



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ -  
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΓΙΩΡΓΟΣ ΓΙΩΤΗΣ  
ΑΕΜ 5598

**ΠΗΓΜΑΤΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΛΙΘΙΟΥ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΣΠΑΝΙΩΝ  
ΜΕΤΑΛΛΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ  
2023





ΓΙΩΡΓΟΣ ΓΙΩΤΗΣ

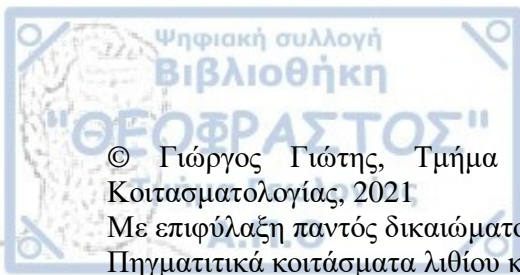
ΠΗΓΜΑΤΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΛΙΘΙΟΥ ΚΑΙ ΑΛΛΩΝ ΣΠΑΝΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας  
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

**Επιβλέπων Καθηγητής**

Βασίλης Μέλφος, Καθηγητής

© Γιώργος Γιώτης, 2023  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.



© Γιώργος Γιώτης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, 2021  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.  
Πηγματιτικά κοιτάσματα λιθίου και άλλων σπάνιων μετάλλων – *Διπλωματική Εργασία*

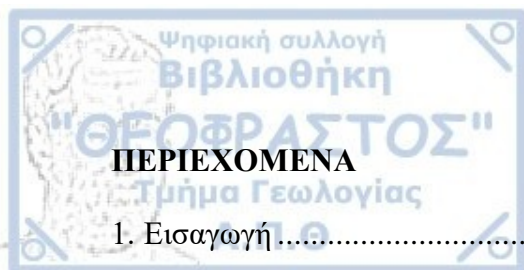
© Georgios Giotis, School of Geology, Department of Mineralogy, Petrology, Economic Geology, 2021  
All rights reserved.  
Pegmatitic deposits of lithium and other rare metals

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

*Εικόνα Εξωφύλλου:*





## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	3
1.1. Ο προσδιορισμός του Λιθίου.....	4
1.2. Γενικά χαρακτηριστικά λιθίου.....	5
2. Το Λίθιο ως πολύτιμο μέταλλο.....	7
2.1. Η χρησιμότητα του λιθίου.....	7
2.2. Φυσικές και ανατομικές ιδιότητες.....	8
2.3. Χημικές ιδιότητες λιθίου.....	9
3. Πηγματιτικά κοιτάσματα ανά τον κόσμο.....	11
3.1.1. Ευρώπη.....	11
3.1.2. Κεντρική Ιβηρική Ζώνη.....	12
3.1.3. Πηγματιτικά κοιτάσματα λιθίου Βόρεια και Νότια Αμερική.....	13
3.1.4. Πηγματιτικά κοιτάσματα λιθίου στην Αυστραλία.....	14
3.1.5. Πηγματιτικά κοιτάσματα λιθίου Ασία.....	14
Βιβλιογραφία.....	16



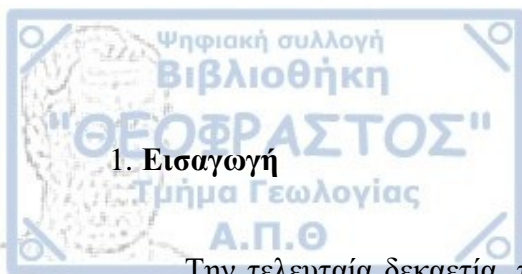
Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την ευρέως σημαντική χρήση των σπανίων μετάλλων και συγκεκριμένα του λιθίου σε διάφορους βιομηχανικούς τομείς. Αφού παρουσιάζει με εισαγωγικό τρόπο το λίθιο και τα γενικά του χαρακτηριστικά, εξετάζει την αξία του ως πολύτιμο μέταλλο, αναδεικνύοντας τη σημασία της παρουσίας του στην σύγχρονη κοινωνία. Ακολούθως, εξετάζονται οι διάφορες χρήσεις του λιθίου και των σπανίων μετάλλων σε τομείς όπως η ηλεκτρονική βιομηχανία, όπου επιτρέπουν την κατασκευή προηγμένων ηλεκτρονικών συστημάτων και αισθητήρων. Στη συνέχεια, αναλύεται η θετική συνεισφορά τους στην ανανεώσιμη ενέργεια, μέσω της κατασκευής φωτοβολταϊκών πάνελ και αιολικών τουρμπίνων, προωθώντας την υποστήριξη των πράσινων πηγών ενέργειας. Ειδικότερα, αναλύονται οι πολλαπλές χρήσεις των σπανίων μετάλλων στην αυτοκινητοβιομηχανία, όπου το λίθιο χρησιμοποιείται σε μπαταρίες ιόντων λιθίου για ηλεκτρικά και υβριδικά αυτοκίνητα. Αυτή η εφαρμογή ενθαρρύνει την εξέλιξη της ηλεκτροκίνησης και της βιώσιμης μεταφοράς. Επίσης, αναλύεται η σημασία των σπανίων μετάλλων στην αεροδιαστημική τεχνολογία, όπου ενισχύουν την απόδοση και τη λειτουργία των υλικών, καυσίμων και γεννητριών, ενώ συμβάλλουν στην προώθηση της ανάπτυξης διαστημικών τεχνολογιών. Συνολικά, η πολύπλευρη αξία των σπανίων μετάλλων και του λιθίου σε διάφορους τομείς, από την τεχνολογία και τη βιομηχανία έως την ενέργεια και την αεροναυπηγική, κατοχυρώνει την θέση τους ως ουσιώδες και αναντικατάστατο στοιχείο της σύγχρονης παγκόσμιας ανάπτυξης και προόδου.



### **Abstract**

This thesis deals with the widely important use of rare metals and specifically lithium in various industrial sectors. After introducing lithium and its general characteristics, it examines its value as a precious metal, highlighting the importance of its presence in modern society. Next, the various uses of lithium and rare metals in areas such as the electronics industry, where they enable the construction of advanced electronic systems and sensors, are examined. Then, their positive contribution to renewable energy is analyzed, through the construction of photovoltaic panels and wind turbines, promoting the support of green energy sources. In particular, the multiple uses of rare metals in the automotive industry are analyzed, where lithium is used in lithium-ion batteries for electric and hybrid cars. This application encourages the evolution of electrification and sustainable transport. Also, the importance of rare metals in aerospace technology is analyzed, where they enhance the performance and function of materials, fuels and generators, while helping to promote the development of space technologies. Overall, the multi-faceted value of rare metals and lithium in various sectors, from technology and industry to energy and aerospace, cements their place as an essential and irreplaceable element of modern global development and progress.





## 1. Εισαγωγή

Την τελευταία δεκαετία, το λίθιο έχει γίνει ένα στρατηγικής σημασίας μέταλλο λόγω των φυσικών και χημικών του ιδιοτήτων. Είναι το ελαφρύτερο στερεό στοιχείο και εξαιρετικός αγωγός θερμότητας και ηλεκτρισμού. Αυτό το καθιστά εξαιρετική επιλογή για την ηλεκτροκίνηση και τις πράσινες τεχνολογίες, όπως οι μπαταρίες Li-ion και άλλες συσκευές αποθήκευσης ενέργειας (Armand και Tarascon, 2008)

Ως αποτέλεσμα, η ζήτηση για το λίθιο έχει αυξηθεί σημαντικά. Σε αυτό το πλαίσιο, η αναγνώριση και αξιολόγηση των ορυκτών πόρων είναι ένας κρίσιμος παράγοντας, καθώς και η κατανόηση του λιθίου, που αποτελεί σημαντικό θέμα για τον εντοπισμό νέων ορυκτών πόρων.

Η σχετικά ξαφνική άνοδος του ενδιαφέροντος για το λίθιο έχει αποκαλύψει την ελλιπή γεωλογική κατανόηση του. Βασικά άλτα ερωτήματα αφορούν αλλαγές στο μάγμα ή τη χημεία του τήγματος κατά την κρυστάλλωση και τις χημικές αλληλεπιδράσεις κατά τη διάρκεια και μετά την κρυστάλλωση. Σχετικά με το τελευταίο, είναι ευρέως γνωστό ότι τα πετρώματα που φιλοξενούν διαφορετικούς τύπους αποθέσεων υπόκεινται σε διάφορους βαθμούς υδροθερμικής αλλοίωσης. Παγκοσμίως, (Li, Rb, Cs, Be, B, F, H<sub>2</sub>O, Sn) είναι κοινά στα πετρώματα που φιλοξενούν πηγματίτες πλούσιους σε λίθιο(Li), αν και η ορυκτολογία και η γεωχημεία τους έχουν σπάνια μελετηθεί λεπτομερώς σε σχέση με την πετρογένεση των πηγματιτών (Gruber, Medina, Kesler, & Everson, 2011).

Η έλλειψη λεπτομερών πετρογενετικών μοντέλων για τους πηγματίτες έχει περιορίσει σημαντικά το πεδίο των τεχνικών εξερεύνησης ορυκτών. Σήμερα, παρατηρείται μια μετάβαση από το "μαύρο χρυσό," δηλαδή το πετρέλαιο, σε μια αυξανόμενη εξάρτηση από ένα διαφορετικό είδος φυσικού πόρου, ένα διαφορετικό είδος πρώτων υλών: το λίθιο (Tavil, 2007).

Η προηγμένη τεχνολογία συνηγορεί για να αντιμετωπίσει ένα από τα πιο σημαντικά ζητήματα που απειλούν την ανθρωπότητα, την κλιματική αλλαγή. Η αλλαγή της προσοχής προς τα ηλεκτροκίνητα οχήματα έχει ως αποτέλεσμα τις αυξημένες προσπάθειες των αυτοκινητοβιομηχανιών να προωθήσουν ηλεκτροκίνητα μοντέλα. Μέσα από αυτή τη μετάβαση, οι αυτοκινητοβιομηχανίες βρίσκονται σε μια ανταγωνιστική αγωνιστική πορεία για την έγκαιρη παρουσίαση ηλεκτροκίνητων μοντέλων. Παράλληλα, οι αυτοκινητοβιομηχανίες εξαρτώνται όλο και περισσότερο από τη βιομηχανία μπαταριών, η οποία, με τη σειρά της, εξαρτάται από τους παραγωγούς κοβαλτίου, λιθίου και γραφίτη (Tavil, 2007).

Η ζήτηση για το λίθιο βρίσκεται σε ανοδική πορεία, καθώς αποτελεί το κύριο είδος πρώτης ύλης που απαιτείται για το 99% των ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων. Σύμφωνα με αναλυτές της τράπεζας UBS, η πώληση ηλεκτροκίνητων αυτοκινήτων αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά τα προσεχή έτη, με τον παγκόσμιο στόλο να αυξάνεται από τα 2 εκατομμύρια σημερινά σε 14,2 εκατομμύρια οχήματα έως το 2025. Αν και τα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα ενδέχεται να μην έχουν ακόμη προσελκύσει την ευρύτερη κοινή γνώμη, το ίδιο δεν ισχύει για άλλες καινοτόμες εφαρμογές της υψηλής τεχνολογίας, όπως έξυπνα κινητά, ηλεκτρονικοί υπολογιστές, επίπεδες οθόνες τηλεοράσεων και πολλές άλλες άνεσης παροχές. Αυτές έχουν εισχωρήσει εδώ και καιρό στην καθημερινότητα του μέσου ατόμου, διαμορφώνοντας μια κινητήρια δύναμη της κατανάλωσης και της οικονομικής ανάπτυξης (Tavil, 2007).

### 1.1. Ο προσδιορισμός του Λιθίου

Η αυξημένη ζήτηση για λίθιο σε μπαταρίες, ιδιαίτερα για ηλεκτρικά οχήματα (EV), έχει εντείνει την ανησυχία για την επάρκεια των γνωστών και αναμενόμενων πόρων λιθίου. Αρκετές μελέτες έχουν αντιμετωπίσει αυτό το ζήτημα, η πλειοψηφία των οποίων έχει επικεντρωθεί στη σύγκριση των εκτιμώμενων πόρων με την αναμενόμενη ζήτηση (Gruber, Medina, Kesler, & Everson, 2011). Με μια εξαίρεση (Tavil, 2007), αυτές οι μελέτες έχουν γενικά συμπεράνει ότι οι πόροι επαρκούν για τουλάχιστον έναν αιώνα. Αυτές οι μελέτες, ωστόσο, έχουν δώσει μόνο επιπόλαια προσοχή στη γεωλογική ρύθμιση των πόρων λιθίου, καθώς και στα χαρακτηριστικά των γνωστών κοιτασμάτων που μπορεί να επηρεάσουν την παραγωγή λιθίου από αυτά ή στους παράγοντες που θα επηρεάσουν την ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων (Andrukaitis & Hill, 2004).

Το χημικό στοιχείο λίθιο έχει το σύμβολο Li. Είναι το 25ο άφθονο στοιχείο του ηλιακού συστήματος. Επειδή έχει ατομικό αριθμό  $Z=3$ , το λίθιο είναι στοιχείο χαμηλού ατομικού αριθμού (δηλαδή έχει 3 πρωτόνια στον πυρήνα του). Είναι μέλος της ομάδας 1 του περιοδικού πίνακα ή της ομάδας αλκαλίων. Ανακαλύφθηκε σε ένα ορυκτό, σε αντίθεση με τα άλλα αλκαλικά μέταλλα, που ανακαλύφθηκαν σε φυτικό υλικό. Αυτό εξηγεί πώς το στοιχείο πήρε το όνομά του από την ελληνική λέξη λίθος (πέτρα).

Είναι ένα ασημί, μαλακό μέταλλο. Είναι το ελαφρύτερο μέταλλο και γενικά στερεό χημικό στοιχείο γιατί έχει τη μικρότερη πυκνότητα από όλα τα μέταλλα. Έχει σημείο τήξης 180,50 βαθμούς Κελσίου και σημείο βρασμού 1330 βαθμούς Κελσίου. Το λίθιο, όπως και άλλα αλκάλια, είναι εξαιρετικά αντιδραστικό και εύφλεκτο (Φιλιππάτος, 2019).

## 1.2. Γενικά χαρακτηριστικά λιθίου

Το λίθιο, με χημικό σύμβολο Li και ατομικό αριθμό 3, αποτελεί το 25ο πλέον διαδεδομένο στοιχείο στο ηλιακό σύστημα. Ανήκει στην ομάδα 1 του περιοδικού πίνακα, γνωστή ως η ομάδα των αλκαλίων. Η εξαγωγή του λιθίου γίνεται από διάφορα ορυκτά, όπως ο πεταλίτης, ο λεπιδόλιθος και ο αμβλυγωνίτης, καθώς και από άλμες. Η παραγωγή του μετάλλου απαιτεί ηλεκτρόλυση τετηγμένου χλωριούχου λιθίου και χλωριούχου καλίου σε θερμοκρασίες 450 °C. Ενδιαφέρον παρουσιάζει ο τρόπος αποθήκευσής του, καθώς δεν μπορεί να διατηρηθεί κάτω από το πετρέλαιο λόγω της χαμηλότερης πυκνότητάς του, επιπλέον απαιτεί αποθήκευση κάτω από βαζελίνη (Ercit & Černý, 2005).

Το λίθιο είναι ένα ασημένιο μέταλλο με χαμηλότερη πυκνότητα από τα άλλα μέταλλα, καθιστώντας το ελαφρύτερο μέταλλο γενικότερα. Το σημείο τήξης του είναι 180,50 °C, και το σημείο βρασμού του ανέρχεται στους 1330 °C. Όπως και τα υπόλοιπα αλκάλια, είναι εξαιρετικά δραστικό και εύφλεκτο, αντιδρώντας έντονα με το νερό. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι δεν αντιδρά με το οξυγόνο εκτός αν θερμανθεί στους 100 °C, αλλά αντιδρά με το άζωτο από την ατμόσφαιρα, σχηματίζοντας νιτρίδιο του λιθίου (Li<sub>3</sub>N), μια κόκκινη-καστανή ένωση (Evans, 2008).

Αν και το λίθιο δεν εμφανίζεται ως μέταλλο στη φύση, συναντάται σε μικρές ποσότητες σε σχεδόν όλα τα πυριγενή πετρώματα και στα νερά πολλών ιαματικών πηγών. Οι σημαντικότερες πηγές του είναι ο σποδομένης, ο πεταλίτης, ο λεπιδόλιθος και ο αμβλυγωνίτης. Ενδιαφέρον αποτελεί το γεγονός ότι, αν και είναι σπάνιο στο σύμπαν, το λίθιο δημιουργήθηκε στο Big Bang, μαζί με το υδρογόνο και το ήλιο (Andrukaitis & Hill, 2004).

Η ανακάλυψη του λιθίου στη Γη πραγματοποιήθηκε το 1817 από τον Johan August Arfvedson στη Στοκχόλμη, ο οποίος παρατήρησε την έντονη πορφυρή φλόγα που εκπέμπει όταν ανάβει σε φωτιά. Από τότε, το λίθιο έχει βρεθεί σε πολλά είδη προϊόντων, όπως σταφύλια, φύκια, καπνό, λαχανικά, γάλα και αίμα. Είναι πολύτιμο για την παραγωγή γυαλιού, προϊόντων αλουμινίου και μπαταριών, και αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην βιομηχανία. Η χώρα με τη μεγαλύτερη παραγωγή λιθίου είναι η Χιλή, ακολουθούμενη από την Αυστραλία (Gruber, Medina, Kesler, & Everson, 2011).

Η σημερινή κύρια παραγωγή του λιθίου συμβαίνει κυρίως στη Χιλή, όπου παράγεται από φυσικές πηγές όπως άλμες που περιέχουν ανθρακικό λίθιο, το οποίο εξάγεται μέσω επεξεργασίας με ανθρακικό νάτριο. Η διαδικασία παραγωγής του μετάλλου περιλαμβάνει την ηλεκτρόλυση τετηγμένου χλωριούχου λιθίου και χλωριούχου καλίου. Το λίθιο χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορες εμπορικές εφαρμογές. Για παράδειγμα, το οξείδιο του

λιθίου είναι χρήσιμο στην παραγωγή γυαλιού και κεραμικών. Το μεταλλικό λίθιο μπορεί να αναμιγνύεται με μαγνήσιο και αλουμίνιο για να βελτιώσει την αντοχή και να μειώσει το βάρος τους. Τα κράματα μαγνησίου-λιθίου χρησιμοποιούνται για προστατευτική θωράκιση, ενώ τα κράμα αλουμινίου-λιθίου μειώνουν το βάρος των αεροσκαφών, βοηθώντας στην εξοικονόμηση καυσίμων (Jiankang & Tianren, 2015).

Επιπλέον, το λίθιο χρησιμοποιείται σε επαναφορτιζόμενες μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σε κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές, ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και ηλεκτρικά οχήματα. Επιπλέον, χρησιμοποιείται σε ορισμένες μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες όπως οι βηματοδότες καρδιάς, παιχνίδια και ρολόγια. Επιπροσθέτως, το λίθιο χρησιμοποιείται στην παραγωγή στεατικού λιθίου, που είναι ένα υψηλής θερμοκρασίας γράσο γενικής χρήσης, και το οποίο μπορεί να λειτουργήσει ακόμη και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, όπως  $-60^{\circ}\text{C}$ . Έχει χρησιμοποιηθεί για οχήματα στην Ανταρκτική (Gruber, Medina, Kesler, & Everson, 2011).

Το λίθιο αποκτά επίσης χρήση ως αντίδραση για την αποθήκευση υδρογόνου για καύσιμο. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι το λίθιο χρησιμοποιείται στη θεραπεία της μανιακής κατάθλιψης, παρόλο που η ακριβής δράση του στον εγκέφαλο δεν έχει ακόμη κατανοηθεί πλήρως (Tavil, 2007).

Οι υπόγειες αποθήκες που κλειδώνονται μέσα στον φλοιό της Γης αποτελούν μια σημαντική πηγή ανθρακικού λιθίου. Αυτές οι αποθήκες είναι λιγότερο δαπανηρές για την εξόρυξη σε σύγκριση με τα ορυκτά που περιέχουν λίθιο, όπως σποδουμένης, πεταλίτης και άλλα. Η συνολική ποσότητα λιθίου που περιέχεται στα θαλάσσια νερά είναι εξαιρετικά μεγάλη, εκτιμάται ότι αγγίζει τα 230 δισεκατομμύρια τόνους. Η σταθερή συγκέντρωση του λιθίου σε αυτά τα νερά υπολογίζεται να κυμαίνεται μεταξύ 140 και 250 μέρη ανά δισεκατομμύριο (ppb). Υψηλότερες συγκεντρώσεις, που φτάνουν περίπου τα 7 μέρη ανά εκατομμύριο (ppm), έχουν εντοπιστεί κοντά σε υδροθερμικές πηγές. Εκτιμάται ότι η συγκέντρωση του λιθίου στον φλοιό της Γης κυμαίνεται κατά βάρος από 20 έως 70 μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) (Ercit & Černý, 2005).

Η διαδικασία παραγωγής λιθίου από αυτές τις αποθήκες ξεκινά με την άντληση της άλμης σε λίμνες εξάτμισης. Μέσα σε περίπου 12 έως 18 μήνες, η συγκέντρωση της άλμης αυξάνεται σημαντικά, φτάνοντας τα 6.000 μέρη ανά εκατομμύριο (ppm) λιθίου μέσω φυσικής εξάτμισης από τον ήλιο. Όταν το χλωριούχο λίθιο φτάσει στην κατάλληλη συγκέντρωση, το υγρό εξάγεται σε μια μονάδα ανάκτησης, όπου υποβάλλεται σε επεξεργασία με ανθρακικό νάτριο. Στη συνέχεια, το ανθρακικό λίθιο υφίσταται κατακράτηση, στέγνωμα και αποστολή (Jiankang & Tianren, 2015).

## 2. Το Λίθιο ως πολύτιμο μέταλλο

Το λίθιο είναι ένα πολύτιμο στοιχείο που χρησιμοποιείται στην κατασκευή γυαλιού, αλουμινίου και μπαταριών. Εξάγεται από πεταλίτη ( $\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$ ), λεπιδόλιθο  $\text{K}(\text{Li},\text{Al})_3(\text{Al},\text{Si},\text{Rb})_4\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$ , σποδουμένη ( $\text{LiAl}(\text{SiO}_3)_2$ ) και άλμη (Ercit & Černý, 2005).

Οι μεγαλύτεροι παραγωγοί λιθίου στον κόσμο είναι η Χιλή και η Αυστραλία.. Αυτά τα ορυκτά βρίσκονται στους πηγματίτες, οι οποίοι είναι αποθέσεις πυριγενών πετρωμάτων. Το μάγμα ψύχεται τόσο αργά στους πηγματίτες που οι κρύσταλλοι έχουν χρόνο να κρυσταλλωθούν πλήρως.

Η ετήσια παραγωγή ενώσεων λιθίου είναι περίπου 50.000 τόνοι, με αποθέματα που υπολογίζονται σε περίπου 8.5 εκατομμύρια τόνους. Το ίδιο το μέταλλο παράγεται σε βιομηχανικές ποσότητες περίπου 8500 τόνων ετησίως με ηλεκτρόλυση τηγμένου χλωριούχου λιθίου και χλωριούχου καλίου σε χαλύβδινες κυψέλες σε θερμοκρασίες 450°C (Evans, 2008).

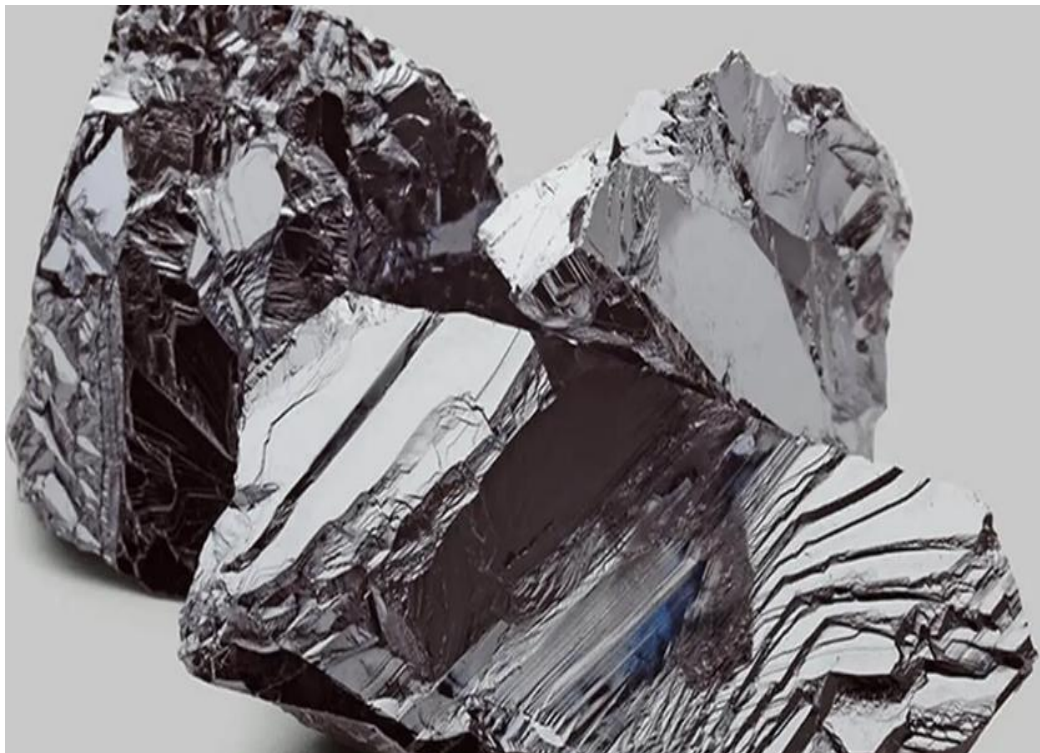
### 2.1. Η χρησιμότητα του λιθίου

Η πλειοψηφία του λιθίου παράγεται επί του παρόντος στη Χιλή από άλμη που, όταν υποβάλλεται σε επεξεργασία με ανθρακικό νάτριο, παράγει ανθρακικό λίθιο. Η ηλεκτρόλυση τηγμένου χλωριούχου λιθίου και χλωριούχου καλίου αποδίδει το μέταλλο. Το λίθιο χρησιμοποιείται εμπορικά σε ποικίλες εφαρμογές (Evans, 2008).

Το μέταλλο αναμιγνύεται σε κράματα με μαγνήσιο και αλουμίνιο για να αυξήσει την αντοχή ενώ μειώνεται το βάρος. Το κράμα αλουμινίου-λιθίου χρησιμοποιείται στην προστατευτική θωράκιση και το κράμα μαγνησίου-λιθίου μειώνει το βάρος του αεροσκάφους, εξοικονομώντας καύσιμο. Τα περισσότερα γράσα περιέχουν στεατικό λίθιο, το οποίο είναι ένα γενικής χρήσης γράσο υψηλής θερμοκρασίας που παράγεται από την αντίδραση στεατικού οξέος με υδροξείδιο του λιθίου. Μπορεί να λειτουργήσει σε θερμοκρασίες έως -60 °C και έχει χρησιμοποιηθεί σε οχήματα της Ανταρκτικής (Andrukaitis & Hill, 2004).

Το λίθιο βρίσκεται πιο συχνά σε επαναφορτιζόμενες μπαταρίες κινητών, τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές, ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και ηλεκτρικά οχήματα. Το λίθιο βρίσκεται επίσης σε μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες που χρησιμοποιούνται σε βηματοδότες, παιχνίδια και ρολόγια (Ercit & Černý, 2005).

Τα ειδικά ποτήρια και τα υαλοκεραμικά περιέχουν οξείδιο του λιθίου. Ένα από τα πιο υγροσκοπικά υλικά που είναι γνωστά, το χλωριούχο λίθιο χρησιμοποιείται σε συστήματα κλιματισμού και βιομηχανικής ξήρανσης (όπως και το βρωμιούχο λίθιο). Το στεατικό λίθιο είναι λιπαντικό υψηλής θερμοκρασίας και γενικής χρήσης. Αν και η δράση του στον εγκέφαλο δεν είναι πλήρως κατανοητή, το ανθρακικό λίθιο χρησιμοποιείται σε φάρμακα για τη θεραπεία της μανιοκατάθλιψης. Το υδρίδιο του λιθίου είναι ένα μέσο αποθήκευσης υδρογόνου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο (Jiankang & Tianren, 2015).



**Εικόνα 1 Λίθιο**

Πηγή <https://rawmathub.gr/enimerosi-gia-ti-viosimi-anaptyksi/ilektrokinisi/to-lithio-apeilei-na-frenarei-ta-sxedia-gia-tin-ilektrokinisi>

## **2.2. Φυσικές και ανατομικές ιδιότητες**

Ένα κοινό χαρακτηριστικό όλων των στοιχείων στην πρώτη κύρια ομάδα του περιοδικού πίνακα είναι η παρουσία ενός ηλεκτρονίου στο εξωτερικό κέλυφος τους. Όταν αυτό το ηλεκτρόνιο αφαιρεθεί, τα στοιχεία αυτά μετατρέπονται σε θετικά ιόντα, γνωστά και ως κατιόντα. Αυτό εξηγεί την καλή αγωγιμότητα τους σε θερμότητα και ηλεκτρισμό (Ercit & Černý, 2005).

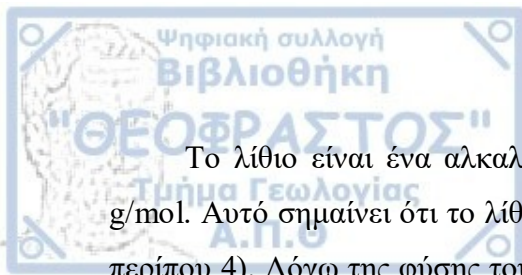
Το λίθιο, όπως προαναφέρθηκε, ανήκει στα λιγότερο αντιδραστικά αλκάλια λόγω της μικρής ιοντικής ακτίνας του, η οποία οφείλεται στην πολύ μικρή απόσταση μεταξύ του εξωτερικού ηλεκτρονίου και του πυρήνα. Αυτή η μικρή απόσταση διακρίνεται αν ληφθεί υπόψη ότι μεταξύ του εξωτερικού ηλεκτρονίου και του πυρήνα υπάρχει μόνο ένα πολύ λίγο πλήθος ηλεκτρονίων, τα οποία έχουν χαμηλή ενέργεια και δεν συμμετέχουν σε χημικούς δεσμούς (Gruber, Medina, Kesler, & Everson, 2011).

Ένα άλλο χαρακτηριστικό του λιθίου είναι η χαμηλή σκληρότητά του, καθιστώντας το ευάλωτο στο κόψιμο με ένα μαχαίρι. Η επιφάνειά του, όταν κοπεί, μεταβάλλει γρήγορα το χρώμα της από ασημένιο σε γκρι λόγω της οξειδωσης. Επιπλέον, έχει τη μεγαλύτερη θερμοκρασία βρασμού σε σχέση με τα άλλα αλκάλια. Όσον αφορά την πυκνότητά του, αυτή είναι χαμηλή, κυμαίνεται στα  $534 \text{ kg/m}^3$ , καθιστώντας το το ελαφρύτερο από όλα τα χημικά στοιχεία και τα στερεά. Το λίθιο στη μεταλλική του μορφή, λόγω της χαμηλής πυκνότητάς του, επιπλέει στα υγρά υδρογονάνθρακες. Συνοδεύεται σε αυτό από το νάτριο και το κάλιο, και είναι τα μόνα μέταλλα που επιπλέουν στο νερό. Τέλος, το λίθιο διαθέτει τον διπλάσιο συντελεστή θερμικής διαστολής σε σχέση με το αλουμίνιο και τον τετραπλάσιο από το σίδηρο. Επιπλέον, διακρίνεται για την υψηλή σχετική θερμοχωρητικότητά του, που ανέρχεται σε  $3,58 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$  και είναι υψηλότερη από οποιοδήποτε άλλο στερεό χημικό στοιχείο (Hammond, 2000).

### 2.3.Χημικές ιδιότητες λιθίου

Το λίθιο είναι ένα σπάνιο στοιχείο που βρίσκεται κυρίως σε βράχους και αλμυρά νερά σε πολύ μικρές ποσότητες. Χρησιμοποιείται σε πολλές θεραπείες φαρμάκων λόγω των θετικών του επιδράσεων στον ανθρώπινο εγκέφαλο. Λόγω των αντιδραστικών του ιδιοτήτων, ο άνθρωπος έχει χρησιμοποιήσει το λίθιο σε μπαταρίες, πυρηνικά και θερμοπυρηνικά όπλα (Libretexts.org, 2019).

Εισαγωγή Το λίθιο αναγνωρίστηκε πρώτα ως συστατικό του ορυκτού πεταλίτη και ανακαλύφθηκε το 1817 από τον Johan August Arfwedson, αλλά δεν απομονώθηκε μέχρι αργότερα από τους W.T. Brande και Sir Humphry Davy. Στις ορυκτές μορφές του αντιστοιχεί μόνο στο 0,0007% της επιφάνειας της γης. Οι ενώσεις του χρησιμοποιούνται σε ορισμένα είδη γυαλιού και πορσελάνης. Πιο πρόσφατα, το λίθιο έχει γίνει σημαντικό σε μπαταρίες και πυρηνικούς αντιδραστήρες. Ορισμένες ενώσεις του λιθίου έχουν χρησιμοποιηθεί για τη θεραπεία ατόμων με μανιοκατάθλιψη.



Το λίθιο είναι ένα αλκαλικό μέταλλο με ατομικό αριθμό 3 και ατομική μάζα 6,941 g/mol. Αυτό σημαίνει ότι το λίθιο έχει 3 πρωτόνια, 3 ηλεκτρόνια και 4 νετρόνια ( $6,941 - 3 =$  περίπου 4). Λόγω της φύσης του ως αλκαλικό μέταλλο, το λίθιο είναι ένα μαλακό, εύφλεκτο και υψηλά αντιδραστικό μέταλλο που τείνει να σχηματίζει υδροξείδια. Επιπλέον, έχει χαμηλή πυκνότητα και σε τυπικές συνθήκες, είναι το λιγότερο πυκνό στερεό στοιχείο (Libretexts.org, 2019).

Το λίθιο είναι το ελαφρύτερο από όλα τα μέταλλα και παίρνει το όνομά του από την ελληνική λέξη για πέτρα (λίθος). Είναι το πρώτο μέλος της οικογένειας των αλκαλικών μετάλλων. Το λίθιο έχει μικρότερη πυκνότητα από το νερό και αντιδρά με αυτό, ενώ σε επαφή με τον αέρα δημιουργεί ένα μαύρο οξειδωμένο.

Οι ιδιότητες του λιθίου παρουσιάζονται παρακάτω (Libretexts.org, 2019)

- Ατομικός Αριθμός: 3
- Ατομική Μάζα: 6,941 g/mol
- Ατομική Ακτίνα: 152 pm
- Πυκνότητα: 0,534 g/cm<sup>3</sup>
- Χρώμα: Ασημί ανοικτό
- Σημείο τήξης: 453,69 K
- Σημείο βρασμού: 1615 K
- Θερμότητα Συντήξης: 3,00 kJ/mol
- Θερμότητα Ατμοποίησης: 147,1 kJ/mol
- Ειδική Θερμική Χωρητικότητα: 24,860 kJ/mol
- Πρώτη Ενέργεια Ιοντισμού: 520,2 kJ/mol
- Οξείδωση: +1, -1
- Ηλεκτροαρνητικότητα: 0,98
- Κρυσταλλική Δομή: Συγκεντρωμένη κυβική
- Μαγνητισμός: Παραμαγνητικός
- 2 Σταθεροί Ισοτόποι: <sup>6</sup>Li (7,5%) και <sup>7</sup>Li (92,5%)

Το λίθιο είναι ένα στοιχείο με πολλές ενδιαφέρουσες ιδιότητες που το καθιστούν χρήσιμο σε διάφορες εφαρμογές, από μπαταρίες έως πυρηνικούς αντιδραστήρες και θερμοπυρηνικά όπλα.

Διαθέτει σχετικά χαμηλή ηλεκτροαρνητικότητα και αφομοίωση ηλεκτρονίων σε σύγκριση με άλλα στοιχεία. Επιπλέον, το λίθιο εμφανίζει υψηλό μεταλλικό χαρακτήρα,



αντίθετα προς τη μικρότερη μη μεταλλική του ιδιότητα σε σχέση με άλλα στοιχεία. Το λίθιο διαθέτει επίσης μεγαλύτερη ατομική ακτίνα σε σύγκριση με την πλειονότητα των στοιχείων που βρίσκονται στον Περιοδικό Πίνακα (Libretexts.org, 2019).

Σε χημικούς συνδυασμούς, όπως και όλα τα αλκαλικά μέταλλα, το λίθιο κουβαλά θετικό φορτίο +1. Όταν βρίσκεται στην καθαρή του μορφή, το λίθιο παρουσιάζεται ως μαλακό, ασημί-άσπρο μέταλλο με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία τήξης, η οποία ανέρχεται στους 181 βαθμούς Κελσίου. Αυτά τα χαρακτηριστικά συμβάλλουν στην ιδιαίτερη θέση του λιθίου εντός των περιοδικών τάσεων των στοιχείων (Libretexts.org, 2019).

### 3. Πηγματικά κοιτάσματα ανά τον κόσμο



Εικόνα 2 Κοιτάσματα παγκόσμιας παραγωγής λιθίου (πηγή Association of Mining)

#### 3.1.1. Ευρώπη

Τα πηγματικά κοιτάσματα λιθίου αποτελούν σημαντική πηγή για την παραγωγή λιθίου. Ωστόσο, η Ευρώπη δεν είχε αναπτύξει την ίδια έκταση εξόρυξης λιθίου όπως άλλες

περιοχές του κόσμου, όπως η Κίνα, η Αυστραλία και ο Καναδάς. Παρ' όλα αυτά, υπήρχαν ορισμένα προσπάθεια να αυξηθεί η παραγωγή λιθίου στην Ευρώπη λόγω της αυξανόμενης ζήτησης λόγω της τεχνολογίας μπαταριών.

Μερικά από τα πηγματιτικά κοιτάσματα λιθίου στην Ευρώπη περιλαμβάνουν:

1. **Κοιτάσματα στη Φινλανδία:** Η Φινλανδία έχει αναπτύξει πολλά προγράμματα εξόρυξης λιθίου από πηγματίτες, κυρίως στην περιοχή του Ματσιαλά του νομού Σοτκάμπα.
2. **Κοιτάσματα στην Πορτογαλία:** Η Πορτογαλία έχει επίσης προσπαθήσει να αναπτύξει την εξόρυξη λιθίου, κυρίως στην περιοχή της Βίζεου.
3. **Κοιτάσματα στην Σουηδία:** Η Σουηδία διαθέτει επίσης ορισμένες ανεκτίμητες πηγές λιθίου. Έχουν γίνει προσπάθειες να αναπτυχθεί η εξόρυξη στην περιοχή Alvar Lake.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι προσπάθειες για την ανάπτυξη της παραγωγής λιθίου στην Ευρώπη συνήθως αντιμετωπίζουν περιβαλλοντικές και κοινωνικές προκλήσεις, καθώς οι διαδικασίες εξόρυξης και επεξεργασίας μπορούν να επηρεάσουν το περιβάλλον και τις τοπικές κοινότητες. Οι προσπάθειες αυτές συνεχίζονται και εξελίσσονται, καθώς η Ευρώπη επιδιώκει να εξασφαλίσει την ανεξαρτησία της στον τομέα των σπάνιων μετάλλων και τη χρήση τους σε τεχνολογίες μπαταριών και άλλες εφαρμογές.

### 3.1.2. Κεντρική Ιβηρική Ζώνη

Η Κεντρική Ιβηρική Ζώνη είναι μία γεωλογική περιοχή που καλύπτει τμήματα της Ισπανίας και της Πορτογαλίας. Σε αυτήν την περιοχή, υπάρχουν ορισμένα πηγματιτικά κοιτάσματα λιθίου που έχουν προσελκύσει ενδιαφέρον λόγω της αυξανόμενης ζήτησης για λίθιο για τις μπαταρίες λιθίου-ιών και άλλες εφαρμογές.

Ορισμένα από τα πηγματιτικά κοιτάσματα λιθίου στην Κεντρική Ιβηρική Ζώνη περιλαμβάνουν:

1. **Κοιτάσματα Cinovec-Cinvald:** Αυτό το κοιτάσμα βρίσκεται στην περιοχή της Τσεχίας και της Γερμανίας, αλλά ανήκει στη γεωλογική ενότητα της Κεντρικής Ιβηρικής Ζώνης. Εκτιμάται ότι περιέχει σημαντικές ποσότητες λιθίου.
2. **Κοιτάσματα Guarda και Barroso-Alvão:** Αυτά τα κοιτάσματα βρίσκονται στη Βόρεια Πορτογαλία και είναι γνωστά για την παρουσία λιθίου.

Αυτά τα κοιτάσματα αναγνωρίζονται για την προοπτική τους να παράγουν λίθιο, αλλά η εξόρυξη και η ανάπτυξη αυτών των κοιτασμάτων μπορεί να είναι πολύπλοκη λόγω των τεχνικών, περιβαλλοντικών και οικονομικών προκλήσεων που συνδέονται με αυτήν τη διαδικασία.

### 3.1.3. Πηγματιτικά κοιτάσματα λιθίου Βόρεια και Νότια Αμερική

Η Βόρεια και η Νότια Αμερική έχουν πολλά πηγματιτικά κοιτάσματα λιθίου που αποτελούν σημαντικές πηγές για την παραγωγή λιθίου. Οι περιοχές αυτές έχουν προσελκύσει μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της αυξανόμενης ζήτησης για λίθιο για τις μπαταρίες λιθίου-ίων και άλλες εφαρμογές.

Βόρεια Αμερική:

1. **Κοιτάσματα Greenbushes, Αυστραλία:** Παρόλο που βρίσκονται στην Αυστραλία, τα κοιτάσματα Greenbushes αξίζει να αναφερθούν, καθώς είναι ένα από τα μεγαλύτερα και πλούσια σε λίθιο στον κόσμο.
2. **Κοιτάσματα Kings Mountain, "Π.Α.":** Αυτό το κοιτάσμα στη Νότια Καρολίνα των "Π.Α. ήταν σημαντικό πηγματιτικό κοιτάσμα λιθίου, αλλά η εξόρυξη σταμάτησε λόγω οικονομικών και περιβαλλοντικών προκλήσεων.

Νότια Αμερική:

1. **Κοιτάσματα Salar de Uyuni, Βολιβία:** Το Salar de Uyuni είναι ένα από τα μεγαλύτερα κοιτάσματα στον κόσμο και περιέχει μεγάλες ποσότητες λιθίου.
2. **Κοιτάσματα Salar del Hombre Muerto, Αργεντινή:** Το Salar del Hombre Muerto είναι ένα άλλο σημαντικό κοιτάσμα που περιέχει λίθιο στην Αργεντινή.

Αυτά είναι μόνο μερικά παραδείγματα κοιτασμάτων λιθίου στη Βόρεια και Νότια Αμερική. Υπάρχουν πολλά άλλα κοιτάσματα στην περιοχή που παίζουν σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια παραγωγή λιθίου.

### 3.1.4. Πηγματιτικά κοιτάσματα λιθίου στην Αυστραλία

Η Αυστραλία είναι ένας από τους μεγαλύτερους παραγωγούς λιθίου στον κόσμο, με πολλά σημαντικά πηγματιτικά κοιτάσματα. Οι εξόρυξη και η επεξεργασία λιθίου έχουν γίνει κυρίως από τα εξής κοιτάσματα:

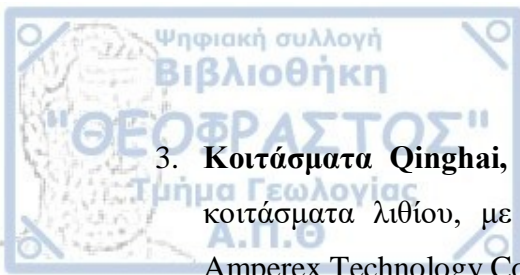
1. **Greenbushes:** Το Greenbushes είναι ένα από τα μεγαλύτερα και πλούσια πηγματιτικά κοιτάσματα λιθίου στον κόσμο. Βρίσκεται στη δυτική Αυστραλία και παράγει μεγάλες ποσότητες συγκεντρωμένου λιθίου.
2. **Mount Marion:** Επίσης, στη δυτική Αυστραλία, το Mount Marion αποτελεί σημαντικό κοιτάσμα λιθίου, με εκμετάλλευση από την εταιρεία Mineral Resources.
3. **Bald Hill:** Βρίσκεται επίσης στη δυτική Αυστραλία και αναπτύσσεται από την Tawana Resources. Είναι ένα ανερχόμενο κοιτάσμα λιθίου.
4. **Γκράφανα:** Αυτό το κοιτάσμα βρίσκεται στην πολιτεία Νότια Αυστραλία και αναπτύσσεται από την Core Lithium.
5. **Wodgina:** Το Wodgina βρίσκεται στη δυτική Αυστραλία και έχει παραγωγική ιστορία στην εξόρυξη λιθίου.

Αυτά είναι μερικά από τα κυριότερα πηγματιτικά κοιτάσματα λιθίου στην Αυστραλία. Η χώρα έχει σημαντική παραγωγή λιθίου και συνεχίζει να αναπτύσσει τον τομέα της εξόρυξης και της παραγωγής λιθίου λόγω της αυξανόμενης ζήτησης από τη βιομηχανία μπαταριών και άλλες τεχνολογίες.

### 3.1.5. Πηγματιτικά κοιτάσματα λιθίου Ασία

Η Ασία είναι επίσης μία σημαντική περιοχή για την παραγωγή λιθίου, με πολλά πηγματιτικά κοιτάσματα που συνεισφέρουν στην παγκόσμια παραγωγή. Ορισμένα από αυτά περιλαμβάνουν:

1. **Κοιτάσματα Jiangxi Ganfeng, Κίνα:** Η Κίνα είναι ένας από τους μεγαλύτερους παραγωγούς λιθίου στον κόσμο. Η Jiangxi Ganfeng είναι μία από τις μεγαλύτερες εταιρείες που επικεντρώνεται στην εξόρυξη και την επεξεργασία λιθίου στην Κίνα.
2. **Κοιτάσματα Greenbushes, Αυστραλία:** Αν και βρίσκονται στην Αυστραλία, τα κοιτάσματα Greenbushes ελέγχονται και εκμεταλλεύονται από την κινεζική εταιρεία Tianqi Lithium.



3. **Κοιτάσματα Qinghai, Κίνα:** Η επαρχία Qinghai στην Κίνα διαθέτει σημαντικά κοιτάσματα λιθίου, με σημαντικούς παραγωγούς όπως η CATL (Contemporary Ampere Technology Co. Ltd).

4. **Κοιτάσματα Sonora, Μεξικό:** Το κοιτάσμα Sonora είναι ένα από τα μεγαλύτερα σε έκταση κοιτάσματα λιθίου στον κόσμο και βρίσκεται στο Μεξικό.

5. **Κοιτάσματα Bikita, Ζιμπάμπουε:** Η Ζιμπάμπουε έχει αναπτύξει την εξόρυξη λιθίου από το κοιτάσμα Bikita, που είναι ένα από τα μεγαλύτερα κοιτάσματα λιθίου στην Αφρική.

Αυτά είναι μερικά από τα πραγματικά κοιτάσματα λιθίου στην Ασία, που συμβάλλουν στην παραγωγή λιθίου και την ικανοποίηση της αυξανόμενης ζήτησης για τις μπαταρίες λιθίου-ιόν και άλλες εφαρμογές.



- Andrukaitis, E., & Hill, I. (2004). Lithium-ion polymer cells for military applications. *Journal of power sources*, 129(1), σσ. 20-28.
- Ercit, T., & Černý, P. (2005). *The classification of granitic pegmatites revisited*.
- Evans, R. (2008). *An abundance of lithium*. Santiago: World Lithium.
- Gruber, P., Medina, A., Kesler, S., & Everson, M. (2011). *Global Lithium Availability*. Wiley.
- Jiankang, L., & Tianren, Z. (2015). The metallogenetic regularities of lithium deposits in China. . *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 89(2), σσ. 652-670.
- Libretexts.org. (2019). Chemistry of Lithium. σσ. 5-9.
- Tavil, W. (2007). *The Trouble with Lithium 2: Under the Microscope*.
- Φιλιππάτος, Π. (2019). *312 MAX Phases: Ελαστικές ιδιότητες και Λίθιο*.