάλυσης των χρονοσειρών και παρουσιάστηκαν τα δεδομένα καθώς και η συλλογιστική πορεία που ακολουθήθηκε μαζί με το θεωρητικό της υπόβαθρο.

Το πρώτο μέρος της εργασίας αφορούσε τη διαδικασία της ανάλυσης χρονοσειρών (Time Series Analysis) στις τιμές των παραγώγων Σπανίων Γαιών και Κρίσιμων Μετάλλων από τις 10/5/2017 μέχρι 30/12/2020. Τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση της, ήταν ομοσκεδαστικά γραμμικά μοντέλα ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) με κριτήριο επιλογής την φειδώ (Parsimony), δηλαδή την απλούστερη δομή που μπορούσε να επεξηγήσει στο μέγιστο βαθμό τη πληροφορία του συστήματος, με χρήση κατάλληλων κριτηρίων πληροφορίας όπως τα Akaike info criterion (AIC) και Schwarz criterion. Γενικότερα παρατηρήθηκε καλή εφαρμογή των προβλεπόμενων τιμών έναντι των πραγματικών, ενώ μετέπειτα πραγματοποιήθηκε πρόβλεψη μελλοντικών τιμών για τιμές εκτός του καθορισμένου χρονικού ορίου (forecast) ανάλυσης δηλαδή από 1/12/2020 μέχρι τις 11/12/2020, πιο συγκεκριμένα για τις επόμενες 9 ημέρες διαπραγμάτευσης.

Πρώτη μέθοδος πρόβλεψης που χρησιμοποιήθηκε ήταν με τη χρήση μοντέλων ARIMA, στα οποία οι τιμές των παραμέτρων, βασίστηκαν στην ανάλυση των χρονοσειρών τους. Η δεύτερη μέθοδος πρόβλεψης πραγματοποιήθηκε μέσω της διαδικασίας προσομοιώσεων Monte-Carlo. Συγκεκριμένα μέσω 1500 προσομοιώσεων προέκυψε μια σειρά από πιθανολογικά σενάρια, με τις τελικές τιμές των προβλέψεων να προκύπτουν από τις μέσες τιμές κάθε βήματος προσομοίωσης. Τελευταία μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή των Νευρωνικών Δικτύων. Αφού σχολιάστηκαν και τέθηκαν οι κατάλληλες παράμετροι των δικτύων και συγκεκριμένα ο χρόνος υστέρησης (Time Delay) και ο αριθμός των νευρώνων (Neurons), με παράλληλη επεξήγηση της διαδικασίας επιλογής, πραγματοποιήθηκε διαδικασία εκπαίδευσης του δικτύου και μετέπειτα πρόβλεψης μελλοντικών τιμών.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε σύγκριση των μεθόδων προβλέψεων έναντι των πραγματικών τιμών και προέκυψε πως όλα τα μοντέλα πραγματοποίησαν καλές προβλέψεις με τις τιμές τους να εμφανίζουν πολύ μικρές ποσοστιαίες αποκλίσεις έναντι των πραγματικών τιμών (Πίνακας 14 και Πίνακας 15). Οι προβλεπόμενες τιμές εμφάνιζαν αποκλίσεις της τάξης του 1% έως 2%, με εξαίρεση κάποιες περιπτώσεις που η απόκλιση για μεγαλύτερο βήμα πρόβλεψης ήταν λίγο μεγαλύτερες (4-5%). Η μέθοδος ωστόσο που φάνηκε να εμφανίζει τη καλύτερη συμπεριφορά πρόβλεψης ήταν αυτή των Νευρωνικών Δικτύων στην οποία οι προβλέψεις εμφάνιζαν να ακολουθούν σωστά τις τάσεις αλλά και τη διακύμανση των πραγματικών τιμών.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας έγινε διαδικασία διερεύνησης σχηματισμού χαρτοφυλακίου. Τα είδη των προϊόντων που επιλέχθηκαν με σκοπό τη σύνθεση ήταν τα Χρηματιστηριακά Παράγωγα, τα οποία μελετήθηκαν στο πρώτο μέρος της εργασίας, έπειτα Μετοχές και Διαπραγματεύσιμα Αμοιβαία Κεφάλαια (Πίνακας 7, Πίνακας 8 και Πίνακας 9), συνολικά προτάθηκαν 81 προϊόντα (Portfolio Assets). Η επιλογή των προϊόντων αυτών βασίστηκε στη χρήση Σπανίων Γαιών και Κρίσιμων Μετάλλων σε τεχνολογίες όπως Μόνιμοι Μαγνήτες, Τεχνολογία Μπαταριών, Τεχνολογία Ηλεκτρικών αυτοκινήτων και παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας. Από τα στοιχεία που συνέθεσαν το μελετώμενο χαρτοφυλάκιο πραγματοποιήθηκε λήψη των ημερήσιων τιμών τους από 2/1/2019 μέχρι 11/12/2020, δηλαδή ημερήσιες τιμές δύο ετών διαπραγμάτευσης.

Για το σχηματισμό του βέλτιστου χαρτοφυλακίου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του αποτελεσματικού ορίου (Efficient Frontier) και ο δείκτης Sharpe, στον οποίο τέθηκαν διαφορετικά επίπεδα ρίσκου. Συγκεκριμένα, τέθηκαν τρία διαφορετικά επίπεδα. Το υψηλότερο επίπεδο ρίσκου που χρησιμοποιήθηκε να είναι 1%, το οποίο είναι και το όριο που προτείνεται να μην ξεπερνάτε από τους επενδυτές. Έπειτα τέθηκε ποσοστό ρίσκου 0,5% το οποίο είναι αυτό που μεγιστοποιεί το δείκτη Sharpe περίπου στη μέση της καμπύλης του αποτελεσματικού ορίου. Τέλος τέθηκε ποσοστό ρίσκου 0,01% που είναι η μικρότερη τιμή που μεγιστοποιεί το δείκτη Sharpe όσο το δυνατόν πιο κοντά στο αριστερό άκρο της καμπύλης του αποτελεσματικού ορίου. Με το τρόπο αυτό, σχηματίστηκε ένα χαρτοφυλάκιο με όσο το δυνατόν μέγιστες αποδόσεις και μικρότερες τυπικές αποκλίσεις.

Στόχος της συγκεκριμένης διαδικασίας ήταν να μελετηθεί το φαινόμενο της διαφοροποίησης χαρτοφυλακίου (Portfolio diversification). Έτσι, προέκυψε ότι η περίπτωση στην οποία τέθηκε ρίσκο 0,01% είναι αυτή που εμφανίζει το πιο διαφοροποιημένο χαρτοφυλάκιο (Πίνακας 18). Πιο συγκεκριμένα το χαρτοφυλάκιο αυτό αποτελούσαν από 26 μετοχές εταιρειών, από 8 διαπραγματεύσιμα αμοιβαία κεφάλαια (ETFs) και 1 χρηματιστηριακό παράγωγο (Commodity), δηλαδή συνολικά 35 προϊόντα σύνθεσης από τα 81 που προτάθηκαν αρχικά. Αντίθετα στις περιπτώσεις με ποσοστό ρίσκου 1% και 0,5% προέκυψαν χαρτοφυλάκια με δύο και επτά μετοχές αντίστοιχα (Πίνακας 16 και Πίνακας 17). Η συγκεκριμένη περίπτωση με ρίσκο 0,01% σε αντίθεση με τις άλλες δύο είναι αυτή που θα ικανοποιούσε καλύτερα έναν επενδυτή με συμπεριφορικό προφίλ αποστροφής στο

κίνδυνο (risk averse) και επιλογής επένδυσης σε μια σειρά από διαφορετικά προϊόντα επενδύσεων πέρα από Μετοχές.

Το φαινόμενο της διασποράς του κινδύνου, δηλαδή, η διαδικασία της διαφοροποίησης (diversification), είναι μια σημαντική επενδυτική στρατηγική που μπορεί να μειώσει αισθητά το ρίσκο της επένδυσης και να ενισχύσει τις οικονομικές απολαβές. Αν σε κάποιο πιθανολογικό σενάριο υπάρξει πτώση της αξίας ενός από τα στοιχεία του χαρτοφυλακίου, λόγω του ότι το ποσοστό που επενδύθηκε στο συγκεκριμένο στοιχείο δεν θα είναι πολύ μεγάλο τότε και η απώλεια της αξίας του χαρτοφυλακίου και συνεπώς του κεφαλαίου που επενδύθηκε σε αυτό, θα είναι αντίστοιχα μικρή.

Γενικότερα μέσα από τη παρατήρηση των ιστορικών τιμών των Σπανίων Γαιών και Κρίσιμων Μετάλλων αλλά και τις μέσες αποδόσεις των τιμών κλεισίματος εταιρειών που τα χρησιμοποιούν στις τεχνολογίες τους, φάνηκε πως η ζήτηση πρώτων υλών επηρεάστηκε σημαντικά από τις οικονομικές επιπτώσεις του COVID-19 και την συνεπαγόμενη επιβράδυνση των βιομηχανικών δραστηριοτήτων. Η μείωση της ζήτησης ήταν αισθητή και κατά συνέπεια οι τιμές των προϊόντων αυτών επίσης καθοδικές. Ενδιαφέρουσα όμως είναι η περίπτωση του Νεοδυμίου που το Δεκέμβριο του 2020 εμφάνισε την δεύτερη υψηλότερη ιστορική τιμή του μετά τον Ιούνιο του 2012.

Είναι κατανοητό πως η πορεία της τιμής μιας μετοχής δεν εξαρτάται αποκλειστικά από τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιεί στη δραστηριότητα της η εταιρεία, αλλά από πληθώρα διαφορετικών παραγόντων. Παρόλα αυτά, η αγορά πρώτων υλών και ο τρόπος εκμετάλλευσής τους, είναι ένα από τα σημαντικότερα σκέλη της επιχειρηματικής λειτουργίας.

Οι νέες φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες που χρησιμοποιούν Σπάνιες Γαίες και Κρίσιμα Μέταλλα σαν πρώτες ύλες εμφανίζουν αυξημένο επενδυτικό ενδιαφέρον την τελευταία διετία και αναμένεται στο μέλλον το ενδιαφέρον αυτό να αυξηθεί. Σύμφωνα με τη Παγκόσμια Τράπεζα (2017) αλλά και όπως αναφέρεται και στο Grandell et. all (2016), η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ήδη αναλάβει δράση για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος με καθιέρωση της ευρύτερης χρήσης νέων φιλικών προς το περιβάλλον τεχνολογιών. Οι τεχνολογίες αυτές επίσης βρίσκονται σε επίπεδο που τις καθιστά αισθητά ανταγωνιστικές απέναντι στις μέχρι τώρα συμβατικές τεχνολογίες. Επιπλέον, φαίνεται πως πέρα από τον θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο που έχουν σε αντίθεση με τις συμβατικές, εμφανίζουν δυναμικότητα προς την αυξημένη αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα χρήσης. Εκτιμάται ότι η τεχνολογική μετάβαση έχει ήδη ξεκινήσει και όπως αναφέρει και ο Jeremy Rifkin (2019) οι τεχνολογίες που βασίζονται στη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και κατά συνέπεια οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στην ανάπτυξή τους, είναι οι παράγοντες που θα οδηγήσουν τον πολιτισμό μας στη 3^η Βιομηχανική Επανάσταση.

Στο μέλλον όσον αφορά την ανάλυση θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και άλλου τύπου μοντέλα πέρα από ομοσκεδαστικά μοντέλα ARIMA, όπως ετεροσκεδαστικά μοντέλα τύπου ARCH (Autoregressive Conditionally Heteroscedasticity) ή και GARCH (Generalized Autoregressive

Conditionally Heteroscedasticity), τα οποία χρησιμοποιούνται για εκτίμηση και πρόβλεψη συνδιακυμάνσεων και συσχετίσεων. Επίσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και πολυμεταβλητά πέρα από μονομεταβλητά μοντέλα, με παράλληλη μελέτη τη κατεύθυνση της αιτιότητας που εμφανίζουν μεταξύ τους οι μεταβλητές του μελετώμενου συστήματος και οι υπό συνθήκη διακυμάνσεις, καθώς και η απόκριση αυτών σε ενδεχόμενα σοκ με τη χρήση VAR (Vector Autoregressive Models) μοντέλων. Παράλληλα όσον αφορά το κομμάτι της διερεύνησης σχηματισμού χαρτοφυλακίου θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές στατιστικές τεχνικές αποτελεσματικών ορίων για την εύρεση βέλτιστου χαρτοφυλακίου, καθώς και μελέτη της απόκρισης των χαρτοφυλακίων αυτών μέσα από μια σειρά προσομοιώσεων που μπορεί να συμπεριλαμβάνουν και προβλεπόμενες τιμές από τη χρήση μοντέλων πρόβλεψης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. **Koen Binnemans, Peter Tom Jones, Torsten Muller, Lourdes Yurramendi.** "Rare Earths and the Balance Problem: How to Deal with Changing Markets?", *Journal of Sustainable Metallurgy*. Vol. **24** (2018), pp. 126-146.
- [2]. **C. K. Gupta, N. Krishnamurthy.** "*Extractive Metallurgy of Rare Earths*", s.l.: CRC PRESS, (2005).
- [3]. **V. Balaram.** "Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact", *Geoscience Frontiers*. Vol. **10** (2019), pp. 1285-1303.
- [4]. **R. Eggert, C. Wadia, C. Anderson, D. Bauer, F. Fields, L. Meinert, P. Taylor.** "Rare Earths: Market Disruption, Innovation and Global Supply Chains", *Annual Review of Environment and Resources*. Vol. **41** (2016), pp. 1-24.
- [5]. **E. Machacek, N. Fold.** "Alternative value chains for rare earths: The Anglo-deposit developers", *Resources Policy*. Vol. **24** (2014), pp. 53-64.
- [6]. **Fernandez, V.** "Rare-earth elements market: A historical and financial perspective", *Resources Policy*. Vol. **53** (2017), pp. 26-45.
- [7]. **Gunther Martin, Lars Rentsch, Michael Höck, Martin Bertau.** "Lithium market research – global supply, future demand and price development", *Energy Storage Materials*. Vol. **6** (2017), pp. 171–179.
- [8]. **Saskia Ziemann, Marcel Weil, Liselotte Schebek.** "Tracing the fate of lithium—The development of a material flow model", *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. **63** (2012), pp. 26– 34.
- [9]. **Philip Maxwell.** "Transparent and opaque pricing: The interesting case of lithium", *Resources Policy*. Vol. **45** (2015), pp. 92–97.
- [10]. **Jan H.Miedem, Henri C. Moll.** "Lithium availability in the EU27 for battery-driven vehicles: The impact of recycling and substitution on the confrontation between supply and demand until 2050", *Resources Policy*. Vol. **38** (2013), pp. 204–211.
- [11]. **Christoph Helbig, Alex M. Bradshaw, Lars Wietschel, Andrea Thorenz, Axel Tuma.** "Supply risks associated with lithium-ion battery materials", *Journal of Cleaner Production*. Vol. **172** (2018), pp. 274-286.

- [12] **Rebecca E. Ciez, J.F. Whitacre.** "The cost of lithium is unlikely to upend the price of Li-ion storage systems", *Journal of Power Sources*. Vol. **320** (2016), pp. 310-313.
- [13] **Leena Grandell, Antti Lehtila, Mari Kivinen, Tiina Koljonen, Susanna Kihlman, Laura S. Lauri.** "Role of critical metals in the future markets of clean energy technologies", *Renewable Energy*. Vol. **95** (2016), pp. 53-62.
- [14] **John Christopher Bachman, Sokseiha Muy, Alexis Grimaud, Hao-Hsun Chang, Nir Pour, Simon F. Lux, Odysseas Paschos, Filippo Maglia, Saskia Lupart, Peter Lamp, Livia Giordano and Yang Shao-Horn.** "Inorganic Solid-State Electrolytes for Lithium Batteries: Mechanisms and Properties Governing Ion Conduction", *Chemical Reviews*. Vol. **116** (2016), pp. 140–162.
- [15] **Jan H. Miedema, Henri C. Moll.** "Lithium availability in the EU27 for battery-driven vehicles: The impact of recycling and substitution on the confrontation between supply and demand until 2050", *Resources Policy*. Vol. **38** (2013), pp. 204–211
- [16] **G. Giannopoulos, R. Salikhov, B. Zingsem, A. Markou, I. Panagiotopoulos, V. Psycharis, M. Farle and D. Niarchos.** " Large magnetic anisotropy in strained Fe/Co multilayers on AuCu and the effect of carbon doping", *APL Materials*. Vol. **3** (2015), 041103
- [17] **World Bank.** "The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future" (2017), pp. 1-112.
"<http://documents.worldbank.org/curated/en/207371500386458722/The-Growing-Role-of-Minerals-and-Metals-for-a-Low-Carbon-Future>"
- [18] **Ruimin Sun, Qiulong Wei, Qidong Li, Wen Luo, Qinyou An, Jinzhi Sheng, Di Wang, Wei Chen and Liqiang Mai.** "Vanadium Sulfide on Reduced Graphene Oxide Layer as a Promising Anode for Sodium Ion Battery", *ACS Appl. Mater. Interfaces*. Vol. **37** (2015), pp. 20902–20908.
- [19] **Harry Markowitz.** "Portfolio Selection», *The Journal of Finance*. Vol. **7** (1952), pp. 77-91.
- [20] **Zvi Bodie, Alex Kane, Alan J. Marcus.** "Investments", *McGraw-Hill Education* (2012)
- [21] **Stephanos T. Papadamou.** "The effect of diversification across businesses and within lending activities on risks of commercial banks' portfolios: evidence from South Korea", *Int. J. Monetary Economics and Finance* Vol. **1** (2008), pp. 284-301.
- [22] **Stephanos Papadamou, Stavros Tsopoglou.** "Exploring The Benefits of International Diversification and Currency Hedging for International Fund Portfolios", *Managerial Finance* Vol. **28** (2002), pp. 35-58.

- [23] **Στέφανος Θ. Παπαδάμου** "Διαχείριση Χαρτοφυλακίου: Μια σύγχρονη Προσέγγιση", Gutenberg (2009)
- [24] **Amit Goyal, Christophe Perignon and Christophe Villa.** "How common are common return factors across the NYSE and Nasdaq?", *Journal of Financial Economics*, Vol. **90** (2008), pp. 252-271.
- [25] **Shmuel Baruch and Gideon Saar.** "Asset Returns and the Listing Choice of Firms", *The Review of Financial Studies*, Vol. **22** (2009), pp. 2239-2274.
- [26] **Dimitris N. Chorafas.** "An Introduction to Derivative Financial Instruments", *McGraw-Hill* (2008)
- [27] **L. Carrel.** "ETFs for the Long Run: What They Are, How They Work and Simple Strategies for Successful Long-Term Investing ", *John Willey and Sons* (2008)
- [28] **H. Chen, J. Estes, W. Pratt.** "Investing in the Healthcare Sector – Mutual Funds or ETFs", *Managerial Finance*. Vol. **44** (2018), pp. 495-508
- [29] **E.J. Elton, M.J. Gruber, A. Souza.** "Passive Mutual Funds and ETFs: Performance and Comparison ", *Journal Banking and Finance*. Vol. **106** (2019), pp. 265-275.
- [30] **Ioannis Andreadis, Theodoros E. Karakasidis.** "On a numerical approximation of the boundary structure and of the area of the Mandelbrot set", *Nonlinear Dyn.* Vol. **80** (2015), pp. 929–935.
- [31] **A. D. Fragkou, T. E. Karakasidis, I. E. Sarris, A. Liakopoulos.** "Spatiotemporal Time Series Analysis Methods for the Study of Turbulent Magnetohydrodynamic Channel Flows", *Environ. Process* Vol. **2**. (2015), pp. S141–S158.
- [32] **A.K.Charakopoulos, G.A.Katsouli, T.E.Karakasidis.** "Dynamics and causalities of atmospheric and oceanic data identified by complex networks and Granger causality analysis", *Physica A* Vol. **495** (2018), pp. 436-453.
- [33] **Angeliki Papana, Catherine Kyrtsov, Dimitris Kugiumtzis, Cees Diks.** "Financial networks based on Granger causality: A case study", *Physica A*. Vol. **482** (2017), pp. 65-73.
- [34] **Catherine Kyrtsov, Christina D. Mikropoulou.** "Quantifying Interactions in Nonlinear Feedback Dynamics: A Time Series Analysis", *International Journal of Bifurcation and Chaos*, Vol. **29** (2019), pp. 1950012-1 - 1950012-9
- [35] **Wolfgang Nikolaus Probst, Vanessa Stelzenmuller, Heino Ove Fock.** "Using cross-correlations to assess the relationship between time-lagged pressure and state indicators: an

exemplary analysis of North Sea fish population indicators", *ICES Journal of Marine Science*, Vol. **69** (2012), pp. 670-681.

[36] **K. Neusser**. *Time Series Econometrics*. Springer (2016)

[37] **Dimitris Kugiumtzis**. *Time Series Analysis Notes*. Aristotle University of Thessaloniki. (2017) (<http://users.auth.gr/dkugiu/Teach/TimeSeriesTHMMY>)

[38] **R.N. Mantegna**. "Hierarchical structure in financial markets", *The European Physical Journal B*, Vol. **11**. (1999), pp. 193-197.

[39] **María Victoria Riesgo García, Alicja Krzemieńb, Miguel Ángel Manzanedo del Campo, Carmen Escanciano García-Miranda, Fernando Sánchez Lasheras**. "Rare earth elements price forecasting by means of transgenic time series developed with ARIMA models", *Resources Policy* Vol. **59** (2018), pp. 95–102.

[40] **Nicolas Metropolis**. "The Beginning of the Monte Carlo Method", *Los Alamos Science* (1987) (<https://lib-www.lanl.gov/cgi-bin/getfile?00326866.pdf>)

[41] **Karl Sigman**. "Simulating Brownian motion (BM) and Geometric Brownian motion (GBM)" (2013) (<http://www.columbia.edu/~ks20/4404-Sigman/4404-Notes-sim-BM.pdf>)

[42] **Ward Whitt**. "A Quick Introduction to Stochastic Calculus" (2007). (<http://www.columbia.edu/~ww2040/4701Sum07/lec0813.pdf>)

[43] **Dima Waleed Hanna Alrabadi, Nada Ibrahim Abu Aljarayesh**. "Forecasting Stock Market Returns Via Monte Carlo Simulation: The Case of Amman Stock Exchange", *Jordan Journal of Business Administration* Vol. **11** (2015), pp. 745-756

[44] **A. Victor Devadoss, T. Antony Alphonse Ligori**. "Stock Prediction Using Artificial Neural Networks", *International Journal of Web Technology*, Vol. **2** (2013), pp. 42-48.

[45] **Kevin Gurney**. "An Introduction to Neural Networks", *UCL Press* (1997)

[46] **N. Sriraam**. "Correlation dimension based lossless compression of EEG signals", *Biomedical Signal Processing and Control*, Vol. **7** (2012), pp. 379-388

[47] **A.N. Miliou, S.G. Stavrinos, A.P. Valaristos, A.N. Anagnostopoulos**. "Nonlinear electronic circuit, Part I: Multiple routes to chaos", *Nonlinear Analysis*, Vol. **71** (2009), pp. e3-e20

[48] **Oldrich Zmeskal, Petr Dzik, Michal Vesely**. "Entropy of fractal systems", *Computers & Mathematics with Applications*, Vol. **66** (2013), pp. 135-146

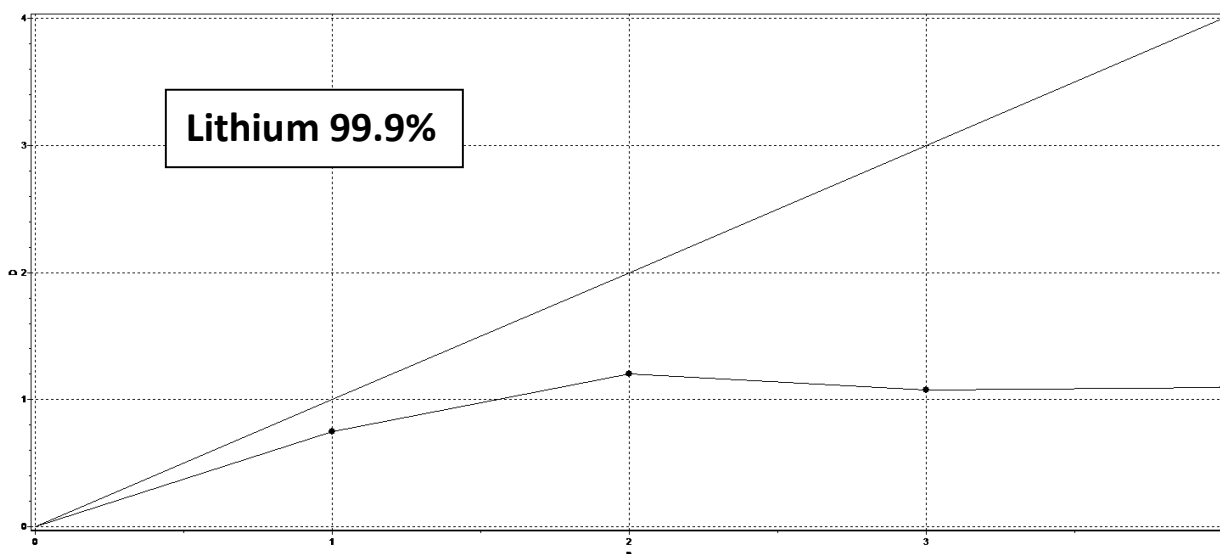
- [49] **Torsten Kleinow.** "Testing Continuous Time Models in Financial Markets", Dissertation, Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät Humboldt-Universität zu Berlin, 2002
- [50] **Alan Wolf, Jack B. Swift, Harry L. Swinney, John A. Vastano.**"Determining Lyapunov Exponents from a Time Series". *Physica D Nonlinear Phenomena Vol.16* (1985), pp. 285-317.
- [51] **Raras Tyasnurita, Ender Özcan and Robert John.** "Learning Heuristic Selection using a Time Delay Neural Network for Open Vehicle Routing", *IEEE* (2017), pp. 1474-1481
- [52] **Mahdi Zarghami, Ahmad Abrishamchi, Reza Ardakanian.** "Multi-criteria Decision Making for Integrated Urban Water Management" *Water Resour. Manage Vol. 22* (2008), pp. 1017–1029.
- [53] **Jeremy Rifkin** (2019) "The Green New Deal: Why the Fossil Fuel Civilization Will Collapse by 2028, and the Bold Economic Plan to Save Life on Earth" St. Martin's Press

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

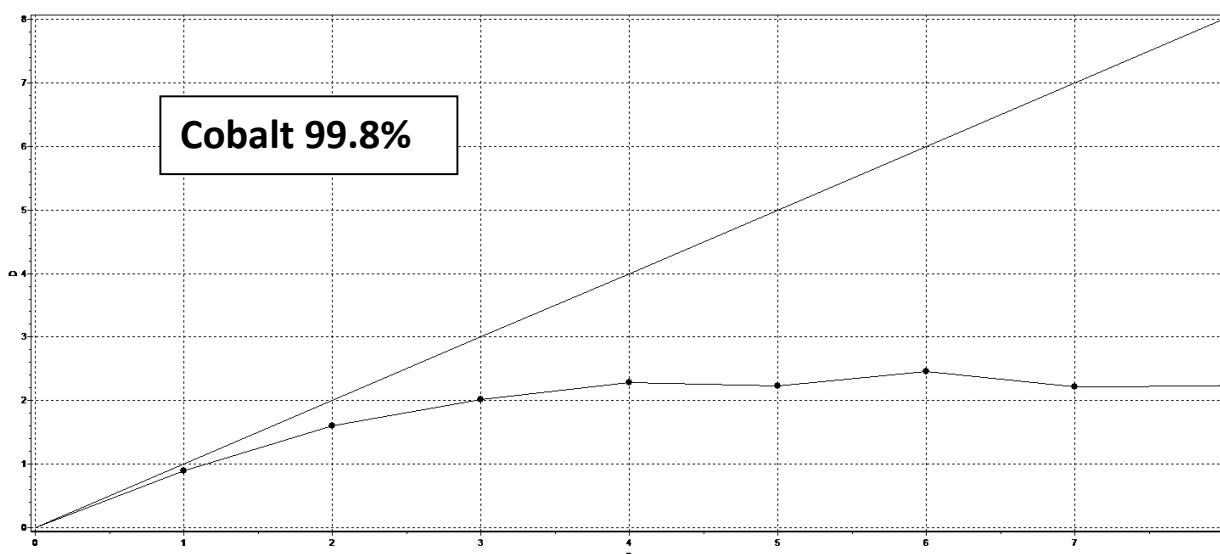
Στο Παράρτημα της εργασίας παρατίθενται τα πειραματικά αποτελέσματα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διαδικασία της Πειραματικής Ανάλυσης:

Ενότητα 14.3:

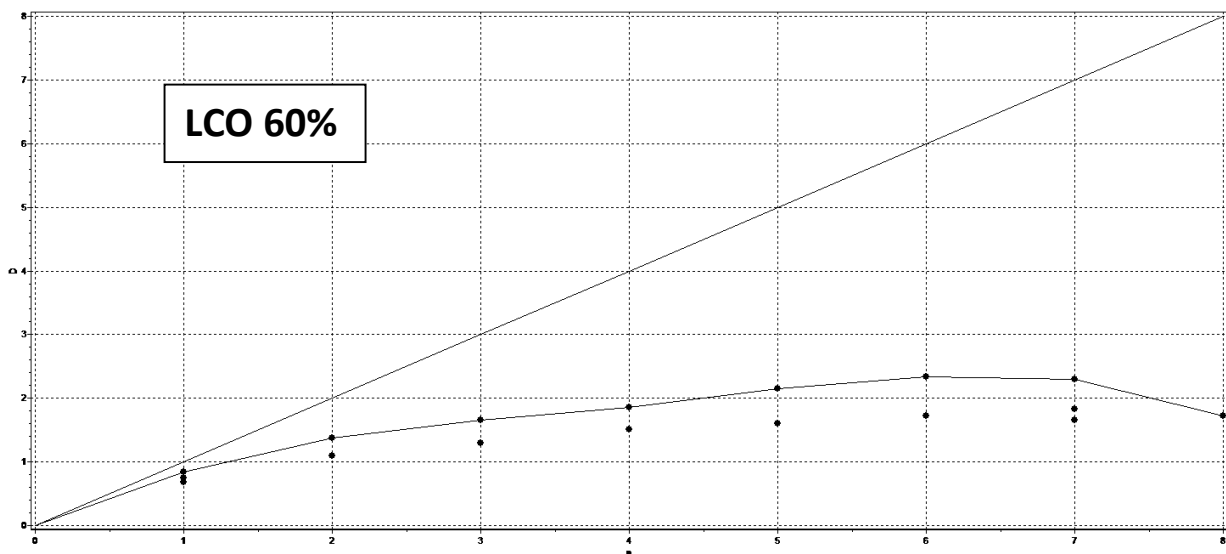
Correlation Integral/Correlation Dimension



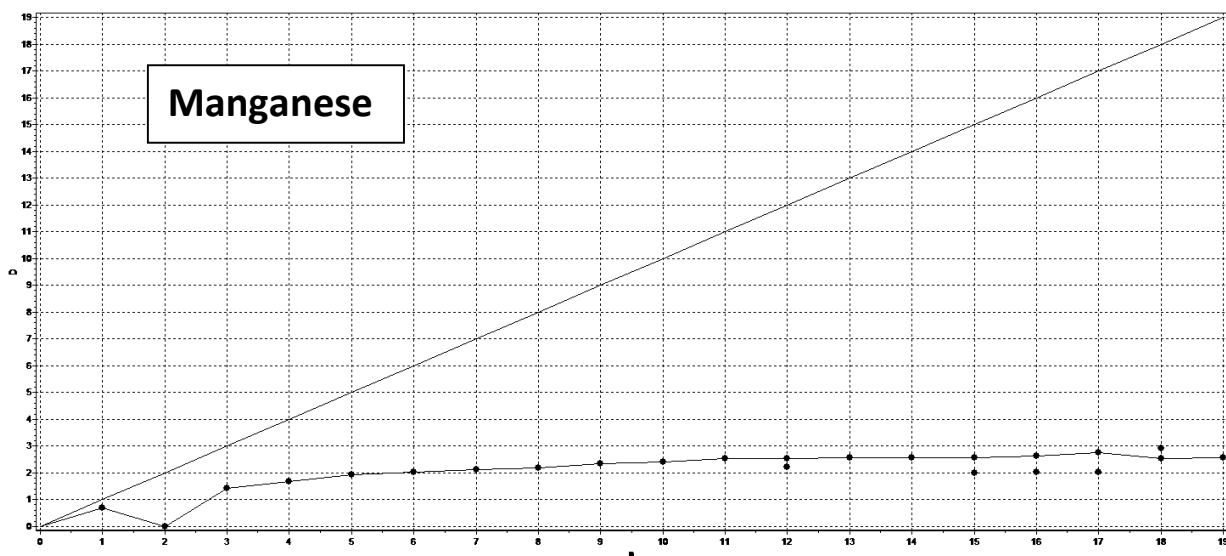
Γράφημα Α: Γράφημα Correlation Integral Λιθίου για την Ενότητα 14.3.



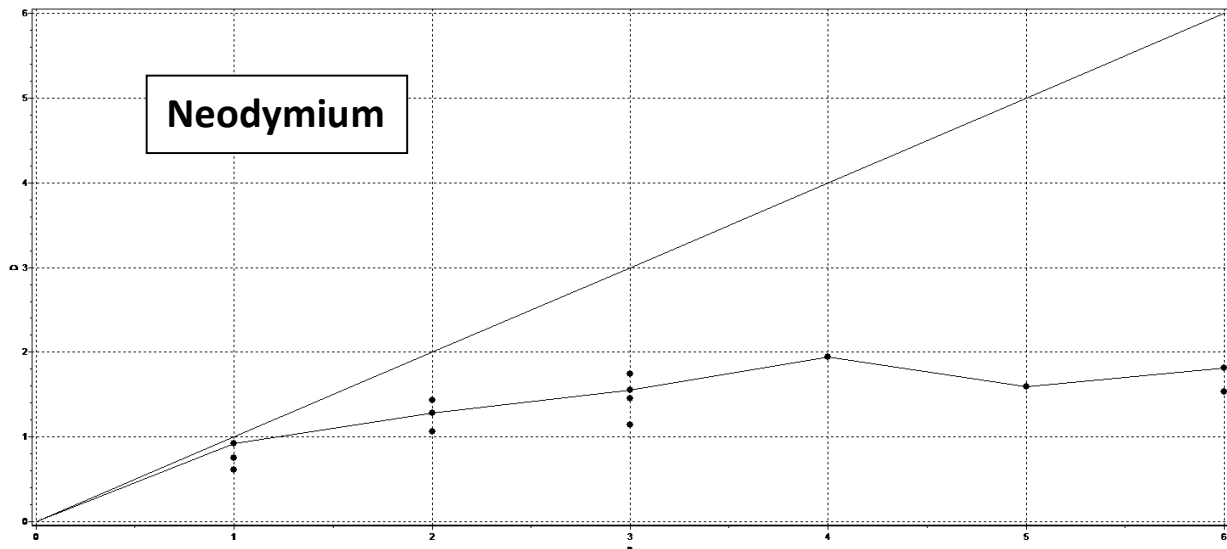
Γράφημα Β: Γράφημα Correlation Integral Κοβαλτίου για την Ενότητα 14.3.



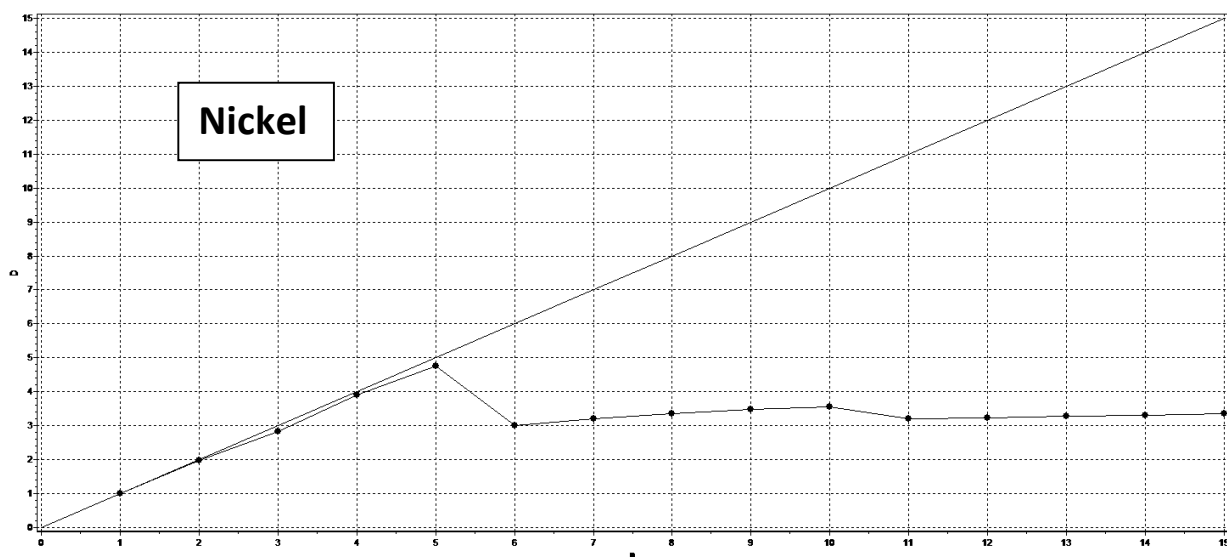
Γράφημα Γ: Γράφημα Correlation Integral Οξειδίου Λιθίου-Κοβαλτίου για την Ενότητα 14.3.



Γράφημα Δ: Γράφημα Correlation Integral Μαγγανίου για την Ενότητα 14.3.



Γράφημα Ε: Γράφημα Correlation Integral Νεοδυμίου για την Ενότητα 14.3.



Γράφημα ΣΤ: Γράφημα Correlation Integral Νικελίου για την Ενότητα 14.3.

Ενότητα 14.4:

Πίνακας Α: Πίνακας προβλεπόμενων τιμών μέσω των μεθόδων πρόβλεψης έναντι των πραγματικών τιμών για την Ενότητα 14.4

Lithium 99.9%	Date	ARIMA	Monte Carlo Simulation	Neural Networks	Actual
	1/12/2020	469761	469998	476910	475000
	2/12/2020	469490	470086	476302	475000
	3/12/2020	469216	470175	480276	475000
	4/12/2020	468941	470115	483968	480000
	7/12/2020	468667	470106	485031	480000
	8/12/2020	468393	469993	488946	480000
	9/12/2020	468119	470103	491623	480000
	10/12/2020	467846	470030	493864	480000
Cobalt 99,8%	11/12/2020	467573	469997	497064	480000
	Date	ARIMA	Monte Carlo Simulation	Neural Networks	Actual
	1/12/2020	14,7	14,6	14,7	14,7
	2/12/2020	14,7	14,5	14,7	14,7
	3/12/2020	14,6	14,4	14,7	14,7
	4/12/2020	14,6	14,3	14,7	14,7
	7/12/2020	14,6	14,2	14,7	14,7
	8/12/2020	14,6	14,1	14,7	14,7
	9/12/2020	14,6	14,1	14,8	14,7
	10/12/2020	14,6	14,0	14,8	14,7
	11/12/2020	14,5	13,9	14,8	14,7
Lithium Cobalt Oxide 60%	Date	ARIMA	Monte Carlo Simulation	Neural Networks	Actual
	1/12/2020	223,5	223,5	223,5	223,5
	2/12/2020	223,5	223,5	223,4	223,5
	3/12/2020	223,4	223,6	223,4	223,5
	4/12/2020	223,4	223,5	223,3	223,5
	7/12/2020	223,4	223,5	223,3	223,5
	8/12/2020	223,3	223,4	223,2	223,5
	9/12/2020	223,3	223,4	223,1	223,5
	10/12/2020	223,2	223,3	223,0	223,5
	11/12/2020	223,1	223,2	223,0	223,5

Ενότητα 14.4:

Πίνακας Β: Πίνακας προβλεπόμενων τιμών μέσω των μεθόδων πρόβλεψης έναντι των πραγματικών τιμών για την Ενότητα 14.4

	Date	ARIMA	Monte Carlo Simulation	Neural Networks	Actual
Manganese	1/12/2020	27,72	27,52	27,87	27,75
	2/12/2020	27,69	27,33	27,91	27,75
	3/12/2020	27,66	27,16	27,96	27,75
	4/12/2020	27,64	26,99	27,96	27,75
	7/12/2020	27,62	26,84	27,80	27,75
	8/12/2020	27,60	26,69	27,89	28,25
	9/12/2020	27,58	26,58	28,04	28,25
	10/12/2020	27,56	26,46	28,12	28
	11/12/2020	27,55	26,36	28,10	28
Neodymium	Date	ARIMA	Monte Carlo Simulation	Neural Networks	Actual
	1/12/2020	639169	630033	637768	635000
	2/12/2020	647179	630253	637327	635000
	3/12/2020	654179	630507	634149	635000
	4/12/2020	660303	630542	630736	635000
	7/12/2020	665663	630691	626790	635000
	8/12/2020	670361	630663	623566	625000
	9/12/2020	674482	631027	620915	625000
	10/12/2020	678102	631071	618727	615000
	11/12/2020	681286	631212	616931	610000
Nickel	Date	ARIMA	Monte Carlo Simulation	Neural Networks	Actual
	1/12/2020	16083,6	16066,1	16121	16230
	2/12/2020	16103,2	16002,4	15978	15982,5
	3/12/2020	16123,0	15858,9	15956	15970
	4/12/2020	16142,8	15793,5	16043	16355
	7/12/2020	16162,5	15701,2	16012	16390
	8/12/2020	16182,1	15589,5	16086	16382,5
	9/12/2020	16201,7	15511,4	16102	16695
	10/12/2020	16221,2	15408,5	16117	17392,5
11/12/2020	16240,6	15308,4	16169	17330	