T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKİYE'NİN POTANSİYEL GRAFİT YATAKLARI ENVANTERİNİN ÇIKARILMASI VE JEOSTRATEJİK ÖNEMİNİN ARAŞTIRILMASI

UĞUR DOĞUKAN DOĞU

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Fethi Ahmet YÜKSEL

II. DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi İnci OKUMUŞ

Mühendislik Bilimleri Anabilim Dalı (Disiplinlerarası)

Mühendislik Bilimleri, Tezli Yüksek Lisans Programı

Ocak, 2024

TEZ KABUL VE ONAYI

Uğur Doğukan DOĞU Tarafından, **Dr. Öğr. Üyesi Fethi Ahmet YÜKSEL** danışmanlığında hazırlanan **TÜRKİYE'NİN POTANSİYEL GRAFİT YATAKLARI ENVANTERİNİN ÇIKARILMASI VE JEOSTRATEJİK ÖNEMİNİN ARAŞTIRILMASI** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **19/01/2024** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

		İmza	**Sonuç**
DANIŞMAN	Dr. Öğr. Üyesi Fethi Ahmet YÜKSEL İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Uygulamalı Jeofizik Anabilim Dalı		☒ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Prof. Dr. Ali GÜREL Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Genel Jeoloji Anabilim Dalı		☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Mühendislik Bilimleri Anabilim Dalı		☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Doç. Dr. Tekin YEKEN Kocaeli Üniversitesi İnşaat Teknolojisi Bölümü		☐ Kabul ☐ Ret
ÜYE	Dr. Öğr. Üyesi İlknur HOŞ İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa Mühendislik Bilimleri Anabilim Dalı		☐ Kabul ☐ Ret

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve bilimsel etik kuralları içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını ve her türlü hukuki sorumluluğu aldığımı kabul ederim.

Uğur Doğukan DOĞU

BÜTÇE DESTEKLERİ

TÜRKİYE'NİN POTANSİYEL GRAFİT YATAKLARI ENVANTERİNİN ÇIKARILMASI VE JEOSTRATEJİK ÖNEMİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Tanıdığım süre boyunca kendisinden çok şey öğrendiğim, lisans ve lisansüstü eğitimimin her aşamasında beni teşvik ve motive edip yanımda olan çok değerli Danışman Hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fethi Ahmet YÜKSEL'e, bu tez çalışmasının başlangıcından sonuna kadarki tüm süreçte bana olan yardımları, desteği, tükenmek bilmeyen ilgisi, sabrı ve tüm emekleri için çok teşekkür ederim. Lisansüstü eğitim ve tez süreci boyunca desteğini, ilgisi ve yardımını esirgemeyen değerli ikinci Danışman Hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi İnci OKUMUŞ'a, lisansüstü eğitim süresi boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli Hocam Sayın Doç. Dr. Gökhan ÇAYLI'ya, lisans alanım da olan Jeoloji Mühendisliği konusundaki engin bilgileri ile beni destekleyen değerli Hocam Sayın Prof. Dr. Ali GÜREL'e çok teşekkür ederim.

Ömrümün önemli bir bölümünde ve bu tez çalışması süresince desteğiyle yanımda olan değerli arkadaşım Mehmet Erman TOPÇU'ya çok teşekkür ederim. Tez sürecim ve hayatımın diğer alanlarında samimi destekleriyle yanımda olan kıymetli arkadaşlarıma ve büyüklerime çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her daim yanımda olan, her türlü imkân ve desteği sağlayan, sevgisini asla esirgemeyen, evlatları olmaktan gurur duyduğum babam Alaittin DOĞU'ya, annem Gülcan DOĞU'ya ve ağabeyi olmaktan gurur duyduğum biricik kız kardeşim Ayşenur Aslıhan DOĞU'ya çok teşekkür ederim.

Ocak 2024 Uğur Doğukan DOĞU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI ..... **ii**
BEYAN ..... **iii**
BÜTÇE DESTEKLERİ ..... **iv**
TEŞEKKÜR ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **ix**
TABLO LİSTESİ ..... **xi**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xiii**
ÖZET ..... **xv**
ABSTRACT ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **3**
2.1. GRAFİT 3
2.1.1. Tanım 3
2.1.2. Grafitlerin Kökeni ve Oluşumu 6
2.1.3. Grafitlerin Mineralojik Özellikleri 6
2.1.4. Grafitin Kimyasal Özellikleri 7
2.1.5. Grafit Oluşum Şekilleri 7
2.1.6. Grafit Zenginleştirme Teknolojisi 8
2.1.6.1. Boyut Küçültme ile Zenginleştirme *9*
2.1.6.2. Flotasyon *9*
2.1.6.3. Özgül ağırlık farklı ile Zenginleştirme *9*
2.1.6.4. Manyetik Ayırma *10*
2.1.6.5. Hidrometalurjik Yöntemler *10*
2.1.6.6. Pirometalurjik Yöntemler *10*
2.1.7. Grafit Arama Yöntemleri 10
2.1.8. Grafitin Kullanım Alanları 11
2.1.8.1. Metalurji ve Refrakter Sanayiinde Grafit Kullanımı *16*

2.1.8.2. Makine Parçalarında Yağlayıcı Olarak Grafit Kullanımı *16*
2.1.8.3. Karbon Fırçaları-Elektrod Yapımında Grafit Kullanımı *16*
2.1.8.4. Kurşun Kalem Ucu Yapımında ve Diğer Kullanım Alanlarında Grafit *16*
2.1.8.5. Diğer Kullanım Alanları *17*
2.1.8.6. Lityum İyon Pil yapımında *17*
2.1.8.7. Grafen *21*
2.2. YERBİLİMLERİNİN JEOPOLİTİK BİLİMİ VE JEOSTRATEJİK YAKLAŞIMLA İLİŞKİSİ 27
2.2.1. Yerbilimleri Tanımlaması 27
2.2.2. Jeopolitik ve Jeostrateji Bilimleri 28
2.2.3. Doğal Kaynakların Jeostratejik Önemi 28
2.2.4. Yerbilimlerinin ve Yerbilimcilerin Jeostratejik Önemi 29
2.2.5. Jeostratejik perspektif ile Ekonomik Jeoloji 33
2.2.6. Jeopolitik ve Jeostrateji bilimi için Askeri Jeolojinin önemi 34
2.3. GRAFİTİN STRATEJİK ÖNEMİ 40
2.3.1. Grafit'in stratejik kullanım alanları 41
2.3.1.1. Nükleer reaktörlerde grafit kullanımı *42*
2.3.1.2. Türkiye Grafitleri ve lityum iyon piller, lityum iyon pillerin geleceği *45*
2.3.1.3. Grafit'in savunma sanayiinde kullanımı *48*
2.3.1.4. Grafen ve Grafenin Stratejik Kullanım Alanları *52*
2.3.1.5. Grafit sayesinde yeni bir fırsat: Grafen Piller *56*
2.3.1.6. Grafit Bombası *57*
2.3.2. Grafitin ekonomik durumu, üretimi ve ihracatı 59
2.3.2.1. Grafit Üretimi *60*
2.3.2.2. Grafit İhracatı *62*
2.3.2.3. Doğal grafit ihracatının indekslerle incelenmesi *65*
2.3.2.4. Herfindahl – Hirschman İndeksi (HHİ) *66*
2.3.2.5. Dünya grafit ihracatında yoğunlaşma ve rekabet *67*
2.3.3. Grafite dair ekonomik öngörüler 69
2.4. GRAFİT REZERVLERİ, MADEN YATAKLARI VE ENVANTER 69
2.4.1. Grafit rezervleri 70
2.4.2. Türkiye grafit maden yatakları 72
2.4.2.1. Diğer Yataklar *76*
2.4.3. Grafit Yatakları Envanteri 77
3. YÖNTEM 80

3.1. ARAZİ ÇALIŞMALARI 80
3.2. BÜRO ÇALIŞMALARI 81
4. BULGULAR 82
4.1. ÇALIŞMA ALANININ JEOLOJİSİ 83
4.2. TÜRKİYE'DE GRAFİT MADEN YATAKLARINA DAİR BULGULAR 89
4.3. GRAFİTİN İHRACATI, STRATEJİK ÖNEMİ VE GELECEĞİNE DAİR BULGULAR 90
4.4. DİĞER BULGULAR 91
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 92
KAYNAKLAR 96
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI 108
ETİK KURUL İZİN YAZISI 109
KURUM İZNİ YAZILARI 110
ÖZGEÇMİŞ 111

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1. Grafit Örneği – Kütahya/Oysu Karabacak Madenine ait Grafit Mineral Örneği.....4

Şekil 2. Grafit Minerali (Mindat-Web).....5

Şekil 3. Grafit mineralinin kristal yapısı (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018).....7

Şekil 4. Grafen yapısı (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018) 23

Şekil 5. Grafen oksit ve grafen (Radic vd., 2013). 24

Şekil 6. Lt. Col. Drew Craig, İngiliz Ordusu Askeri Jeoloji Uzmanı (Geolsoc, 2021). 35

Şekil 7. II.Dünya savaşı sırasında kayda alınmış; Askeri Jeoloji Birimi (USGS – Military Geology Branch) (Nelson, 2012).....38

Şekil 8. Cevher aşamasından bataryada anot aşamasına dönüşürken grafitin süreçlerini gösteren şekil (Uysal, 2021). 47

Şekil 9. Savaş uçağında doğal grafit ve diğer kullanılan hammaddelerin kullanıldığı parçaları ve hammaddelerin risk, kritiklik düzeyini gösteren grafik çalışması (Girardi vd., 2023).....49

Şekil 10. Denizcilikte doğal grafit ve kullanılan diğer hammaddelerin kullanıldığı bölümleri ve hammaddelerin risk, kritiklik düzeyini gösteren fotoğraflı grafik çalışması (Girardi vd., 2023). 50

Şekil 11. Kara alanında doğal grafit ve kullanılan diğer hammaddelerin kullanıldığı bölümleri ve hammaddelerin risk, kritiklik düzeyini gösteren fotoğraflı grafik çalışması (Girardi vd., 2023). 51

Şekil 12. Grafit bombası kullanımını tasvir eden grafik çizim (BBC, 2010). 58

Şekil 13. Türkiye'deki bilinen grafit yataklarının dağılımı (İlhan vd. 2020, Ali Uzumer vd., 2023' den güncellenerek ve değiştirilerek hazırlanmıştır.) 78

Şekil 14. Geçmişte yapılmış çalışmalar ve MTA'nın il bazlı raporlarının tamamından faydalanılarak hazırlanmıştır. (Çok sayıda rapor derlenerek ve değiştirilerek harita hazırlanmıştır.).....78

Şekil 15. Grafit maden ocağının üst kısmı – Oysu, Kütahya Grafit Maden İşletmesi 80

Şekil 16. Karabacak maden işletmesinin girişinde çekilmiş bir fotoğraf (38°56'57.9"N 29°53'36.3"E) 81

Şekil 17. Kütahya ilini ve Oysu köyünün konumlarını gösteren il bazlı harita 82
Şekil 18. Karabacak maden işletmesinin konumunu gösteren harita 82
Şekil 19. Oysu grafit maden işletmesinde maden ocağının şev yapısı 83
Şekil 20. Çalışma alanının jeolojik birim haritası 84
Şekil 21. Oysu'da bulunan grafit madenindeki bir mostra 87
Şekil 22. Grafit maden ocağının şev yapısı ve şekli 88

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1. Grafit özelliğine göre kullanım alanları (MTA, 2021).....13

Tablo 2 Doğal grafitin kullanım alanlarına göre oransal dağılımı (Wood Mackenzie, 2022). 14

Tablo 3. Sentetik grafitin kullanım alanlarına göre oransal dağılımı (Wood Mackenzie, 2022). 15

Tablo 4. Li-ion pilin malzeme maliyet dağılımını gösteren grafik (Berckmans vd., 2017).....19

Tablo 5. ISO/TS 80004-13 grafen ürün sınıfları ve bunların önerilen kullanım alanlarını gösteren tablo (Gibney, 2019). 26

Tablo 6. Dünya toplam grafit üretimi 2017-2023 (USGS – 2019, 2021, 2023).....60

Tablo 7. Dünya grafit üretim ve rezerv tablosu (USGS Graphite Report, 2019, 2021, 2023).61

Tablo 8. Dünya bankası verilerine göre 2017-2022 Türkiye ithalat-ihracat verileri (Worldbank, 2023) 62

Tablo 9. Türkiye'nin beş yıllık ithalat-İhracat farkı gösteren istatistik tablosu. (Trademap, 2023).....63

Tablo 10. Grafitin 2019 yılındaki ihracat miktarları (World bank, 2020).....64

Tablo 11. Yoğunlaşma Oranı Sınıflaması (Coelho, Burgos, Santos ve Pinto, 2019).....66

Tablo 12. Herfindahl – Hirschman İndeksi derecelendirmesi (Arranguez ve Hinlo, 2019; Brown, 2018).....67

Tablo 13. Doğal grafit ihracatının 2013-2022 arası 10 yıllık yoğunlaşma oranlarının gelişim tablosu.....67

Tablo 14. Doğal grafit ihracatının 2013-2022 arası 10 yıllık HHI Yoğunlaşma indeks gelişimi tablosu.....68

Tablo 15. Dünyada grafit rezervleri yıllara göre istatistiki tablosu (USGS, 2013-2023).....70

Tablo 16. Grafit rezervlerinin dünyada dağılımı (USGS, 2023) 71

Tablo 17. Dünya grafit rezervleri (USGS, 2023) 72

Tablo 18. Türkiye'deki grafit yatakları ve zuhurları (Karabacak, 2018; Malayoğlu vd.,1999; MTA, 2017, MTA il maden raporları, tarihi kaynaklar ve akademik çalışmalar araştırılarak oluşturulmuştur.) 79

Denklem Listesi

Denklem 1. Yoğunlaşma oranı formülü (CR_n) 65

Denklem 2. İHH indeks formülü 66

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
HCL	: Hidroklorik asit
HF	: Hidrojen Florür
H2SO4	: Sülfürik Asit
°C	: Santigrat Derece
Cm2/V	: Elektron mobilitesi
TPa	: Terra Pascal
Gpa	: Giga Pascal
W/mK	: Isıl İletkenlik Katsayısı
UV	: Ultraviyole
t	: Ton
m	: Metre
µ	: Mikron
µm	: Mikrometre
cm	: Santimetre
C	: Karbon
H/C	: Hidrojen/Karbon içeriği
Rmax	: Maksimum pürüzlülük derinliği
K23b2	: Pafta numarası

Kısaltmalar	Açıklama
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
USGS	: United States Geologic Survey
BGS	: British Geologic Survey
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ISO	: The International Organization for Standardization
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÖİK	: Özel İhtisas Komisyonu

CRn : Yoğunlaşma İndeksi
HHİ : Herfindahl – Hirschman İndeksi
NGA : National Geo-Spatial Intelligence Agency
CIA : Central Intelligence Agency
DS&T : Directorate of Science and Techonology - CIA
DIA : Defence Intelligence Agency
GRU : Glavnoye razvedyvatel'noye upravleniye(Rusya Askeri ist. Teşkilatı)
EC : European Comission
ESKOM : Electricity Supply Commission
IST : Integrators of Systems Technology
EDA : European Defence Agency
ESA : European Space Agency
DARPA : Defense Advanced Research Projects Agency
SAIT : Samsung Advanced Institute of Technology
MİGEM : Maden İşleri Genel Müdürlüğü
MİT : Milli İstihbarat Teşkilatı

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRKİYE'NİN POTANSİYEL GRAFİT YATAKLARI ENVANTERİNİN ÇIKARILMASI VE JEOSTRATEJİK ÖNEMİNİN ARAŞTIRILMASI

Uğur Doğukan Doğu

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Mühendislik Bilimleri Anabilim Dalı (Disiplinlerarası)

Mühendislik Bilimleri, Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Fethi Ahmet YÜKSEL

II. Danışman : Dr. Öğr. Üyesi İnci OKUMUŞ

Bu tez çalışması; grafit mineralinin özelliklerini, stratejik önemini, geleceğini ve potansiyelini araştırmak, yerbilimlerinin ve doğal kaynakların jeostratejik önemini ortaya koymak, bir doğal kaynak olarak ülkemizin işletilen, işletilmeyen ve potansiyel grafit madenlerine dair araştırmalar yapmak, sonuç olarak ülkemizin sahip olduğu grafit maden yataklarına dair bir envanter oluşturmak için hazırlanmıştır. Çalışmamız, arazi, büro ve literatür araştırmaları ile yapılmış, elde edilen veriler listeleme yolu ve indekslerle desteklenmiştir. Türkiye'nin 22 ilinde grafit zuhur ve yatağı bulunmaktadır. Bunların büyük kısmına dair detaylı bilgi bulunmamaktadır. Grafit madenleri ve rezervlerine dair erişilen yerli ve yabancı kaynaklardaki bilgilerde çeşitli tutarsızlıklar da görülmektedir. Ülkemizde güncel olarak aktif olan tek grafit maden işletmesi Kütahya, Oysu'da bulunmaktadır. Türkiye'nin grafit yatakları genel olarak amorf grafit içermektedir. Balıkesir, Kastamonu, Yozgat ve Adıyaman illerimizde bulunan grafit yatakları en yüksek kalitedeki grafitleri içermektedir. Dünyada grafite olan talep ve ihtiyaç artmakta, bu faktörlerin grafitin fiyatını yükselteceği tahmin edilmektedir. Dünyada grafit üretim ve ihracatı konusunda Çin önde gelmektedir. Ülkemiz

rezerv açısından dünyanın en zenginleri arasında yer alıp, üretim ve ihracat konusunda ülkeler arasında son sırada yer almaktadır. Grafit, lityum iyon piller, savunma sanayii, metalurji ve refrakter endüstrisinde, makine parçalarında, karbon fırçalarında, elektrod yapımında, kurşun kalem ucu yapımı gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır. Kullanıldığı alanlar ve ülkelerin ihracat kısıtlamasından ötürü stratejik mahiyeti yükseliş göstermektedir. Grafit, grafen malzemesinin ana kaynağıdır. Grafenin, teknoloji endüstrisinde vazgeçilmez bir malzeme olması beklenmektedir. Ayrıca grafen pil teknolojisinin gelişmesiyle, grafit mineralinin öneminin artacağı öngörülmektedir.

Ocak 2024 , 129 sayfa.

Anahtar kelimeler: Grafit, Grafen, Jeostrateji, Maden

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

INVENTORY OF POTENTIAL GRAPHITE DEPOSITS OF TÜRKİYE AND INVESTIGATION OF ITS GEOSTRATEGIC IMPORTANCE

Uğur Doğukan Doğu

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Engineering Sciences

Engineering Sciences Programme

Supervisor : Dr. Fethi Ahmet YÜKSEL

Co-Supervisor: Dr. İnci OKUMUŞ

This master's thesis is prepared for; to investigate the properties, strategic importance, future and potential of the graphite mineral, to reveal the geostrategic importance of earth sciences and natural resources, to conduct research on our country's graphite mines and potential graphite mines as a natural resource and as a result to prepare an inventory of the graphite mines our country has. Our study was carried out with field studies and large-scale literature research, and the obtained data was supported by listing and indexes. There are graphite occurrences and deposits in 22 provinces of Turkey. There is no detailed information about most of these. There are also various inconsistencies in the information available about graphite mines and reserves. The only active graphite mining operation in our country is located in Kütahya Oysu. Turkey's graphite deposits generally contain amorphous graphite. Graphite deposits located in Balıkesir, Kastamonu, Yozgat and Adıyaman provinces contain the highest quality graphite. The demand and need for graphite is increasing in the world, and it is estimated that these factors will increase the price of graphite. China is the leader in

graphite production and export in the world. Our country is among the richest in the world in terms of reserves and ranks last among countries in terms of production and exports. Graphite is used in lithium ion batteries, defense industry, metallurgy and refractories industry, machine parts, carbon brushes, electrode making, pencil lead making, etc. Its strategic nature is increasing due to the areas where it is used and the export restrictions of the countries. Graphite is the main source of graphene material. Graphene is expected to become an indispensable material in the technology industry. Additionally, with the development of graphene battery technology, it is predicted that the importance of the graphite mineral will increase.

January 2024, 129 pages.

Keywords: Graphite, Graphene, Geostrategy, Mine

1. GİRİŞ

Grafit karbonun üç halinden birisi olup, sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikler sayesinde, birçok alanda kullanılan önemli bir endüstriyel malzemedir. Doğal olarak kullanıldığı gibi yapay olarak da grafit üretilmektedir. Grafit kritik hammaddeler sınıfında bulunmaktadır. Yüksek ısıl ve elektrik iletkenliği, kimyasallara dayanıklılık, ısıya dayanıklılık, yumuşaklık, kırılganlık, kayganlık gibi çok çeşitli özellikleri bulunmaktadır. Teknoloji endüstrisinde, refrakter sanayinde, kalem ucu yapımında, lityum iyon pillerde, nükleer endüstrisinde, savunma sanayiinde ve grafene dönüştürülerek çok daha farklı alanlarda da kullanılmaktadır. Dünyada aktif işletme halindeki grafit madenleri ve potansiyel grafit yatakları son dönemlerde teknolojik gelişmelere bağlı olarak çok büyük önem kazanmıştır. Ülkemiz dünya grafit rezervinin yaklaşık % 30'una sahip olmakla birlikte, rezervlerin çok az bir kısmını üretebilmiş, ülke içi grafit ihtiyacını karşılayabilecek düzeye gelememiştir. Ülkemizin 81 ilinin, 22'sinde grafit zuhuru veya yatağının varlığına dair bulgular elde edilmiştir. Türkiye'deki zuhur ve yatakların, bir kısmının, geçmiş dönemlerde ekonomik olmadığı bildirilse de değeri ve önemi son yıllarda artmakta olan grafitin, potansiyel içeren tüm zuhur ve yataklarının, araştırılması, incelenmesi ve mevcut potansiyelinin ortaya çıkarılması önem kazanmaktadır. Ülkemizde bugüne kadar grafit yataklarının tam bir envanterinin hazırlanmadığı bilinmektedir. Ayrıca 7. ve 8. Beş yıllık kalkınma planları dışındaki kalkınma planlarında grafit madenine yeterince yer verilmediği ve Türkiye'nin gerçek potansiyelini yansıtacak verilerin işlenmediği de tespit edilmiştir. Bu çalışmada, yerli ve yabancı kaynaklarda yer alan bilgilere göre Türkiye'deki grafit zuhur ve yataklarının envanterinin hazırlanması hedeflenmiştir. Ayrıca bu tez çalışması çerçevesinde grafitin ekonomik, teknolojik ve stratejik özelliğine dair araştırmalar da yer almaktadır. Bununla birlikte grafitin, günümüzde ve gelecekte gittikçe artan önemi, ekonomik jeoloji ve jeostratejik özelliği araştırılmıştır. Bu doğrultuda yerbilimlerinin, yerbilimcilerin ve doğal kaynakların, jeopolitik/jeostrateji bilimleriyle ilişkisi incelenip ilintilendirilmiştir.

Grafit maden yataklarına dair Türkiye topraklarındaki ilk çalışmanın Osmanlı Devtleri Orman ve Maden nezaretine bağlı şekilde 1892 yılında Abdullah Kazım Efendi tarafından Bursa'da yapıldığına dair belgeye rastlanmıştır (Abdullah Kazım Efendi, 1892). MTA'nın verilerine göre grafit araştırmalarına ilk 1941'de başlanmıştır ve bir dizi ruhsatlı ya da ruhsatsız alanda grafit bulunma potansiyeli belirlenmiştir (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018).

Türkiye'de bugüne kadar üç farklı grafit maden işletmesi grafit üretmiştir. İstanbul Çatalca ve Muğla Milas'taki işletmeler kapatılmıştır (İlhan vd., 2020). Kütahya Oysu'da bulunan maden işletmesi ise faal haldedir (Karabacak, 2021). İzmir, İstanbul, Kırklareli, Balıkesir, Aydın, Bursa, Afyonkarahisar, Kütahya, Antalya, Adana, Konya, Yozgat, Çorum, Sivas, Mersin, Kastamonu, Kahramanmaraş, Çanakkale, Adıyaman, Artvin, Kocaeli, Eskişehir, Van illerimizde zuhur ve yataklar olduğuna dair bulgulara ulaşılmıştır.

Çalışmamızın genel bilgiler bölümünde grafit mineraline, yerbilimlerine, jeopotilik ve jeostrateji bilimlerine dair genel bilgiler verilerek, interdisipliner bir perspektif oluşturup, bilimler arası ilişkilere vurgu yapılmıştır. Bir sonraki bölümde grafitin stratejik önemine değinilmiştir. Sonraki bölümde ülkemizde ve dünyada grafit madenciliği araştırılmış, geniş bilgiler verilerek irdelenerek, ülkemizdeki maden yataklarına dair bilgiler ve maden yataklarına dair envanter hazırlanarak kayda geçirilmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. GRAFİT

Önemli özellikleri sayesinde stratejik ve kritik hammaddeler arasında bulunan grafitin farklı kullanım alanları vardır ve kullanım sahası çok geniştir. Mükemmel elektrik iletkenliği ve ısıya karşı dayanıklılığı gibi çeşitli şekillerde çok önemli özellikleri bulunması nedeniyle teknolojinin vazgeçilemez endüstriyel hammaddesi haline gelen grafit gün geçtikçe önemini artırmaktadır.

2.1.1. Tanım

Grafit kelimesi Yunan dilinde yazmak anlamına gelmektedir. Grafiti, Scheel (1742-1786) "Karbon Modifikasyonu" olarak tanımlamıştır. Grafit ismi, 1789 yılında Mineralog Werner tarafından verilmiştir (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018).

Grafit, karbonun doğada bulunan üç ana şeklinden birisidir (Elmas, grafit, kömür). Kömürün yoğunluk değeri 1,3 g/cm^3 ile 1,9 g/cm^3'tür. Grafitin yoğunluk değeri 2.1 g/cm^3 ile 2.3 g/cm^3, elmasın yoğunluk değeri 3.5 g/cm^3'tür. Bunun dışında mohs ölçeğine göre grafitin sertliği 1 ila 2 arasındadır. İnsanlığın ilk çağlarından itibaren bilinmekte olan grafite, Alman mineralog A.G. Werner'in 1789 senesinde grafit ismini vermesinin sebebi, "graphein" kelimesinin eski Yunancada yazmak manasına gelmesidir ve bu kelimeden "Grafit" ismini türetip, minerale grafit adını vermiştir (Mantell, 1968; Graffin, 1983; Kaya, 2006).

Grafit, teknolojinin gelişmesine paralel olarak dünyada kullanımı hızla artmaktadır. Günümüzün teknolojisinin vazgeçilemez hammaddelerinden birisi olmuştur. İkinci Dünya savaşı başlamadan önce Dünyada grafit üretimi 200-250 bin ton civarında seyretmiştir. İkibinli yıllarda üretimin 500 bin ton civarına çıkması, ülkemizin grafite olan ihtiyacının geçen artması gibi parametreler grafit kullanımının, teknolojinin gelişmesiyle paralel olarak arttığını göstermektedir (Ağrılı ve Toprak, 2001).

Karbonun üç ana şeklinden birisi olan grafitin kullanım alanı çok geniştir. Geçmişte tenörü düşük az sayıda grafit yatağı olan ülkemizde, zaman geçtikçe ve yapılan araştırmalar neticesinde, değişik özelliklerde olan farklı yataklar eklendiği de bilinmektedir. Bir örnek

olarak değerlendirilirse; demir çelik üretimi yapmakta olan fabrikalarımız için kullanılan grafit elektrodları için grafit ithal edilmesi, grafitin önemini ifade etmektedir (Ağrılı ve Toprak, 2001).



Şekil 1. Grafit Örneği – Kütahya/Oysu Karabacak Madenine ait Grafit Mineral Örneği

Doğal kaynaklar, tarih akmaya devam ettikçe giderek daha önemli hale gelmektedir. Bunun karşısında ülkeler, topluluklarda kritik hammaddeler ile ilgili çeşitli çalışmalar hayata geçmektedir. En önemli çalışmalar özellikle Avrupa Birliği çatısında "AB için Kritik Hammaddeler" ve İngiltere çatısında Britanya Jeolojik Araştırmalar Konseyi'nin (BGS) hazırladığı risk listesidir.

Avrupa Birliği'nin kritik hammaddeler raporunda, 41 farklı hammadde incelenmiş ve 14 tanesi kritik/stratejik olarak belirlenmiştir. Bu 14 kritik hammaddeden biri de grafittir. İkibin onbir yılında Britanya Jeolojik Araştırmalar Konseyi 52 farklı element veya element grubunu analiz ederek bir risk listesi oluşturmuş ve "Risk Listesi 2011" adıyla çalışmayı duyurmuştur. Bu çalışmanın yanı sıra, 2012 yılında BGS, endüstriyel mineraller için farklı bir değerlendirme yapılarak "Endüstriyel Mineraller Risk Listesi 2012" adlı bir liste daha

hazırlanmıştır. Grafit, her iki çalışmada da önemli bir hammadde şeklinde yer almıştır. Grafitin, bu derecede stratejik bir mineral olmasının sebepleri;

- ✓ Yüksek kalitede ısı iletkenliği
- ✓ Yüksek kalitede elektrik iletkenliği
- ✓ Isıya yüksek dayanıklılık
- ✓ ve bunlar gibi önemli özelliklere sahip olmasıdır (Uysal, 2012a; Uysal, 2012b; Uysal, 2012c; EU Report, 2014).



Şekil 2. Grafit Minerali (Mindat-Web)

2.1.2. Grafitlerin Kökeni ve Oluşumu

Grafit, doğada yüksek sıcaklığın etkisiyle oluşmaktadır. Bunun dışında grafit oluşumları, çeşitli magmatik kayaçlarda ve pegmatitlerde de grafit oluşumu gözlenmektedir. (Örnek; Seylan, Ontario, Quebec (Kanada). Metamorfik grafit yatakları, kömürlerin veya bitümlü materyal içeren kayaçların rejyonal veya kontakt metamorfizmaya uğraması sonucu oluşmuşlardır, (Örnek: Steiermark, Avusturya, Porgas, Finlandiya). Çok sayıda Kanada pegmatitlerinde pegmatit-grafit yataklar görülmektedir.

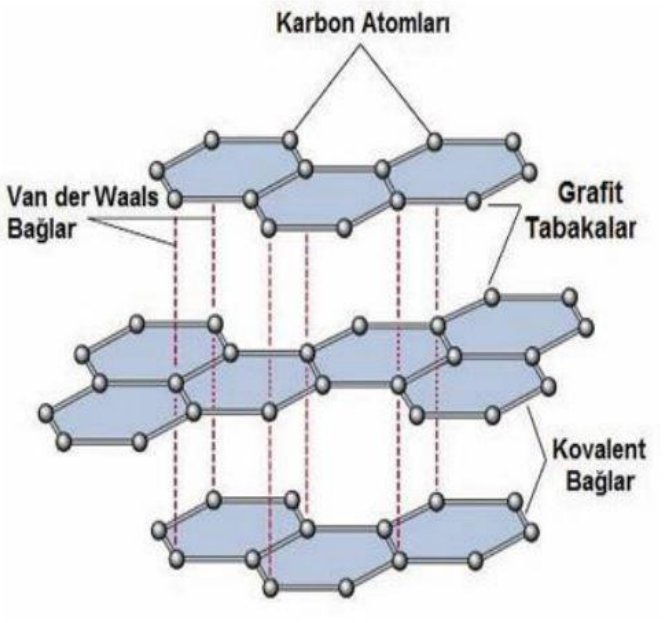
Bu yataklar genellikle geniş alanlar kaplayan granit batalotlarıyla bağlantılıdır. Yan kayaçlar arasında kalker, şist ve kuvarsit yer alır. Yüksek hidrotermal aşamalarında oluşan silikatlar, grafit oluşumuna eşlik eder (Klorit, serizit, uralit gibi). Seylan'da ekonomik değeri yüksek grafit kristalleri bulunan yataklardaki refakatçi mineraller ise kuvars ve feldspattır. Metamorfik grafit, organik malzemeli sedimanter kayaçların bölgesel veya temas metamorfizması sonucunda oluşur. Bu durumda, kayaçlar genellikle kuvarsit, mikaşist, gnays ve karbonat içerir. Önemli örnekler arasında Madagaskar, Kore ve Sibirya'daki grafit yatakları bulunur.

Grafit doğada, metamorfik kuşaklardaki şistler ve mermerlerle birlikte yaygın olarak bulunur. Ayrıca, magmatik kayaçların yakın bölgelerinde de yer alır. Bölgesel metamorfik alanlarda, grafitler genellikle daha yüksek tenörlere ve geniş rezervlere sahiptir. Grafitin doğadaki yatak şekilleri genellikle adese, damar, fillon veya bazen dissemine şeklindedir. Grafit cevherleşmesinin magmatik kayadan kaynaklanan dayk şeklinde olduğu alan sadece Rusya'da görülmüştür (Yersel, 1978).

2.1.3. Grafitlerin Mineralojik Özellikleri

Karbon minerali olan grafit, yağsı, yumuşak, ve ince levha şeklinde bükülme özelliğine sahiptir. Yoğunluğu 2 civarı ve sertliği 1’dir. Siyah ve gri renklerde olan grafitin, çizgi rengi ise kül rengindedir ve yağsıdır. Pul, kristal ve amorf olarak tarif edilen şekilleri olan grafitin; en iyi formu kristal formudur. Ek olarak en yüksek tenöre sahip olan formu da kristal grafit olmaktadır (Ağrılı ve Toprak, 2001).

Grafit minerali, Şekil 3'te gösterildiği gibi hekzagonal kristal yapıya sahiptir. Karbon atomları geniş, düz levhalar oluşturacak şekilde üst üste yerleştirilmiş ve birbirlerine bağlanmıştır. Bu düz karbon levhaları birbirleri üzerinde kolayca kayabilir, bu da grafitin etkili bir yağlayıcı olma özelliğine neden olur (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018).



Şekil 3. Grafit mineralinin kristal yapısı (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018).

2.1.4. Grafitin Kimyasal Özellikleri

Karbon, kömür ve organik bileşiklerin temel elementidir ve dünya kabuğunun % 0,2 'sini oluşturur. Periyodik tabloda 4A grubunda bulunan bir ametal elementtir. Karbonun allotropları, grafit ve elmas gibi farklı kristal yapıya sahip formları ifade eder. Grafit, karbonun bir mineralidir ancak kömür ve elmastan farklı özelliklere sahiptir. Elmasın yoğunluğu 3,5 g/cm^3 iken kömürün yoğunluğu 1,3 ila 1,9 g/cm^3 arasında değişirken, grafitin yoğunluğu 2,1 ila 2,3 g/cm^3 arasındadır (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018).

2.1.5. Grafit Oluşum Şekilleri

Grafit, oluşum şekillerine ve tür sınıflandırması kapsamında doğada üç farklı şekilde bulunmaktadır (Graffin, 1983; Fogg ve Boyle, 1987; Kaya, 2006; Vasumathi vd., 2014):

1. Pulsu grafit
2. Amorf grafit
3. Kristalize-damar tipi grafit

Yaygın bulunan ve kalite bakımından düşük değerlendirilen grafit türü amorf grafit olarak bilinir ve genellikle mikrokristalin grafit olarak anılır (Jara vd., 2019). Amorf grafit, metamorfizma etkisiyle kömür yataklarının yüksek basıncın ve sıcaklığın etkisiyle metamorfoza uğramasıyla ortaya çıkar. Bu süreç, kömürden oksijen, hidrojen, nitrojen ve sülfür gibi safsızlıkları uzaklaştırarak amorf grafit oluşumunu destekler (Solomon vd., 1998; Kimber ve Grey, 1967; Stiller vd., 1998; Jara vd., 2019). Amorf grafit, mika, kuvars, kalsit, demir sülfürleri, rutil gibi diğer minerallerle birlikte bulunabilir ve metamorfik kayaçların içinde mikrokristalin yapıda yer alır (Kaya, 2006). Bu grafit türünün tane boyutu genellikle 40 ila 70 µm çapında olmaktadır (Mitchell, 1993; Bulatovic, 2014; Chelgani vd., 2016).

Pulsu grafit, metamorfik kayaçların içinde tabakalar şeklinde bulunur ve sonra organik maddelerin yüksek sıcaklık ve basınç etkisi altında metamorfizmasıyla oluşur. Bu tür grafit, gnays, şist gibi gang mineralleriyle birlikte bulunabilir. Ticari olarak, pulsu grafit genellikle iri tip (+150 ve 850 µm çapında) ve ince tip (+45 ve 150 µm çapında) olarak iki farklı sınıfa ayrılır. İnce pulsu grafit ayrıca +100-150 µm, +75-100 µm ve -75 µm olmak üzere alt sınıflara da ayrılabilir (Mitchell, 1993; Chelgani vd., 2016; Jara vd., 2019).

Damar şeklindeki grafit ise genel olarak kambriyen öncesi organik maddelerin, metamorfik kayaçlardaki boşluklarda ve çatlaklarda birikmesi sonucu oluşmaktadır. Bu tür, feldspat, kuvars, piroksen, mika, zirkon ve apatit gibi diğer minerallerle birlikte bulunabilir (Kaya, 2006).

2.1.6. Grafit Zenginleştirme Teknolojisi

Dünya genelinde işletilen grafit yataklarının tenörü genellikle % 2 ile % 8 arasında değişirken, % 15 ile % 20 arasındaki tenörler yüksek kaliteli olarak kabul edilmektedir. Damar tipi yataklar dışında elle ayrıştırılabilen diğer tüm doğal grafit cevherleri zenginleştirme gerektirir (Yener, 2018). Grafit konsantresi üretimi için, tüketim gereksinimlerine uygun karbon içeriği ve saflaştırılmış özelliklerde grafit üretmek için seçilecek zenginleştirme yöntemleri, cevherin kristal yapısal büyüklüğü, içerdiği karbon miktarı, gang minerallerinin türü ve tane boyutu gibi parametrelere dayanır. Grafit ve çevresindeki gang minerallerinin farklı fiziksel, kimyasal ve fiziko-kimyasal özelliklerinden faydalanılarak, cevherin zenginleştirilmesinde falamalama, flotasyon, gravite (ağır ortam) ve liç gibi yöntemler veya bunların kombinasyonları kullanılır (Chelgani vd., 2016).

2.1.6.1. Boyut Küçültme ile Zenginleştirme

Grafit ürünlerinin boyutu ve kalitesi, ticari değerlendirmeler için büyük önem taşır. Boyutu 250 mikron ile 1 mm arasındaki pulsu grafit genellikle en yüksek fiyat ile satılan bir türdür. Bu sebeple, iri taneli grafit miktarını maksimum seviyeye çıkarmak için kırma ve öğütme işlemleri en aza indirilmelidir (Mitchell, 1993; Asbury Carbons, 2013; Bulatovic, 2014; Chelgani vd., 2016). Ayrıca, serbest bırakılmış grafit, doğal olarak hidrofobik ve yüzeyde bulunabilir. Bu nedenle grafitin tenörünü ve verimini artırmak için tane serbestleştirme işlemi gerekmektedir (Subramanian ve Laskowski, 1993; Bulatovic, 2014; Chelgani vd., 2016).

Grafit yapısında bulunan gang mineralleri, tabakalar halinde, yığınlar veya kümeler şeklinde bulunur. Bunlar, pulsu grafitte mekanik şekilde pulların yüzeyine yapışmış olarak veya bitişik pulların arasında sıkışmış şekilde görülebilir (Kim vd., 2003; Asbury Carbons, 2013; Chelgani vd., 2016). Ayrıca, aşındırıcı karıştırma işlemi, ince grafitlerin seçici olarak ayrılması için etkili bir yöntem olarak önerilmiştir (Grondin ve St-Hilaire, 1996; Lu ve Forssberg, 2001, 2002; Kaya ve Canbazoğlu, 2009; Chelgani vd., 2016). Bu işlem, flotasyon öncesinde (Kaya ve Canbazoğlu, 2007) ya da kaba flotasyondan sonra yaş ortamda uygulanabilmektedir (Grondin ve St-Hilaire, 1996; Lu ve Forssberg, 2001, 2002; Kim vd., 2003; Aslan vd., 2008; Chelgani vd., 2016).

2.1.6.2. Flotasyon

Grafit, flotasyon işleminde erken dönemde uygulanan temel minerallerden biridir ve ilk kez 1923'te Rusya'da bu yönteme tabi tutulmuştur. Doğal olarak yüksek hidrofobik özelliği, düşük yoğunluğu ve katmanlı yapısı nedeniyle grafit, flotasyon yoluyla oldukça kolay bir şekilde zenginleştirilebilir. Bu süreçte, grafitin flotasyonunu hızlandırmak için çeşitli kolektörler kullanılmaktadır (Glembotskii vd., 1972; Kaya, 2006). Grafitin zenginleştirilmesi sürecinde, serbestleşme derecesi ve içerdiği farklı safsızlıkların özellikleri göz önünde bulundurularak flotasyon, tek başına ya da başka yöntemlerle birleştirilerek uygulanabilir. Genellikle grafit, mika, kuvars, kalsit, feldispat, pirit veya pirotit, kalsiyum, magnezyum ve alüminyum silikat emprüteleri ile birlikte bulunur (Mantell, 1968; Kaya, 2006).

2.1.6.3. Özgül ağırlık farklı ile Zenginleştirme

Minerallerin farklı özgül ağırlıklarından kaynaklanan hareket farklılıklarından yararlanılarak gerçekleştirilen ayırma işlemi, uzun süredir kullanılan ve yaygın olan tekniklerden biridir. Bu tür zenginleştirme yöntemlerine örnek olarak, 50-74 mikron boyutundaki grov flotasyon ürünü, Mozley seperatörü kullanılarak % 97 verimle zenginleştirilmiştir (Burt ve Ottley,

1974; Jara vd., 2019). Benzer şekilde, 0,5-25 mm boyutundaki amorf grafit, çinko klorür çözeltisi ile ağır ortam ayırıcı kullanılarak % 92 verimle zenginleştirilmiştir (Wang vd., 2018, Li vd., 2013; Chelgani vd., 2016).

2.1.6.4. Manyetik Ayırma

Grafit ile demir içeren gang minerallerinin fiziksel olarak ayrılması için en etkili yöntem, çeşitli araştırmalarda önerilen manyetik ayrıma dayanmaktadır (Nicks ve Nehl, 1995; Laverty vd., 1994; Jara vd., 2019). Carpco laboratuvarında yapılan testlerde, grafitin demir içeren gang minerallerinden ayrılması için çeşitli düşük ve yüksek gradyanlı manyetik ayrım teknikleri üzerinde çalışılmıştır.

Demir, genellikle manyetik özelliği olmayan maddelerden kolay bir şekilde ayrılabilirken, grafit parçacıkları manyetik ve manyetik olmayan malzemeler arasında karmaşık bir etkileşim gösterip dağılabilmektedir (Jara vd., 2019).

2.1.6.5. Hidrometalurjik Yöntemler

Yüksek saflıkta grafit elde etmek için en yaygın teknik, flotasyon sonrası liç yöntemi kullanmaktır. Bu yöntemde, içerdiği safsızlıklara göre HCl, HF, H2SO4 ve HNO3 gibi farklı asitler veya bunların kombinasyonları kullanılabilir (Canbazoğlu, 1981; Rivera-Utrilla vd., 1996; Bolat vd., 1998; Sarıcı vd., 2006).

2.1.6.6. Pirometalurjik Yöntemler

Grafitin saflaştırılmasında kullanılan yöntemler arasında pirometalurjik saflaştırma, klorlama kavurması ve yüksek sıcaklık yöntemleri bulunmaktadır (Matsumoto ve Hoshikawa, 1995; Lu vd., 2002; Li vd., 2013; Jara vd., 2019). Klorlama kavurması, saflaştırma verimliliğini % 98'in üzerine çıkarabilmektedir ancak bu süreç, çıkan gazların işlenmesi açısından zorluklar ve maliyetler içerebilir. Yüksek sıcaklık yöntemi ise grafitin 4892 °C'nin üzerinde ısıtılarak düşük kaynama noktasına sahip safsızlıkların buharlaşmasını sağlar ve bu sayede % 99.99 saflıkta grafit elde edilir. Ancak, bu yöntem yüksek elektrik tüketimi ve büyük ölçekli altyapı yatırımı gerektirebilir.

2.1.7. Grafit Arama Yöntemleri

Grafit, doğada farklı şekillerde bulunmaktadır. Grafitin doğadaki yatak şekilleri genellikle adese, damar, fillon veya bazen dissemine şeklindedir. Grafit karbon minerallerinden farklı özelliklere sahip olsa da günümüz teknolojisinde arama yöntemi olarak bir çok mineralde aynı yöntemler uygulanmaktadır. Saha jeolojisi uygulama alanı, maden zuhurlarının bulunabilmesi

için en etkili yöntemdir. Bölgenin saha jeologları tarafından etüdünün yapılması ve örnekler alınarak incelenmesi, çeşitli sondaj çalışmalarından faydalanılarak bölgede kaynak bulunup bulunmadığı ve varsa miktarına yönelik bilgiler elde edilebilmektedir. Bunun dışında gelişen teknoloji sayesinde, doğal kaynaklar eğer ki doğada mostra şeklinde bulunuyorsa, uydu tespitleri yapılabilmektedir. Özellikle ESA (European Space Agency – Avrupa Uzay Ajansı), bünyesinde bulunan sentinel uydularıyla madenlere yönelik arama çalışmaları yapılmaktadır. (Karaman, 2021)

Karaman, 2021 tarafından gerçekleştirilen uydu arama çalışmasında, Oysu, Kütahya bölgesinde bulunan Maden İşletmesi referans alınarak, bölgenin diğer alanlarında uyduyla grafit arama çalışması gerçekleştirilmiştir. (Karaman, 2021)

2.1.8. Grafitin Kullanım Alanları

Grafitin çok geniş kullanım alanları vardır, özellikleri bu alanda çok yönlü olmasını sağlar. En saf grafit özellikle elektrik pillerinde, çelik endüstrisinde, elektrometalurjide, elektronik cihazlardaki elektrotlarda, reaktörlerde atomik grafit olarak ve kalem üretiminde kullanılır. Düşük saflıktaki, düşük karbon içerikli grafitler, fırınlarda refrakter macunları yapımında, refrakter kaplamada, döküm endüstrisinde (demir-çelik), boyacılık, grafit bazlı gres yağları ve diğer pek çok farklı alanda kullanılabilir (Graphite One Resource, 2015; Urcun, 2008, ÖİK Raporu, 1995).

Grafit, ateşe karşı, asitlere karşı direnci sayesinde döküm ve refrakter endüstrilerinde, pota yapımında ve laboratuvar malzemelerinin yapımında, yumuşaklığı sayesinde kurşun kalem üretimi ve hareketli metal parçaların yağlanması süreçlerinde kullanılmaktadır (Toprak, 2006; Engin, 2015; Karabacak Maden). Ateşe dayanıklı siyah renkli boyalar da genel olarak grafitten elde edilmektedir.

Yüksek seviyede elektrik iletkenliği nedeniyle, elektrotlar, pil çubukları, motor fırçaları ve elektronik cihazların üretiminde kullanılır. Grafit, lastiklerde, araba fren balatalarında, motor yağlarında da katkı maddesi olarak yer alır (Tufan ve Batar, 2015).

Doğal grafit, farklı malzemelerle karıştırılarak çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Grafitin saflığını belirleyen parametrelerden olan sabit karbon veya kül içeriği, hangi alanlarda kullanılacağını belirlemede yardımcı olur. En saf grafit, kuru piller, elektrik bataryaları, çelik ve elektro-metalurji endüstrisi, kalem üretimi, elektrikli cihazlardaki elektrotlar ve

reaktörlerde atomik grafit olarak kullanılırken, daha düşük saflıktaki grafitler, boya üretimi, refrakter malzemelerin fırın macunları, kaplamalar, döküm endüstrisi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (MTA, 2021).

Genellikle grafit, pota gibi şekillendirilmiş refrakterlerin yapımında pul şeklinde tercih edilirken, diğer kullanım alanlarında ise ekonomik nedenlerden dolayı oluştuğu kayaç içinde yayılmış küçük kristaller şeklinde, yani amorf yapıda tercih edilmektedir (MTA, 2021).

Bugün, doğal grafit, yapay grafit yerine birçok alanda tercih edilmektedir. Bunun nedeni, yüksek sıcaklıklara dayanıklılığı ve 2500°C'de yapay grafitin gösterdiği sünme özelliğinden daha az olmasıdır (MTA, 2021).

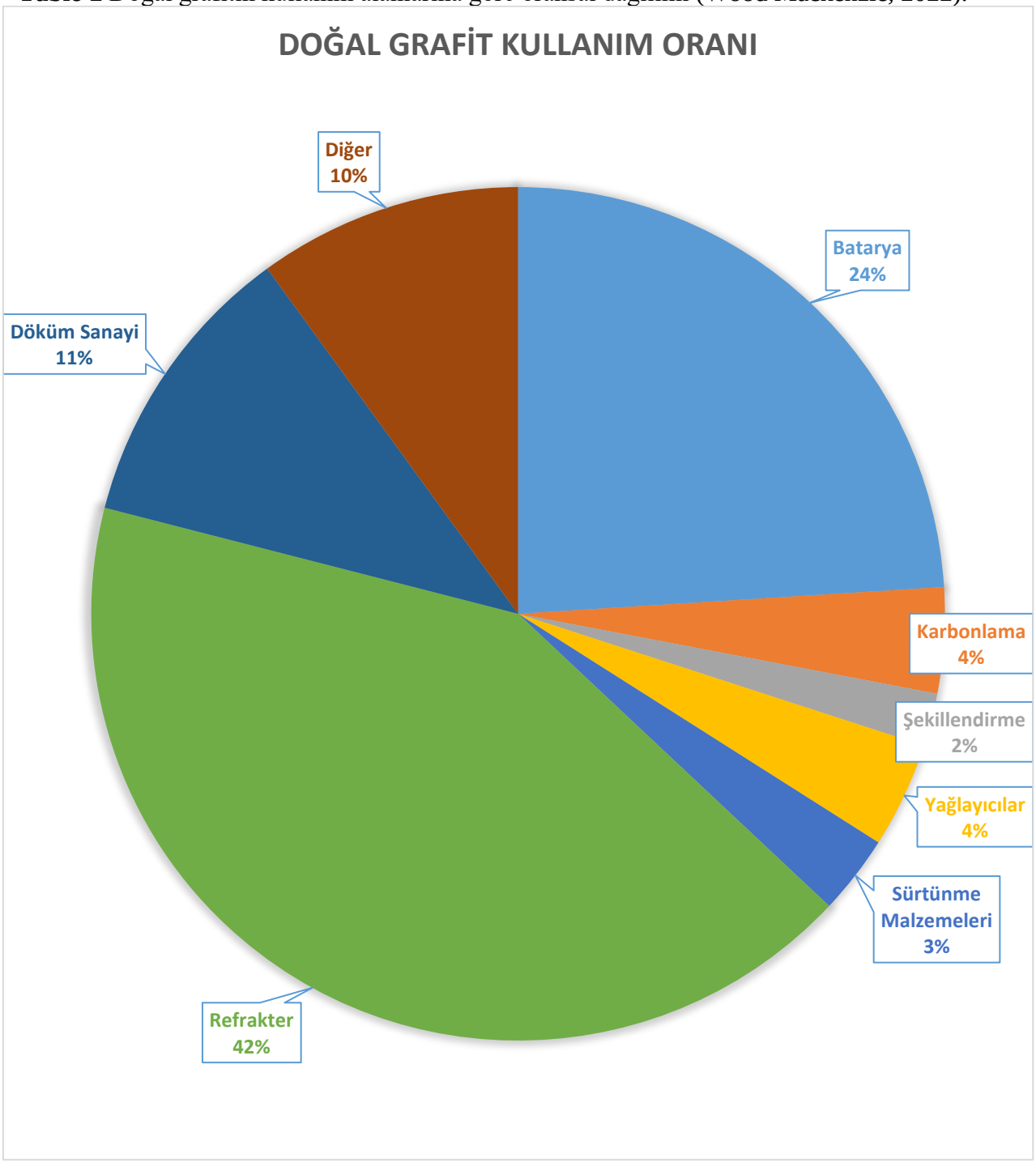
Yapay grafit, özellikle elektrod yapımında kullanılır. Bu sebeple, elektrodlarda fiziksel özelliklerin yanı sıra kimyasal açıdan da belirli limitlerin üzerinde empürite istenmez. Yapay grafitin üretimi sırasında empürite kontrolü kolaydır. Bu, demirin karbon oranını artırmak amacıyla yüksek dereceli saf yapay grafit kullanımını teşvik eder.

Grafitin kullanım alanları çok geniş ve çeşitlidir. Farklı özellikleri gerekçesiyle farklı kullanım amaçlarına göre kullanılmaktadır. Bu sebepten kullanım amaçlarına göre sınıflandırma yapılarak değerlendirilmelidir. Tablo 1’de kullanım amaçlarına göre grafit kullanımı sıralanmıştır.

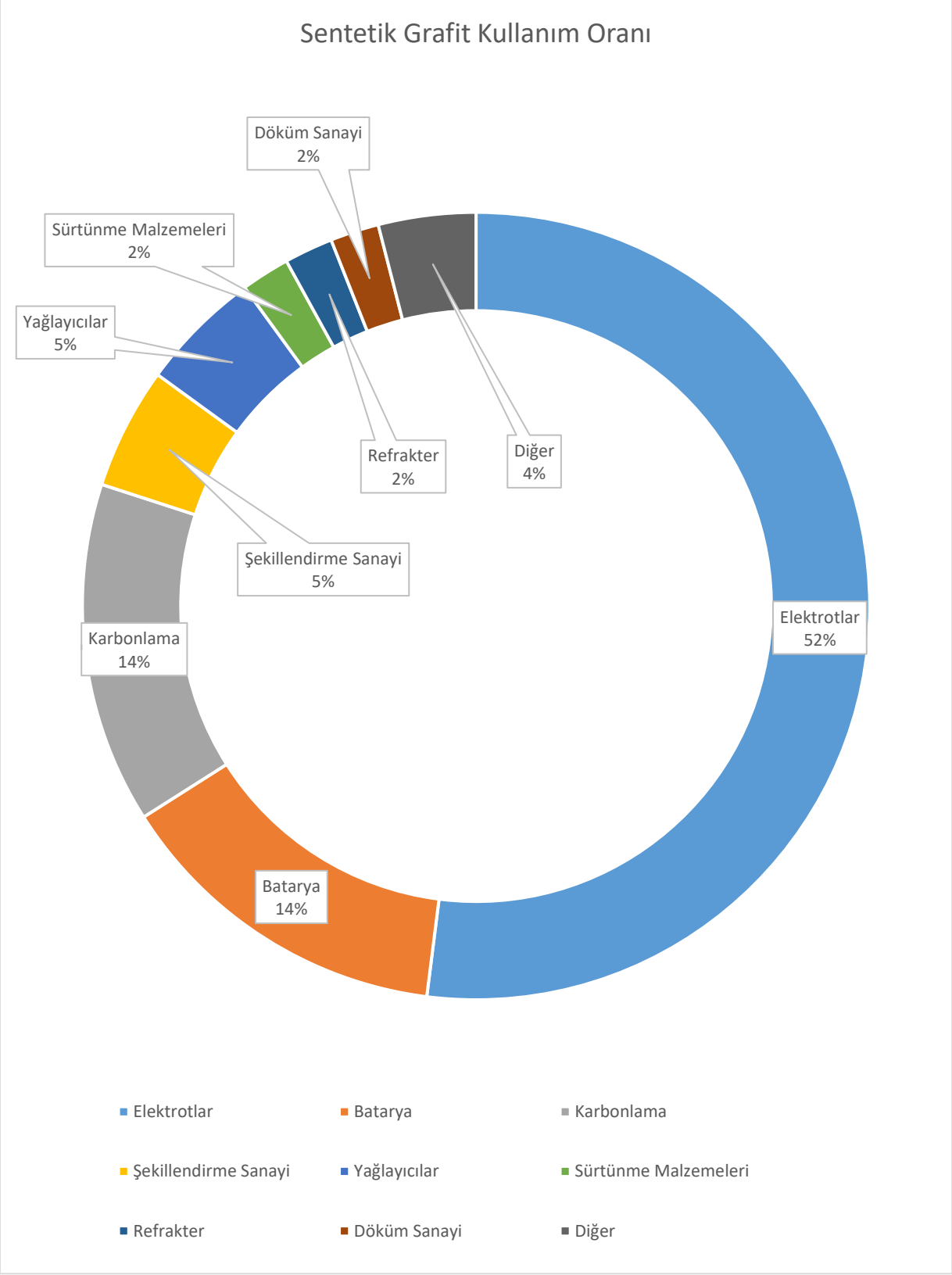
Tablo 1. Grafit özelliğine göre kullanım alanları (MTA, 2021)

Kullanma Amacı	Kullanıldığı Alanlar
Refrakterlik(Dayanıklılık)	Refrakter Tuğlalar, Döküm Boyaları, Potalar, Yatay Mufi Fırınları, Soba boruları, Elektrodlar
İletkenlik	Motor ve Jeneratör Fırçaları, Pil Tozları, Fren Astarları, Elektrodlar, Basim (Electro-Typing), Isı Değiştiricileri
Karbon Verici	Karbon Yükseltici, İzabe İşlemleri, Nükleer Moderatörler (Nötron Yavaşlatıcılar)
Yağlayıcılık	Yağlayıcılar, Motor ve Jeneratör Fırçaları, Barut Cilası, Lastikler, Kurşun Kalemler, Yataklar, Tohum ve Gübre Kaplama, Fren Astarları, Piston Halkaları(Segmanlar), Motor Gömlekleri
Kimyasal Asallık	Contalar, Yapıştırıcılar, Boyalar, Refraktörler, Pil Karbonları, Döküm Boyaları, Pas temizleyiciler (kazanlar), Soba Boyaları

Tablo 2 Doğal grafitin kullanım alanlarına göre oransal dağılımı (Wood Mackenzie, 2022).



Tablo 3. Sentetik grafitin kullanım alanlarına göre oransal dağılımı (Wood Mackenzie, 2022).



2.1.8.1. Metalurji ve Refrakter Sanayiinde Grafit Kullanımı

Grafit, çok yüksek erime derecesi olan 3527 C° ve düşük genleşme sabiti gibi özelliklere sahip olduğundan, özellikle ateşe dayanıklı refrakter malzemelerin yapımında tercih edilir. Örneğin, döküm potalarının imalatında kullanılırken bağlayıcılarla birlikte kullanılabilir. Kullanım alanının gerektirdiği oranlarda, bağlayıcı ve maliyeti düşüren refrakter maddelerle karıştırılarak kullanılır. İdeal grafit, % 85'ten fazla karbon içermeli ve kükürt içermemelidir. Dökümhanelerde, kırılganlığı azaltmak için % 40 ila % 60 arasında karbon içeren toz haldeki grafit, kil ve diğer silikatlarla karıştırılarak döküm kalıplarının yapımında kullanılır. Metalürjide, çeliğe karbon verme işlemlerinde kullanılır. Özellikle Avrupa Birliği ve Japonya'da amorf grafit çelik endüstrisinde tercih edilirken, Avrupa'da çelik sanayisinde öğütülmüş sentetik grafit kullanımı yaygındır (Çuhadaroğlu ve Kara 2018).

2.1.8.2. Makine Parçalarında Yağlayıcı Olarak Grafit Kullanımı

Grafit, metal yüzeylerdeki sürtünmeyi azaltmak veya önlemek için makine yataklarında kullanılan bir yağlayıcı olarak tercih edilir. Bu özelliği sayesinde kayganlık, yumuşaklık ve metal parçalar arasındaki sürtünmeyi azaltma yeteneğiyle bilinir. Kullanılacak grafit, genellikle 1 ila 0,1 mikron boyutlarına öğütülerek ve uygun bir taşıyıcı sıvı içinde (örneğin yağ, su, alkol) kolloid haline getirilerek elde edilir. Yağlayıcı olarak kullanılacak grafitin yüksek oranda karbon içermesi ve kuvars gibi mineralleri içermemesi gereklidir. Bu tür bir kullanım için, grafitin taşıyıcı sıvıyla birlikte kuru veya yaş bir tabaka oluşturabilecek özellikte olması önemlidir. Grafit, motor silindirleri, deniz araçları, kimyasal tesisler için kuru tabakalı yağlayıcı olarak kullanılabilirken, bilyeli yataklarda ise yüksek basınç altında yaş tabaka oluşturan bir yağlayıcı olarak tercih edilmektedir (Çuhadaroğlu ve Kara 2018).

2.1.8.3. Karbon Fırçaları-Elektrod Yapımında Grafit Kullanımı

Grafit, yüksek sıcaklıklara dayanabilme özelliği ve mükemmel iletkenlik özelliği nedeniyle çeşitli cihazlarda, örneğin çamaşır makineleri ve elektrikli süpürgeler gibi aygıtlarda elektrik motorlarının fırçalarının yapımında tercih edilmektedir. Bu tür kullanımlarda grafitin % 85'ten fazla karbon içeriğine sahip olması önem arz eder. Ayrıca, elektrik iletkenliği ve yüksek sıcaklığa dayanıklılığı sayesinde, elektrik fırınlarında kullanılan elektrotların üretiminde de grafit tercih edilmektedir (Çuhadaroğlu ve Kara 2018).

2.1.8.4. Kurşun Kalem Ucu Yapımında ve Diğer Kullanım Alanlarında Grafit

Grafit, kolayca silinebilen katmanlarıyla dikkat çeker. Bu özelliği, kaolin ve bentonit gibi malzemelerle karıştırılarak farklı sertliklerde "kurşun" kalem üretiminde kullanılmasını

sağlar. Kurşun kalem endüstrisinde tercih edilen grafit türleri genellikle % 95'in üzerinde sabit karbon içeriğine sahip olmaktadır (Çuhadaroğlu ve Kara 2018).

2.1.8.5. Diğer Kullanım Alanları

Grafit, spor malzemelerinde, olta kamışı yapımında, son dönemlerde uçak sanayisinde hafif metal kompozitleri yapımında, uzay kapsüllerinde ısı kalkanlarının yapımında da kullanılmaya başlanmıştır.

2.1.8.6. Lityum İyon Pil yapımında

Lityum piller, dört temel bileşenden oluşur: negatif elektrot olan anot, pozitif elektrot olan katot, bu elektrotlar arasında iyonların geçişini sağlayan sıvı elektrolit ve iyonların hareketine izin veren ancak elektrotlar arasında kısa devre oluşumunu engelleyen bir ayırıcı (örneğin, ince bir plastik tabaka). Bu parçalar arasında katot % 44'lük, anot ise % 16'lık paylarla maliyet açısından en önemli bileşenlerdir (Uysal, 2020).

Son zamanlarda, elektrikli araçlar tarafından yaygın şekilde kullanılan lityum bataryalar, genellikle aracın toplam maliyetinin yaklaşık % 25'ini oluşturur ve lityum bataryalar beş temel kriter üzerinden değerlendirilir (Uysal, 2020).

- Enerji Yoğunluğu: Bataryanın birimi başına depolayabildiği enerji miktarını ifade eder. Özellikle elektrikli araçlarda, aracın menziliyle doğrudan ilişkilidir ve enerji tüketimiyle ilişkilendirilerek değerlendirilir.

- Güç Yoğunluğu: Bataryanın hızlı şarj ve deşarj kapasitesini temsil eder. Özellikle hızlı şarj işlemlerinde kritiktir.

- Çevrim Ömrü: Bataryanın kaç kez şarj/deşarj edilebildiğini ifade eder, bu da bataryanın kullanım ömrünü belirler.

- Emniyet: Lityum bataryalar, aşırı şarj, aşırı ısınma veya ani darbe durumlarında ciddi riskler taşır. Küçük bir cep telefonu bataryasının patlaması bile ciddi yaralanmalara yol açabilirken, binlerce bataryanın bir araya gelmesiyle oluşan elektrikli araç bataryaları, patlama durumunda ciddi tehlike arz edebilir. Bu nedenle, batarya emniyeti büyük önem taşır.

- Maliyet: Bataryaların maliyetlerinin düşürülmesi, elektrikli araçların geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşması için önemlidir. Elektrikli araçların genel fiyat seviyelerini etkileyen bir faktördür.

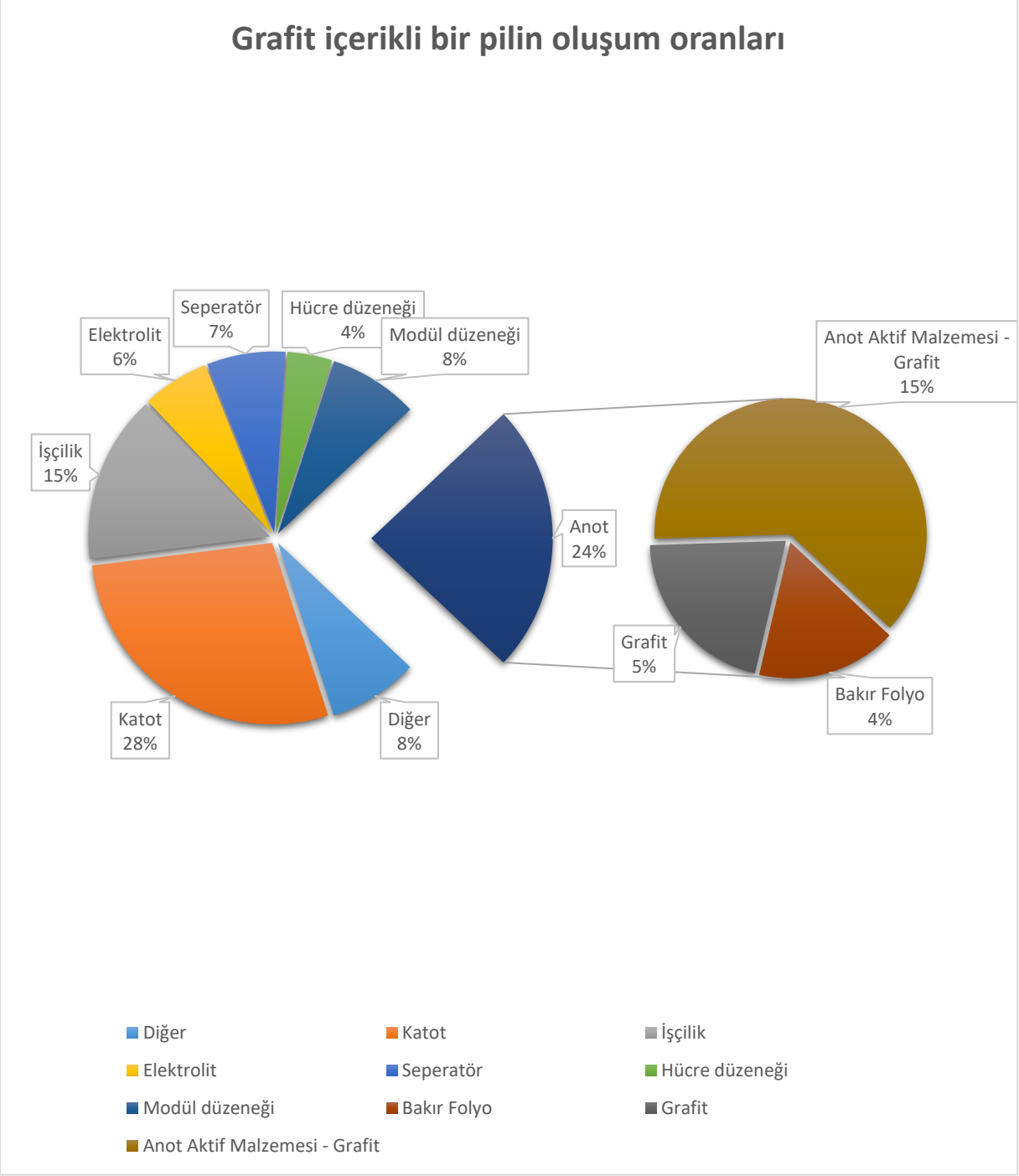
Grafit bahsi geçen kriterlerin tamamı için beklenileni karşılamaktadır ve bu sayede günümüzde lityum piller için vazgeçilmez bir hammadde olmuştur ve anot malzemesi olarak kullanılmaktadır. Sentetik grafitin üretim süreci, 3000 dereceyi aşan yüksek sıcaklık gereksinimi ve uzun üretim süreleri nedeniyle maliyet açısından dezavantajlıdır. Buna karşılık, doğal grafit maliyet açısından daha avantajlı bir konumdadır. Bugünlerde, genellikle sentetik ve doğal grafit, anot malzemesi olarak kullanılacak şekilde % 40 ila 60 oranında karıştırılmaktadır. Son dönemde, enerji yoğunluğunu artırmak için anoda % 5 ila % 10 oranında silikon eklentisi denenmektedir. Ancak silikonun şarj ve deşarj sırasında hacimde meydana gelen büyük değişimler, kullanımını kısıtlamaktadır. Yeni bir teknolojinin, güncel teknoloji yerine gelebilmesi için;

• Dikkat çekici yenilik ya da buluş ortaya koyması gerekir, örnek olarak; sadece tek şarj ile 2000 km menzile sahip olması veya 5 dakikada tam şarj olabilmesi gibi özellikler gerekir.

• Maliyet avantajı; bir alana yenilik getirirken maliyetler aynı tutulmalı ya da daha da azaltılmalıdır eğer bu olmazsa yeni teknolojilerin hayata geçme şansı azdır.

Üstelik bu kriterlerin tamamı hayata geçirilse bile, yeni bir otomobil modelinin geliştirilme süreci 3, 5 yıl ve yeni tip hammaddenin kalite/onay süreci de aynı şekilde 3, 5 yıl arasında sürmektedir. Bu sebeple yeni teknolojilerin, kalite onay süreçleri ve yeni modellerde kullanımı 6, 10 yıl arasında bir zaman alacaktır (Uysal, 2021).

Tablo 4. Li-ion pilin malzeme maliyet dağılımını gösteren grafik (Berckmans vd., 2017)



Arasında toplam maliyete katkıda bulunan farklı bileşenler olmasıyla beraber, katot (% 28) ve anot (% 24) malzemeleri en yüksek oranları oluşturur.

Doğal grafitin madenden çıkarılması ve sonrasında anot malzeme olarak pillerde kullanılabilmesi için çeşitli süreçlerden geçmesi gerekir. Yer altı veya açık ocak işletmelerinde üretilen grafit cevheri, flotasyon tesislerinde konsantre grafit şekline getirilir. Bu konsantrenin genellikle 150 mikron tane boyutu altında olan ve % 95 üzeri karbon içeriğine sahip olan bölümü, fiziksel ve kimyasal işlemlerle pillerde kullanılmak üzere uygun hale getirilir. Konsantrenin başlangıç işlemi, jet değirmenler olarak adlandırılan özel cihazlarda sadece basınçlı hava ve parçaların çarpışmasıyla tane boyutlarının 10 ila 25 mikron aralığına indirilmesini ve genellikle daha yuvarlak bir yapıya dönüştürülmesini içerir (kaplanmamış küresel grafit) (Uysal, 2020).

Bu aşamadaki temel amaç, başlangıçta yumru şeklini oluşturarak ve mikronize ederek yüzey alanlarını genişleterek bataryada yüksek enerji yoğunluğunu sağlamaktır. Bu süreçte, tüm taneler yuvarlak olmaz ve işlem sonucunda % 60'ın üzerinde, hatta daha küçük boyutlarda olan tanelerin % 70'i gibi bir oran atık olarak ayrılır. Bundan sonra ise grafitin yüksek saflığa ulaştırılması süreci gelir.

Lityum piller, içinde sürekli bir elektrokimyasal işlemin gerçekleştiği pil sistemleri olarak enerji depolarlar. Bu durum, safsızlıkların giderilmesi gerekliliğini ortaya çıkarır ve aynı zamanda batarya güvenliği açısından son derece önemlidir.

Yumru haldeki grafit; kimyasal veya termal süreçlerle % 99,9 karbon oranına getirilir. % 95 karbon oranı talep edilmesinin ana gerekçesi yüksek saflığa yükseltme işlemi sırasında maliyetleri en aza düşürmektir. Ne kadar düşük karbon harici malzeme var ise, o seviyede az kimyasal veya fiziksel enerji gideri olacağı için maliyetler direkt olarak değişmektedir.

Genelde kullanılan süreç kimyasal prosestir ve çeşitli asitlerle birkaç kademeli asit liçi olarak uygulanır. Bu süreç sonrasında kazanılan yüksek saflıkta yumru şekilli grafit, dışı başka bir karbon ile kaplanarak, özel bir kaplama işlemine sokulur. Grafit, pil içinde sürekli olarak lityum iyon alışverişi yaparak deformasyona uğrar. Bu deformasyonu en aza indirgemek ve batarya ömrünü uzatmak adına bu kaplama işlemi uygulanır. Sonuç olarak, yüksek saflıkta kaplanmış yumru grafit (kaplanmış küresel grafit) elde edilmiş olur. Bundan sonra, grafit bazı bağlayıcılarla karıştırılarak boya veya mürekkep kıvamına getirilir ve bir bakır folyonun üzerine sürülerek bataryanın anot kısmı oluşturulur (Uysal, 2020).

2.1.8.7. Grafen

Malzeme bilimindeki ilerlemeler, 21. yüzyılın çığır açan teknolojilerinin temelini oluşturan kritik kaynaklardan biridir. Bu ilerlemeler sayesinde bilgisayar işlemcileri, sensörler, uydular, ölçüm cihazları, kameralar gibi teknolojik cihazların kapasiteleri gözle görülür şekilde artarken, aynı zamanda boyutları da hızla küçülmüştür. Yeni malzemelerle birlikte, teknolojilerin maliyetleri düşmüş ve kullanım alanları genişlemiştir. Bu da tarihte görülmemiş bir inovasyon hızına yol açmıştır. Grafen ise bu başarı hikayelerinden biridir.

Manchester Üniversitesi'nden bilim insanları olan Andre Geim ve Konstantin Novoselov, 2004 yılında grafit kristallerinden elde ettikleri altıgen şeklindeki karbon atomu seviyelerini basit bir yapışkan bant ile ayırarak grafeni keşfetmişlerdir. Grafen, yüksek seviyede iletkenliği, esnekliği ve dayanıklılığıyla hemen dikkat çekmiş ve kısa sürede "mucize malzeme" olarak tanımlanmıştır. Bu başarılarından dolayı Geim ve Novoselov, 2010'da Kimya Nobel Ödülü'ne layık görülmüştür. Grafenin üretimi ve ticarileştirilmesi konusunda başlangıçta beklenen ilerlemeler sağlanamamış olsa da, son yıllarda grafenin çeşitli alanlarda kullanımının artması ve talebin yükselmesi, bu alanda heyecan verici gelişmelerin olmasını sağlamaktadır (STM ThinkTech, 2019).

Grafen çeşitli ve çok sayıda farklı üretim yöntemleriyle elde edilmektedir (Park ve Ruoff, 2009). Bu yöntemlerden bazıları, mikro mekaniksel olarak grafitin tabakalarının ayrılması (Novoselov vd., 2004), kimyasal buhar biriktirme yöntemi (Reina vd., 2009), Grafen oksitin indirgenmesi (Park ve Ruoff, 2009) ve Epitaksiyel büyütme (Kosynkin vd., 2009) olarak sıralanabilir.

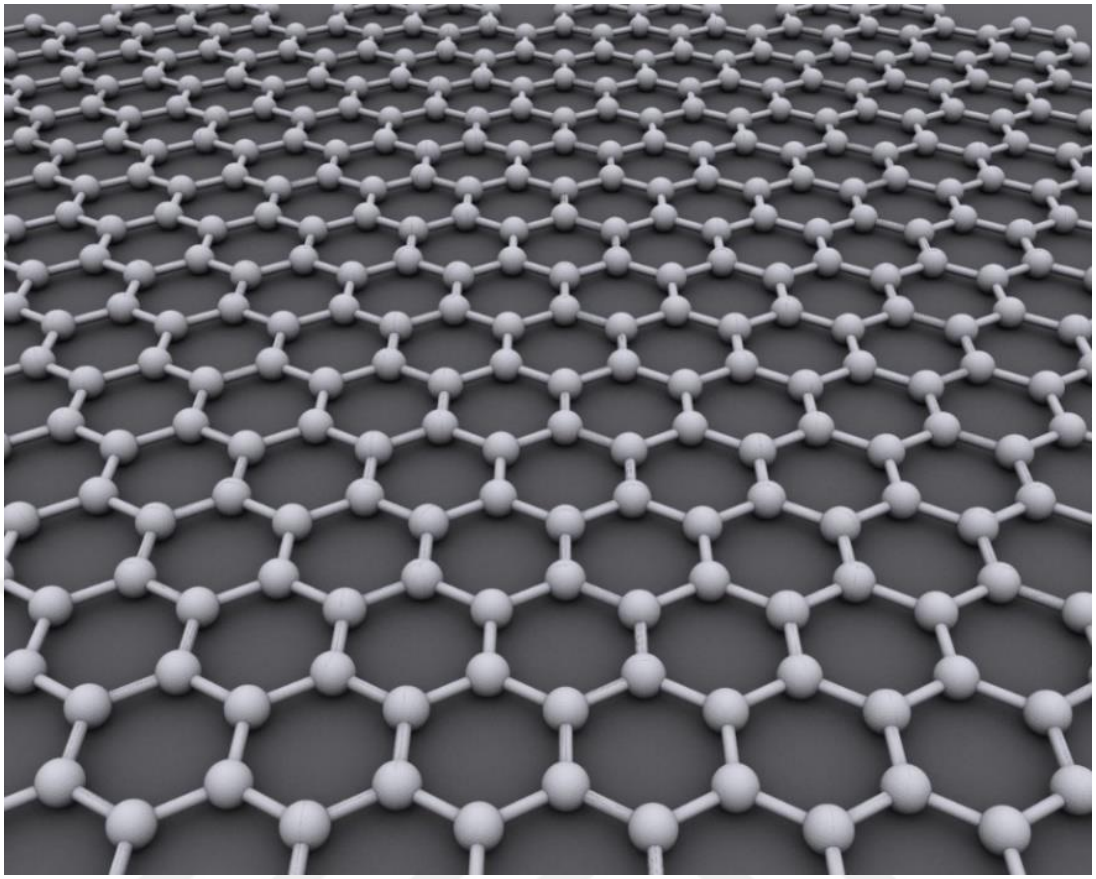
Grafen’in Özellikleri

Grafen, düşük sıcaklıklarda gösterdiği elektronik davranış ve manyetik alandaki özellikleriyle dikkat çeker. Bu özellik, grafenin iletkenlik taşıyıcı mobilitesiyle yakından ilgilidir ve yüksek taşıyıcı mobiliteye sahip olması özelliği, elektronik cihazlarda kullanılabilirliğini artırır. Taşıyıcılar neredeyse ışık hızında hareket eden, sıfır durağan kütleli parçacıklardır, bu da olağanüstü bir iletkenlik sağlar. Grafenin elektron mobilitesi oda sıcaklığında 2000 cm2/V'dir. Tavlanmış grafen cihazlarda bu mobilite değeri 2*105'e ulaşır. Bu değer, yarı iletkenlerdeki en yüksek değerdir. Grafen, silisyumdan 100 kat daha yüksek elektron mobilitesine sahiptir (Xu, 2018).

Grafenin bazı özellikleri;

- ✓ Grafen, en hafif, en ince ve en sert malzemedir.
- ✓ Mukavemeti gayet yüksektir. Çelikten 300 kat civarı daha sağlamdır.
- ✓ Young modülü 0,5-1,0 TPa'dır.
- ✓ Grafenin çekme dayanımı 130 GPa'dır. Referans olarak kevlar'ın değeri 0.37 GPa'dır.
- ✓ Yoğunluğu da yaklaşık çelikten 5 kat daha azdır.
- ✓ Saydam ve ışığın % 2,3'ünü absorbe etmektedir.
- ✓ Grafen esnek ve inerttir.
- ✓ 1 metrekare boyutunda bir grafen tabakası, sadee 0,77 miligram ağırlıktadır.
- ✓ Grafen geçirimsizdir. Atomları çok sık bağlıdır, bu sebepten içerisinden en küçük atom olan helyum atomu bile geçemez.
- ✓ Grafenin bant aralığı yoktur.
- ✓ Grafenin termal iletkenlik katsayısı 3000 ila 6000 W/mK arasındadır. Bakırla kıyaslanırsa 8-15 kat daha yüksektir (Bayındır, 2021).

Grafit, grafenin ana kaynağıdır (Tufan ve Batar, 2015). Temelde basitçe söylenirse; grafitin düzlemsel haline grafen denebilir. Şekil 4'te yer almakta olan grafenin düzlemsel yapısına dair görüntüde de belli olduğu üzere grafen, grafit yapısının tek katman halidir.



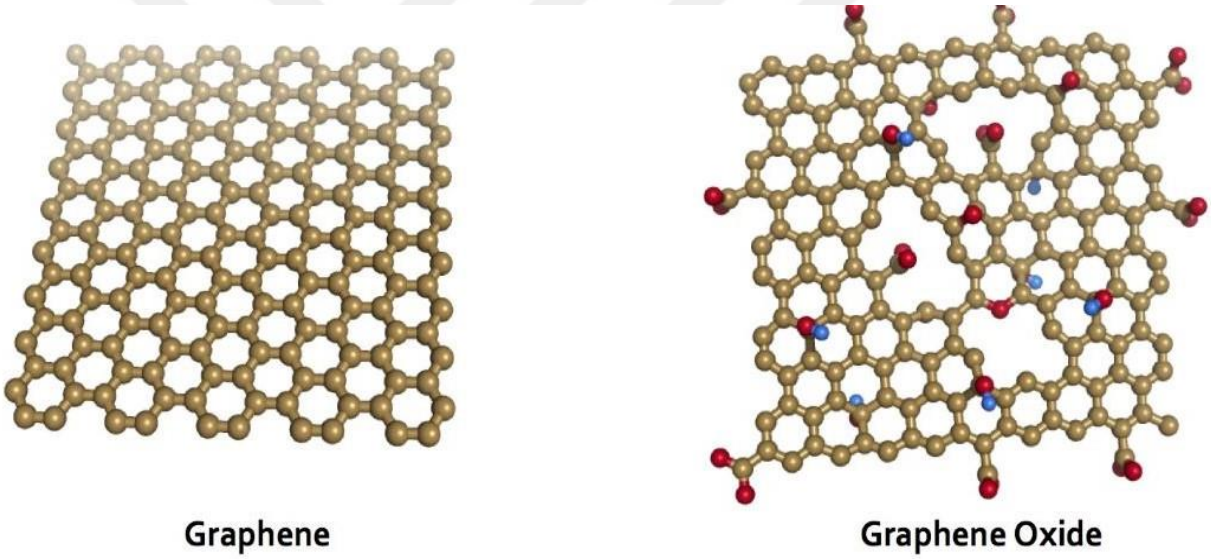
Şekil 4. Grafen yapısı (Çuhadaroğlu ve Kara, 2018)

Grafen; geleceğin ve 21.yüzyılın "süper molekülü" şeklinde tanımlanmaktadır. Yüksek kalitede grafen üretiminin başlaması sayesinde; elektrikli araç teknolojilerinden, kurşun geçirmez çelik yelek üretimine, otomobil ve uçak sanayiine gibi farklı birçok alanda grafen kullanımı planlanmaktadır (karbon esaslı malzemeler).

Grafen Kullanım Alanları

Grafen, keşfedilmesinin hemen ardından yaşadığı zorlukların henüz başlangıç aşamasında bulunmaktadır. Örnek olarak; karbon fiber malzemesinin keşfi 1950'lerde gerçekleşmiş olmasına rağmen, geniş çaplı kullanımı için 30-40 yıl gerekmiş ve yeni üretim tekniklerinin geliştirilmesini beklemek durumunda kalmıştır. Grafen gibi yeni bir teknolojinin üretim zorluklarının aşılması ve maliyetlerin azaltılması için çalışmalar devam etmektedir.

Grafen, karbonfiber gibi yeni bir malzeme türüdür ve üretim ile pazarlama konularında halen bazı zorluklarla karşı karşıyadır. Sektöründeki üretim ve maliyet sorunları devam etmekle birlikte, 2017'de grafenin tanımı ve standartlarının belirlenmesiyle birlikte üretim miktarı ve çeşitliliğinde belirgin bir artış gözlenmiştir. Grafen fiyatı ise daha makul seviyelere yaklaşmış durumdadır. Bu ilerleme, grafenin ticari kullanımıyla bağlantılı olarak 2018'de araştırma ve patent sayılarında belirgin bir artış yaşanmasının yanı sıra dünya genelinde grafenle ilişkili firmaların savunma, uzay ve madencilik gibi sektörlerden yüksek miktarda grafen siparişleri aldığını ve birçok prototip geliştirdiğini ortaya koymaktadır. Bazı uzmanlara göre, 2018, grafenin ticarileşme sürecinde bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir (STM ThinkTech, 2019; Critchley ve Liam, 2019).



Şekil 5. Grafen oksit ve grafen (Radic vd., 2013).

Grafenin çeşitli kullanım alanları vardır fakat bazılarını sıralamak istersek:

- Süperkapasitörlerde
- Transistörlerde
- Giyilebilir teknoloji ürünlerinde
- Kuantum teknolojilerinde
- Sensörlerde (ileri algılama yeteneği sunmaktadır.)
- Filtrasyon işlemlerinde
- Biyo-malzemelerde (Grafen, yapısı bozulmadan vücutta bulunabilmektedir.).
- Kaplamalarda (Grafen, yüksek yapışma gibi özellikleri sebebiyle korozyona dayanıklı, anti bakteriyel ve UV ışınlarını önleyebilen kaplamaları mümkün kılmaktadır.)
- Kamuflaj çalışmalarında
- Kompozitlerde
- Pil teknolojilerinde

Süper hızlı şarj edilebilen ve yüksek kapasiteye sahip bataryalar: Grafen, çok yüksek iletkenliğe sahiptir. Belki de bu sayede saniyeler içerisinde bataryaların dolmasını sağlayabilecektir. Hızlı pil dolum süresi ve pil kapasitesi artışının dışında grafen kullanımı, pil ömründe de artış yaşanmasını sağlayabilir (Bayındır, 2021).

Grafen ürünlerinin tanımlarına ilişkin ISO standardı, İngiltere Ulusal Fizik Laboratuvarının öncülüğünde ilk defa 2017'de ortaya konmuştur. Grafenin ürün bazlı sınıfları ve bunlara uygun olan ve önerilen kullanım alanları tablo 5'te verilmiştir:

Tablo 5. ISO/TS 80004-13 grafen ürün sınıfları ve bunların önerilen kullanım alanlarını gösteren tablo (Gibney, 2019).

Ürün	Tabaka Sayısı	Açıklama	Önerilen Kullanım alanları
Grafen (tek tabaka grafen)	1	Karbon ve hidrojen atomlarının (CH)n birini alarak tekrarlanan iki boyutlu tabakadan oluşan tek katmanlı materyal.	Grafen araştırmaları; Enerji depolama çalışmalarında süperkapasitör elde edilmesi; Güneş enerjisi performans arıtılması; Optoelektronik, plazmonik ve nanofotonik; Yarı iletken çipler; İletken grafen filmleri; Bilgisayar bellekleri; Biyomalzemeler ve Biyoelektronik.
Çift Katmanlı Grafen (2LG)	2	Sınırları belli olacak şekilde üst üste konulmuş iki grafen katmanından oluşan iki boyutlu malzeme.	Sensörler, bataryalar, kaplama malzemeleri
Bükülmüş Çift Katmanlı Grafen/turbostatik çift katmanlı grafen(tBLG, t2LG)	2	Sınırları belli olacak şekilde turbostatik olarak belli bir açıyla istiflenmiş iki grafen katmanından oluşan iki boyutlu malzeme	Otomotiv ve bilişimde süper iletken malzeme
Bükülmüş çift katmanlı grafen/turbostatik birkaç katmanlı grafen	2	Sınırları belli olacak şekilde turbostatik olarak belli bir açıyla istiflenmiş birkaç grafen katmanından oluşan iki boyutlu malzeme	Otomotiv ve bilişimde süper iletken malzeme
3 katmanlı grafen (3LG)	3	Sınırları belli olacak şekilde üst üste konulmuş üç grafen katmanından oluşan iki boyutlu malzeme.	Sensörler, bataryalar, kaplama malzemeleri, nanoelektronik
Birkaç katmanlı grafen	3-10	Sınırları belli olacak şekilde üst üste konulmuş üç ile 10 grafen katmanından oluşan iki boyutlu malzeme.	İletken mürekkepler, kayganlaştırıcılar, kompozitler, kaplama ve güçlendirme
Grafen nanotoz	Değişir.	Grafen katmanları içeren nanotozlardır. GNP'ler genellikle 1-3 nm kalınlığında ve 100nm ile 100 mikrometre uzunluğundadır.	Kompozistler, elektronik, havacılık, fotovoltik, enerji, fotonik.
Grafen oksit (GO)	-	Grafitin yoğun oksitlendirilmesiyle hazırlanan kimyası değiştirilmiş grafen	Enerji depolaması, biyoedikal uygulamalar, biyosensörler
İndirgenmiş Grafen Oksit (rGO)	-	Grafen oksitin oksijen miktarının azaltılmış formudur.	Enerji üretimi ve depolaması, biyomedikal uygulamalr, biyosensörler

2.2. YERBİLİMLERİNİN JEOPOLİTİK BİLİMİ VE JEOSTRATEJİK YAKLAŞIMLA İLİŞKİSİ

Yerbilimleri, jeoloji, jeofizik, jeokimya, coğrafya gibi dünyanın yapısını, geçmişini ve bugününü inceleyen bilim dalları için kullanılan genel bir ifade olmakla birlikte, doğal kaynaklar, doğal afetler, tarihi ve kültürel miras açısından en önemli bilim grubudur. Bununla beraber yerbilimleri, doğal kaynakların keşfi, fiziki/coğrafik özelliklerin belirlenmesi ve doğal afetlerin önlenmesi gibi önemli gerekçeler dolayısıyla stratejik, jeostratejik önem taşımaktadır.

2.2.1. Yerbilimleri Tanımlaması

Yer bilimi, dünyanın yapısı, özellikleri, süreçleri ve dört buçuk milyar yıllık biyotik evriminin incelenmesidir. Bu olguları anlamak, gezegendeki yaşamın sürdürülmesi için çok önemlidir. Artmakta olan dünya nüfusu yıllar geçtikçe daha fazla kaynak talep etmektedir. Varlığımızı sürdürmek, jeosferi, hidrosferi, atmosferi ve biyosferi birbirine bağlayan doğal materyallerin ve süreçlerin bilimsel olarak anlaşılmasını gerektirmektedir.

Yer bilimciler tarafından kazanılan bilgi ve sağlanan hizmetler, toplumun çevreyle başa çıkmasına birçok yönden yardımcı olmaktadır. Yer kabuğunun yapısı, stratigrafisi ve kimyasal bileşimi hakkındaki bilgileri, yaşam kalitemizi sürdüren ve geliştiren doğal kaynakları bulmamıza yardımcı olmaktadır. Kabuktaki kuvvetleri ve yüzeydeki doğal süreçleri anlamak, volkanlar ve depremler gibi doğal afetleri ve zarar verici madencilik uygulamaları veya uygunsuz atık bertarafı gibi jeolojik ortamları önceden tahmin etmemizi sağlar, bu tür uygulamaları düzeltmek ve daha fazlasını tasarlamak için bize bilgi verir. Gezegen fiziğinin kapsamlı bir şekilde algılanması, küresel çevre koşullarındaki büyük değişiklikleri öngörmemize ve bu değişiklikleri kontrol etmemize veya bunlara uyum sağlamamıza da olanak sağlayacaktır (U.S. National Science Foundation - web).

Jeoloji araştırmaları, ülkemizin doğal kaynaklarının aranması ve araştırılması amacıyla; jeolojik özelliklerin tespit edilmesi, maden aramacılığı, enerji aramacılığı, doğal afet, çevre kirliliği araştırmalarını kapsamaktadır. Bunlara benzeyen görev tanımlarını da kapsamakta olan çeşitli çalışmalara temel oluşturmak üzere, yerkabuğunun yapısı ve yerkabuğunun jeodinamik evriminin anlaşılabilmesini sağlayacak şekilde tektonik, stratigrafi, sedimantoloji, paleontoloji, petroloji, petrografi çalışmaları, uzaktan algılama çalışmaları, deprem jeolojisi

çatısında aktif tektonik, paleo-sismoloji, aktif volkan izleme ve sismotektonik konularında yapılan güncel jeolojik çalışmalar da jeoloji çalışmaları kapsamına girmektedir (MTA, 2021).

2.2.2. Jeopolitik ve Jeostrateji Bilimleri

Coğrafi parametrelerin stratejik perspektifte incelenip, yüksek politika argümanı olarak kullanılması ve tatbik edilebilmesi jeostrateji biliminin genel anlamda çalışma prensibidir.

Coğrafi etmenlerin ülkenin askeri stratejileri üzerindeki etkilerinin incelenmesi olarak yapılan tanımlama, Sun Tzu' nun "…yol, gök, yer.." ifadeleriyle eşleşmekte ve jeostratejinin kadim bir stratejik unsur olduğunu göstermektedir (Tal Tovy, 2015).

Jeostrateji, coğrafyanın askeri amaçlarla yapılan araştırma, analiz süreçleriyle (Tarakçı, 2003) bir ülke için gerçekleştirilecek dış politika faaliyetlerinin nereye odaklanması gerektiğini (Yılmaz, 2014) ve ülke çıkarlarının sosyal, ekonomik, nüfus, politik ve stratejik eksenlerde nasıl ve ne şekilde sağlanacağını bulmayı hedefleyen bir alt bilim dalıdır (Karabulut, 2004).

Jeopolitik, coğrafi alandaki etkileşimleri ve bu etkileşimlerden doğan güç mücadelesini inceleyen bir disiplindir. Siyasal coğrafyanın bir parçası olarak, jeopolitik, bölgeler arasındaki ideolojik farklılıklara odaklanır. Başka bir deyişle, jeopolitik, coğrafyanın ve politikanın tarih ve kültür bağlamında düşünülmesi ve hangi yönde hareket edilebileceği konusunda öngörülerde bulunulmasıdır (Sevim, 2013).

Coğrafya, siyasi hedeflerin yerine getirilmesinde bir alan olarak işlev görür. Strateji, geniş kapsamlı jeopolitik düşünme biçimidir; jeostrateji ise jeopolitik vizyonu stratejik eylemlere dönüştürme sürecidir. Jeostrateji, coğrafyanın genişliği içinde uluslararası ortamın koşullarını, durumlarını ve fırsatlarını dikkate alarak stratejik sonuçları ideal alan planların oluşturulmasını veya çıkarların geliştirilmesini amaçlar. Bu yaklaşım, jeopolitik çıkarların hayata geçirilmesini ve jeopolitik etkinin faydalı bir şekilde şekillendirilmesini esas almaktadır. Jeostratejik planlama, uluslararası ilişkilerde aktif rol almak için devlete fırsatlar sunmaktadır (Eslen, 2008).

2.2.3. Doğal Kaynakların Jeostratejik Önemi

Farklı coğrafyalardaki doğal kaynakların paylaşımı, farklı devletler arasında veya ülke içerisindeki unsurlar arasında büyük rekabetleri tetiklemektedir. Özellikle elmas gibi zengin yatakların bulunduğu bölgeler ve petrol, doğal gaz gibi enerji kaynaklarının ve önemli madenlerin bulunduğu bölgelerde, bu rekabet daha yoğun bir şekilde cereyan etmektedir. Çin,

Endonezya, Vietnam, Avustralya, Malezya, Batı Pasifik, Yeni Gine gibi coğrafyalarda kaynakların paylaşımına dair çok sayıda çatışmalar olmuştur. Kolombiya, Timor ve Sudan gibi ülkelerde yaşanmış olan iç savaşlar, dışarıdan farklı sebeplerle açıklansa da temelde kaynaklarla bağlantılı olduğu görülmektedir (Klare, 2001).

Doğal kaynak zenginliği, düşük yoğunluklu çatışmaların daha büyük çatışmalara dönüşmesine neden olabilir. Bazı iç çatışmalar yıllarca, hatta on yıllarca sürebilirken, bazıları kısa sürelerde, birkaç ay veya hatta günler içinde sonlanabilir. Myanmar'ın uzak bölgelerinde, engebeli dağlar ve ulusal sınırlar boyunca uzanan yoğun tropikal ormanlar (örneğin Karen ve Shan bölgeleri), uzun süreli çatışmalara örnek teşkil etmektedir. Bu bölgelerde petrol, yakut, yeşim taşı, kereste, afyonlu haşhaş gibi doğal kaynaklar bulunmaktadır (Harunoğulları, 2021).

Doğal kaynaklar açısından zengin bölgeler, stratejik belirsizlik alanları olarak önem kazanmaktadır. Zenginlik seviyesi arttıkça, bu kaynaklar etrafındaki şiddetin tarafları arasındaki rekabet potansiyeli de artmaktadır. Özellikle doğal kaynakların yoğun olduğu bölgelere dış müdahale olduğunda, bu coğrafyalarda yaşanan iç savaşlar ve çatışmalar uzun yıllar devam edebilmektedir. Yapılan araştırmalar, elmas ve petrol gibi kaynakların şiddetin seyrinde belirleyici olduğunu göstermektedir (Fearon, 2005; Lujala vd., 2005; Ross, 2004; Branovic ve Chojnacki, 2011).

Son yarım asırlık periyotta, kaynak açısından zengin olan Irak, Libya, Endonezya, Batı ve Orta Afrika, Kolombiya, Kamboçya gibi farklı ülkeler çeşitli savaşlar görmüştür. Petrol, savaşların en belirgin tetikleyicisi olarak öne çıkarken, mineraller (Kongo) elmaslar (Batı, Orta Afrika) ve kereste gibi kaynaklar (Kamboçya) ile uyuşturucu ticareti (Kolombiya, Afganistan) gibi diğer kaynaklar da iç savaşların ortaya çıkmasında ve şiddetin artmasında etkili olmuştur (O'Loughlin ve Witmer, 2005).

2.2.4. Yerbilimlerinin ve Yerbilimcilerin Jeostratejik Önemi

Doğal kaynaklar, jeostratejik açıdan son derece büyük bir öneme sahiptir. İnsanlık tarihinin en başından beri gerçekleşen savaşların çoğunluğunda doğal kaynakların önemi görünmektedir. Bununla birlikte doğal kaynakları keşif ve elde etme için kullanılan yerbilimlerinin, stratejik açıdan başka özellikleri de bulunmaktadır.

Günümüz dünyasında doğal afetlerle mücadele konusu nüfus arttıkça ve zaman geçtikçe daha önemli hale gelmektedir. Depremler, heyelanlar, su taşkınları can kayıplarına ve maddi zarara

sebep olmaktadır. Bu gibi durumlar büyük ölçekte yaşandığında, bu bir ülkenin ekonomisini, demografisini, kritik nüfus eşiği gibi konuları etkilediğinden milli güvenlik unsuru olarak değerlendirilmelidir. Bu sebeplere doğru araştırmalar ve önlemlerle doğal afetlerden minimum zararla çıkılması son derece stratejiktir (MTA, 2021).

Bunlarla beraber yerbilimleri hali hazırda çok disiplinli bir alandır ve bir yerbilimci bir çok konuda bilgi sahibi olmak zorundadır. Doğal kaynakların ülkeler açısından önemi ele alındığında aynı önem yerbilimleri için de düşünülmelidir çünkü yerbilimleri olmadan doğal kaynaklara ulaşmak mümkün değildir. Bu durumda yerbilimciler, yapısal olarak stratejik bir mesleği icra etmektedirler. Global mücadeleler; siyasi karar alıcılar, askeri yapılar ve sermaye grupları arasında geçse de sonuç olarak birçok mücadele, kaynaklar çevresinde gerçekleşmektedir. Bu da doğal kaynakları, yerbilimlerini ve yerbilimcileri stratejinin merkezine koymaktadır. Bütün bu faktörler ele alındığında, yerbilimleri stratejik bir alandır ve yerbilimciler çok farklı alanlarda çalışmaya uygun olarak eğitim görmektedirler. Akademik alanda, özel sektörde, kamu kurum, kuruluşlarında ve hatta askeri, istihbarat alanlarında dahi görev almaktadırlar. Global anlamda çok farklı şekillerde mesleki yeteneklerini icra etmektedirler.

Dünya genelinde yerbilimcilerin de görev aldığı stratejik kurumlar;

- ***Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS),*** bünyesindeki çalışanların büyük çoğunluğu jeologlardan, jeofizikçilerden, hidrologlardan ve biyologlardan oluşan bu kurum, Amerikan İçişleri Bakanlığına bağlıdır. Savunma Bakanlığıyla da kapsamlı çalışmalar yürütmektedir. Bunlar haricinde bünyesinde bir "askeri jeoloji dairesi" bulundurduğu bilinmektedir (USGS – web).

- ***Military Geology Branch – USGS (Askeri Jeoloji Şubesi),*** son derece önemli bir daire olan askeri jeoloji dairesi muhabere öncesi analizler, doğal kaynaklar, su kaynakları, yeraltı boşlukları, askeri çatışmalar ve bunlara benzer konularda Amerikan ordusuna destek olan bir analiz şebekesi olarak çalışmaktadır. Ayrıca bu dairenin istihbari faaliyetler yürüttüğü de bilinmektedir (George A. Kiersch, 1998).

- ***Military Geology Unit – U.S. Army (Birleşik Devletler Ordusu Askeri Jeoloji Birimi),*** 1. Ve 2. Dünya savaşı sırasında kullanılmaya başlayan askeri jeoloji birimleri sayesinde Amerikan ordusu siperler, savaş alanları, coğrafi özellikler, konum, su

kaynakları, doğal kaynaklar, petrol kaynakları gibi konularda bilgi edinmek için Askeri Jeoloji Birimi kurarak bu birimi bir bilgi toplama merkezi olarak kullanmıştır. Ayrıca dönemin istihbarat raporları göstermektedir ki, Amerikan ordusu saha jeoloğu gibi sahada etkili yerbilimcilerini, bölgesel ve sosyal konulardaki istihbari faaliyetlerde de bilgi toplamak için de görevlendirmiştir (Whitmore, 1954).

- ***Jeo-uzamsal İstihbarat Teşkilatı (NGA):*** Ulusal Jeo-uzamsal İstihbarat Teşkilatı (NGA), politika yapıcılara, askeri hizmet üyelerine, istihbarat uzmanlarına ve ilk müdahale ekiplerine belirleyici bir avantaj sağlayan birinci sınıf jeouzamsal istihbarat sağlar (NGA).

- ***ABD Merkezi İstihbarat Teşkilatı (CIA)***: Kendi uzmanlık alanları dışında da, disiplinler arası yeteneklerinden, farklı ülkelerde rahatlıkla bulunabilme kabiliyetlerinden ötürü, jeolog ve jeofizikçileri de istihdam etmektedir (Nytimes web, 2021; Kowarski, Us news 2021).

- ***United States Intelligence Community:*** Amerika Birleşik Devletleri İstihbarat Topluluğu, ABD'nin gerek dış ilişkilerini, gerek ulusal güvenliğini desteklemek hedefiyle istihbarat faaliyetlerini idame ettirmek için ayrı ayrı ancak birlikte faaliyet yürüten 16 farklı devlet kurumunun ortak oluşturduğu bir topluluktur (U.S. Intelligence Community web).

- ***United States Army Corps of Engineers:*** Amerika Birleşik Devletleri Ordusu Mühendisler Birliği (USACE), ABD Ordusu'nun doğrudan raporlama yapan bir birimi ve bir mühendis oluşumudur. Üç ana görev alanına sahiptir. Bunlar: Mühendis alayı, sivil mühendislik, askeri inşaat alanlarıdır. Jeologlar, jeofizikçiler ve jeoloji, jeofizik mühendisleriyle çalışmaktadırlar (Army Corps web).

- ***Rand Corporation:*** ABD'nin çıkarları doğrultusunda bir siyasal strateji ve düşünce kuruluşudur. Bu kurum, ABD hükûmetine milli güvenlik alanında stratejiler üretme çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Kurum, bilim, sağlık, hukuk ve eğitim alanlarında da araştırmalar yapmaktadır. İkinci dünya savaşı sırasında Army corps of Engineers ile birlikte yerbilimcilerin iştirak ettiği son derece önemli projelerde birlikte çalışmaktadırlar. Bugün dahi bünyesindeki bilim dairesinde düşünce kuruluşu çatısı

altında bütün bilim dallarında çalışmalar yaptıkları bilinmektedir (Rand Corporation web; Kiersch, 1998).

- ***The Federal Agency for Mineral Resources - Rusya (Federal Mineral kaynakları Ajansı – Rusya) :*** Rusya Federasyonu'nda yeraltı kaynaklarına ilişkin politikaları belirleyen ve denetleyen federal bir organdır. İkibin dört yılında Rusya Doğal Kaynaklar ve Çevre Bakanlığı'nın bir parçası olarak kuruldu (Rusya Federal Mineral Kaynakları Ajansı web).

- ***Mingeo, Ministry of Geology-Rusya (Jeoloji Bakanlığı):*** Kapatılıp Doğal Kaynaklar Bakanlığına dönüştürülmüştür. Rusya'nın bölge ülkelerden ve orta asya ülkelerinden doğal kaynaklar için uzunca bir süredir faydalandığı bilinmektedir. Rus Devletinin, doğal kaynaklardan faydalanmayı bir beka meselesi olarak gördüğü bilinmektedir.

- ***CIA - The Directorate of Science and Technology ''DS&T'' (CIA Bilim ve Teknoloji Müdürlüğü) :*** Bilimsel şube olarak da geçen bu dairede, farklı bilim dallarına dair araştırmalar ve bilgiler toplanarak, elde edilen istihbari bilginin Amerikan ulusal çıkarlarına uygun olarak kullanılmaktadır. Unutulmamalıdır ki Lityum-iyon piller ilk defa CIA bünyesinde üretilmiştir (CIA, 2013).

- ***DIA - (Defence Intelligence Agency) :*** DIA, ABD'nin savunma istihbarat birimi olarak faaliyet gösterir ve genel hatlarıyla CIA'ya benzer bir yapıya sahiptir. Amerika'nın askeri istihbaratını sağlayan bir kuruluştur ve çalışan sayısı tahmini olarak 7000'dir. DIA'yı diğer istihbarat kuruluşlarından ayıran en dikkate değer özellik, yabancı ülkelerin askeri güçlerine istihbarat desteği ve eğitim sağlamasıdır; bu, ABD politikaları doğrultusunda yönlendirme ve uluslararası alanda operasyonların planlanması amacını taşır. Kurum, 1970'lerden sonra bünyesinde askeri jeolojiyle ilgili çalışmaların yapıldığı da bilinmektedir (Kiersch, 1998).

- ***GRU*** - Rusya Federasyonu Silahlı Kuvvetleri Genelkurmay Başkanlığı'nın askeri istihbarat teşkilatıdır. GRU, askeri istihbarat servisini kontrol eder ve kendi özel kuvvet birimlerini sürdürür. Rand raporuna göre son dönemde Afrika'da ve farklı bölgelerdeki aktivitesini artırmasının sebebi, doğal kaynaklarla ilgili elde etmiş

oldukları taze bilgilerdir. Bunlar da hali hazırda yerbilimleri konusunda uzman kişilerle çalıştıklarına dair düşüncelere sebep olmaktadır (Grissom vd., 2019).

Birçok ülkede yukarıdaki kurumlara benzer kuruluşlarda yerbilimlerine önem verilmektedir ve yerbilimcilerle çalışılmaktadır. Ülkemizde MİT (Millî İstihbarat Teşkilâtı) veya benzer kurumlarımızda, açık kaynak verilerine göre bunlara benzer birimlerin varlığına dair bir bilgi bulunmamaktadır. Ayrıca dünyada enerji kaynakları, madenler, doğal kaynaklar vb. konular üzerine yoğunlaşan çok sayıda düşünce kuruluşu bulunmaktadır.

2.2.5. Jeostratejik perspektif ile Ekonomik Jeoloji

Ekonomik jeoloji, ekonomik ve endüstriyel amaçlarla kullanılabilecek toprak malzemeleriyle ilgilenir. Bu malzemeler değerli ve baz metalleri, metalik olmayan mineralleri ve inşaatta kullanılabilen taşları içerir. Ekonomik jeoloji, yer bilimlerinin bir alt disiplinidir; Lindgren'e (1933) göre “jeolojinin uygulanmasıdır”. Buna, Dünya'nın mineral hammadde kaynaklarının bilimsel olarak incelenmesi ve edinilen bilgilerin pratikte uygulanması denilebilir.

Çalışma öncelikle metalik maden yatakları ve maden kaynaklarına odaklanmıştır. Diğer yer bilimleri disiplinleri (jeokimya, mineraloji, jeofizik, petroloji, paleontoloji ve yapısal jeoloji gibi) tarafından kullanılan tekniklerin tümü bir cevher yatağını anlamak, tanımlamak ve kullanmak için kullanılabilir.

Ekonomik jeoloji, jeologlar tarafından incelenir ve uygulanır. Maden çıkarma endüstrilerinin toplum, ekonomi ve çevre üzerindeki geniş kapsamlı etkisi nedeniyle ekonomik jeoloji, mühendisler, çevre bilimcileri ve korumacılar gibi diğer mesleklerin de ilgisini çekebilir.

Ekonomik jeoloji çalışmalarının amacı, cevher yataklarının oluşumu ve lokalizasyonu ile cevher yataklarıyla ilişkili minerallerin anlaşılmasını sağlamaktır. Metaller, mineraller ve diğer jeolojik kaynaklar yenilenemez kaynaklardır. Ancak insanlık her dönem çok pahalı hale gelen kaynakların yerine yeni jeolojik kaynakları koyarak, yer altı kaynaklarını kullanmaya devam etmiştir. Bu sayede ekonomik jeoloji çalışmaları önemini korumaktadır (Pohl, 2020).

2.2.6. Jeopolitik ve Jeostrateji bilimi için Askeri Jeolojinin önemi

Askeri jeoloji (Military Geology), ülkemizde pek bilinmese de, uluslararası platformlarda ciddi bir alan olarak beliren bir mesleki uygulama alanıdır.

Jeoloji ve askeri strateji arasındaki ilişkiyi, ilk bakışta sorgulamak mümkün olabilir. Ancak jeolojik koşullar her zaman askeri harekatları etkilemiş ve tarihin her döneminde askeri strateji uzmanları, savaşın sonucunu belirlemede jeolojik yapıyı temel bir faktör olarak görmüşlerdir. Savaş bölgesinde bulunan doğal mağaraların sunduğu imkanların saldırı ya da savunma amaçlı kullanılmadığı, bölgedeki kuyu gibi kaynak gibi yer altı suyu koşullarının gözetilmediği bir savaşın var olmadığı gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Bilim ve teknolojideki gelişmelerle doğru orantılı olarak 20. yüzyıl savaşlarında da jeolojik araştırmalar ve bilgiler askeri operasyonlarda sistematik şekilde kullanılmaya başlamıştır. Jeologlar savaş bölgelerinde çeşitli şekilde aktif görevler üstlenmiş, çok sayıda ülke ordusu için askeri jeoloji hizmetlerinde bulunmuşlar bu sayede askeri jeoloji kullanımı önemli oranda artmıştır. Yirminci yüzyılın sonu ve 21.yüzyılda egemenliğini arttıran petrol, kömür ile başlayıp; hidrokarbon kaynakları, doğal kaynaklar ve değerli madenlerin elde edilmesi için gerçekleştirilen emperyalist politikalar, siyasi ve askeri durum çalışmalarda, jeolojiyi ve jeoloji haritalarını temel bir faktör yaparak, askeri jeolojinin de gelişmesine sebebiyet vermiştir.

I. Dünya Savaşı'nda, tarafların askeri operasyonlarda jeolojiyi önemli ölçüde kullandığı bilinmektedir. Lağım savaşları, su tedariki ve askeri istihbarat gibi stratejik alanlarda pek çok askeri jeolog görev yapmıştır. Örneğin, Alman ordusunda I. Dünya Savaşı sırasında, her 2 veya 3 tümen kesimi için bir jeolog, ikinci hat alanında her mevzi-inşa-tümeni kesimi için bir jeolog ve başkomutanlık emrinde bir jeoloji şubesi gibi bir yapılanma kurulmuştur. Alman, Rus, İngiliz ve Fransız orduları jeoloji bölümleri oluşturmuş olsa da bu hizmet genellikle sivil kökenli jeologlar tarafından geçici bir yapılanma içinde yürütülmüştür. Bu dönemde, askeri stratejiler için temel arazi bilgisi ve jeolojik yorumlar sunulmuş, ancak askeri jeoloji tam olarak kurumsallaşmamış ve sadece savaş koşullarında geçici bir hizmet olarak görülmüştür.

Askeri jeoloji açısından önemli bir dönüm noktası II. Dünya Savaşı olmuştur. Savaşın alanına yönelik jeolojik değerlendirmelere artan bir ihtiyaç doğmasıyla, Amerika Birleşik Devletleri'nde 1942'de USGS bünyesinde askeri jeoloji çalışma grubu oluşturulmuş ve çok sayıda Amerikalı jeologlara savaş süresince görev verilmiştir. Bu askeri jeologlar, yer altı

suları, havaalanları, çıkartma alanları gibi önemli projelerde hidrojeoloji ve mühendislik jeolojisi konuları üzerine kapsamlı çalışmalar gerçekleştirmişlerdir.

Savaşın sona ermesi ve Soğuk Savaş döneminin başlamasıyla birlikte, askeri güç kadar farklı meslek disiplinlerinin de askeri ve güvenlik alanında daha etkin hale gelmesine odaklanan "teknolojik güç" temelli "ulusal güvenlik stratejileri", askeri jeolojinin sadece savaş zamanlarında değil, artık barış dönemlerinde de ordu mühendisliğinin ayrılmaz bir parçası olması için uygun koşulların oluşmasına neden olmuştur.

Askeri jeoloji tarihinde, Soğuk Savaş dönemi kurumsallaşma ve süreklilik periyodunu başlatmıştır. Bu süreçte, bilgisayar ve uzaktan algılama teknolojileri askeri hedefler için daha geniş çapta kullanılmış, özellikle ABD gibi ülkelerde jeolojik bilgi üretimi bölgesel ve hatta küresel ölçekte hızla artmıştır.

Şu anda, pek çok makale, kitap ve uluslararası platformda ifadesini bulan bilgi birikimi ve deneyim zenginliğiyle, 1994 yılından beri devam eden Askeri Jeoloji ve Coğrafya Konferansları, askeri jeolojinin artık bir disiplin haline gelmiş olduğunu göstermektedir. Günümüz dünyasında, askeri jeoloji kalıcı bir konum edinmiş ve zamanla daha da önem kazanmıştır ve görünmektedir ki yıllar içinde önemini daha da çok artıracaktır (Ketin, 1945: Tandoğan, 2004; Demir, 2013; Leith, 1998; Whitmore, 1954).



Şekil 6. Lt. Col. Drew Craig, İngiliz Ordusu Askeri Jeoloji Uzmanı (Geolsoc, 2021).

ABD'nin Afganistan operasyonları ve askeri jeoloji

Afganistan'a yapılan askeri harekât, bölgedeki insanlar, coğrafyanın ve yerel dinlerin yanı sıra jeolojinin de ne kadar önemli olduğunu açıkça göstermiştir. Amerikan askeri güçleri, rakip güçlerle mücadelede yeraltında faaliyet göstermiştir. Bu nedenle, Amerikan askerlerinin mağaraların yerini, özelliklerini, girişlerin direncini ve derinliklerindeki patlayıcılara karşı direncini belirlemek için bilgilere ihtiyacı olmuştur. Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Kuruluşu (USGS) yetkilileri, Afganistan'da doğal olan ve insan yapımı toplam 10.000'den fazla mağara olduğuna dair tahminlerini açıklamışlardır. Bu durum, Taliban gibi ve El Kaide gibi güçlerin etkisiz hale getirilebilmesi için Afganistan'ın jeolojisinin anlaşılmasının ne kadar kritik olduğunu göstermektedir.

Askeri jeoloji alanında çalışmalar yapan jeoloji mühendislerinin başlıca görevi haritalardan, uydu görüntülerinden elde edilen verileri derlemek, bu verileri analiz etmek, yorumlamak ve bölgedeki kayaların özellikleriyle ilgili askeri operasyon planlayıcılarına danışmanlık yapmaktır.

Afganistan'da yaşanan sorunlarla ilgili, jeoloji mühendislerinden, rakip güçlerin olası saklanma bölgelerini ve bu bölgelerdeki varlıklarının nasıl tespit edilebileceği hususunda yardım talep edilmiştir (Tandoğan, 2004).

Usame Bin Laden'in bulunması

Usame Bin Laden'in yerini tespit etmek için, kişinin video kasetlerindeki kaya formasyonlarının analizi üzerinde çalışılmıştır. Adli jeoloji mühendislerinin milli güvenlik meselelerine katkıda bulunduğuna dair somut kanıtlar olmamakla birlikte, video görüntülerinin aranan kişinin muhtemel saklandığı yere dair genel bir anlayış sağladığı düşünülmektedir. İkinci Dünya Savaşı sırasında, Japonların balonlara yerleştirdikleri istihbarat araçlarına taşıyan çakılların incelenmesi, bu çakılların kaynakları hakkında bilgi sağlayarak Japon saldırılarının kaynağını belirlemede kullanılmıştır (McPhee, 1998).

Özel görevlerde, askeri jeoloji mühendisleri genellikle arazinin fiziksel özellikleri, jeolojisi ve toprak yapısıyla ilgili temel çalışmalar gerçekleştirirler. Bu mühendisler, bir arazi parçası üzerinde askeri birliklerin ve araçların nasıl etkin bir şekilde hareket edebileceklerini belirlemekle görevlidirler. Ayrıca, yeraltı su kaynaklarının yerleri, inşaat malzemelerinin

konumu ve hava alanlarının inşası için uygun bölgelerin belirlenmesi gibi konularda jeoloji mühendislerinden çeşitli hizmetler beklenmektedir.

Jeoloji mühendisleri, askeri tesislerin korunmasına, personelin korunmasına yönelik ve hedef alınan bölgelerin durumuyla ilgili yer altı kayalarının özelliklerini araştırırlar. Askeri jeoloji mühendislerinin günümüzde en sık kullandığı yöntemlerden biri uzaktan algılama teknolojisidir. Bu metodla, bir arazinin bileşimi multi-spektral veya hiper-spektral görüntülerle analiz edilebilir. Aynı şekilde, belirli bir bölgeyle ilgili alınan çoklu radar görüntüleri, o alandaki küçük topografik değişiklikleri hassas bir şekilde tespit etmeyi sağlar (Tandoğan, 2004).

Napolyon'un Mısır Seferi

George Kierseh ve James Underwood'un 1998 tarihli bir makalesinde, Mısır'ı işgal ederken Napolyon'un jeoloji bilgilerinden faydalandığı kaydedilmiş; öncü birliklerin içinde iki jeoloji mühendisinin görevlendirildiği belirtilmiştir.

Askeri jeoloji, 18., 19. ve 20. yüzyıllarda, "Askeri Arazi Bilgisi" şeklinde tanımlanmıştır. Bu tanım, birliklerin ve araçların hareketini, ulaşım yollarını, askeri konumlanma noktalarını, inşaat malzemelerinin tedarikini, kaya kazma özelliklerini, yamaç stabilitesini ve yeraltı ile yerüstü hidroloji haritalarının hazırlanmasını içermektedir.

Askeri jeoloji, Amerikan Devrim Savaşı'ndan Kore Savaşı'na kadar birçok çatışmada etkili olmuş, jeofizik, oşinografi, botanik gibi farklı bilim alanlarını da bünyesinde barındırarak genişlemiştir. Amerikan İç Savaşı sırasında askerler, hem saldırı hem de savunma amaçları için tünelleri ve diğer yeraltı mağaralarını verimli bir şekilde kullanmışlardır (George A. Kiersch, 1998).

Rus-Japon Savaşı

Rus-Japon Savaşı (1904-1905) esnasında Ruslar, askeri operasyonlarda jeolojiyi geniş ölçekte kullanarak savunma mevzilerini güçlendirmede jeoloji mühendislerini görevlendirmişlerdir. Aynı dönemde Japonlar, Kore Yarımadası'nın tamamının jeolojik haritasını hazırlamışlardır ki bu harita hala Kuzey Kore'nin en ayrıntılı jeolojik belgesi olarak bilinir. Kore Savaşı sırasında ise Amerikan kuvvetleri bu jeolojik haritadan faydalanmışlardır (George A. Kiersch, 1998).

Birinci Dünya Savaşı

Birinci Dünya Savaşı'nda Fransa'da bulunan Amerikalı askeri jeoloji mühendisleri, düşman sınırlarının içerisine kadar uzanan arazide savunma mevzileri için ilk mühendislik jeolojisi haritasını hazırlamışlardır. Bu harita, yüzey malzemelerinin fiziksel özelliklerini detaylıca göstermektedir (Whitmore, 1954).



Şekil 7. II.Dünya savaşı sırasında kayda alınmış; Askeri Jeoloji Birimi (USGS – Military Geology Branch) (Nelson, 2012).

Ordu araştırma ve raporlama ofisi ve Mühendis İstihbarat Bölümü çalışanlarının bir fotoğrafı Şekil 7'de gözükmektedir. Fotoğraf, Manila City Hall, Luzon, Filipinler'de Eylül 1945 yılında II.Dünya savaşı sırasında kayda alınmıştır (Nelson, 2012).

İkinci Dünya Savaşı

Askeri jeoloji, II. Dünya Savaşı'na kadar önemli bir bilim dalı olarak gelişmiştir. USGS, 1942 yılında "Askeri Jeoloji Birimi"ni kurarak savaşın bitişine kadar bu birim kapsamında 250 jeoloji mühendisi ve farklı uzmanları görevlendirmiştir. Bu dönemde, bu birim için Tokyo ve Heidelberg gibi merkezler oluşturulmuştur. Birimde çalışacak jeoloji mühendislerinden çift dil bilme şartı aranmış ve bazıları 6, 7 dilde uzmanlaşmıştır. Askeri Jeoloji Birimi, askeri birliklerin ve araçların kara hareketlerini optimize etmek, su, yakıt ve maden kaynaklarını keşfetmek, inşaat malzemelerini temin etmek ve havaalanları kurmak gibi arazi odaklı bilgileri toplama amacına yoğunlaşmıştır (Kiersch, 1998).

Soğuk Savaş ve sonrası

Soğuk Savaş, askeri jeolojinin odak noktasını değiştirmiştir ve jeoloji mühendisleri için yeni ilgi alanları açmıştır. Nükleer silahların geliştirilmesi ve test edilmesi, yüksek basınç ve yüksek sıcaklık koşullarında kaya özelliklerinin incelenmesini gerektirmiştir.

Askeri tesisler yeraltına doğru genişlemiştir. Güdümlü mermi siloları ve yer altı stratejik komuta merkezleri daha derinlere inşa edilerek daha etkili bir koruma sağlanmıştır. Bu sebeple, yeraltındaki kayaların özelliklerinin detaylı bir şekilde bilinmesi, kendi yer altı tesislerinin korunması yanında nükleer silahların rakip tesislere etkisinin değerlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Örneğin, Kore'de binlerce yer altı tesisi olduğu bilinmektedir.

Amerikan Savunma Bakanlığı, 1994 yılında, kitle imha silahlarından korunma için gerekli teknolojileri belirleyen bir rapor yayınlamıştır. Bu raporda askeri jeolojinin iki ana hedefi vurgulanmıştır: öncelikle yeraltı tesislerinin yerlerinin tespiti ve korunmalarının güçlendirilmesi istenmiş ve bu tesislerin nükleer olmayan silahlarla tahrip edilmesi istenmiştir. Bu hedeflere ulaşmak için askeri jeoloji mühendisleri, uzaktan algılama tekniklerini kullanarak yabancı yer altı tesislerinin konumlarını ve özelliklerini belirlemişlerdir.

Askeri yer altı tesisleri genellikl jeolojik, topoğrafik, kaya derinlik ve sertlik gibi özelliklere dayanarak inşa edilir. Jeoloji mühendisleri, tesislerin hasar görme olasılıklarını değerlendirmek için bilgi toplarlar. Bu bilgiler yerel kaya jeolojisi, toprak oluşumu, erozyon, hacim ağırlığı, toprağın ve kayaların kendi yerindeki mekanik özelliklerini içerir. Jeoloji mühendisleri, laboratuvarlarda kaya özelliklerini inceleyebilir ve bu özelliklerin farklı koşullarda nasıl değişebileceği konusunda yorum yapabilirler. Örneğin, Kuzey Kore'deki yoğun yağışlar sonucu bazı granitler kolayca dağılmıştır.

Bu veriler, tesislerin hasar görme olasılıklarını belirlemede ve yeni silahların geliştirilmesinde kullanılır. Jeolojik araştırmalar aynı zamanda nükleer deneme sınırlamalarının izlenmesinde ve incelenmesinde önemli bir rol oynar. Amerikan nükleer denemeleri ve yeraltı nükleer deneme yerlerindeki gaz tutma kapasitelerinin belirlenmesinde bu araştırmaların yararlı olduğu görülmektedir.

Amerikan Jeoloji Kuruluşu'nun özel çalışma grubu olan askeri jeoloji birimi, jeoloji ve harita mühendislerinin yanı sıra sismologlar, jeofizik mühendisleri, paleontologlar, petrologlar, toprak bilimciler, mühendislik jeolojisi uzmanları, kaya mekaniği uzmanları, istatistik uzmanları, uzaktan algılama uzmanları ve bilgisayar uzmanları gibi çok çeşitli uzmanlarla iş birliği yapmıştır (Tandoğan, 2004).

2.3. GRAFİTİN STRATEJİK ÖNEMİ

Son dönemlerde, endüstrileşme, nüfusun artması ve ulaşım maliyetlerindeki düşüş, doğal kaynak ticaretinin uzun vadeli olarak genişlemesine öncülük etmektedir. Fakat bu durum, sanayileşmiş ve doğal kaynaklara bağımlı olan ülkelerde, gelecekteki doğal kaynak tedariki konusunda endişelere neden olmaktadır (Ruta ve Venables, 2012). Coğrafi olarak çok sayıda mineral kaynağının belirli ülkelerde daha fazla yoğunlaşması, bazı ülkelerin ve şirketlerin mineral kaynaklarının ihracatındaki hakimiyeti, kaynakların tükenme riski ve bazı ülkelerin ticaret kısıtlamaları, doğal kaynaklara erişimi olmayan gelişmiş ülkelerde ve gelişmekte olan ülkelerde endişelere sebep olmaktadır (Davis, 2010; Ruta ve Venables, 2012). Bu sebeple, hem Avrupa Birliği Komisyonu (EC), hem Britanya Jeolojik Araştırmalar Konseyi (BGS), hem de Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar Kurumu (USGS) gibi devlet kurumları, ülkelerinin öncelikli olarak savunma, çevre veya istikrarlı ekonomik büyümeleri için kritik olan doğal ve mineral kaynaklarını tespit etme çabaları içinde olmuşlardır. Bu çalışmaların incelenmesi, 2000'li yıllarla beraber ekonomik olarak önemi ve tedarik süreçleri gibi riskler dikkate alındığında, doğal grafitin kritik bir hammadde olduğunu göstermektedir (BGS, 2015; EC, 2020; USGS, 2020). Özellikle, refrakter ve yüksek teknolojideki kullanımı, grafitin sanayisi ilerlemiş ülkelerde hayati bir materyal haline gelmesine katkı sağlamaktadır (Simandl vd., 2015).

Doğal grafitin küresel talebi, endüstriyel kullanımlar olan refrakterler, otomotiv sektörü, aküler ve yağlayıcılar gibi alanlarla doğrudan ilişkilidir. Özellikle çelik endüstrisinde refrakterler, doğal grafitin önemli bir tüketim pazarını oluşturmaktadır ve grafit üretimi genellikle küresel çelik üretimiyle paralellik göstermektedir. Ayrıca, yüksek teknolojiye sahip pil anotları gibi uygulamalar da grafit cevherine olan talebi artırmaktadır. Bu durum, özellikle elektrikli araçlar, taşınabilir elektronik cihazlar ve büyük ölçekli yerli ve ticari enerji depolama sistemlerine olan ilgi nedeniyle grafitin en hızlı büyüyen pazarlardan biri olmasını sağlamaktadır. Ana grafit üreticisi ve ihracatçıları genellikle Çin, Kuzey Kore ve Brezilya gibi

ülkelerdir. Bununla birlikte, grafit ithalatında öne çıkan ülkeler arasında ABD, Çin, AB ülkeleri ve kendi ülkemiz de bulunmaktadır.

Gelecekte, yüksek tenörlü pulsu veya damar tipi doğal grafit kaynaklarının kısıtlı olması, küresel ölçekte arz ve talep dengesizliğine yol açabilir. Bu nedenle, grafit üreten ülkeler için yeni maden yataklarının keşfi ve grafit saflaştırma süreçlerinde daha verimli yöntemler geliştirme ihtiyacı hayati bir önem taşımaktadır. Ülkemiz, henüz keşfedilmemiş grafit yatakları ve mevcut amorf grafit yatakları potansiyeli bakımından dünyanın en zengin ülkesi olmasına rağmen, üretim konusunda en son sıralardadır. Yeni yatak keşifleri ve daha etkili teknolojilerin benimsenmesi konusunda AR-GE çalışmaları ve yatırımları, grafitin gelecekteki potansiyeli düşünüldüğünde yapılan onca çalışmaya rağmen yetersiz kalmaktadır. Bu da gelişme potansiyelini kısıtlamaktadır.

Türkiye, köklü bir grafit ve kömür madenciliği geleneğine sahip olup coğrafi konumuyla Avrupa'ya son derece yakındır. Bu durum, ülkemizi farklı grafit türlerinin (doğal, sentetik veya grafen) tedarikçisi olarak öne çıkarır. En son teknolojik gelişmeler, yeni keşif hedefleri ve magmatik kayalarla ilişkilendirilen amorf-baskın grafit cevherleri, karbon sınıflarını yükseltmek ve nanografen teknolojisi üretmek için umut verici bir gelecek potansiyeli sunar. MTA'nın yoğun arama çalışmaları sonucunda ortaya çıkan yeni grafit sahaları, ülkenin grafit potansiyelini artırma konusunda gelecek için büyük bir umut kaynağıdır. Gelişen teknolojilerle birlikte grafitin kalitesi ve üretim miktarının artırılması, ithalat harcamalarını azaltmanın yanı sıra AB ve diğer ülkelere yeni bir ihracat kapısı açacaktır.

Son gelişmeler, iyon pillerin ticarileşmesinden sonra; üretiminde amorf grafitin uygun bir kaynak olduğunu göstermektedir. Türkiye, önemli bir amorf grafit kaynağına sahip olup, bu durum ülkemizi gelecekte grafit üretiminde öncü bir konuma taşıyabilir. Yeni teknolojiler ve AR-GE çalışmaları, grafit üretimindeki meydan okumaları gelecek yıllarda ülkemiz için büyük bir fırsata dönüştürebilir (İlhan vd., 2020).

2.3.1. Grafit’in stratejik kullanım alanları

Çok sayıda uluslararası organizasyon (AB, USGS vb.), ileri teknoloji potansiyeli yüksek ülkelerin hedeflerine ulaşmasında grafit mineralini kritik bir hammadde olarak tanımlamaktadır. Grafit yatakları, ileri teknoloji alanlarında kullanımı sebebiyle önemi artan stratejik bir mineral olma özelliği taşır; bu durum, grafitin yüksek ısı ve elektrik iletkenliği ile yüksek ısıya dayanıklılığı gibi özelliklerine dayanmaktadır. Önümüzdeki dönemde özellikle

"mucize malzeme" grafen kullanımının artması beklenirken, ülkemizin amorf grafit yatakları açısından zengin olması, yeni grafit madenlerinin ekonomiye kazandırılmasının son derece kritik ve stratejik bir öneme sahip olduğunu göstermektedir (Karaman, 2021).

Grafit'in lityum iyon pillerde, nükleer santrallerde, grafen piller gibi alanlarda kullanılıyor olması, grafiti son derece stratejik bir madde haline getirmektedir. Bunun dışında grafenin savunma sanayinde çok farklı şekillerde kullanılıyor olması, grafiti direkt olarak stratejiye bağlamaktadır.

2.3.1.1. Nükleer reaktörlerde grafit kullanımı

Grafit, nükleer reaktörlerde çeşitli şekillerde kullanılmakla beraber bugüne dek reaktör sistemlerindeki yavaşlatıcı olarak kullanılmıştır. Grafit kullanımlı reaktörler her projede tercih edilmese de yeni geliştirilen yenilikçi reaktör tiplerinde dahi grafit kullanımı devam etmektedir.

Bir nükleer reaktör, ısı üretip suyu kaynatarak işlev görür ve elde edilen buhar, jeneratör türbinlerine iletilerek elektrik enerjisi üretilir. Nükleer reaksiyonlar, bir atom çekirdeğinin alfa parçacıkları, nötronlar, protonlar, gama ışınları gibi diğer fiziksel varlıklar ile etkileşime girmesi sonucu meydana gelir. Fisyon ve füzyon gibi iki temel nükleer reaksiyon türü, büyük miktarda enerjiyi açığa çıkarırlar ve bu sebepten özel ilgi çekerler. Günümüzde, yalnızca fisyon reaksiyonundan elektrik üretimi yapılmaktadır (Tenmak; IAEA, 2005; WNA, 2023).

Nükleer Fisyon

Doğal olan veya yapay olan uranyum, plütonyum gibi ağır elementler, kararsız yapıdadırlar. Bu tip elementlerden birisinin çekirdeği bir nötron tarafından çarpıldığında, çekirdeği iki parçaya ayrılır. Bu işlemde iki ya da üç nötronla birlikte enerji açığa çıkmaktadır. Fisyon sonucunda ortaya çıkan ve farklı kombinasyonlara sahip olan bu parçalara fisyon ürünleri denmektedir. Reaksiyon sonucu ürünlerin toplam kütlesi, orijinal atom ve çarpan nötronun kütlesinden biraz daha azdır. Ortaya çıkan kütle farkı, Einstein'ın meşhur E=mc2 formülüyle açıklanan enerjiye dönüşür (Tenmak Web).

Nükleer Reaktörler

Nükleer reaktör teknolojisi, nükleer fisyon enerjisinden yararlanan temel bir teknolojidir. Farklı reaktör tipleri olmakla birlikte, yakıt, yavaşlatıcı, soğutucu, kontrol çubukları gibi bileşenler, reaktörü oluşturmaktadır (Tenmak Web).

Yavaşlatıcı Kısım

Fisyon sonucunda ortaya çıkan hızlı nötronlar, sonraki fisyon reaksiyonlarında verimliliği artırmak için termal enerji seviyesine yavaşlatılmalıdır. Bu amaçla, nötronları yavaşlatmak için hafif bir moderatör gereklidir. Genellikle, nötronların yavaşlatılması için normal su kullanılmaktadır. Alternatif olarak, grafit gibi bir karbon formu veya ağır su tercih edilebilir (Tenmak Web).

Gaz soğutmalı reaktörler

Gaz soğutmalı reaktör (GCR, Gas Cooled Reactor), ticari kullanım açısından yalnızca İngiltere tarafından benimsenmiştir. Bu reaktörler, Magnox (yakıt elemanlarını kaplamak için magnezyum alaşımı kullanılmasından dolayı bu ismi almıştır) ve geliştirilmiş gaz soğutmalı reaktörler (Advanced Gas Reactor, AGR) olmak üzere iki ana tipe ayrılır. Her iki tip reaktörde de soğutucu olarak karbondioksit, yavaşlatıcı olarak da grafit kullanılmaktadır.

MAGNOX tipi reaktör, doğal uranyum kullanırken, AGR'ler zenginleştirilmiş uranyumu tercih eder. Bu reaktörler, CANDU reaktörleri gibi, yakıt değişimini reaktör çalışırken yapabilen bir formda tasarlanmıştır (Tenmak Web).

RBMK tipi reaktörler

Rusya Federasyonu’nda ve Litvanya'da faaliyette olan RBMK tipi reaktörler, 'büyük güçlü kaynama reaktörü' anlamına gelen bir Rusça terimidir. Bu reaktörlerde soğutucu normal su, yavaşlatıcı için ise grafit kullanılır.

RBMK, eski bir tasarım olup sayıca fazla üretilmiştir. Bazıları, gerekli güvenlik özelliklerine sahip olmaksızın hala işletilmektedir. Chernobyl nükleer santrali kazası(1986), RBMK tipi bir reaktörde gerçekleşmiştir (Tenmak Web).

Çakıl Yataklı Modüler Reaktör (Pebble Bed Modular Reactor, PBMR)

ESKOM ve Integrators of Systems Technology (IST), Güney Afrika'da çakıl yatak teknolojisine dayalı yüksek sıcaklık reaktörü geliştirme üzerinde çalışmaktadır. Bu PBMR (Pebble Bed Modular Reactor: Modüler Çakıl Yataklı Reaktör), geleneksel reaktörlerin iç kısmını tamamen eritecek kaza durumlarında dahi radyoaktif sızıntı oluşturmayacak şekilde tasarlanmış yüksek sıcaklığa dayanıklı seramikler ve grafit yakıt elemanları içermektedir. Bu sebeple yüksek maliyetli güvenlik sistemlerine de ihtiyaç duyulmamasını sağlamaktadır (Tenmak Web). Bu tip reaktörün temel özellikleri aşağıdadır:

- Grafit bazlı yavaşlatıcı
- Helyum soğutucu
- Seramik grafit ile yapılmış reaktör kabı
- Grafit ve TRISO parçacıklarından yapılmış küresel yakıt elemanları
- Doğrudan çevrim
- Modüler tasarım

Modüler Gaz Türbinli Yüksek Sıcaklık Reaktörü (Gas Turbine Modular High Temperature Reactor, GT-MHR)

Rusya'dan Minatom, Japonya'dan Fuji Electric, ABD'den General Atomics, Fransa'dan Framatome firmaları, Gaz Türbinli Modüler Helyum Reaktörü (GT-MHR) adı verilen bir reaktör türünün geliştirilmesi için birlikte çalışmaktadır. 600 MWt ve 285 MWe gücünde olacak olan bu reaktörün yaklaşık % 50 verimlilikle çalışması amaçlanmaktadır. Bu reaktör prizmatik yakıt kullanmaktadır. Öncelikle Rusya'da bulunan saf plütonyumun bertarafı için tasarlanmıştır. Uzun vadede uranyum bazlı bir tasarım dünya pazarı için düşünülmektedir (Tenmak Web). Bu tip reaktörün özellikleri aşağıdadır:

- Helyum soğutucu
- Grafit bazlı yavaşlatıcı
- Seramik grafit ile yüksek sıcaklıklara dayanıklı reaktör kabı

- TRISO ve grafitten imal edilen prizmatik yakıt elemanı
- Doğrudan çevrim
- Modüler tasarım

Gelecekte nükleer enerjinin durumu

Nükleer enerjinin geleceği, enerji talebindeki yükseliş, ekonomik rekabet, çevresel hassasiyetler ve kamuoyu algısı gibi faktörlerin birbirleriyle ilişkisine bağlı olacaktır. Bu faktörlerin çözümlenmesi ve teknolojik gelişmeler, hidrojen üretimi, deniz suyundan tatlı su üretimi, tıbbi amaçlı geniş kapsamlı radyoizotop üretimi gibi yeni ve çeşitli nükleer enerji uygulamalarını mümkün kılabilir.

Nükleer enerjinin geleceği tahmin edilmesi zor bir konu. Bu etmenler, sadece ekonomik faktörlerden kaynaklanan ve mevcut eğilimleri değiştirmeyen bir durumda, yüksek yatırım ve düşük üretim maliyeti özellikleri nedeniyle mevcut santrallerin devam etmesi ve yeni santrallerin kurulmaması gibi bir sonuca yol açabilir.

Ancak, nükleer enerjinin sera gazı emisyonlarını azaltmadaki etkisi, çevresel duyarlılık, yakıt temini güvenliği, nükleer silahların yayılması, yeni nükleer santrallerin diğer enerji kaynaklarıyla rekabet edebilirliği gibi faktörler belirleyici olabilir. Ayrıca, enerji talebindeki artış ve diğer faktörler, yeni santrallerin kurulmasına olanak sağlayabilir (Tenmak; IAEA, 2016).

2.3.1.2. Türkiye Grafitleri ve lityum iyon piller, lityum iyon pillerin geleceği

Lityum İyon Pil

Lityum iyon pil, Amerikan Merkezi İstihbarat Teşkilatı (CIA)'nın iddiasına göre; amerikan istihbarat servisinin bir dairesi tarafından üretilmiştir. CIA tarafından 1960’lı yıllarda pillerin güvenilirliğinin değişmesi ve ömrünün kısa olması gibi sorunları çözmek için CIA tarafından geliştirilen lityum-iyot pil, gözetleme ekipmanlarının performansını artırmış ve keşif uydularının operasyonlarını uzatmıştır. Yine CIA iddiasına göre 1970’li yıllarda bu teknolojinin gizliliği kaldırılmış ve öncelikle tıp araştırmacılarıyla paylaşılmıştır (CIA, 2016a; CIA, 2016b).

Lityumun enerji kullanımındaki faydaları 1970 yılında fark edilmiştir. Exxon, 1972'de TiS2 yapısında ilk kez katot üreterek lityum pilinin temellerini atmıştır. Bu keşiften sonra, Sony 1991'de bu fikri geliştirerek ticari Lityum İyon pillerini piyasaya sürmüştür. Ardından, pil teknolojisindeki yarış hızla artmıştır; özellikle şarj-deşarj döngü ömürleri, hacimsel enerji yoğunlukları, spesifik enerji kapasiteleri, güvenlik ve yüksek sıcaklıklarda kararlı yapılar üzerinde geliştirme çalışmaları ivme kazanmıştır (Yoshio vd., 2009).

Lityum iyon piller kimi çevrelerce geleceğin teknolojisi olarak tanımlanmaktadır. Faydalı özelliklerini geliştirmek, dezavantajlı taraflarını gidermek için çok geniş ölçekte farklı çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Ancak lityum iyon pillerin zorlayıcı dezavantajları da bulunmaktadır. Grafit, lityum iyon piller için kritik hammaddelerden birisidir. Ancak grafit farklı bir çok pil çeşidinde kullanılabilmekle birlikte, grafene dönüşerek bu pil türüne rakip dahi olabilir.

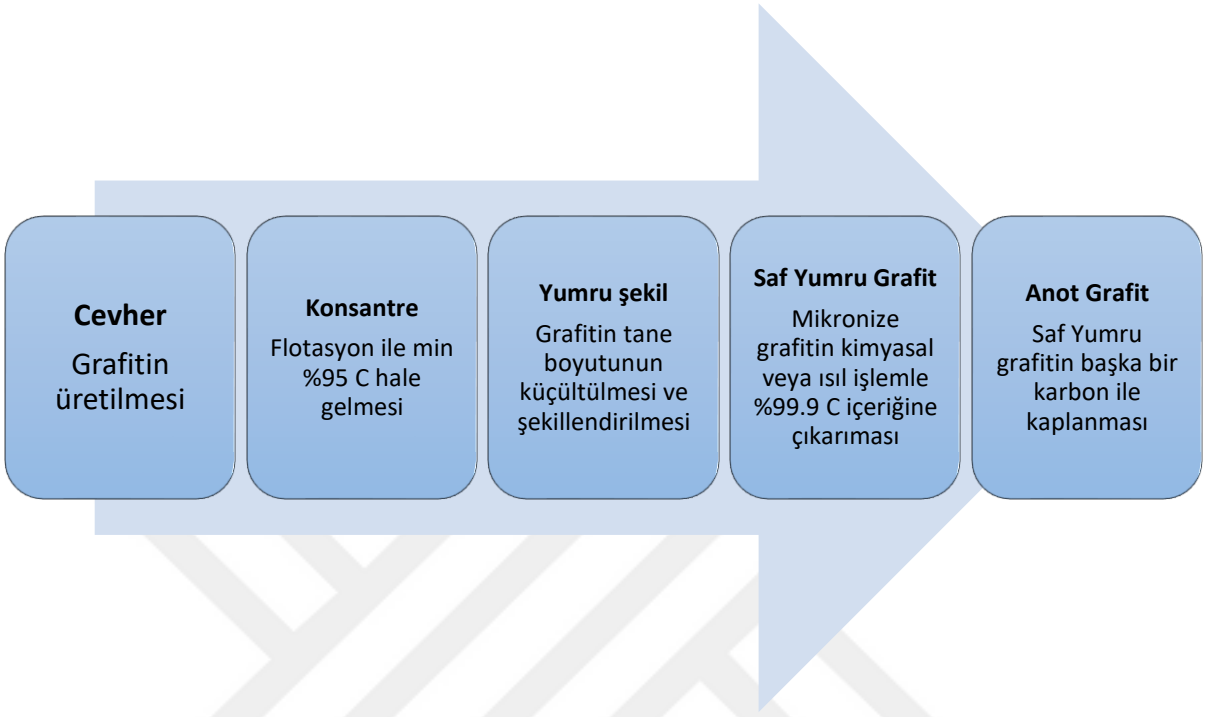
Türkiye Grafitleri

Pul ve damar tipi grafitler, doğal grafitler arasında yüksek grafitleşme derecesine ve elektriksel özelliklere sahip olan, iyi bir kristal yapıya sahip olanlardır. Lityum pillere sağladığı temel özellikler arasında, grafitleşme derecesi ve sağlam kristal yapının, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği oluşturması yer almaktadır. Grafitin grafitleşme durumu, Rmax değerleri ve H/C oranlarının X ışınları ve reflektans ölçen fotomultiplierli mikroskoplar ile belirlenmektedir. Rmax değeri yüksek olan ve düşük H/C oranına sahip olan karbonlar, grafitleşme derecesinin ve dolayısıyla iyi kristal yapıya sahip grafit cevherleri olarak kabul edilebilirler (Uysal, 2021).

Günümüzde, anotlar için kullanılan bir bileşim sentetik grafit, doğal grafit ve % 5'e kadar silikon karışımıdır. Bu karışımda aranan özellikler, grafitin yüksek derecede grafitleşmesi ve yüksek iletkenlik göstermesidir. Lityum pillerde grafitin anot olarak kullanılması için, grafitleşme derecesini ifade eden Rmax değeri gibi teknik verilerin incelenmesi gerekmektedir (Uysal, 2021).

Doğal grafit cevheri, anot grafit elde etmek için en az dört farklı işlemden geçer. Bu süreçler genellikle flotasyon kullanılarak grafit içeriği zengin bir konsantre haline getirilmesini içerir. Daha sonra, bu konsantre jet-mill gibi değirmenlerle boyutunun küçültülmesi ve olabildiğince yuvarlak bir şekil alması için işlenir. Mikronize yuvarlak grafitler daha sonra çeşitli kimyasal

veya ısıl işlemlerle yüksek saflığa erişmek için işlemden geçirilir ve son aşamada karbon kaplama işlemine tabi tutulur.



Şekil 8. Cevher aşamasından bataryada anot aşamasına dönüşürken grafitin süreçlerini gösteren şekil (Uysal, 2021).

Lityum piller için istenen grafitin özelliklerine dair bazı yanlış bilgiler bulunmaktadır. Lityum piller için grafitin iri pul tanelerine ihtiyaç olunduğu söylenmektedir. Ancak grafitin pil anotuna dönüşme sürecinde küçük tane boyutlarına öğütüldüğü bilinmektedir. Bu durumda tane boyutu lityum piller için bir parametre olmamalıdır. Bu durumda tane boyutu küçük de olsa, iyi grafitleşme derecesi gösteren grafitler lityum iyon pillerde kullanılabilir.

Ülkemizdeki hemen hemen tüm grafitler, amorf sınıfına girmektedir. Balıkesir Susurluk, İnebolu, Adıyaman ve Yozgatta bulunan grafit yatakları oluşum açısından en iyi grafitleşme değerlerine sahip oldukları düşünülmektedir ve karbon içeriği yüksek grafitler içermektedir. Diğer yataklarda ise; semigrafit veya meta-antrasit özelliklerle geçiş göstermekte olduklarından çok verimli oldukları söylenememektedir. Kastamonu'daki yataklarda Rmax değerleri % 9-11 arası değişen grafitlerin varlığına dair araştırmalar mevcuttur. Bu gibi nötr bulgular, ülkemizdeki grafitlerin pillerde kullanılamayacağına dair bilgilere ters düşmektedir.

Uymaz (2021) çalışmasına göre, Türkiye'nin yerli otomobilinde yerli grafitlerin kullanımı büyük bir tasarruf sağlayabilecektir. Tahmini olarak, 2025 yılı için verilen 175.000 adet araç üretiminde kullanılacak lityum iyon bataryalar için toplamda yaklaşık 114 milyon dolar maliyetli grafit kullanılacaktır. Türkiye'nin belki kısa vadede grafitleri hızlı ve verimli kullanması mümkün olmayabilir. Ancak 2035 hedefi olan 1 milyon adet araç için harcanması gereken grafit maliyeti 651 milyon dolar olarak gözükmektedir. Bu durumda yerli grafitin kullanılması önemli bir avantaj olabilecektir (Uysal, 2021).

2.3.1.3. Grafit'in savunma sanayiinde kullanımı

Hammadde kullanımı her sektör ve sanayide olduğu gibi savunma sanayinde de çok önemlidir ve buna uygun olarak bazı hammaddelerin üretilen malzemelerin dayanaklılığı ve kullanışlı olması sebebiyle önemi günden güne artmaktadır. Bunun sebebi hammaddelerin de tükenmesi veya bu hammaddelere ulaşımda güvenlik riskleridir. Örnek vermek gerekirse Dünyadaki bir çok ülke savunma sanayinde doğal grafit gibi önemli bir kritik hammaddeden faydalanırken bu hammaddenin üretiminin çoğu Çin tarafından gerçekleştirilmektedir. Çeşitli gerilim durumlarında bu hammaddelerden yoksun bir savunma sanayisinin şekillenmesi uzunca zamanlar alacağı için, kritik hammaddeden yoksun ülkeler bu hammaddelere sahip olan ülkelerden savunma ve askeri açıdan geri kalacaklardır bu da dünyadaki güç dengesini dolayısıyla stratejik konumları etkileyebilir. Doğal grafit, kritik hammaddelerden yalnızca bir tanesidir. Onlarca kritik hammadde bulunmaktadır. Ancak savunma sanayisinde kritik hammadde yoksunluğu bazen bir kritik madde yoksunluğuna göre bile şekillenebilmektedir. Bu doğrultuda geleceğe hazırlık yapmak açısından bir çok ülkede bazı hammaddelerin kritiklik düzeyi askeri düzeyde değerlendirilmektedir. Grafit'in savunma sanayisinde kullanım alanları çok geniştir.

Avrupa Birliği'nin "2020 yılı kritik hammaddeler" listesine ve "Avrupa savunma endüstrisindeki hammaddeler" raporuna göre savunma sanayii için kritik olan çok sayıda hammadde bulunmaktadır. Grafit bu listenin en önemli öğelerinden birisidir. Savunma uygulamalarındaki hammaddelerin arz güvenliği riskleri, ülkelerin stratejik güvenliği açısından büyük öneme sahiptir. Savunma uygulamaları hava, deniz ve kara olmak üzere üç alanda incelenebilir (Girardi vd., 2023, Hauge centre for Strategic Studies).

Havacılıkta grafit kullanımı

Havacılık alanı, birçok malzemeyi kullanan, jeopolitik ve tedarik güvenliği risklerine en çok maruz kalan alandır. Bu alanda en çok kullanılan malzemeler alüminyum, doğal grafit, bakır ve titanyumdur. Bu malzemelerin havacılıkta çeşitli kullanım şekilleri vardır. Uçaklarda (avcı, nakliye, deniz devriyesi ve insansız uçaklarda) ve helikopterlerde (savaş ve çok amaçlı helikopterlerde), alüminyum, doğal grafit ve titanyum gövde, kanat, kuyruk üretiminde kullanılırlar. Ayrıca yanma odası, nozül , tahrik mili ve pervaneler gibi tahrik sistemi bileşenlerinin üretiminde, ayrıca iniş takımlarında, konektörlerde ve elektronik sistemlerde de kullanılırlar (Pavel ve Tzimas, 2016).

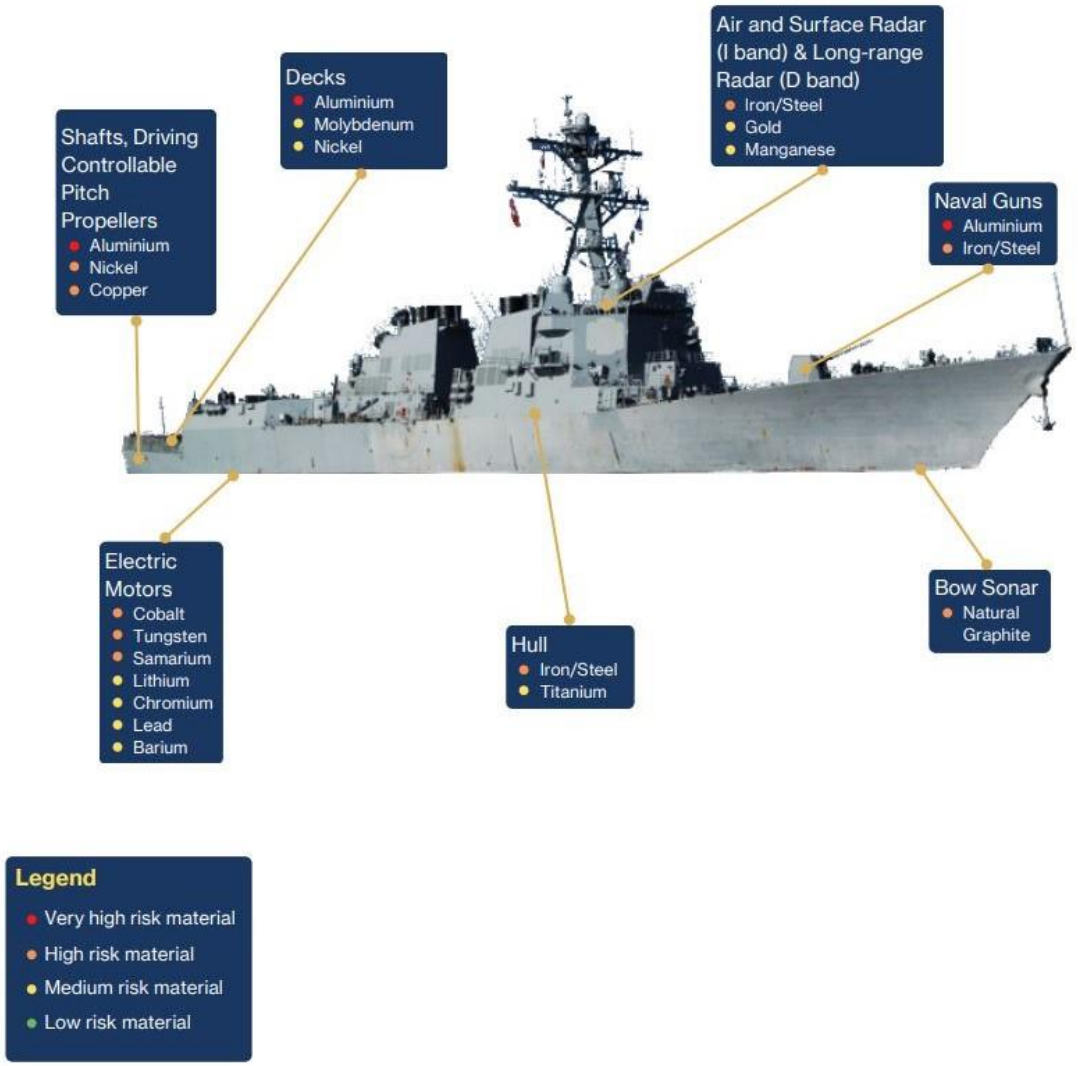


Şekil 9. Savaş uçağında doğal grafit ve diğer kullanılan hammaddelerin kullanıldığı parçaları ve hammaddelerin risk, kritiklik düzeyini gösteren grafik çalışması (Girardi vd., 2023).

Denizcilikte grafit kullanımı

Denizcilik alanı diğer sektörlere göre en az miktarda malzeme kullanan alandır. Denizciliğin savunma uygulamalarında en çok kullanılan malzemeler alüminyum, demir/çelik, doğal grafit, nikel, titanyum, bakır, lityum, gümüş ve kurşundur.

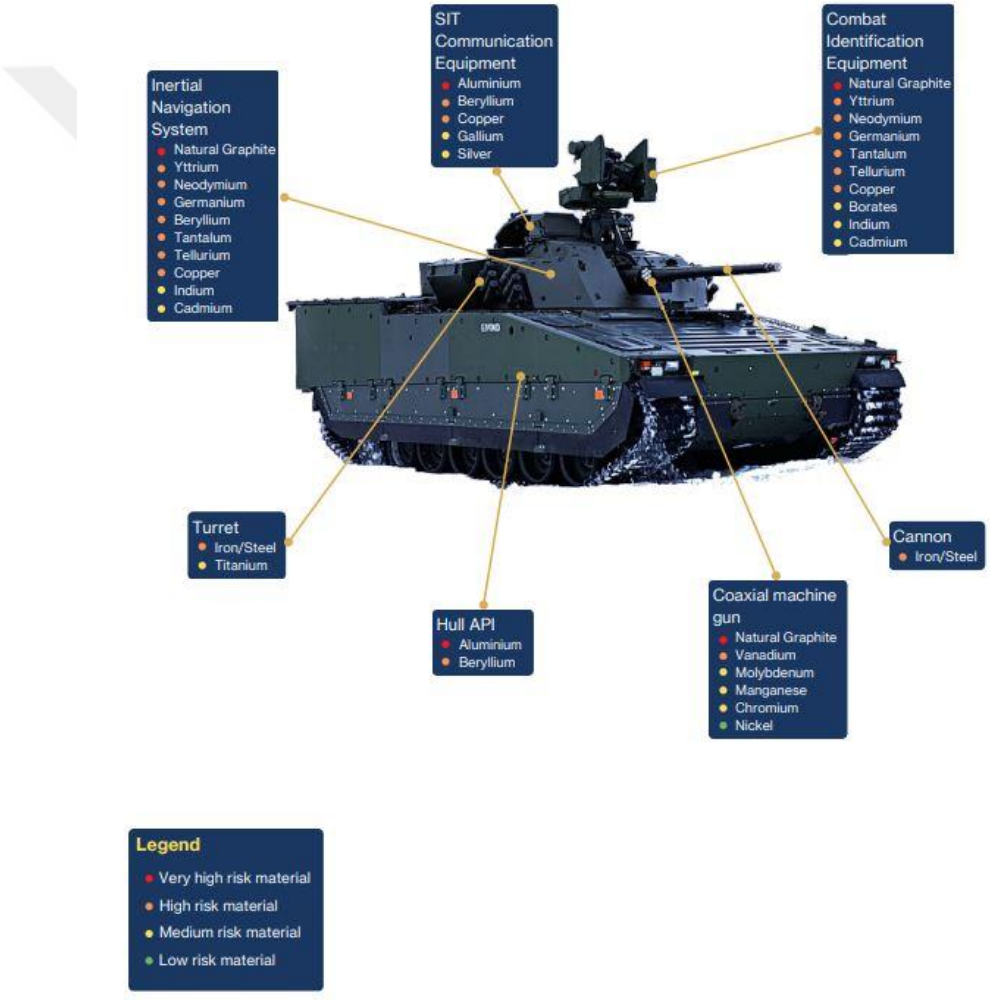
Doğal Grafit, denizaltıların üst yapılarında ve korvetlerdeki pruva sonarı ve taşıyıcılardaki radarlar gibi yerleşik elektroniklerde kullanılır.



Şekil 10. Denizcilikte doğal grafit ve kullanılan diğer hammaddelerin kullanıldığı bölümleri ve hammaddelerin risk, kritiklik düzeyini gösteren fotoğraflı grafik çalışması (Girardi vd., 2023).

Kara alanında grafit kullanımı

Kara alanında çok sayıda farklı hammadde kullanır. Kara alanında, hava alanında olduğu kadar fazla malzeme kullanılmamasına rağmen bu alan, jeopolitik risklere ve tedarik zincirindeki olası aksaklıklara maruz kalmaya devam etmektedir. Karaya ilişkin savunma uygulamalarında en çok kullanılan malzemeler berilyum, doğal grafit, alüminyum, demir ve bakırdır. Tank toplarının, piyade savaş araçlarındaki obüs makineli tüfeklerinin ve mühimmattaki GPS/SAL yönlendirme sistemlerinin yapımında ve bu bileşenlerin yapımında doğal grafit diğer malzemelerle birlikte kullanılır (Pavel ve Tzimas, 2016).



Şekil 11. Kara alanında doğal grafit ve kullanılan diğer hammaddelerin kullanıldığı bölümleri ve hammaddelerin risk, kritiklik düzeyini gösteren fotoğraflı grafik çalışması (Girardi vd., 2023).

2.3.1.4. Grafen ve Grafenin Stratejik Kullanım Alanları

Grafenin üretimindeki artış ve grafenin genişleyen ürün çeşitliliği, grafenin kullanılabileceği sektör sayısını artırmıştır. Grafenin kullanılabileceği 40'tan fazla sektörü belirleyen 10.000 ve üzeri üyeye sahip olan The Graphene Council'un listesinde savunma sanayii yer almamaktadır. Ancak farklı çalışmalara göre grafen savunma sanayinde de kritik bir öneme sahip olabilir (Barkan, 2013).

Grafenin kullanım alanları hızla genişlerken, savunma çevreleri bu ilerlemeleri yakından takip etmekte ve araştırmaları desteklemektedir. Avrupa Savunma Ajansı (EDA), 2017 yılında, "Grafenin Savunma Alanındaki Etkisi" adında bir araştırma başlatmıştır. EDA, bu proje kapsamında 2018 Mayıs ayındaki bir teknik toplantıda grafenin savunma sanayisi ile ilişkide olduğu sekiz farklı alanı belirlemiştir (European Defence Agency, 2018).

- Elektronik malzemeler ve cihazlarda grafen kullanımı
- Optoelektronik malzemeler ve cihazlarda grafen kullanımı
- Enerji Cihazlarında kullanımı
- Esnek sistemlerde grafen kullanımı
- Çok fonksiyonlu malzemelerde grafen kullanımı
- Kamuflaj ve iz yönetiminde
- Filmler ve filtrelerde grafen kullanımı
- Biyomedikal ürünlerde
- Sensörlerde grafen kullanımı

Elektronik

Grafen, elektronik sektöründe bir dizi özelliğiyle dikkat çeken bir malzemedir. Sadece 0.34 nanometre kalınlığındadır. Çelik ve elmas gibi malzemelerden daha yüksek çekme direncine sahiptir. Ayrıca, metrekaresi sadece 0.77 miligram ağırlığındadır. Grafen, esnekliğiyle de öne çıkar; % 20'ye kadar deforme olmadan katlanabilir. Bazı yöntemlerle elektriği % 100

iletebilen bir süper iletken özelliğe sahiptir. Isıyı hızla ve her yöne iletebilme kapasitesi de bulunur. Bu özellikler, elektronik sektöründe cihazların küçültülmesi ve esnekliğinin artırılması konusunda yeni fırsatlar sunmaktadır. Grafen, iletişimi hızlandırırken, ince, hassas ve esnek ekranlar ile daha hızlı veri iletimi için çalışmalar yapan birçok kurum ve kuruluş tarafından araştırılmaktadır. Bu araştırmalar, savunma sanayii şirketleri de dahil olmak üzere çeşitli kesimler tarafından desteklenmektedir (Graphene Info Web, 2018).

Örnek olarak, 2018'in Ağustos ayında Sabancı Üniversitesi ve ASELSAN iş birliğiyle duyurulan, Dünyanın en yüksek çözünürlüklü grafen tabanlı OLED ekranı, önemli bir yenilik olarak duyurulmuştur. Ekranın hassaslığı nedeniyle oksijen ve neme karşı koruma gerektirmektedir. Mobil cihazlardaki OLED ekranlar genellikle esnek olmayan cam tabakalarla korunurken, grafen tabakaları ekranı son derece esnek ve ince yapabilir. Türkiye'de geliştirilen OLED ekranın, savaş uçaklarının gösterge panellerinde kullanılacağı ve bu sayede dışa bağımlılığın azaltılacağı belirtilmektedir (GazeteSU, 2018).

Fotonik ve Optoelektronik

Saf grafen, elektro-optik alanda çığır açan yeni yetenekler sunarak optik özelliklerde büyük yenilikler getirmektedir. Siyah karbon atomlarından oluşan bu materyal son derece ince olmasına rağmen çıplak gözle görülebilecek bir yapısı vardır ve beyaz ışığın sadece yaklaşık yüzde 2,3'ünü absorbe etmektedir. Bu özelliği sayesinde grafen, hem şeffaf hem de iletken bir materyal olma özelliğine sahiptir. Grafen, benzersiz bağ yapısı nedeniyle elektromanyetik radyasyonla etkileşebilen bir malzemedir. Özellikle kızılötesi veya terahertz aralıklarında ışık algılama konusunda yarı iletken materyallere göre daha kullanışlıdır. Bu özellikler, grafeni optik, optoelektronik, fotonik, elektro-optik ve güneş enerjisi alanlarında önemli bir malzeme haline getirmektedir.

Savunma sektörü, grafenin optik özelliklerinden faydalanma amacıyla harekete geçti. ABD'nin İleri Savunma Araştırma Projeleri Ajansı (DARPA), 2016 yılında kızılötesi kameraları ve gece görüş gözlüklerini daha küçük, daha hafif ve daha yüksek çözünürlüklü hale getirmeyi hedefleyen Florida Üniversitesi'nin "Grafen Kızılötesi Dedektör" projesine 1,3 milyon dolar bağışlamıştır.

Saf grafenin diğer tüm özelliklerinin yanı sıra ışık yönetimi, algılama ve kontrol yetenekleri, iletişim sistemleri açısından da dikkat çekicidir. Dijital iletişim sistemlerinin yarı iletken malzemelerle sınırlarına ulaştığı günümüzde, daha fazla bant genişliği, düşük enerji tüketimi

ve yüksek erişim gibi talepler için yeni teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Grafen, iletişim teknolojisinde kullanılan önemli bir "mucize malzeme" olarak kabul edilmektedir.

Grafen, fotonik ve optoelektronik uygulamalarında yoğun araştırmalar ve ürün geliştirme çalışmalarına konu olmuştur. Özellikle 2020'de dünya çapında kullanılmaya başlanacak olan 5G mobil iletişim teknolojisi, savunma sektörü de dahil olmak üzere geniş bir ilgiyle izlenmektedir. Ancak, yüksek maliyet, enerji tüketimi ve erişim kısıtlılığı gibi sorunlarla karşı karşıyadır. Grafenle üretilen son derece hızlı optoelektronik cihazların, 5G iletişiminde daha yüksek performans sağlaması beklenmektedir (Kavitha vd., 2016; Nano Werk, 2016; Stm ThinkTech, 2018; Stm ThinkTech 2019; Graphene Info, 2019).

Enerji

Grafen, kimyasal özellikleriyle inovasyona büyük katkı sağlar. Saf grafen, genellikle diğer atomlarla reaksiyona girmez ancak diğer atomları absorbe edebilir ve bu özelliği, elektronik özelliklerinde değişikliklere yol açabilir. Grafen, oksijenle reaksiyona girerek grafen oksit, flor ile de flüorür oksit elde etmek gibi farklı atomlarla işlevlendirilebilir (Graphene One, 2018).

Grafenin bu kimyasal ve fiziksel stabilitesi, enerji sektöründe büyük potansiyel taşır. Özellikle, güneş pilleri, bataryalar ve süperkapasitörler gibi enerji depolama sistemlerinde grafen, performansı artırıcı bir rol oynayabilir. Süperkapasitörler, taşınabilir elektronik cihazlar ve elektrikli araçlarda kullanılan lityum-iyon pillerine ekonomik bir alternatif olabilir. Ayrıca, grafen, lityum-iyon pillerin ömrünü uzatma, enerji kapasitesini artırma ve şarj sürelerini kısaltma potansiyeline sahiptir (Lloyd, 2018; Graphene Flagship, 2018).

Daha uzun ömürlü, küçük ve esnek piller, savunma sektöründe de ilgi çekiyor. Modern ordular, enerji depolama kapasitelerini artırmak için kablosuz iletişim, bilgi aktarımı ve silah sistemleri gibi alanlarda gelişime ihtiyaç duyuyor. Örneğin, ABD merkezli savunma şirketi Lockheed Martin, sürücüsüz kara araç konvoylarının batarya ömürlerini uzatmak için Kanadalı grafen firması Elcora ile grafen katkılı lityum-iyon pillerini geliştirme konusunda iş birliği yapmaktadır (Reyes, 2018).

Kaplama ve Kompozitler

Grafen, genellikle kendine en yaygın şekilde kaplama ve kompozit alanında yer bulmuştur. Otomotivden kişisel bakım ürünlerine kadar birçok endüstride grafen içeren kaplamalar ve kompozitler yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle uzay ve havacılık sektörleri ile inşaat ve metal eşya sektörü de grafen uygulamalarına ilgi göstermektedir. Araştırmalar, grafen kompozit pazarının 2018'de 50 milyon dolar büyüklüğünde olduğunu göstermiştir ve bu pazarın 2028'e gelindiğinde 800 milyon dolara ulaşabileceği öngörülmektedir (Pr Newswire - web, 2019).

Grafenin yapışma özelliği, anti-bakteriyel kaplamalar, izolasyon sağlayan boyalar, pas önleyici kaplamalar ve morötesi ışınları engelleyen ürünler gibi çeşitli kullanım alanlarına olanak tanır. Grafen kaplamaları, mikrobiyal kaynaklı korozyona karşı polimer kaplamalardan daha fazla koruma sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca, hidrofobik özellikteki grafen kaplamalar, gemi gövdeleri, yapılar, cam yüzeyler ve tekstil gibi alanlarda etkili bir şekilde kullanılmaktadır.

Grafen kaplamalar aynı zamanda kimyasal, nem, korozyon, UV ve yangına karşı dirençli koruyucu kaplamalar olarak da işlev görebilir. Mekanik, termal ve elektriksel özellikleri sayesinde grafen, hafif, dayanıklı ve uzun ömürlü kompozit malzemelerin üretiminde ilgi çekmektedir (Ağralı, 2018).

Askeri alanda, grafen kaplamaların balistik direnç özelliği dikkat çekmektedir. Araştırmalar, grafenin, mermilerin kinetik enerjisini absorbe edebilecek kapasitede olduğunu göstermiştir (Boyle, 2014). Bu özellik, grafenin hafif ve ince bir zırh veya kurşun geçirmez yelek gibi koruma ekipmanlarında kullanılma potansiyelini göstermektedir. Ayrıca, Çin'in sahip olduğu Z-10 saldırı helikopterlerinin zırhında grafen kullanıldığına dair iddialar bulunmaktadır (Sputnik News, 2018).

Çinli bilim insanları, Güney Çin Denizi'ndeki deniz üslerinde bulunan savaş platformlarını, elektronik ekipmanları ve silahları korozyondan korumak için grafen kaplama malzemeleri üzerinde çalışmaktadır (Chen, 2019).

Havacılık alanında, grafen kaplamaların ve kompozitlerin ilgi gördüğü ve savunma sektörünün bu gelişmelere katıldığı gözlemlenmektedir. Grafen kaplamaları, hava araçlarını atmosfer koşullarından korurken, grafen kompozitlerinin ise uçağın ağırlığını azaltarak yakıt

tüketimini düşürdüğü bilinmektedir. Örneğin, Manchester Üniversitesi'ndeki bilim insanları tarafından yapılan bir proje, grafen kaplı bir insansız hava aracının yüksek irtifalarda uçabileceğini, yakıt tüketiminin düşük seviyelere inebileceğini ve atmosfer olaylarına karşı korunabileceğini göstermiştir. (Qureshi, 2016). Benzer bir örnek olarak; İngiltere'de bulunan Central Lancashire Üniversitesinin uzmanları tarafından geliştirilmiş "Juno" adlı insansız hava aracı, grafen kaplama ve grafen bazlı piller içermektedir. Bu teknoloji, 2018'de kamuoyuna tanıtılmıştır (The Engineer - web, 2018).

2.3.1.5. Grafit sayesinde yeni bir fırsat: Grafen Piller

Yaşadığımız teknolojik dünyada cep telefonları ve diğer elektronik aletler günlük yaşantımızın en önemli itici güçleri haline gelmiş durumdadır. Teknoloji camiasında sıklıkla yeni inovatif girişimler ve gelişmeler görüyoruz. Ancak pillere gelince, neredeyse 30 yıldır lityum iyon piller kullanıyoruz ve bu pillerin pek çok dezavantajı da var. Belki de yeni bir teknoloji olan grafen piller, lityum iyon pillere en iyi alternatif olabilir.

Lityum-iyon piller ilk kez 1991 yılında ticarileştirilmiş ve mobil cihazlar ve elektrikli araçlara yönelik pazarlarda geniş çapta yer almıştır. Ancak standart lityum pillerin, hızlı şarj teknolojisiyle bile tamamen şarj olması için yaklaşık 1 saatlik şarj süreleri gerekmektedir. Günümüzün dünyasında zamanın her şeyden önemli olduğunu bilerek bunun öncelikli bir dezavantaj olduğu söylenebilir. Lityum pillerin, kapasite genişletme ve geliştirme limitlerinin de artık sonuna ulaşıldığını da düşünürsek, yeni inovatif malzemelerin kullanımını keşfetmeye yönelik çok sayıda girişimin neden denemeye alındığını anlayabiliriz. İncelenen materyaller arasında grafen, yeni nesil materyalin temsilcisi olarak geniş çapta birincil ilgi kaynağı haline gelebilir.

Yakın zamanda, Samsung İleri Teknoloji Enstitüsü'ndeki (SAIT) bir araştırma ekibi, kapasitede % 45 artış sağlayan ve standart lityum iyon pillere göre beş kat daha hızlı şarj hızı sağlayan benzersiz bir pil malzemesi olan "grafen* topu" geliştirdi. Bu atılım, özellikle mobil cihazlar ve elektrikli araçlarla ilgili olarak yeni nesil ikincil pil pazarı için umut vaat ediyor. SAIT, araştırmasında Samsung SDI'nın yanı sıra Seul Ulusal Üniversitesi Kimya ve Biyoloji Mühendisliği Okulu'ndan bir ekiple yakın iş birliği yapmıştır. Teorik olarak “grafen topu” malzemesini temel alan bir pilin tamamen şarj olması yalnızca 12 dakika sürmektedir. Ek olarak pil, 60 santigrat derecelik oldukça istikrarlı bir sıcaklığı koruyabilir; istikrarlı pil sıcaklıkları özellikle elektrikli araçlar için çok önemlidir.

Grafen piller hafif, dayanıklı ve yüksek kapasiteli enerji depolamaya uygun olabileceği gibi şarj sürelerini de önemli miktar kısaltabilir. Grafen, pillerin enerji yoğunluğu ve şekil gibi özelliklerini çeşitli şekillerde geliştirebilir.

Grafen pillerin ne boyutta avantajları olacağı şu şekilde anlaşılabilir. Üç bin mah kapasiteli li-ion pili şarj etmek 1 saat sürerken, aynı kapasitedeki grafen pili şarj etmek 12 dakika sürer. Grafen piller 65-75 santigrat dereceye kadar sıcaklığa dayanabilirken ancak lityum iyon piller 50 santigrat dereceye kadar sıcaklığa dayanır. Grafen kutusu, otomotiv endüstrilerinde otomobil gövde parçaları yapımında kullanıldığında, karbon elyafla birlikte kullanıldığında mukavemetin arttırılmasına yardımcı olabilir. Grafen piller, elektrikli otomobil üretiminde ana faktör olan sabit sıcaklık stabilite faktörüne de sahiptir. Bu sebepten ötürü grafen piller geleceğin teknolojisinin ana faktörü olma potansiyeline sahiptir (Girish vd., 2019).

Nitekim 2010'ların başından beri Nasa gibi bilim kuruluşları grafen bataryalar üzerinde çalışmalar yapmaya başlamışlardır. Nasa'nın Eylül 2014'deki "Grafen tabanlı pil ve enerji depolama cihazları" adlı konferans çalışmasında; Grafenin ultrakapasitörlerde, enerji depolamada, güneş pillerinde, esnek ve hafif devrelerde, dokunmatik ekranlarda ve kimyasal sensörlerde potansiyel kullanım alanlarının olduğu ayrıca çevre dostu ve yerinde baskıya uyarlanabilir bir yapısının olduğu ifade edilmiştir (Mackey vd., 2014).

Ayrıca bu konuya örnek olarak: 2018 yılında İngiltere'de Lancashire Üniversitesinden uzay mühendisleri ve Manchester Üniversitesinin Ulusal Grafen Enstitüsü birliğinde grafen kaplamalı ve grafen bataryalı mini insansız uçak üretilebilmiştir (The Engineer - web, 2018).

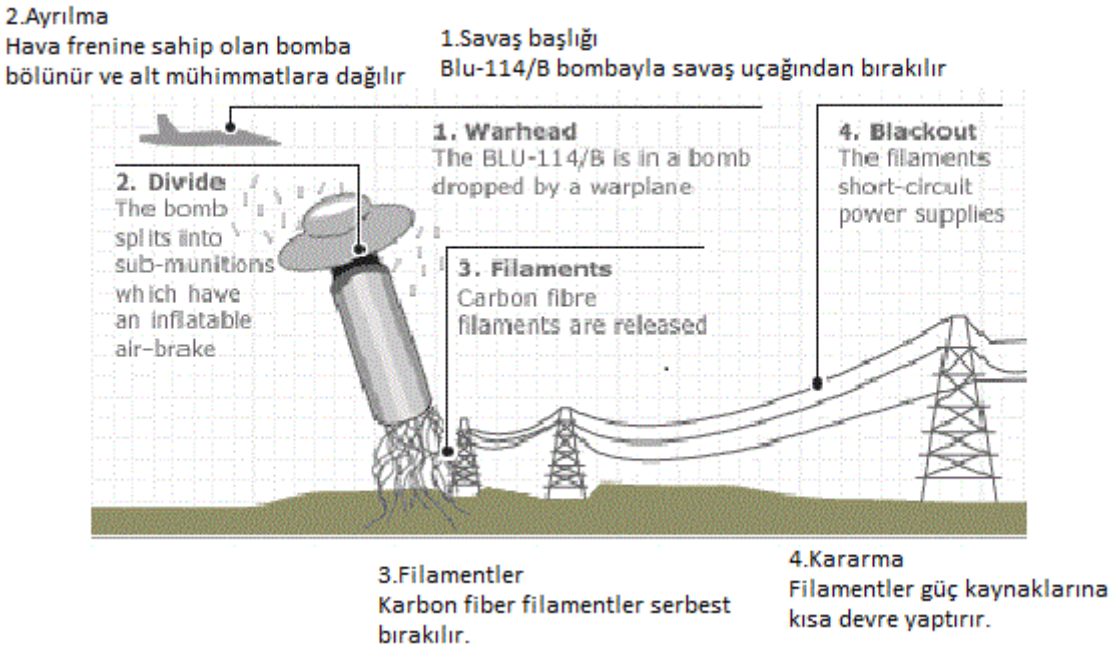
2.3.1.6. Grafit Bombası

Yüksek güçlü elektromanyetik darbe (Electromagnetic Pulse - EMP) üretme teknikleri ve yüksek güçlü mikrodalga (HPM) teknolojileri, yeni uygulamalarla teknik olarak uygulanabilir hale gelmiştir. Grafit bombası, düşmanın güç kaynağı sistemlerini kapatmak için stratejik şekilde kullanılan ve direkt etkileriyle öldürücü olmayan ancak dolaylı etkileriyle kullanan taraflara büyük avantaj sağlayan bir silah türüdür. Grafit bombasının çalışma mekanizması nispeten basittir. Elektrik bileşenlerinin bulunduğu bir noktada kullanılan grafit bombası, kimyasal olarak işlenmiş hava/karbon filament bulutlarının son derece ince süspansiyon haline gelerek yayılmasını sağlar ve elektrik tedarik altyapısında (özellikle güç kaynağında) kısa devrelere ve elektriksel deşarjlara sebep olarak elektrik ve güç sistemlerini devre dışı

bırakarak bu güç sistemlerinin bağlı olduğu, kullanıldığı bölgeyi karartır veya elektriksiz bırakır.

Grafit bombalarının içinde kullanılan karbon filamentler çok küçüktür ve uzun süre kalıcı olan yoğun bulutların oluşmasına neden olabilir. Örnek olarak ABD Hava Kuvvetleri, 22 Mart 2003 tarihinde Nasıriye'de Trafo İstasyonunda grafit bombası kullanmıştır ve bu saldırı kentte 30 gün boyunca elektrik kesintisine neden olmuştur (Eduard ve Roman, 2016).

Bunun dışında NATO, 1999 yılında Sırbistan'da bu bombayı kullanmış ve ülke karanlığa gömülmüştür. (Hürriyet Haber - 1999).



Şekil 12. Grafit bombası kullanımını tasvir eden grafik çizim (BBC, 2010).

Grafit bombası olarak, ABD Ordusu, elektrik altyapısını hedef alan BLU-114/B alt mühimmatlarını kullanan Blackout Bomb CBU-94 silah sistemini kullanmaktadır. Bu alt mühimmatlar, kimyasal olarak işlenmiş karbon filamentler içermekte ve elektrik sistemlerine ciddi zarar verebilmektedir. Karbon filamentlerinin atmosfere dağılmasıyla, güç transformatörleri ve yüksek gerilimli ekipmanlarla temas ederek kısa devrelere ve hatta yangınlara sebep olabilir. Özel teknik detaylar gizli tutulmaktadır ve Pentagon bilgi paylaşımını reddetmiştir. Grafen gibi elektriği mükemmel ileten bir malzeme muhtemelen bu

etkiyi artırmak için kullanılmaktadır. Bu silahın maliyetinin yüksek olabileceği düşünülmektedir (Eduard ve Roman, 2016).

Grafit bombası konusuyla ilgili olarak çeşitli çalışmalar yapılmış, nasıl engel olunabileceği konusunda da araştırmalar sürmektedir. Son dönemlerde gündeme gelen Elektromanyetik dalga silahları, bölgesel veya küresel kararma (blackout) ve karartma konularıyla yakından ilgili olan grafit bombası teknolojisi dikkatle incelenmesi gereken bir saldırı silahıdır. Konuyla ilgili Fang vd. 2010 yılında grafit bombasının çalışma mekanizmasını araştırmış ve bu saldırı silahına karşı nasıl bir korunma yapılabileceği üzerine bir makale yayınlamışlardır. Bunun dışında 2017 yılında Ghaffarpour vd., grafit bombası saldırılarından korunmak için özel bir şemanın tanıtımını gerçekleştirmişlerdir (Fang vd., 2010; Ghaffarpour vd., 2017).

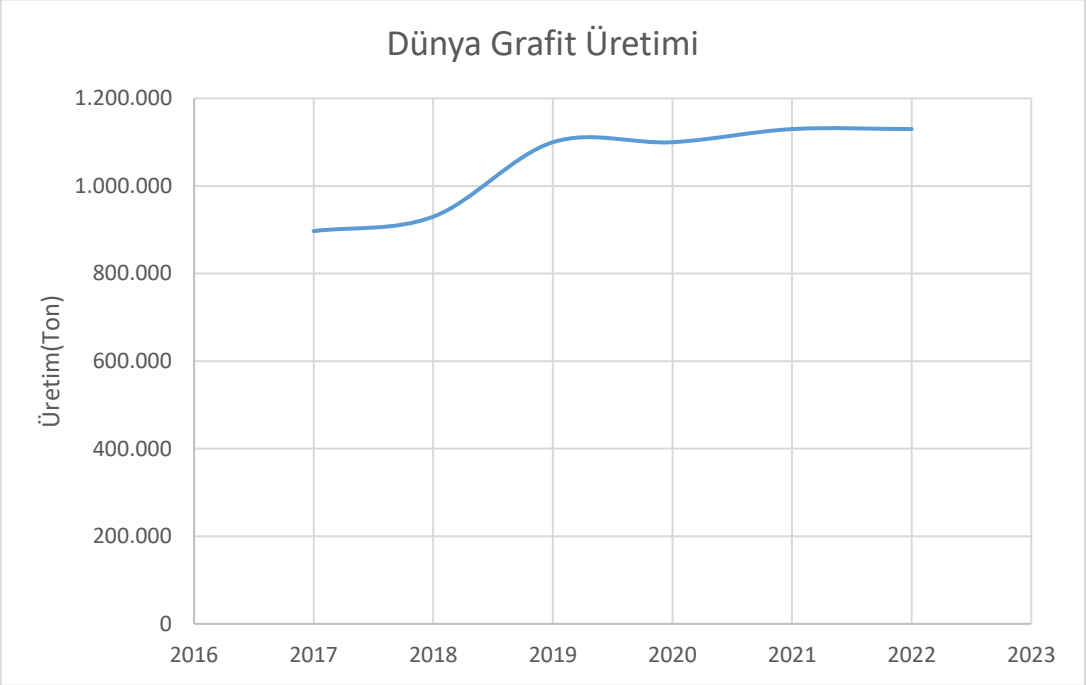
2.3.2. Grafitin ekonomik durumu, üretimi ve ihracatı

Grafit, son derece önemli bir mineraldir dolayısıyla grafit yatakları da önem kazanmaktadır. Grafit yatağının, içinde bulunduğu şartlar, grafit yatağının verimliliğini oldukça etkilemektedir. Bu şartlar arasında cevherin kalitesi, yatağın boyutu, madencilik nitelikleri ve konumu, ürünün taşınma maliyetleri gibi faktörler bulunmaktadır. Ekonomik potansiyeli doğrudan etkileyen safsızlıklar da vardır; örneğin silika, sülfitler veya biyotit gibi maddeler yatağın değerini kısıtlayabilir. Özellikle büyük kristalli grafitin benzersiz kimyasal ve fiziksel özellikleri, bir dizi endüstriyel alanda eşsiz bir şekilde kullanılabilir niteliktedir. Bu kullanımların bazıları için grafitin yerine kullanılabilecek başka bir malzeme henüz keşfedilmiş değildir (Robinson, Hammarstrom ve Olson, 2017). Grafitin maddi değeri genellikle içerdiği karbon miktarına ve pul boyutuna bağlıdır. Pul grafit, ısı ve erozyona karşı dayanıklılığı artırdığı için refrakter malzemeler için en çok tercih edilen ve dünya genelinde en yaygın olarak kullanılan grafit formudur (Jara vd., 2019).

2.3.2.1. Grafit Üretimi

Son yıllarda dünya doğal grafit üretimi yaklaşık 1,1 milyon ton civarındadır; bu üretimin yaklaşık % 60'ı amorf grafitten, % 40'ı ise kristalin grafitten oluşmaktadır. Doğal grafitin üretildiği ülke sayısı 20'nin üzerindedir. Ancak, grafit üretiminde öne çıkan ülkeler Çin, Mozambik ve Brezilya'dır. USGS verilerine göre 2002 ile 2020 yılları arasında üretim miktarları Tablo 6'da verilmektedir (USGS, 2020). Çin, 2010 ile 2019 arasında dünya genelinde üretilen doğal grafitin ortalama % 66,4'ünü karşılayarak ihracat fiyatlarını belirleme konusunda güçlü bir konum elde etmiştir. Dünya 2017-2023 yılları arası üretim miktarları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Dünya toplam grafit üretimi 2017-2023 (USGS – 2019, 2021, 2023)



Tablo 7. Dünya grafit üretim ve rezerv tablosu (USGS Graphite Report, 2019, 2021, 2023)

Ülkeler	*2017 üretim(ton)*	*2018 üretim(ton)*	*2019 üretim(ton)*	*2020 üretim(ton)*	*2021 yılı üretim(ton)*	*2022 yılı üretim(ton)*	*Rezerv Miktarı(ton)*
Abd	-	-	-	-	-	-	-
Avusturya	-	-	1.000	1.000	500	500	-
Brezilya	90.000	95.000	96.000	95.000	82.000	87.000	74.000.000
Kanada	40.000	40.000	11.000	10000	12.000	15.000	-
Çin	625.000	630.000	700.000	650.000	820.000	850.000	52.000.000
Almanya	-	-	800	800	250	250	-
Hindistan	35.000	35.000	35.000	34.000	7.000	8.300	8.000.000
Kuzey Kore	5.500	6.000	6.000	5.000	8.100	8.100	2.000.000
Güney Kore	-	-	-	-	10.500	17.000	1.800.000
Madagaskar	9.000	9.000	48.000	47.000	70.000	110.000	26.000.000
Meksika	9.000	9.000	9.000	8.000	2.100	1.900	3.100.000
Mozambik	300	20.000	107.000	120.000	72.000	120.000	25.000.000
Norveç	15.500	16.000	16.000	15.000	6.290	10.000	600.000
Rusya	17.000	17.000	25.100	24.000	15.000	15.000	14.000.000
Sri Lanka	3.500	4.000	4.000	3.500	3.000	3.000	1.500.000
Tanzanya	-	-	150	150	-	8.000	18.000.000
Türkiye	2.300	2.000	2.000	1.500	2.700	2.900	90.000.000
Ukrayna	20.000	20.000	20.000	19.000	10.000	3.000	-
Özbekistan	-	-	100	100	110	-	7.600.000
Vietnam	5.000	5.000	5.000	4.500	5.000	5.000	-
Dünya Toplamı	897.000	930.000	1.100.000	1.100.000	1.130.000	1.130.000	330.000.000

2.3.2.2. Grafit İhracatı

Türkiye, grafit üretimi konusunda dünya pazarında etkin bir konumda bulunmamaktadır ve refrakter sektöründeki grafite dair olan ihtiyaçlarını diğer ülkelerden ithalat yoluyla karşılamaktadır. MTA'nın verilerine göre, Türkiye, 2012 ile 2020 arasında yıllık ortalama 1066,3 tonluk ihracatı karşılığında 1.024.027 dolar gelir elde etmişken, 10.590 tonluk ithalat için 10.193.321 dolar ödeme yapmıştır. Ülkemize ithal edilen grafit, döküm, kalem imalatı, boya, refrakter endüstrileri dışında madeni yağlar gibi sektörlerde de kullanılmaktadır. Türk grafiti genellikle Avrupa ülkeleri tarafından ithal edilmekte ve yüksek fiyatlarla Türkiye'ye geri dönmekte olup, bu durum madencilik sektörü içinde bilinen bir gerçektir (İlhan vd., 2020).

Türkiye'nin 2021 ve 2022 verilerine göre ise grafit ithalatının arttığı gözlenmektedir. Grafit konusundaki ihracat ve ithalat makası açılmaktadır. Tablo 8'de son 6 yıl ithalat-ihracat verileri bulunmaktadır (Worldbank, 2023).

Tablo 8. Dünya bankası verilerine göre 2017-2022 Türkiye ithalat-ihracat verileri (Worldbank, 2023)

Yıl	İhracat	İthalat
2022	15.803.000 $	1.698.000 $
2021	12.219.000 $	1.423.000 $
2020	9.835.000 $	914.000 $
2019	8.254.000 $	1.397.000 $
2018	11.702.000 $	1.280.000 $
2017	11.337.000 $	951.000 $

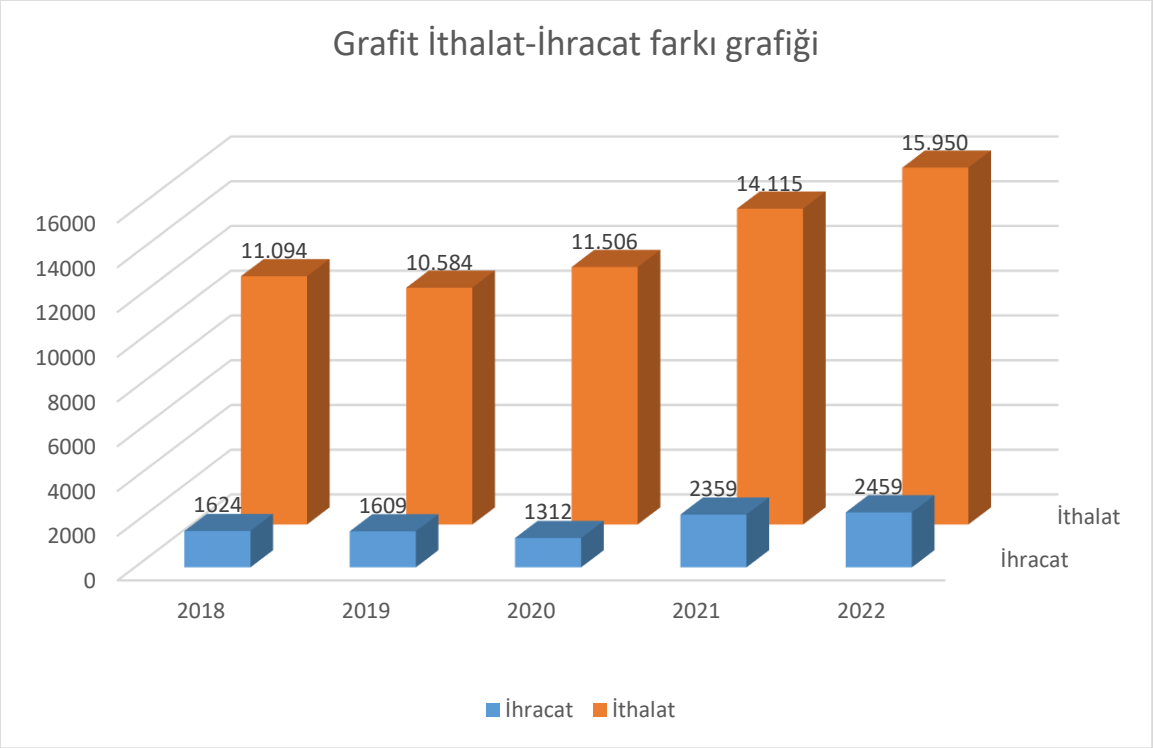
Türkiye, 2022 verilerine göre en büyük ithalatı Madagaskar'dan yapmış gözükmektedir. Türkiye Madagaskar'dan yaklaşık 4.8 milyon dolar değerinde 10.560 ton grafit ithal etmiştir. Bunu 1.777 ton ve 1.9 milyon dolar ile Çin, 1.7 milyon dolar ile Almanya, yaklaşık 1 Milyon dolarla Brezilya ve diğer ülkeler takip etmektedir (Trademap, 2023).

İhracat verilerine göre ise; grafit konusunda Türkiye'nin en büyük müşterisi Makedonya olarak görünmektedir (Trademap, 2023). Türkiye Makedonya'ya 2018 yılında 929, 2019

yılında 1083, 2020 yılında 624, 2021 yılında 671 ve 2022 yılında 763 bin dolarlık bir satış gerçekleştirmiştir.

Türkiye, Tablo 9'da göründüğü gibi, 2018 yılında 11.094 ton, 2019'da 10.584 ton, 2020'de 11.506 ton, 2021'de 14.115 ton ve 2022'de 15.950 ton grafit ithal etmiştir. Buna karşın 2018'de 1.624 ton, 2019'da 1.609 ton, 2020 yılında 1.312 ton, 2021'de 2.539 ton ve 2022 yılında 2.459 ton grafit ihraç etmiştir (Trademap, 2023).

Tablo 9. Türkiye'nin beş yıllık ithalat-İhracat farkı gösteren istatistik tablosu. (Trademap, 2023)

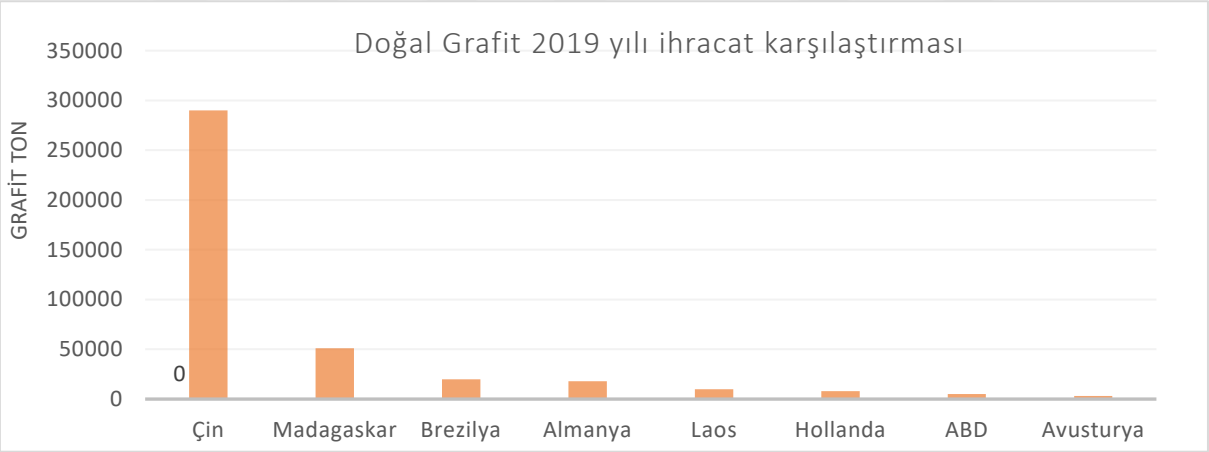


TrendEconomy (2021) tarafından 2002'den itibaren dünya hammadde ticareti hakkında yayınlanan verilere göre, HS02-2504 koduyla işaretlenmiş doğal grafit ihracatı, 2002'de 52 ülke tarafından gerçekleştirilmiş, bu sayı 2012'de 79'a yükselmiş ve 2019'da 68'e düşmüştür. Son yıllarda, toplam doğal grafit ihracatının % 0.01'den fazlasına sahip olan ülkelerin sayısı yaklaşık 40 civarındadır. Dünya Bankası verilerine göre, tüm malların ihracatını yapan ülke sayısı ise 235'tir (World Bank-a, 2021). Bu farklılık, tüm malları ve grafiti ihraç eden ülkeler arasındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır; bu da grafit maden yataklarına sahip ülkelerin birbirlerine karşı üstünlüklerinden ve grafit fiyatlarındaki değişikliklerden kaynaklanmaktadır.

Dünyada doğal grafit rezervlerinin bulunduğu 22 ülke ve üretim yapılan yerler göz önüne alındığında, dünya çapında oligopol nitelikteki şirketlerin, başka ülkelerde ürettikleri grafitleri işleyerek kendi ülkelerinden ihraç ettikleri anlaşılmaktadır.

Verilerde 2019 yılı incelendiğinde, doğal grafit ihracatında Çin'in hem miktar hem de elde ettiği gelir açısından birinci sırada bulunduğu görülmektedir. Madagaskar, ihracat miktarında ikinci sıradadır. Ancak gelirlerde beşinci sıradadır. Laos ihracat miktarında beşinci sırada ancak gelirlerde ilk sekiz ülke arasına bile girememektedir. Japonya ise ihracatta ilk sekiz ülke arasında bulunmuyorken, gelirlerde sekizinci sırada bulunmaktadır. Türkiye, 2019 yılında, doğal grafit ihracatı açısından on ikinci sırada yer alırken (1.609,149 ton), gelir elde etme açısından on yedinci sırada bulunmaktadır (1.399 milyon dolar). Ülkemiz, dünyada en büyük doğal grafit rezervlerine sahip olup doğal grafit cevheri ihracatçısı konumundadır. Fakat, grafitin zenginleştirme teknolojisi gelişmemiş ve zenginleştirme maliyetleri yüksek olduğundan Türkiye aynı zamanda daha yüksek bedeller ödeyerek grafit ithal eden bir ülke konumundadır.

Tablo 10. Grafitin 2019 yılındaki ihracat miktarları (World bank, 2020).



2.3.2.3. Doğal grafit ihracatının indekslerle incelenmesi

Bir ülkenin sürdürülebilir kalkınma ve istikrarlı ihracat geliri için, dış ticarette ürün çeşitliliğini artırması önemlidir (Cevirmez, 2019). İhracatın çeşitlenmesi, kişi başına geliri artırabilmektedir (Hesse, 2008). Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki çalışmalar, ihracatın ekonomik büyüme için bir itici güç olduğunu gösterse de bazı ülkelerde farklı sonuçlar çıkabilmektedir (Değer, 2010). İhracat çeşitliliği için yoğunlaşma oranı (CRn) ve Herfindahl-Hirschmann indeksi (HHİ) gibi ölçütler kullanılmaktadır (TUİK, 2021; UNCTAD, 2020; WITS, 2021). Avrupa Birliği Komisyonu, kritik hammaddelerde arz riskini HHİ ile ölçmüştür (EC, 2020). ABD'de RAND Şirketi de kritik ithalat malzemelerini HHİ kullanarak belirlemiştir (Silberglitt, 2017).

Yoğunlaşma Oranı

Firma/ülke sayısı ve piyasa paylarının dağılımı, çıktı ve ürün fiyat belirleme kararını etkilemektedir. Satış yapan ülkelerin, piyasayı kontrol edecek büyüklükte olup olmadıklarını belirleyen değişken (n) ülke sayısıdır. Bir diğer etken ise piyasadaki paylarının (S_i) dağılımıdır. Bir piyasadaki en büyük paya sahip m kadar öncü ülkenin, ihracat içindeki toplam payı dikkate alınarak, denklem 1'de bulunan formül ile yoğunlaşma oranı hesaplanmaktadır;

$$CR_n \sum_{i=1}^{n} S_i$$

Denklem 1. Yoğunlaşma oranı formülü (CR_n)

Firma/ülke (n) sayısına keyfi olarak karar verilmektedir. Hesaplamayı yapan istediği kadar ülke/firmayı hesaplamaya dahil edebilir. S_i, ihracat/ithalat yapan ülkenin yüzdesel piyasa payıdır. CR_4, CR_8 ve CR_{12} sık kullanılmaktadır. Genel kabul gören değerlendirme aralıklarıyla ilgili yoğunlaşma sınıflandırması tablo 11'deki gibidir (Coelho, Burgos, Santos ve Pinto, 2019).

Tablo 11. Yoğunlaşma Oranı Sınıflaması (Coelho, Burgos, Santos ve Pinto, 2019)

CR_4	CR_8	Yoğunlaşma Derecesi
$CR_4 < 35$	CR_8	Düşük derecede yoğunlaşma
$35 \leq CR4 < 50$	$45 \leq CR8 < 70$	Orta derecede düşük yoğunlaşma
$50 \leq CR4 < 65$	$70 \leq CR8 < 85$	Orta derecede yüksek yoğunlaşma
$65 \leq CR4 < 75$	$85 \leq CR8 < 90$	Yüksek derecede yoğunlaşma
$CR4 \geq 75$	$CR8 \geq 90$	Çok yüksek derecede yoğunlaşma

CR_n 100'e yakın olması tekelciliğe, % 0 olması ise rekabet piyasasının varlığına işarettir.

2.3.2.4. Herfindahl – Hirschman İndeksi (HHİ)

Bu endeks, bahsi geçen piyasadaki bulunan ülkelerin büyüklük ölçüsünü ve birbirlerine olan rekabetini gösterir. Çok yaygın kullanılmaktadır (Econex, 2012). Şu denklem ile gösterilir;

$$\text{HHİ} = \sum_{i=1}^{n} S_i^2$$

Denklem 2. İHH indeks formülü

S_i, ülkelerin piyasa payı, n ülke sayısıdır. ABD Adalet Bakanlığı Federal Ticaret Komisyonu HHİ değerleri için Tablo 12'deki gibi bir referans sınıflandırma tablosu hazırlatmıştır (Arranguez ve Hinlo, 2019; Brown, 2018).

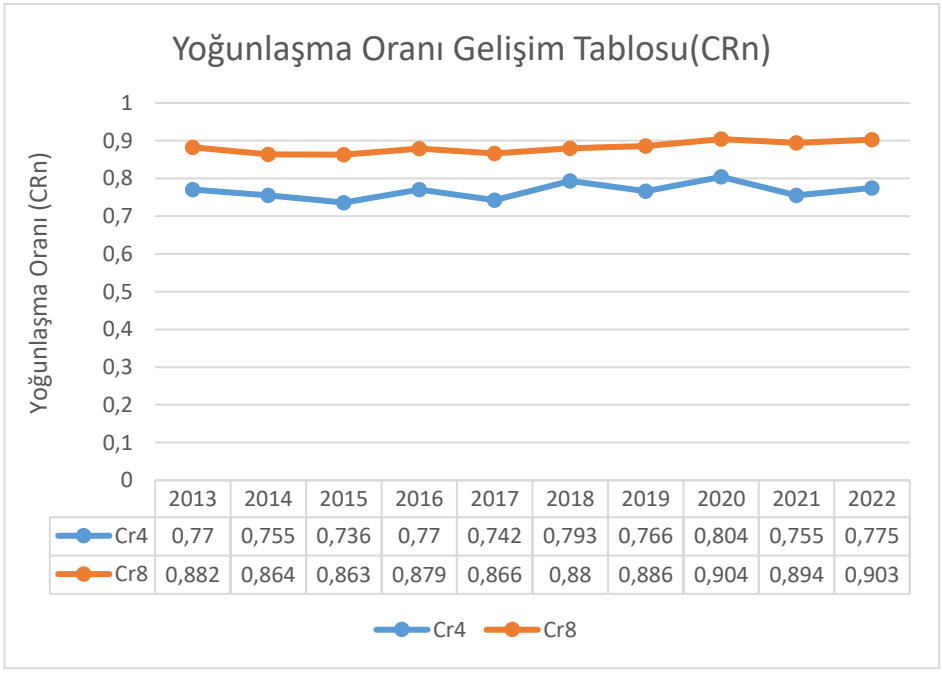
Tablo 12. Herfindahl – Hirschman İndeksi derecelendirmesi (Arranguez ve Hinlo, 2019; Brown, 2018)

HHİ değeri	Piyasa yoğunlaşma derecesi	Rekabet Düzeyi
HHİ≤0.01	Çok düşük	Çok yüksek
0.01<HHİ≤0.15	Düşük	Yüksek
0.15< HHİ ≤0.25	Orta	Orta
HHİ>0.25	Yüksek	Düşük

2.3.2.5. Dünya grafit ihracatında yoğunlaşma ve rekabet

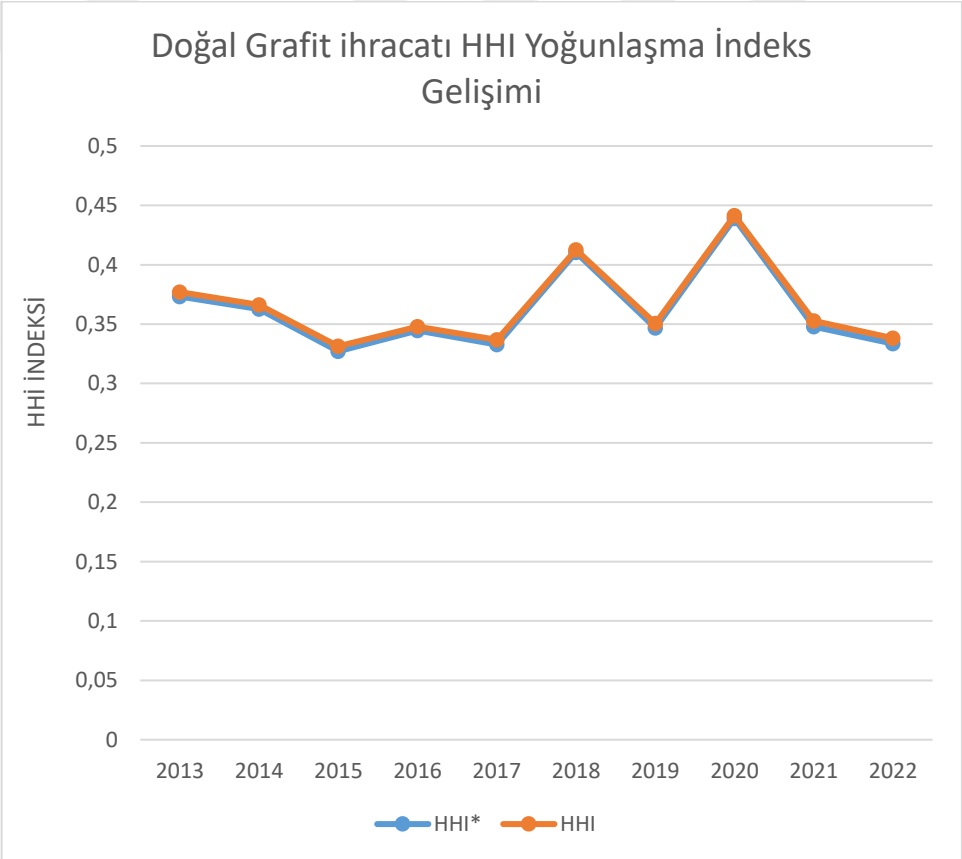
Grafitin, 2013 yılı ve sonrasında kritik hammadde olarak değerlendirilmeye başlaması nedeniyle bazı ülkelerin grafit ihracatını azaltmalarının ve Çin'in ihracattaki payını artırması, oligopolcü yapının monopolcü yapıya değişimine sebep olmuştur. ABD, Japonya, Almanya gibi ülkeler kendi ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak grafit ihracatını iyice sınırlandırmışlardır. Aynı şekilde Hindistan ve Rusya da, grafit ihracatını azaltmıştır. Rekabet durumunu belirlemek amacıyla ilk 4 ve 8 ülke için 2013-2022 arası verilerden (trademap, 2023) faydalanarak yoğunlaşma oranı değerleri tablo 13'teki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 13. Doğal grafit ihracatının 2013-2022 arası 10 yıllık yoğunlaşma oranlarının gelişim tablosu



Tablo 14'te bulunan Herfindahl-Hirschman indeksi değerleri 2013-2022 arası veriler (trademap, 2023) kullanılarak hesaplanmıştır. Verilerde, indeks değerleri paralel değişmekte ve aralarında önemli bir fark gözükmemektedir. HHİ indeksine göre, grafit ihracat piyasası 2013-2017 arası orta düzeydedir ancak 2018 ve 2020 yıllarında yüksek görülmektedir. Buradan bazı ülkelerin piyasadan çekildiğini veya ihracat paylarını azalttıkları sonucu çıkarılabilir. Reel verilere göre Çin ile rekabet etmenin zor olduğu görülmekte ve HHİ indeksi bunu desteklemektedir. 2021 ve 2022 yıllarında ise HHİ indeksi düşüş göstermiştir bunun sebebi, başta Mozambik gibi ülkelerin grafit üretimi ve ihracatında öne çıkmaya başlamış olması olabilir.

Tablo 14. Doğal grafit ihracatının 2013-2022 arası 10 yıllık HHI Yoğunlaşma indeks gelişimi tablosu



2.3.3. Grafite dair ekonomik öngörüler

Grafitin güncel fiyatı çalışma tarihinin piyasasıyla 800 ABD doları ve 2500 ABD doları arasında değişmektedir. Grafitin fiyatını, arz-talep faktörü, satıldığı bölge, grafitin türü ve kalitesi belirlemektedir. Bugünün şartlarında en pahalı ve aynı zamanda en kaliteli grafit Çin'de satılmaktadır. Ancak Çin grafitinin fiyatının yüksek olmasını belirleyen etken sadece kaliteli grafit olması değildir. Çin'in zaman zaman grafit ihracatını kısıtlaması veya çeşitli kanunlarla piyasayı daraltıcı hamlelerde bulunması da grafit fiyatını yükseltmektedir. Çin'in bunu yapmasının sebebi, batarya endüstrisinin geleceğini tamamen kontrol etmek istemesidir.

Küresel grafit pazarının 2021'deki değeri 14,83 milyar ABD dolarından 2028'de 25,70 milyar ABD dolarına yükseleceği tahmin edilmektedir; bu da % 8,2'lik bir Bileşik Büyüme Oranını temsil etmektedir. Hacim bazında, Benchmark Minerals Intelligence pazarın 2021'de yaklaşık 700 bin tondan 2030'da yaklaşık 4.500 bin tona kadar % 17'lik bir Bileşik Büyüme Oranı ile büyüyeceğini tahmin etmektedir. Credit Suisse, 2050 yılına gelindiğinde yıllık grafit talebinin sentetik ve doğal grafit için yaklaşık 5.000.000 tona ila 7.000.000 arasında bir değere ulaşmasını beklemektedir. Bununla beraber doğal grafite olan talebin, sentetik grafite olan talebi 2026 yılında geçmesi beklenmektedir (Magnis Energy, 2021).

2.4. GRAFİT REZERVLERİ, MADEN YATAKLARI VE ENVANTER

Grafit, günümüzde kritik derecede öneme sahip ve metalik olmayan hammaddelerden birisidir. Fiziksel ve kimyasal özellikleri ve ısı karşısında yüksek direnç göstermesi grafiti mükemmel seviyede bir termal ve elektrik iletkeni madde yapmaktadır. Grafit, karbonun üç şeklinden birisi olarak, yatay tabakalar şeklinde oluşmaktadır. Kullanım alanları çok fazladır. Grafit, Avrupa Birliğinin hazırlatmış olduğu Kritik Hammaddeler raporunda yer almıştır. Ayrıca Britanya Jeolojik Araştırmalar Konseyinin "Risk Listesi 2015" de ve yine aynı kurumun Endüstriyel Mineraller Risk Listesi 2012'de önemli hammaddelerden birisi olarak raporda yer almaktadır. Ayrıca USGS (Amerika Jeoloji Araştırma Kurumu), son yıllardaki tüm raporlarında grafiti yüksek risk grubunda göstermektedir (Bgs, 2015, USGS 2022 list of critical minerals).

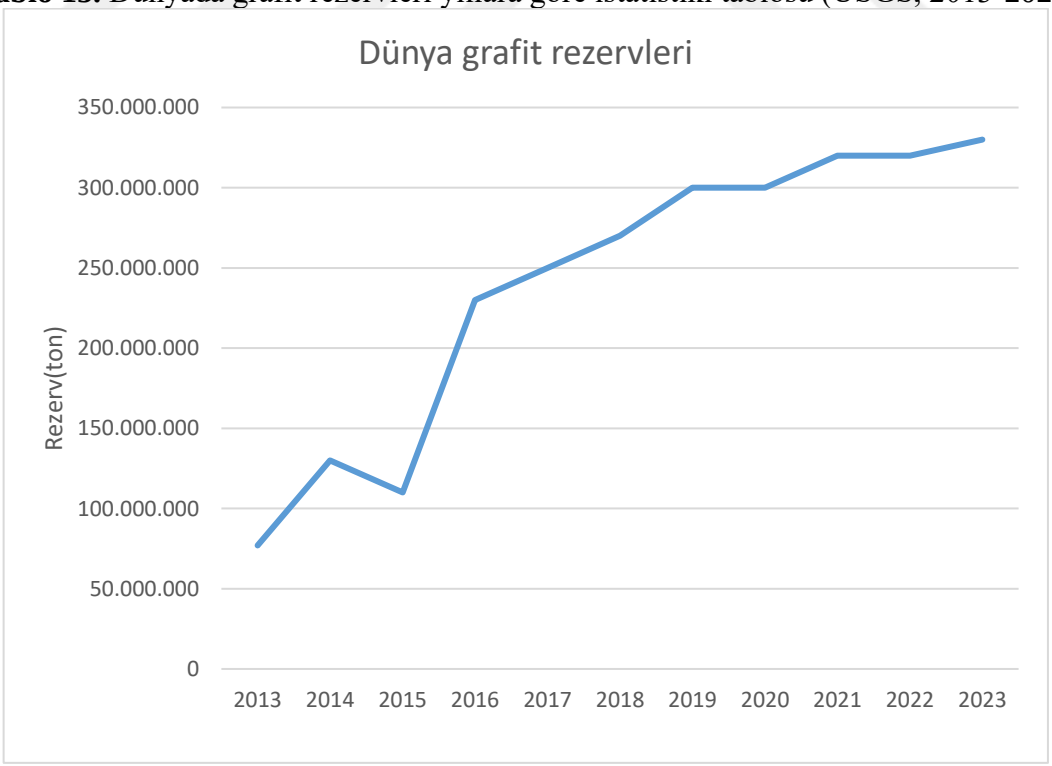
Grafite olan ihtiyaç günden güne artmaktadır ve bu sebepten ötürü grafit maden yataklarına yönelik araştırmalar da ivme kazanmıştır. Maden yataklarına dair raporlar, rezerv araştırmaları daha büyük önem kazanmıştır.

2.4.1. Grafit rezervleri

2023'te gerçekleştirilen Amerika Jeolojik Araştırmalar Kurumu (USGS) araştırmasına göre, dünya genelindeki grafit rezervleri yaklaşık 330 milyon ton civarındadır. Türkiye, Çin ve Brezilya gibi ülkelerdeki en büyük rezervlerin yanı sıra Madagaskar, Mozambik ve Rusya gibi diğer bölgelerde önemli miktarda grafit rezervi bulunmaktadır. Amerikan Jeolojik Araştırmalar Kurumu Mineral Emtia Özetleri'ne göre (USGS, 2020), 2002 ile 2020 arasındaki dönemde dünya grafit rezervleri aşağıdaki tabloda belirtilen miktarlardaydı. 2012'de grafit fiyatlarında yaşanan büyük artış, Brezilya, Mozambik, Madagaskar, Türkiye ve Tanzanya gibi ülkelerde yeni grafit kaynaklarının keşfiyle dünya rezervinin yaklaşık üç katına çıkmasına neden olmuştur. Türkiye'nin yeni keşiflerle ilgili raporları, dünya grafit rezervleri içinde en büyük paya sahip olduğunu göstermektedir.

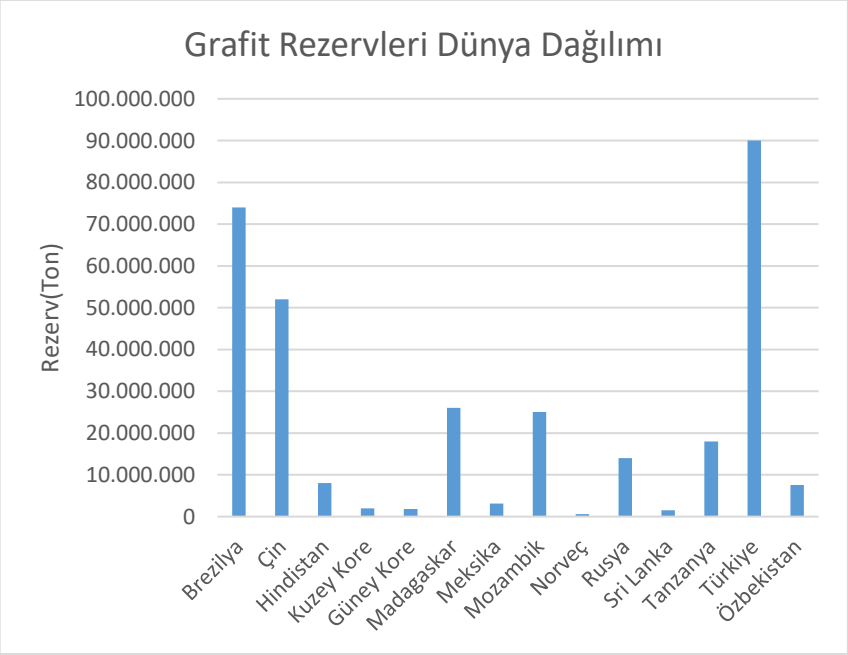
USGS verilerine göre ülkemiz grafit açısından dünyada en bol rezerve sahip ülkelerden birisi olarak gözükmektedir. Ancak bunun tam tersi olarak; ülkemizde grafit üretimi, yüksek grafit rezervine sahip ülkeler arasında en alt sıradadır. Rezerv miktarının ve üretime dair verilerin incelenmesiyle, grafite olan ihtiyacın arttığı gözlemlenmektedir.

Tablo 15. Dünyada grafit rezervleri yıllara göre istatistiki tablosu (USGS, 2013-2023)



Dünyadaki görünür grafit rezervleri 330 Milyon ton olmasına rağmen, potansiyel rezervlerin eklenmesi ile bu miktar 800 Milyon tona ulaşabileceği düşünülmektedir. USGS verilerine göre, Türkiye, 90 Milyon ton ile dünya rezervlerinin yaklaşık 1/3'üne sahip olarak dikkat çekmektedir. Türkiye'yi rezerv konusunda Çin, Brezilya takip etmektedir. Rezervlerin yoğunluğu belli ülkelere yoğunlaşmıştır ve bu durum endeks değerlere de yansımaktadır. Son dönemde yaşanan gelişmelerden sonra yapılan araştırmalar ile birlikte her ülkenin grafit rezerv raporları yenilenmiş ve çeşitli güncellemeler olmuştur. Bununla birlikte her yıl yeni raporların gelmesinin başlıca sebebi de budur. USGS raporundaki verilerden yola çıkarak hazırlanmış olan ülkelerdeki üretim ve rezervlere dair bilgiler bulunan tabloda verilmiştir (USGS, 2023).

Tablo 16. Grafit rezervlerinin dünyada dağılımı (USGS, 2023)



Tablo 17. Dünya grafit rezervleri (USGS, 2023)

Ülkeler	**Rezerv (ton)**	*Mozambik*	**25.000.000**
Brezilya	74.000.000	*Norveç*	600.000
Çin	52.000.000	*Rusya*	14.000.000
Hindistan	8.000.000	*Sri Lanka*	1.500.000
Kuzey Kore	2.000.000	*Tanzanya*	18.000.000
Güney Kore	1.800.000	*Türkiye*	90.000.000
Madagaskar	26.000.000	*Özbekistan*	7.600.000
Meksika	3.100.000	*Dünya Toplamı*	330.000.000

2.4.2. Türkiye grafit maden yatakları

Ülkemizdeki grafit araştırmaları, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı kapsamında bağlı Maden İşleri Genel Müdürlüğü (MİGEM) ile Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) kayıtlarına göre 1941'de başlanmıştır ve bir dizi ruhsatlı ya da ruhsatsız alanda grafit bulunma potansiyeli belirlenmiştir. Yirmiden fazla bölgede ekonomik açıdan değerlendirilebilecek grafit yatakları tespit edilmiştir. Mevcut yataklar genellikle kaya içinde dağılmış durumdadır, meta antrasit gibi semi grafit gibi oluşum aşamasında olan, çoğunlukla ise organik maddelerin ince taneler halinde bulunduğu oluşumlar içermektedir ve bu yatakların büyük bir kısmı amorf tip grafittir. Türkiye'deki grafit yatakları genellikle ince tane killi, şistli ve karbonatlı kayaçlar içinde bulunurken, çoğunlukla granitik kütlenin yakınında yer almaktadır (Çuhadaroğlu ve Kara 2018).

Grafit organik maddelerin metamorfizması sonucu oluşmaktadır. Doğada grafit metamorfik zonlar içinde, şist ve mermer gibi yapılarla birlikte ve magmatik kayaçlarla yakın bölgelerde bulunmaktadır. Rejyonal tip metamorfizma bölgelerinde daha geniş kaynak potansiyeline ve yüksek tenöre sahip olabilmektedir. Türkiye’de gözlenen grafit mineralizasyonları çoğunlukla

kil, şist ve karbonatlı kayaçlar gibi ince taneli malzemeler içerisinde olup daha ziyade, granitik kütlelere yakın alanlar ve masif çevrelerinde bulunmaktadır.

Ülkemizde günümüze kadar ortaya çıkarılmış en önemli grafit oluşumları Kütahya-Altıntaş Oysu, Kastamonu-Doğanyurt, İnebolu-Anday, Balıkesir-Susurluk, Bingöl-Genç, Adıyaman-Sincik, Kırklareli-Demirköy, Yozgat-Akdağmadeni ve Kahramanmaraş-Göksun yöreleridir. Günümüzde Kütahya-Altıntaş-Oysu, işletilen tek grafit yatağımızdır. MTA tarafından son yıllarda grafit etütlerine önem verilmiş olup Kastamonu Doğanyurt, İnebolu ve Kahramanmaraş-Göksun'daki kaliteli grafit cevherleşmeleri ortaya çıkarılmıştır. Bunlardan Kahramanmaraş-Göksun'daki cevherleşme amorf grafit içerirken (Yığmatepe ve Kırbaş, 2019), Kırklareli-Demirköy'deki çok kalın olmayan grafitler de yer yer kaliteli olup aynı şekilde amorf grafitten oluşur (Tiringa vd., 2019). Kastamonu İnebolu'daki cevherleşme kristal formda olup bugüne kadar bulunan en kaliteli grafit cevherleşmesidir (Pehlevan, 2009). Bunların dışında Ülkemizde Orta Anadolu'daki genç volkanik hareketlerden etkilenmiş, grafitleşme sürecini tamamlayamayıp meta-antrasit özelliğinde kalmış birçok mineralizasyonun varlığı da bilinmektedir.

Grafitin artan talep ve kullanım alanları göz önüne alındığında, grafit teknolojisine yönelik ciddi yatırımlar yapılmasının gerekliliği daha iyi anlaşılmaktadır. Bu sayede yerli hammaddeleri kullanıp farklı ürünler üreterek ülkemize büyük katma değer kazandırmak olası görünmektedir.

Muğla-Milas'ta bulunan yatak, Menderes Masifi içerisinde bulunmakta ve amfibolit gnays ve şist birimleri içerisinde yer alan bir grafit cevherleşmesidir. Bu grafit yatağı, 1990'lı senelerin başlarında özel bir Türk şirketi tarafından işletilip sonrasında kapatılmıştır (İlhan, Sarı ve Çörtenlioğlu, 2020).

Doğanyurt, Kastamonu grafit yatağı, MTA tarafından 2017 yılında keşfedilmiş yeni bir grafit cevherleşmesidir. Geniş kapsamlı sondaj çalışmaları ile; gnays, granitik gnays ve granodiyorit içerisinde grafit bakımından zengin tabakalar keşfedilmiştir. Bu yatağa dair fizibilite çalışmaları günümüzde halen yürütülmektedir (İlhan, Sarı ve Çörtenlioğlu, 2020).

Derbent, Konya'da bulunan grafit oluşumları, Konya'nın şehir merkezine 30 km mesafe kuzeyde bulunan bir yataktır. Bu yatak, glokafanit ve sillimanit açısından gayet zengin olan metamorfik kayaçlara sahip yeşilşist fasiyesi içinde bulunmaktadır. Yeşilşist fasiyesi yüksek

basınç etkisiyle oluşmuştur. Bu tipte metamorfik kayaçlar Sultandağ, Kastamonu ve Tokat masifleri boyunca görülmeye devam etmektedir. Tepeköy, Meydanköy ve Tatköy oluşumları ile Konya Derbent'te bulunan grafit oluşumları coğrafi, litolojik olarak gruplandırılmıştır. Tepeköy'ün kuzey tarafında dört tür grafit bulunmaktadır. Grafit mineralizasyonunun ilk tipi, kuvarsit biriminde oluşmuş ve damarların genişliği 20 ve 30 cm arasında değişmektedir. İkinci ve dördüncü tip grafit oluşumları genellikle kireçtaşı-şist ve kristalize kireçtaşında bulunur. Bunların kalınlığı ise 1 metreden 5 metreye kadar değişebilir. Üçüncü tip grafit mineralizasyonu, fillit ile arasında katmanlı bir şekilde oluşmuş ve kalınlığı yaklaşık olarak 1 metredir. Tatköy'ün doğusunda, Bağrıkurt formasyonu içindeki metakumtaşı-fillit birimlerinde görülen 50 cm ile 2 metre arasında değişen kalınlıktaki grafit mineralizasyonu bulunmaktadır. Grafit tabakaları, metamorfizma ve deformasyon sonucunda yapraklanmış ve ayrılmıştır. Meydanköy'ün 1 kilometre kuzeybatısında grafitin iki farklı tipi mevcuttur: İlk tip fillit ve metakumtaşı arasında, 1 cm ile 20 cm arasında değişen kalınlıklarda; ikinci tip ise fillit-metakumtaşı ve metakuvars konglomera üzerinde, 2 metre ile 2,5 metre arasında değişen kalınlıklarda gözlemlenmektedir. Tüm grafit türleri, çevresindeki metamorfik kayaçlarla paralel tabakalanma gösterir (İlhan, Sarı ve Çörtenlioğlu, 2020).

Balıkesir'in Susurluk bölgesindeki grafit cevheri, iri kristal grafit türündedir ve Türkiye'deki en yüksek kaliteye sahiptir. Grafit mineralizasyonu genellikle yoğun deformasyona uğramış metamorfik kayaçlarla ilişkilidir ve granitik sokulumlarla yaygın olarak ilişkilendirilir. Karbon içerikleri genellikle % 70'in üzerindedir; fakat İzmir-Bursa karayoluna yakınlıkları nedeniyle maden işletmeleri için kullanıma uygun değildir. Ayrıca, Susurluk ilçesindeki birçok iri kristal grafit oluşumu, bölgede yeni keşiflerin olasılığını artırmaktadır. Paleozoik döneme ait Amfibolitik Metamorfik kayaçlar üzerindeki çeşitli grafit oluşumları, hâlâ yeni keşiflere açık durumdadır (İlhan, Sarı ve Çörtenlioğlu, 2020).

Yozgat'ın Akdağmadeni bölgesindeki oluşumlar, grafitleşme potansiyeli olarak ülkedeki en üstün oluşumlar arasında yer almaktadır. Cevherin MTA'da yapılan deneme niteliğindeki zenginleştirme çalışmalarının sonuçları olumlu olmamış olsa da, bu yatağın grafitleşme değeri ve tenörü önemli olarak belirlenmiştir.

Tire, İzmir'den (Habipler ve Başköy) alınmış numunelerin laboratuvar ölçeğinde zenginleştirme işlemleri yapılmıştır. % 8 C ortalama içeren cevherden yalnızca % 30 C içeren sonuçlar elde edildiği belirlenmiştir.

Çatalca, İstanbul'da bulunan Domuz deresi bölgesinde bulunan grafitler; 1960 ve 1964 yılları arasında üretilmeye çalışılmıştır. Ancak limitli bir üretim sonrasında, bu çalışma sonlandırılmıştır ve işletme kapatılmıştır.

İnebolu-Abana çevresindeki oluşumlar ve Adıyaman yöresindeki oluşumlar, Türkiye'nin bugüne dek keşfedilmiş en önemli oluşumları arasında laboratuvar testleriyle belirlenmiştir. Ne var ki, Adıyaman'daki oluşuma dair yapılan çalışmalar, analiz aşamasını aşamamıştır. İnebolu bölgesindeki oluşumlar içinse MTA tarafından pilot düzeyde zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır (Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik ÖİK Raporu).

Kütahya Oysu

Kütahya-Oysu'da bulunan maden yatağı Türkiye'nin aktif olan tek grafit madenidir. Kütahya ilinin güney kesimindeki Oysu köyüne yakın bir mesafede bulunmaktadır. Maden yatağının işletmesi 1990'lı yılların başında başlamıştır. Maden işletmesi'nin çalışması 1993 ve 2004 yılları aralığında ekonomik ve teknolojik gerekçelerle askıya alınmıştır. 2004 yılı ve sonrasında dünyada ve ülkemizde grafit talebinin artması sonucu Oysu yatağında grafit madeni tekrar aktif hale getirilmiş ve flotasyon tesisinin yeniden kurulması sağlanmıştır (İlhan, Sarı, ve Çörtenlioğlu, 2020).

Oysu yatağındaki grafit mineralizasyonu, Üst Paleozoyik döneme ait Sarıcasu formasyonunda yer almaktadır. Bu mineralizasyon, amfibolit gnays, şist, kuvarsit ve mermer gibi yüksek sıcaklık ve basınç koşullarını temsil eden yapılar içinde bulunur. Amorf grafit mineralizasyonu, metamorfik tabakalar boyunca yaygın bir şekilde dağılmıştır. Güçlü tektonik deformasyon sebebiyle, cevher bölgeleri genel olarak kesintilidir ve kalınlıkları 5 ila 10 metre civarında değişir. Bu bölgeler, tektonik etkilerle yoğun bir şekilde değişime uğramıştır. Yatak, JORC standartlarına dayanarak 7,2 milyon ton grafit cevheri içerirken, potansiyeli olarak 125 milyon ton grafit cevherini barındırabilir. Özel bir şirket tarafından 1992'den itibaren işletilmekte olan bu cevherleşme, grafitleşmenin daha derin seviyelerde (225 metre ve altı) olduğunu ve 15 yıl maden ömrüne sahip olduğunu göstermektedir (Tufan ve Batar, 2015).

Oysu yatağında beliren cevherleşme, mikro ve makro kristalin tip grafitten oluşmaktadır. Net bir ifadeyle; yaşlı bir kömür katmanının kristalin bir serisi içerisinde oluşan metamorfizma ile oluşmuştur. Flotasyon ile amorf grafit üretimi gerçekleştirilen bu yatakta Antimuan ve Kaolin cevherleşmesi de mevcuttur (Karabacak, 2021).

2.4.2.1. Diğer Yataklar

Bilinen yatakların dışında, ülkemizde daha önce birçok yerde grafit cevherleşmesine ve yatağına rastlanmıştır. Ancak birçoğu ekonomik değer ifade etmediği için, üzerinde çalışma gerçekleştirilmemiştir. Bunlardan bazılarına örnek olarak;

Çanakkale ilinde yuvalar köyü gibi farklı alanlarda da grafit zuhuratları vardır. Ancak kalite ve rezerv açısından önemli ölçekte değildir (MTA Çanakkale il maden raporu).

Artvin Yusufeli'nde grafit-antrasit yatağı belirlenmiştir. Ancak yatakta antrasitin bulunması grafitin ekonomik açıdan kullanılmasını engellemektedir (MTA Artvin il maden raporu).

Çorum ilinin Kargı ilçesinde grafit zuhuratı belirlenmiştir. % 1.21-1.27 C içerikli grafitler düşük tenörlü küçük boyutlu zuhurlar olduğundan ekonomik değildir (MTA Çorum il maden raporu).

Afyon ili İscehisar-Kezban sahasında % 18,4C tenörlü 2.750 ton görünür+muhtemel grafit rezervi tespit edilmiştir (MTA Afyon il maden raporu).

MTA Konya bölge müdürlüğüne bağlı olarak çalışan Ziya Gözler ve Ali Dinçer, 1987 yılında Afyon'da Kezban Alanı ve Elma Deresi arasında grafit oluşumlarına rastladıklarını belirtmişlerdir. Bölgede Karanlık Dere, Ketenlik Dere, Horlak Dere ve Fındıklı Dere civarında geniş bir alanda grafit ve grafitli şist mostralarına rastlanmış ve bölgenin verimli olabileceğine dair bilgiler elde edilmiştir (Gözler ve Dinçer, 1987). Belirtilen potansiyel grafit yataklarına dair güncel bir çalışmaya dair herhangi bir bilgi bulunmamaktadır.

Teyit edilmesi gereken bir kaynağa göre; 1992 yılında Baki H. Buzlu tarafından yazılan bir makaleye göre Balıkesir Gönen'e bağlı Çığmış köyü yakınlarında ekonomik değeri olabilecek 400.000 ton grafit rezervi bulunmaktadır. Ancak bu rezerve dair başka bir bilgi bulunmamaktadır (Buzlu, 1992).

Devlet Planlama Teşkilatı'nın 7. Beş yıllık kalkınma planında Mersin, Bozyazı-Anamur bölgesi hedef gösterilerek bölgede 500.000 ton grafit rezervinin bulunan bir grafit yatağına dair bilgi geçilmiştir. Ancak sonraki dönemlerde bu bölgeyle ilgili herhangi bir veriye ulaşılamamıştır (7.Kalkınma planı Öik raporu).

MTA Enstitüsü uzmanlarından Doktor John H. Maxson'un Ocak 1937'deki raporuna göre Van Gevaş'ın batısında bulunan Tahmanis Köyünün 2 km güneydoğusunda birbirine karışmış

grafit ve limonit terekkümü bulunmaktadır. Bulunduğu çevrenin genişliği 50 m kare şeklindedir. Grafit saf olmadığından işletilemeyeceği rapor edilmiştir. (Kardaş, 2017)

Bunlar dışında; 1892 yılında Sultan Abdülhamid'e bağlı olarak çalışan Maden Mühendisi Abdullah Kazım Efendi, dönemin ifadeleriyle Hüdavendigar vilayeti (Marmara bölgesi) bulunan Bursa Sancağının (ilinin) Gözede kariyesinde (köyünde) grafit madenleri bulduğunu belirtmiştir. Bu bölgeler bugünki Bursa'nın Kestel ilçesine bağlı olan Gözede köyü yakınlarını ifade etmektedir. Güncel çalışmalarda bu bölgede grafit zuhur veya cevherine dair bir veriye rastlanmamıştır. Bunlara benzer şekilde geçmişte muhtelif çalışmalar yapılmıştır. Ancak bahsedilen bölgelerdeki bulgulara dair ilerlemiş ve güncel bilgiler içeren bir çalışma bulunmamaktadır (Abdullah Kazım Efendi, 1892).

2.4.3. Grafit Yatakları Envanteri

Dünya grafit rezervlerinin yaklaşık % 30'una sahip olduğu tahmin edilen ülkemizde bugüne kadar bir çok yerde grafit yatakları keşfedilmiştir. Ancak bunların sadece çok dar bir kısmına dair yaygın bilgiye rastlanmaktadır. Ülkemizin bir çok bölgesinde farklı madenlerin zuhurlarına rastlanmakta ancak raporlanma, saha çalışmaları her yerde ve sürekli olamamasından ötürü, grafit yataklarına dair bilgiler merkezi bir düzende mevcut bulunmamaktadır. Kısıtlı bilgiyle geniş bir envanter listesi oluşturulabilir.

Ekonomik değeri olabilecek, maden işletmesi kurulma potansiyeline sahip olan yataklarıla ilgili öncül envanter olarak değerlendirilebilir şekilde; yaygın olarak bilinen bilgilere göre yapılmış bir çalışmaya göre keşfedilmiş, masif halde, işletilmiş ve aktif olarak işletmede olan grafit yataklarına dair liste tabloda gözükmektedir.



Şekil 13. Türkiye'deki bilinen grafit yataklarının dağılımı (İlhan vd. 2020, Ali Uzumer vd., 2023' den güncellenerek ve değiştirilerek hazırlanmıştır.)

Bu yatakların dışında, raporlanmış ancak hakkında pek bilgi olmayan grafit zuhur ve yatakları bulunmaktadır. Bu zuhur ve yatakların gelecekte değerlendirilebilme potansiyeli olabilir. Geçmişte raporlanan ancak hakkında geniş bilgi bulunmayan, ilave çalışma yapılmamış grafit zuhuru ve grafit yatakların haritası şu şekilde olacaktır;



Şekil 14. Geçmişte yapılmış çalışmalar ve MTA'nın il bazlı raporlarının tamamından faydalanılarak hazırlanmıştır. (Çok sayıda rapor derlenerek ve değiştirilerek harita hazırlanmıştır.)

İzmir, Aydın, Muğla, Antalya, Konya, Kütahya, Afyon, Eskişehir, Bursa, Çanakkale, İstanbul, Kocaeli, Yozgat, Çorum, Adana, Sivas ve Artvin illerimizde bazı zuhur ve az sayıda yatak niteliğinde grafite rastlanmıştır. Ancak bunların kalite ve rezerv bilgileri mevcut değildir.

Tablo 18. Türkiye'deki grafit yatakları ve zuhurları (Karabacak, 2018; Malayoğlu vd.,1999; MTA, 2017, MTA il maden raporları, tarihi kaynaklar ve akademik çalışmalar araştırılarak oluşturulmuştur.)

Adı	Yer	Tipi	Kaynak Rezerv	Ana Kayaç	Aşamalar
Oysu	Kütahya	Amorf	7.2 Mton %20C	Metamorfik	İşletilmiş
Milas	Muğla	Amorf	500.000 ton %10C	Metamorfik	Tarihi
Susurluk	Balıkesir	Kristal	Bilinmiyor	Metamorfik - İntrüzif	Masifler
Tire	İzmir	Amorf	500.000 t < , %10C	Metamorfik	Masifler
Sincik	Adıyaman	Amorf	30.000 ton %40C	Metamorfik	Masifler
Akdağmadeni	Yozgat	Kristal	100.000 ton %45C	Metamorfik	Masifler
Anday	İnebolu	Amorf	%60C'a varan	Metamorfik	Masifler
Derbent	Konya	Amorf	Bilinmiyor	Metamorfik	Masifler
Doğanyurt	Kastamonu	Amorf	4.5 Mton %6,1C	Metamorfik	Keşfedilen
Göksun	Kahramanmaraş	Amorf	2.3 Mton %5,6C	Metamorfik	Keşfedilen
Dereköy	Kırklareli	Amorf	Bilinmiyor	Metamorfik - İntrüzif	Keşfedilen
Büyükceli	Mersin	Amorf	Bilinmiyor	Metamotfik	Keşfedilen
Germencik	Aydın	Amorf	150.000t %10 C	Metamorfik	Masif
Çatalca	İstanbul	Amorf	150.000 ton %30C	Metamorfik	Masif
Gözede	Bursa	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Masif
Gönen	Balıkesir	Bilinmiyor	400.000 ton	Bilinmiyor	Keşif
Bozyazı	Mersin	Bilinmiyor	500.000 ton	Bilinmiyor	Masif
Yuvalar	Çanakkale	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Keşif
İscehisar	Afyon	Bilinmiyor	2750 ton %18,4C	Bilinmiyor	Masif
Kargı	Çorum	Bilinmiyor	%1.21-%1.27	Bilinmiyor	Masif
Yusufeli	Artvin	Bilinmiyor	1195 t, %14.20C<	Bilinmiyor	Masif
Han	Eskişehir	Amorf	%17.89C ve R?	Bilinmiyor	Masif
Bozdoğan	Aydın	Bilinmiyor	6000 ton	Bilinmiyor	Masif
Gevaş	Van	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Bilinmiyor	Keşif

3. YÖNTEM

Çalışmamızın amacı Türkiye'nin grafit madenleri açısından zenginliğini araştırmak ve grafit madenlerinin jeostratejik önemini ortaya koymaktır. Bu doğrultuda Türkiye'nin aktif olan tek grafit madeni işletmesi ve bu işletmenin bünyesindeki grafit yatakları incelenmiş bu şekilde arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde bulunan bütün grafit yataklarına dair bilgilere ulaşmak ve grafitin jeostratejik önemine dair bilgileri elde etmek için literatür araştırmaları yapılmıştır.

3.1. ARAZİ ÇALIŞMALARI

Arazi çalışması kapsamında Karabacak maden işletmesi ziyaret edilmiş. İşletme ve maden hakkında geniş bilgiler elde edilmiştir. İşletme sahipleri ve çalışanları ile birlikte işletme gezilmiş ve grafit cevherleri gözlemlenmiştir.



Şekil 15. Grafit maden ocağının üst kısmı – Oysu, Kütahya Grafit Maden İşletmesi



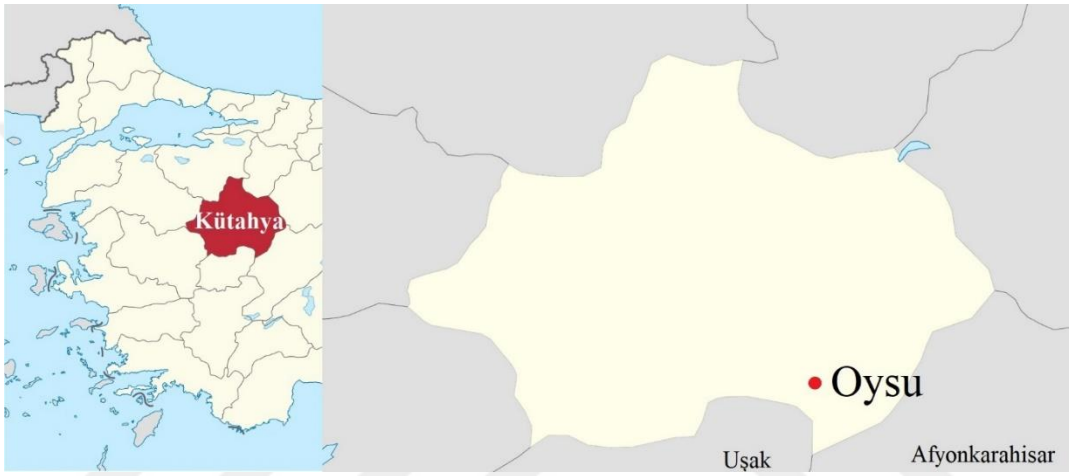
Şekil 16. Karabacak maden işletmesinin girişinde çekilmiş bir fotoğraf (38°56'57.9"N 29°53'36.3"E)

3.2. BÜRO ÇALIŞMALARI

Büro çalışmaları kapsamında, internet veri tabanında geniş bir perspektif ve interdisipliner ölçekte literatür çalışmaları yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında bulunan görseller için Corel Draw, Corel Paint, Microsoft Paint ve Adobe Photoshop uygulamaları kullanılmıştır. Tez içeriğindeki jeoloji haritaları için Google Earth, ArcMAP ve Corel Draw uygulamaları kullanılmıştır. Analizler kapsamında Herfindahl ve Hirschman indeksinden ve CRn yoğunlaşma indeksinden faydalanılmıştır.

4. BULGULAR

Ülkemizdeki grafit potansiyeline dair bilgiler elde etmek ve jeostratejik önemini araştırmak maksadıyla ülkemizdeki aktif olan tek grafit maden işletmesi incelenmiş ve bölgeye dair bulgular elde edilmiştir. Çalışma alanımız Kütahya'ya bağlı Altıntaş ilçesinin Oysu köyüne yakın bir mesafede bulunan Karabacak maden işletmesi ve çevresidir. Ayrıca çalışma alanımız k23b2 paftasında yer almaktadır.



Şekil 17. Kütahya ilini ve Oysu köyünün konumlarını gösteren il bazlı harita



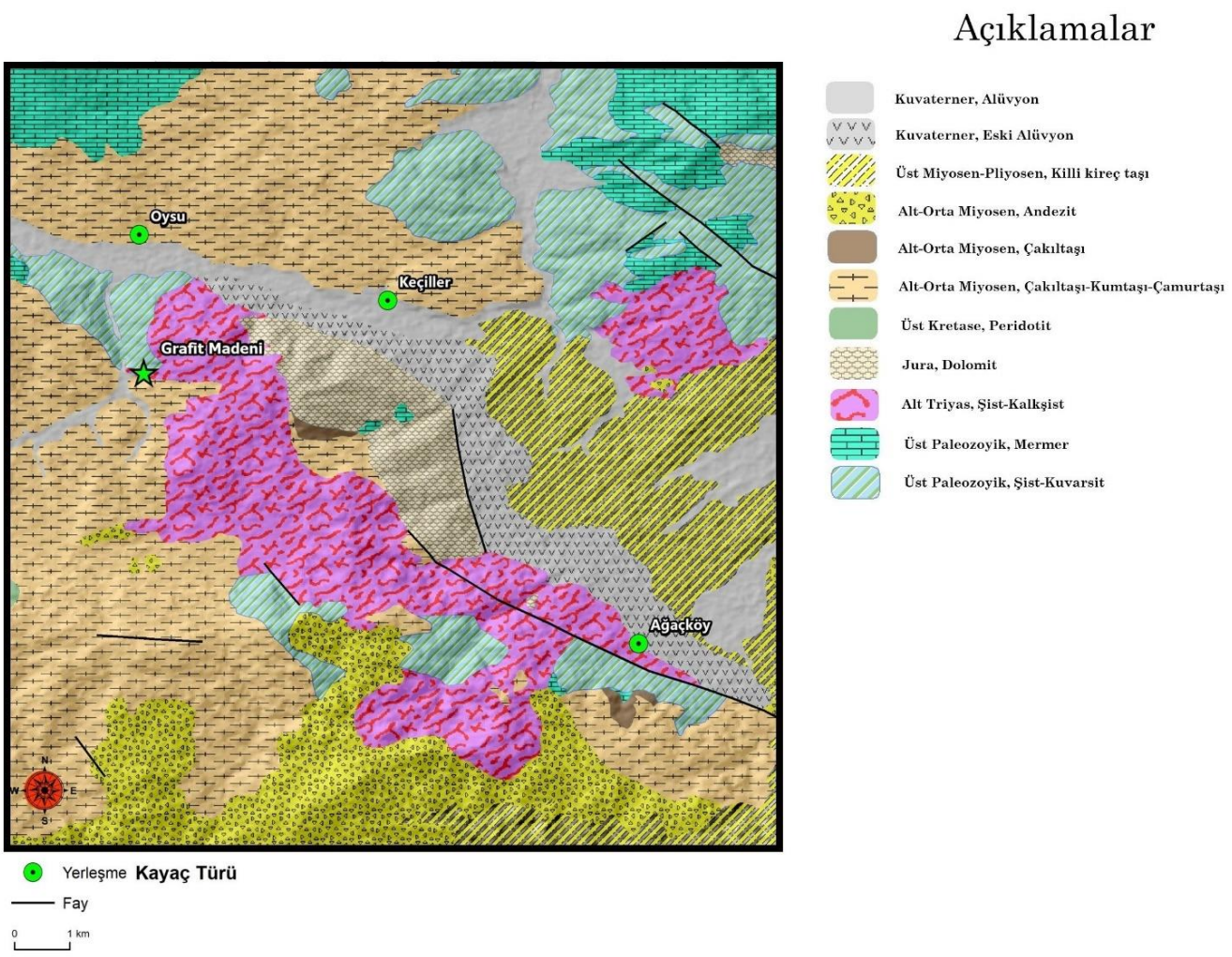
Şekil 18. Karabacak maden işletmesinin konumunu gösteren harita

4.1. ÇALIŞMA ALANININ JEOLOJİSİ

Çalışma bölgesinin en yaşlı kayaçları Sarıcasu Formasyonu'na aittir. Sarıcasu formasyonu üst Paleozoyik yaşlıdır. Bu formasyonun metamorfik birimleri, Alt - Orta Triyas yaşlı İkibaşlı Formasyonu ile uyumsuz bir şekilde kaplanmıştır. İkibaşlı Formasyonu'nun üzerine, Geç Triyas, Jura yaşlı Çiçeklikaya Formasyonu uyumlu bir dokanakla gelmektedir. Bu birimler, Muratdağı melanjında bulunan piroksenit, radyolarit, serpantinit, kireçtaşı, çört ve kumtaşı birimlerinden oluşan tektonik bir dokanakla örtülmüştür. Muratdağı melanjı üst kretase yaşlıdır. Miyosen yaşlı Granitlerden oluşan Baklan Formasyonu ise uyumsuz bir biçimde soğan kabuğu şeklinde üstlenmektedir. Çalışma alanında bulunan Paleozoyik ve Mezozoyik yaşlı temel kayaçlar, Miyosen yaşlı Yeniköy Formasyonu'na ait akarsu birikintileri tarafından uyumsuz bir biçimde örtülmüşlerdir. Yeniköy Formasyonu, Karacasu volkanitleri adı verilen dasitik, riyodasitik ve riyolitik volkanik ve piroklastik kayaçlardan oluşur ve yanal ile düşey geçişler gösterir. Kuvaterner yaşlı alüvyonlar, bütün birimlerin üstüne uyumsuz bir şekilde örtülmüştür.



Şekil 19. Oysu grafit maden işletmesinde maden ocağının şev yapısı



Şekil 20. Çalışma alanının jeolojik birim haritası

Sarıcasu Formasyonu

Sarıcasu Formasyonu, çalışma sahasındaki en yaşlı birimdir. İlk kez Akdeniz ve Konak (1979) tarafından isimlendirilmiştir. Kütahya, Bolkardağ Kuşağında yaygın olarak bulunur ve geniş alanlara yayılmıştır (Özgül, 1976; Okay, 1984; Özcan vd., 1988). Bu birimin alt katmanları genellikle mikaşist ve kuvarsitlerden oluşurken, üst katmanları ise genellikle grafit şist, granat şist, kalk şist, rekristalize kireçtaşı ve mermer blokları içerir (Özcan vd., 1988; Özburan ve Gürer, 2009). Akdeniz ve Konak (1979), bu birime ait olan çakılların Orta, Üst Triyas yaşlı birimler içinde konumlanmasından dolayı birim yaşını Permiyen-Alt Triyas şeklinde kabul etmiştir, ancak Özcan vd. (1988), birimin içerdiği foraminifer ve konodont fosillerine dayanarak, birimin yaşının üst Paleozoyik yani Permiyen yaşında olduğunu bildirmişlerdir.

İkibaşlı Formasyonu

İkibaşlı Formasyonu, Kaya (1972) tarafından adlandırılmıştır. Genellikle mermer ve az miktarda kuvarsit ile şist parçalarının dahil olduğu konglomeralarla ile başlamaktadır. (Göncüoğlu, 2011; Yüksel vd., 2014). Üste kısımlarında klorit-serizit şist, serizit-kuvars şist, biyotit-serizit-kuvars şist ve kloritoyit seviyeleri görülür. Az miktarda gri mermer katkısı ve az az dolomitik seviyelerle metavolkanikler içermektedir (Yüksel vd., 2014). Akay vd. (2011), Eğrigöz köyü ve Küreci köyü çevresinde birimler içindeki meta-volkaniklere ait zirkonların üzerinde yaş analizi (207Pb/206Pb) yapmışlar ve birim yaşını Orta Triyas şeklinde kaydetmişlerdir.

Çiçeklikaya Formasyonu

Çileklikaya formasyonu, Yüksel vd. (2014) tarafından isimlendirilmiştir. Bundan önce; Bingöl (1977) üye seviyesinde ayırt etmiştir. Genellikle kalın tabaka ya da masif ve genellikle dolomitik kireçtaşlarından oluşur. Bu birimin en üst katmanlarında, ara katmanlar şeklinde çört ve rekristalize kireçtaşları bulunmaktadır. Akay vd. (2011) tarafından formasyon içeriğindeki fosiller yorumlanmış, birimin yaşı Jura olarak belirlenmiştir.

Murat dağı ofiyoliti melanjı

Serpantinleşmiş ultramafik kayaçlar, çört, radyolarit, rekristalize kireçtaşı ve amfibolitik kayaçlar, Muratdağı Karmaşığı adıyla Bingöl (1977) tarafından tanımlanmıştır. Bu kaya birimindeki ultramafik kayaçlar genellikle hafif serpantinleşmiş peridotitlerden meydana

gelir. Üst Kretase – Paleosen dönemine ait olan bu birim, İkibaşlı ve Çiçekli kaya formasyonlarının üzerine bindirilmiştir (Yüksel vd., 2014).

Baklan Graniti

Granitlerin Lökokratik biyotit ve hornblend içeren sınıfna giren Baklan graniti, İlk kez Bingöl (1977) tarafından isimlendirilmiştir. Soğan kabuğu tipinde ayrışma gösteren granitin özellikle kenar bölgeleri anklavlar içermektedir (Aydoğan, 2006). Daha yaşlı birimleri kesmektetir. Kıta çarpışmasıyla ilintili I-tipi granit olarak tanımlanmaktadır. Aydoğan vd. (2008), yaptıkları radyometrik analizlere göre granitinin yaşını miyosen olarak belirlemişlerdir.

Yeniköy Formasyonu

Ercan vd. (1978), tarafından ilk kez adlandırılan Yeniköy Formasyonu, killi kireçtaşı, kiltaşı, çamurtaşı, marn ve tüf ardalanmalarından oluşur. Bu birim, Akdeniz ve Konak (1979) tarafından Kızılbük Formasyonu ile aynı kabul edilir (Özburan, 2006). Arada ekonomik kömür yatakları da bulunan bu birimin yaşını, spor ve polen fosillerine dayanarak Ercan vd. (1978) Orta Miyosen olarak belirlemiştir. Bingöl (1977) ise radyometrik yaş belirlemesi yaparak birimdeki tüflerin 16 ila 20 milyon yıl (Orta Miyosen) yaşında olduğunu tespit etmiştir (Ercan vd., 1978). Yeniköy formasyonu, daha yaşlı birimlerin üstünde uyumsuz bir dokanakla bulunmaktadır.

Karacahisar Volkanitleri

Traki-andezit, riyodasit, dasit ve riyolitik özelliklere sahip volkanik kayaçlar ve piroklastikler içermektedir. Karacahisar volkanitleri, ilk defa Bingöl (1977) tarafından tanımlanmıştır. Bu volkanik kayaçlar genellikle yeşilimsi gri renkteyken, tüfler pembemsi beyaz renkte görülür. Karacahisar volkanitleri, Yeniköy Formasyonu'na ait çökellerle alanın içinde yanal ve düşey geçişler göstererek birlikte bulunur. Bu birim, daha yaşlı birimlerin üzerine uyumsuz bir şekilde gelmektedir.

Alüvyon

Alüvyon, en genç birim olarak, ince toprak örtüsünden oluşarak, kötü boylanmış çakıl, kum, silt, kil içermektedir. Birim, çalışma alanında bulunan tüm birimleri uyumsuz bir şekilde örtmektedir.

Tektonizma

Batı Anadolu Platformu, Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Doğu Anadolu Fay Zonu arasında sıkışarak yılda 2-3 cm batıya doğru hareket etmektedir (McKenzie, 1978; Şengör, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981). Bu tektonik etkileşimler, Ege Bölgesi'nde bir dizi graben ve horst oluşumuna yol açmıştır (Şengör, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981; Boronkay ve Doutsos, 1994; Yılmaz vd., 1999; Yılmaz vd., 2000; Gürer vd., 2001; Rojay vd., 2005). Bu levha hareketleri sonucunda oluşan Gediz grabeni, çalışma alanının içinde bulunduğu ve D-B yönünde uzanan bir dizi basamaklı normal fayla sınırlı olan bir yapıdır ve Simav Grabeni'ne kadar devam etmektedir. (Şengör, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1981; Yılmaz vd., 1999; Yılmaz vd., 2000).



Şekil 21. Oysu'da bulunan grafit madenindeki bir mostra

Oysu Grafit Yataklarının Jeolojisi

Oysu yatağında beliren cevherleşme, mikro ve makro kristalin tip grafitten oluşmaktadır. Net bir ifadeyle; yaşlı bir kömür katmanının kristalin bir serisi içerisinde oluşan metamorfizma ile oluşmuştur. Maden yatağında, tek tip bir cevherden söz edilebilir (Karabacak, 2021). Oysu grafit mineralizasyonu, yüksek basınç ve yüksek sıcaklık koşullarının varlığını belirten amfibolit gnays, kuvarsit, şist ve mermerden oluşan Üst Paleozoyik yaşlı Sarıcasu formasyonu içinde bulunmaktadır. Amorf tip grafit mineral oluşumları, metamorfik seviyeler boyunca yaygın olarak görülür. Cevher bölgeleri süreksizdir ve cevherin kalınlığı 5,10 metre arasında değişmektedir. Bunun sebebi cevher zonları tektonizmanın etkisiyle yüksek deformasyon geçirmiştir. Mikaşist ve kuvarsit birimin alt seviyelerini oluşturmaktadır. Birimin üst seviyelerinde ise genel olarak grafit şist, granat şist, kalk şistler ve rekristalize olan kireçtaşları ve mermer blokları bulunmaktadır (Özcan vd., 17 1988; Özburan ve Gürer, 2009).



Şekil 22. Grafit maden ocağının şev yapısı ve şekli

4.2. TÜRKİYE'DE GRAFİT MADEN YATAKLARINA DAİR BULGULAR

Türkiye'deki çoğu grafit, genellikle "amorf" grafit kategorisine girmekte ve kayaç içinde mikrokristalin yapıda dissemine şekilde bulunmaktadır. Balıkesir Susurluk, İnebolu, Yozgat ve Adıyaman'daki grafit oluşumları, Türkiye'nin en zengin grafitleşmiş karbonunu içeren alanlar olarak bilinirken, Kütahya, Bandırma, Kastamonu, Konya ve Muğla'daki oluşumlar daha çok "semigrafit" ve "metaantrasit" özellikleri arasında değişen özellikler gösterirler. Bu analizler, MTA Laboratuvarları'nda çeşitli zamanlarda yapılmıştır ve belirtilen bu farklılıkları ortaya koymuştur. Türkiye'nin birçok bölgesinde görülen grafite benzeyen diğer oluşumlar ise genellikle "metaantrasit" seviyesinde kömürleşme gösteren, organik maddenin daha az metamorfize olmuş formlarıdır (MTA, 2021).

Bursa, Balıkesir ve Çanakkale çevreleriyle ilgili olarak yapılan literatür araştırmalarında grafit yatağına dair detaylı bir bilgi bulunmamaktadır.

Kezban Alanı-Elma Deresi (Gökçeyayla-Han-Eskişehir) bölgesinde geniş mostralar bulunduğuna dair sonuçlara ulaşılmıştır.

Aydın'da birden fazla grafit zuhuru, yatağı bulunmaktadır ve listelemelere göre rezervi yüksek görünmektedir.

Kütahya Oysu'da bulunan yatağın içinde antimuan da bulunmakta ve bu grafit yatağının yakınlarında kaolen yatağı da bulunmaktadır. Meta-antrasit ve semigrafit yapısından ötürü, yatağın genç bir yatak olduğu gözlemlenmiştir.

Kahramanmaraş'ta bulunan grafit yatağına dair detaylı bilgi elde edilememektedir.

Kastamonu bölgesinde çok sayıda grafit zuhur ve yatağı bulunmaktadır.

Çorum Kargı bölgesinde 4 adet grafit yatağı mevcuttur.

Van Gevaş'ın batısında bulunan Tahmanis Köyünün 2 km güneydoğusunda birbirine karışmış grafit ve limonit bulunduğu, MTA Enstitüsü uzmanlarından Dr. John H. Maxson tarafından raporlanmış ancak bölgeyle ilgili güncel bir bulguya ulaşılamamıştır.

Bursa'da 1892 yılındaki bir rapordan fark edilerek kaydedilmiş olan Gözede zuhuru, herhangi bir kaynak veya araştırmada belirtilmemektedir. Ancak Maden mühendisi Abdullah Kazım Efendi'nin raporunda bölgede madencilik çalışmaları yapıldığı belirtilmektedir.

İzmir Tire'de çok sayıda farklı yerde zuhur ve yatağın varlığına dair bulgular mevcuttur.

Bozyazı Mersin bölgesinde bulunan yatağa dair ÖİK 7.kalkınma planında bulunan listedeki bir belirteç dışında bir bilgiye ulaşılamamıştır. Ancak yatağa dair 500.000 ton rezerv gösterilmiştir.

Daha önce işletilen İstanbul Çatalca'da bulunan grafit madeni ve Muğla Milas'ta bulunan grafit madenlerinin işletmeye kapatıldığına dair veriler elde edilmiştir.

4.3. GRAFİTİN İHRACATI, STRATEJİK ÖNEMİ VE GELECEĞİNE DAİR BULGULAR

Grafit mineralinin fiziksel ve kimyasal özellikleri gerekçesiyle, farklı kullanım alanlarında vazgeçilmez durumda olduğu anlaşılmıştır.

Türkiye'de grafite en çok ihtiyaç duyulan alanların, döküm ve kurşun kalem endüstrisi olduğu görülmüştür.

Türkiye'nin grafit ithalatının, ihracat miktarının 7 ila 8 katı büyüklüğünde olduğu gözlemlenmiştir. Ülkemizin kendi ihtiyacını karşılayamadığı görülmüştür.

Lityum iyon pillerin yapımında grafit kullanımı bugünün teknolojisiyle bir mecburiyet olarak görülmektedir. Alternatif projeler üzerinde çalışmalar yapılsa da, batarya sektöründe lityumdan sonraki en önemli malzemenin grafit olduğu gözlemlenmiştir.

Nükleer santrallerin geleceğinde de grafit kullanımının devam etmesinin muhtemel olacağı görülmüştür.

Grafenin çok önemli bir malzeme olduğu, savunma sanayiinden, elektronik endüstrisine kadar çok çeşitli kullanılabileceği gözlemlenmiştir. Grafen pil teknolojisinin çok verimli ve üstün olduğu, yakın-orta gelecekte lityum iyon pillerin yerini almasının muhtemel görülmüştür.

Dünya grafit ihracatı ve üretiminde Çin'in önde olduğu görülmüştür. Mozambik'in doğal grafit ihracatında son dönemde yükselişte olduğu görülmüştür.

USGS'in Türkiye'de 90 Milyon ton rezervinin varlığına dair iddiasını doğrulayacak bir bilgiye ulaşılamamıştır.

HHİ indeksine (Herfindahl, Hirschman indeksi) ve CRn yoğunlaşma indeksine göre, grafit sektörünün son yıllarda monopol bir düzene doğru gittiği gözlemlenmektedir. Ancak 2021 ve 2022 yılında HHİ endeksinde dalgalanmalar olduğu da görülmüştür.

Avrupa ülkeleri ve ABD'nin grafitten bilinen sektörlerin dışında, savunma sanayiinde de faydalandığı görülmüştür.

Çin'in grafit ihracatında kısıtlamalara gidebileceği görülmüştür. Farklı ülkelerin bu kısıtlama yolunda erken adım attığı fark edilmiştir.

4.4. DİĞER BULGULAR

Doğal kaynakların ve yerbilimlerinin, stratejik açıdan çok önemli olduğu, hatta çatışmaların ve savaşların ana gerekçelerinden oldukları gözlemlenmektedir.

Yerbilimcilerin gelişmiş ülkelerde stratejik kurumlarda kendi alanlarında ve alanları dışında çalıştıkları görülmüştür. CIA, DIA, NGA, GRU gibi istihbarat kuruluşlarında jeolog, jeoloji mühendisi, jeofizik mühendisleri ve maden mühendislerinin istihdam edildiklerine dair bulgular mevcuttur.

Askeri Jeoloji adı verilen bir alt bilim dalının var olduğu ve gelişmiş ülkelerin bu alana kritik derecede önem verdikleri görülmüştür. 1. ve 2. Dünya savaşlarında bu bilim dalından yüksek derecede faydalanıldığı, ABD'nin Afganistan askeri harekatlarında ve Usame Bin Ladin'in yakalanmasında Askeri jeologlardan faydalandıklarına dair bulgular mevcuttur.

Lityum İyon pilin keşfinin CIA tarafından 1960'lı yıllarda yapıldığı belirtilmektedir. CIA bünyesinde bulunan Bilim ve Teknoloji Dairesi (DS&T) dairesi bu misyonu yürütmüştür. CIA'in ülkemizdeki karşılığı MİT (Millî İstihbarat Teşkilâtı) olmaktadır. Açık kaynaklara göre, MİT bünyesinde DS&T dairesiyle aynı misyonu yürüten bir dairenin varlığına dair bir bulguya ulaşılamamıştır.

ABD'de National Geo-spatial Intelligence Agency adında; Jeo-uzamsal İstihbarat teşkilatı olduğu ve CIA bünyesinde bilim ve teknoloji dairesinin bulunduğu görülmüştür.

Grafit bombası adı verilen bir silahın mevcut olduğu, geçmişte kullanıldığı ve bu silahın, kullanıldığı alanlarda geniş elektrik kesintilerine ve elektro-manyetik alanda bozulmalar yaptığına dair bulgular araştırmalarla elde edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'de metamorfik kayaçlar belirgin kuşaklar içinde yer almaktadır. Bu kayaçlar, genellikle, benzer fasiyes ve yaştadırlar. Ülkemizin metamorfizma geçirmiş kayaç yapısına sahip bölgelerinde birçok grafit zuhur ve yatağına ait belge ve araştırmalar bulunmaktadır. Fakat, grafit zuhur ve yataklarının tam bir envanteri yapılmamıştır.

Grafit'in önemi, gelişen teknolojiye, stratejik özelliğine ve katma değeri yüksek ürünlerin elde edilmesine paralel olarak, gün geçtikçe artmaktadır. Ülkemizde Kütahya Oysu'da bulun sadece bir aktif maden işletmesi üretim yapmakta ve üretiminin tamamını ihraç etmektedir. Geçmişte Muğla, Milas'da ve İstanbul, Çatalca'da, grafit üreten, maden işletmeleri çalıştırılmış ancak bu işletmeler çok uzun süre faaliyet vermeden kapatılmıştır. Van Gevaş ve Eskişehir'in Han ilçesi civarlarında grafit mostraları keşfedilmiş olmakla birlikte kapsamlı jeolojik ve rezerv araştırmaları bulunmamaktadır. Aydın İlimizde birden fazla grafit zuhuru tespit edilmiştir. Kahramanmaraş, Kastamonu, Çorum illerinde, birden fazla sayıda ve illerin farklı bölgelerinde, bulunmuş olan grafit yatak ve zuhurlarına detaylı jeolojik saha çalışmaları ve rezerv hesapları yapılmalıdır.

Bursa'nın Gözede bölgesinde, Osmanlı Devleti döneminde, 1892 yılında, Orman ve Maden nezaretinde çalışan Maden Mühendisi Abdullah Kazım Efendi tarafından hazırlan raporda grafit yatağı bulduğundan bahsetmektedir. Günümüzde ise bölgeyle ilgili herhangi bir kaynak veya araştırmada grafitten bahsedilmemektedir. MTA'nın web sitesinde, E-Yayınlar sayfasında satışta olan bu belgenin içeriğine dair, daha sonra yapılmış, herhangi bir jeolojik veri ve araştırma bulunmamaktadır. Abdullah Kazım Efendi'nin Grafit hakkındaki raporunda bahsedilen bölgeye dair jeolojik araştırmalar yapılıp, grafit yatağının maden potansiyeli belirlenmelidir.

İzmir Tire'de çok sayıda grafit zuhur ve yatağından söz edilmekle birlikte kapsamlı bir jeolojik araştırmaya rastlanılmamıştır. Mersin Bozyazı bölgesinde bulunan grafit yatağına dair, ÖİK 7. kalkınma planı raporunda yayınlanan listede bir belirteç dışında, bir bilgiye ulaşılamamıştır. Ancak, raporda söz konusu yatağa dair 500.000 ton rezerv gösterilmiştir. Bu rezerv miktarları dikkate alındığında geniş kapsamlı araştırmaların bu bölgelerde yapılması gerekliliği söz konusu olmaktadır.

Grafit, lityum pillerde anot olarak kullanılmaktadır. Grafit ’in anot hale getirilebilmesi için ince tane boyutunda küçültülmesi gerekmektedir. Türkiye’de üretilen grafitler de ince tanelidir. Oysa, Türkiye’deki grafitlerin lityum iyon pillerde kullanılamayacağına dair, bazı yayınlarda, olumsuz bilgiler iddia edilmektedir. Ülkemizde teknolojik gelişmelere bağlı olarak yerli grafit üretimini sağlamamız ülke ekonomisine ve endüstrisine yüksek katkı sağlayarak dışa bağımlılıktan kurtaracaktır.

Türkiye'de döküm sanayii ve kurşun kalem yapımında grafite pek çok ihtiyaç duyulmaktadır. Oysa, Avrupa ve ABD gibi batı ülkeleri savunma, nükleer, otomotiv vb. sanayii başta olmak üzere grafiti kritik alanlarda kullanmaktadır. Dünya grafit üretiminde söz sahibi olan Çin, Mozambik vb. ülkeler eğer grafit ihracatında kısıtlamaya giderse, bu durumun grafite bağımlı teknolojik gelişmeler ve endüstrilerin doğrudan etkileneceği araştırmacılar tarafından belirtilmektedir. Bu gerekçelerle Türkiye'nin grafit araştırmalarını ve üretimini sağlayacak tedbirleri almalıdır. Dünya grafit üretimi ve ihracatında Çin'in açık ara üstünlüğünün bulunduğu gözlemlenmektedir. Ancak son yıllarda Mozambik'in grafit üretiminde olağandışı bir yükselişi de söz konusudur. Ticari dengelerin hızla değiştiği günümüzde, Çin’in ihracat kısıtlamasından çekinen, grafite bağımlı yüksek teknolojilere sahip, ülkeler için Türkiye alternatif grafit potansiyeline sahip bir ülke olarak değerlendirebileceklerdir. Türkiye öncelikle kendi ihtiyacını karşılayıp sonrasında da diğer ülkelere grafiti ve katma değeri yüksek ürünlerini de ihraç edebilir.

Dünya rezervlerine dair elde edilen veriler tutarlı değildir. Örneğin Türkiye'de 90 Milyon ton grafit bulunduğuna dair USGS'in yayınlarında hangi kaynaktan alındığı bilinmeyen bilgiler mevcuttur. Bu bilgilerin kaynağına ulaşılmalı veya yeni araştırmalarla bu veriler düzenlenmelidir.

Ülkemiz grafit ihtiyacını tamamen ithalatla karşılamaktadır. Güncel verilere göre Türkiye’nin ithalat miktarı ihracat miktarının 7 ila 8 katı olduğu ilgili kurumlarca belirtilmektedir. Oysa, USGS gibi batı kaynaklarında iddia edildiği gibi rezervlere sahip olmamız dikkatle, ivedilikle ve titizlikle araştırılarak gerçekçi verilere ulaşılmalı ve ülkemizin grafit açısından zengin bir yeraltı yapısına sahip olup olmadığı belirlenmelidir. Buna rağmen bu durumun düzeltilebilmesi için potansiyel yatakların incelenmesi ve mümkünse yeni yataklarla ilk olarak ülke içi talebin giderilmesi gerekmektedir.

Yedinci ve Sekizinci beş yıllık kalkınma raporları kapsamında, Madencilik Özel İhtisas Komisyonunca deklere edilen raporlarda grafit hammaddesine önemli ölçüde yer verilmiş ve çeşitli önerilerde bulunulmuştur. Bu önerilerin başında grafite olan araştırma faaliyetlerinin artırılması ve yerbilimcilerin desteklenmesi yönündedir. Ancak, daha sonraki beş yıllık dönemlerde ve yıllarda grafite yönelik araştırmalarda bir gelişme olmadığı gözlemlenmiştir. Bu konuda devletimizin teşviki ile çalışmalar yapılması, ülkemize büyük ekonomik ve teknolojik katkılar sağlayacaktır.

Nükleer enerji üreten ülkeler arasına girecek olan ülkemiz için grafit önemli bir hammaddedir. Çünkü nükleer reaktörlerde yavaşlatıcı grafit ve grafit çubuklar kullanılmaktadır. Nükleer enerjinin daha çok kullanılacağı bir gelecekte grafit üretiminin daha da kritik hale geleceği jeostratejik çalışmalar yapan analistlerce belirtilmektedir.

Herfindahl-Hirschman (HHİ) ve CRn yoğunlaşma indekslerine göre yapılan analizde, grafit ihracatında tekelleşme görülmektedir. Son yıllarda bu tekelleşme eğrisinde dalgalanmalar olsa da dünyadaki grafit ihracatında Çin, açık ara önde bulunmaktadır. Bu indeksten faydalanarak, bu tekelleşmenin riskleri göz önünde bulundurulmalıdır. Grafite yönelik maden arama ve üretim faaliyetlerine önem verilmesi gerekmektedir.

Ayrıca, grafen, mucize malzeme olarak bilinmekte ve birçok sektörde çözüm malzemesi olarak görülmektedir. Günümüzde ve gelecekte kullanımı stratejik öneme sahip Grafenin kaşifleri Nobel ödülüyle ödüllendirilmiştir. Grafen, grafen tabanlı piller gibi teknolojide sıçrama yaratabilecek inovatif bir üründür. Günümüzde grafen, şimdilik, kullanım potansiyeline ulaşmış olmamakla birlikte ileride teknolojik gelişmeye bağlı olarak kullanıldığı sektörlerin sayısı artacaktır. Bu sebepten, ülkemizde, grafit araştırmalarına ağırlık verilmesi gerekmektedir.

Grafen piller, henüz çok popüler bir girişim olmasa da dünyanın en önemli kuruluşları (Samsung, Seul Üni.) geleceğin grafen pillerde olduğunu belirtmektedir. Grafen pillerin, lityum pillere oranla defalarca kat daha verimli olduğu, çok kısa şarj süreleri ve daha yüksek kapasiteye sahip olması gibi özellikleri 2010'lu yıllardan sonra NASA başta olmak üzere, araştırma kurumlarının AR-GE birimlerince, üniversitelerde, devlet kurumlarındaki enstitülerde, stratejik kurumlarca, savunma ve güvenlik kurumlarının çatısı altında grafene dair çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Lityum iyon pillerin CIA-Merkezi İstihbarat Teşkilatı tarafından icat edildiği çeşitli yayınlarda yer almaktadır. Ülkemizin kamu, özel, araştırma,

AR-GE ve stratejik kurumları grafen pil teknolojisinin geliştirilmesi ve üretebilmesi için öncelikli projeleri desteklemelidir.

Grafit bombası adı verilen, geçmişte geniş elektrik kesintilerine sebep olabilecek bir silah geliştirilmiştir. Yakın gelecekte bu tür silahlar savunma sanayinde, daha da yaygın ve gelişmiş olarak, kullanılabileceği analistlerce öngörülmektedir. Bu gibi "karartma" silahlarının ülkelerin silah envanterine girmesi grafite olan gereksinimi daha da artıracaktır. Ülkemizde grafit bombası üzerine detaylı akademik, stratejik, teknolojik vb. araştırmaların hiçbir çalışmaya dair bulgu olmamakla birlikte bu konuda çalışma yapılması gerekmektedir.

Grafit vb. stratejik kaynakların doğru değerlendirilmesi, grafit bombası, nükleer reaktör çubukları, grafen piller gibi yenilikçi teknolojilerin geliştirilebilmesi ülkemiz için kritik öneme sahiptir. Güvenlik ve haber alma gibi stratejik devlet kurumları bünyesinde Bilim ve teknoloji dairesi (DS&T/CIA), ABD Ulusal Jeo-Uzamsal İstihbarat Ajansı gibi yapılanmalar, birçok ülke tarafından ihdas edilmiştir. Özellikle ABD, Rusya, İngiltere, Çin, Japonya gibi ülkelerin Askeri Jeolojiye de kritik derecede önem verdikleri görülmektedir. Bu ülkelerde çeşitli kurumların (U.S. ARMY, USGS) çatısı altında “Askeri Jeoloji” daireleri bulunmaktadır. Bu türden dairelerin misyonuna eş olacak ülkemizin, MİT gibi benzer kuruluşlarında da faaliyete icra edecek birimler oluşturulabilir. Stratejik çalışmaların ve teknolojinin başlangıç noktası, yakın tarihte savunma sanayii veya güvenlik kurumlarının gereksinimini sağlayacak ürünlerle olmuştur. Devletimizin ve ülkemizin ileriye yönelik yüksek hedefleri amaçladığı bu süreçte, bu hedeflere ulaşılabilmesi için, kurum ve kuruluşlarda yeni yapılanma ve inovatif birimler oluşturarak, dünya rekabetinde yerini alması gerekmektedir.

Doğal kaynakların ve dolayısıyla yerbilimlerinin, stratejik açıdan çok önemli olduğu, hatta çatışmaların ve savaşların ana gerekçelerinden oldukları gözlemlenmektedir. Bu durumda kritik malzeme sınıfına giren doğal kaynaklar jeostratejik önem kazanmaktadır. Geçtiğimiz yüzyılın şartlarını belirleyen faktörler yeraltından çıkan doğal kaynaklar olmuştur. Aynı şekilde gelecek yüzyılları da kaynaklar belirleyecektir. Yerbilimcileri, dünyanın en stratejik kurumlarında (CIA, DIA, NGA, GRU, NASA vb.) hem kendi uzmanlık alanlarında hem de dışında, jeopolitik ve jeostratejik konularda çalışmaktadırlar. Bu sebepten kritik hammaddeler konusunda katkı sağlayacak bilim dalları arasında sinerji oluşturacak çalışmaların desteklenmesi ve araştırma faaliyetlerine kaynak sağlanması, ülkemizin geleceği ve güvenliği açısından faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

Abdullah Kazım Efendi, 1892, Hüdavendigar vilayeti celilesi dahilinde bursa sancağının gözede ve çataltepe kariyeleri civarında ve çınarlı dere boğazında vaki grafit madeni hakkıda rapor, Devlet-i Âliyye-i Osmaniye, Orman ve Maden Nezareti bünyesinde bölgesel Çalışmalar - https://eticaret.MTA.gov.tr/index.php?route=product/product&product_id=1322 (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Ağralı, K., 2018, "Grafen Nanokaplama", https://malzemebilimi.net/grafen-nanokaplama.html. (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Ağrılı H., ve Toprak S., 2001, Madencilik ÖİK Raporu, Sekizinci 5 yıllık kalkınma planı, 23-50.

Akay, E., Işıntek, İ., Erdoğan, B. and Hasözbek, A., 2011, Stratigraphy of the Afyon Zone aroun Emet (Kütahya, NW Anatolia) and geochemical characteristics of the Triassic volcanism along the northern Menderes Massif. Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen Band, 188 Heft 3, p. 297-316.

Akdeniz, N. ve Konak, N., 1979, Menderes masifinin Simav dolayındaki kaya birimleri ve metabazik, meta-ultramafik kayaların konumu. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 22, 175-183.

Army Corps, ABD Ordusu Mühendisler Birliği, https://www.usace.army.mil (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Arranguez, G. I. S. and Hinlo, J. E., 2019, Export geographical diversification and economic growth among asean countries. Paper presented at the 14th National Convention on Statistics (NCS), Crowne Plaza Manila Galleria, Quezon City.

Asbury Carbons, 2013, Natural Flake Graphite. http://asbury.com/technical-presentationspapers/materials-in-depth/natural-flake-graphite (Erişim Tarihi: Kasım 2023).

Aslan, N., Cifci, F. and Yan, D., 2008, Optimization of process parameters for producing graphite concentrate using response surface methodology. Separation and Purification Technology, 59, 9-16.

Aydoğan, M.S., 2006, Baklan Graniti (Murat Dağı, Banaz/Uşak) Civarındaki Baz Metal Cevherleşmesinin Mineral Parajenezi, Metal Zonlanması ve Kökenlerinin İzotop Jeokimyası ile Saptanması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Universitesi, 238 s.

Aydoğan, M.S., Çoban, H., Bozcu, M. and Akıncı, Ö., 2008, Geochemical and mantle-like isotopic (Nd, Sr) composition of the Baklan Granite from the Muratdağı Region (Banaz, Uşak), western Turkey: Implications for input of juvenile magmas in the source domains of western Anatolia Eocene–Miocene granites. Journal of Asian Earth Sciences, 33, 155-176.

Barkan, T., 2013, "The Future of The Graphane Industry – Quality and Quantity!, The Graphene Council, https://www.thegraphenecouncil.org/page/About (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Bayındır, Z., 2021, https://www.savunmasanayist.com/ezber-bozan-malzeme-grafen/ (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

BBC news, 2010, "Fact file: Blackout bombs" http://news.bbc.co.uk/2/hi/2865323.stm (Erişim tarihi: Ocak 2024)

Bedeloğlu, A. ve Taş, M., 2016, Grafen ve Grafen Üretim Yöntemleri. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(3), 544-554.

Berckmans G, Messagie M, Smekens J, Omar N, Vanhaverbeke L. and Van Mierlo J., 2017, Cost projection of state of the art lithium-ion batteries for electric vehicles up to 2030. Energies. 2017; 10(9): 1314.

Berger, M., 2016, "What is graphene?", Nano Werk, https://www.nanowerk.com/what_is_graphene.php. (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Bingöl, E., 1977, Muratdağı jeolojisi ve ana kayaç birimlerinin petrolojisi, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 20, 13-66.

Bolat, E., Sağlam, S. and Pişkin, S., 1998, Chemical demineralization of a Turkish high ash bituminous coal. Fuel Process Technology, 57, 93-99.

Boronkay, K. and Doutsos, T., 1994, Transpression and transtension within different structural levels in central Aegean region, Journal of Structural Geology, 16, 1555-1573.

Boyle, R., 2014, "Bulletproof graphene makes ultra-strong body armour", New Scientist, https://www.newscientist.com/article/dn26626-bulletproof-graphene-makes-ultra-strong-body-armour/. (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Branovic, Z. and Chojnacki, S., 2011, The logic of security markets: Security governance in failed states, Security Dialogue, 42(6) 553–569.

British Geological Survey (BGS), 2015, British geological survey risk list. Erişim adresi: https://www2.bgs.ac.uk/mineralsuk/download/statistics/risk_list_2015.pdf (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Bulatovic, S. M., 2014, Beneficiation of graphite ore. In Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice.Flotation of Industrial Minerals (S. M. Bulatovic, Ed.). Oxford, (3) 163-171.

Burt, R. ve Ottley, D., 1974, Fine gravity concentration using the Bartles-Mozley concentrator. Int J Miner Process, 1(4), 347-366.

Buzlu, H. B., 1992, Balıkesir - Gönen - Çığmış köyü çevresinin jeolojisi ve ekonomik potansiyeli - Akdeniz Üniversitesi - http://acikerisim.akdeniz.edu.tr/handle/123456789/299 (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Canbazoğlu, M., 1981. Çayeli complex from sulfide beds (Oxidation-Reduction) processing Copper, Zinc and Lead generation, Mining Research and Exploration Institute of Technology, Department of Metallurgical Service, Proje No. VI/21.0.00.00-7. Maden Tetkik Arama Enstitüsü Teknoloji Dairesi, Metalurji Servisi.

Cevirmez, E. O., 2019, Türkiye ihracatının ürün ve ülke bazında yoğunlaşma analizi. TCMB Ekonomi Notları, Sayı: 2019-12.

Chelgani, C.S., Rudolph, M., Kratzsch, R., Sandmann, D. and Gutzmer, J., 2016, A review of graphite beneficiation techniques. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 37 (1), 58–68.

Chen, S., 2019, "Can a new graphene coating save the Chinese military from rusting away in the South China Sea?", South China Morning Post, https://www.scmp.com/news/china/science/article/3016480/can-new-graphene-coating-save-chinese-military-rusting-away. (Erişim Tarihi: Aralık 2023)

Coelho, J. L. M., Burgos, M. D. C., Santos, J. E. P. and Pinto, P. A. L. D. A., 2019, Regional concentration of the gross production value of firewood in paraíba. Floresta e Ambiente, 26. doi: http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.088717 (Erişim tarihi: Ocak 2024)

Critchley, L., 2019, "A look back at the emergence of Graphene products in 2018", Nano Magazine, https://nano-magazine.com/news/2019/2/13/a-look-back-at-the-emergence-of-graphene-products-in-2018 (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Çakın, E., 2023, Gökçeyayla ile Akhisar Köyleri (Han-Eskişehir) arasında kalan grafit yataklarının jeolojisi, mineralojisi ve jeokimyasal özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı.

Çuhadaroğlu, A. D. ve Kara, E., 2018, Grafit: Bir Genel Değerlendirme, SDÜ Teknik Bilimler Dergisi, 8, 15- 33.

Davis, G. A., 2010, Trade in mineral resources, World Trade Organization Economic Research and Statistics Division, Staff Working Paper. Erişim adresi: https://www.wto.org/english/res_e/reser_e/ersd201001_e.pdf (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Değer, M. K., 2010, İhracatta ürün çeşitliliği ve ekonomik büyüme: Türkiye deneyimi (1980-2006). Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 24(2), 259-287. Erişim adresi: https://dergipark.org.tr/tr/pub/atauniiibd/issue/2699/35591 (Erişim tarihi: Ocak 2024)

Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), 1995, 7. Beş yıllık kalkınma planı ÖİK, https://www.sbb.gov.tr/ozel-ihtisas-komisyonu-raporlari/#1543397043695-87bc7f54-2bdf (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), 2001, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik ÖİK Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri I (Asbest-GrafitKalsit-Fluorit-Titanyum) Çalışma Grubu Raporu, https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Sekizinci-Bes-Yillik-Kalkinma-Plani-Madencilik-OIK-Raporu-EndustriyelHammaddelerAltKomisyonu-GenelEndustriMineralleri-Calisma-GrubuRaporu.pdf (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

WNA, 2013, "Nuclear Power Reactors", WNA, World Nuclear Association, Dünya Nükleer Derneği, https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/nuclear-power-reactors.aspx (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

EC – European Comission, 2020, Study on the EU'su list of critical raw materials Final Report (2020), Erişim adresi: https://ec.europa.eu/docsroom/documents (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Econex, 2012, The use of concentration İndices to measure competition in south africa's medical services markets, econex research note 27. Erişim adresi: https://econex.co.za/wp-content/uploads/2015/04/occasional-note_-april-2012.pdf (Erişim tarihi: Ocak 2024)

Eduard, J. and Roman, D., 2016, The graphıte bomb: an overvıew of it's basic military applications. Review of the Air Force Academy, 14, 13-18, 10.19062/1842-9238.2016.14.1.2.

Ercan, T., Dinçel, A., Günay, B. ve Türkecan, A., 1978, Uşak yöresindeki Neojen havzalarının jeolojisi, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 21/2, 97-106.

Engin, Y., 2015, "Kayaçlar, Endüstriyel Hammaddeler", https://www.betonvecimento.com/teknik-yayinlar/kayaclar (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Eslen, N., 2008, "Çok kutuplu düzene doğru", İstanbul: Truva Yayınları.

European Defence Agency, 2018, "Work starts on Graphene Roadmap in Defence", (29 Mayıs 2018), https://www.eda.europa.eu/info-hub/press-centre/latest-news/2018/05/29/work-starts-on-graphene-roadmap-in-defence. (Erişim Tarihi: Eylül 2023)

Fang, W., Shunshan, F., Wenxuan, W. and Fuwang, L., 2010, Analysis of action mechanism of graphite bombs and reaction method of power system. 10.1109/POWERCON.2010.5666135.

Fearon, J., 2005, Primary Commodity Exports and Civil War, Journal of Conflict Resolution, Vol. 49: 483-507

Fogg, C. T. and Boyle E. H., 1987, Flake and High-Crystalline Graphite Availability Market Economy Countries, A Minerals Availability Appraisal. Bureau of Mines Horton, R. C., 1-39.

GazeteSU, 2018, "Dünyanın en yüksek çözünürlüklü 'Grafen Tabanlı OLED Ekranı' geliştirildi", (8 Ağustos 2018), https://gazetesu.sabanciuniv.edu/2018-09/dunyanin-en-yuksek-cozunurluklu-grafen-tabanli-oled-ekrani-gelistirildi (Erişim Tarihi: Eylül 2023)

Geolsoc, 2021, "TVRG: Military Geology & Subterranean Warfare" https://www.geolsoc.org.uk/expired/TVRG-Military-Geology-and-Subterranean-Warfare (Erişim tarihi: Ocak 2024)

Ghaffarpour, R., and Ranjbar, A. M., 2019, Presentation of Special Protection Scheme in Power System to Reduce Graphite Bomb Attacks Damages. journal of Advanced Defense Science and Technology, 8(1), 33-44.

Gibney, E., 2019, "How 'magic angle' graphene is stirring up physics", Nature, (2 Ocak 2019), https://www.nature.com/articles/d41586-018-07848-2. (Erişim Tarihi: Ocak 20203)

Girardi B., Patrahau I., Cisco G., and Rademaker M., 2023, Strategic raw materials for defence mapping european industry needs Report, Hauge Centre for Strategic Studies, https://hcss.nl/wp-content/uploads/2023/01/Strategic-Raw-Materials-for-Defence-HCSS-2023-2.pdf (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Girish K., Karthik Raj H. P. and Manoj M., 2019, Graphene Batteries over Lithium Ion Batteries, National Conference on Communication and Image Processing, International Journal of Science, Engineering and Technology, https://www.ijset.in/wp-content/uploads/NCCIP55.pdf (Erişim tarihi: Ocak 2024)

Glembotskii, V. A., Klassen, V. I. and Plaksin, I. N., 1972, Flotation. Tsvetnye Metally, New York. 424-427.

Göncüoğlu, M.C., 2011, Geology of the Kütahya-Bolkardağ Belt. Mineral Research and Exploration Bulletin. 142, 223-277.

Gözler, Z. ve Dinçer A., 1987, Kezban Alanı - Elma Deresi arası Metamorfitlerdeki grafit oluşumu, Jeoloji Mühendisliği Dergisi s.30-31, MTA Konya bölge Müdürlüğü.

Graffin, G. D., 1983, Graphite, Industrial Minerals and Rocks (Nonmetallics other than Fuels); Lefond, S. J., Volume 2, Fifth Edition, Society of Mining Engineers of The American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., New York, 757-773.

Graphene Flagship, 2018, "Annual Report 2018", https://graphene-flagship.eu/SiteCollectionDocuments/Admin/Annual%20report/Graphene%20Flagship%20Annual%20Report%202018.pdf. (Erişim Tarihi: Ekim 2023)

Graphene Info, 2018, "An overview of graphene's properties", (27 Aralık 2018), https://www.graphene-info.com/graphene-properties. (Erişim Tarihi: Eylül 2019)

Graphene Info, 2019, "Defects in layered materials enable 'green' high-performance infrared photodetectors" https://graphene-flagship.eu/news/Pages/Defects-in-layered-materials-enable-

%E2%80%98green%E2%80%99-high-performance-infrared-photodetectors.aspx. (Erişim Tarihi: Kasım 2023)

Graphite One Resources, 2015, Graphite 101. http://graphiteoneresources.com (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Grissom, R.A., Charap, S., Cheravitch, J., Hanson, R., Massicot, D., Mouton, A.C. and Reimer, J.R., 2019, Russia's Growing Presence in Africa, Rand Corporation Report https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR4000/RR4399/RAND_RR4399.pdf (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Grondin, T. and St-Hilaire, J. G., 1996, Beneficiation of flake graphite. Office, US Patent (Ed.), U.S. Patent No, US5518189 A.

Gürer, Ö.F., Bozcu, M., Yılmaz, K. and Yılmaz, Y., 2001, Neogene basin development around Söke-Kuşadası (Western Anatolia) and its bearing on tectonic development of the Aegean region", Geodinamica Acta, 14, 57-69.

Harunoğulları, M., 2021, Doğal kaynaklar ekseninde iç savaşın coğrafyası. Doğu coğrafya dergisi, 26(45), 151-170.

Hesse, H., 2008, Export diversification and economic growth. Commission on growth and development working paper; no. 21. World bank, Washington, DC. In. Erişim adresi: https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/28040/577210NWP0Box353766B01PUBLIC10gcwp021web.pdf (Erişim adresi: Ocak 2024)

Hürriyet Haber, 1999, "İlk kez grafit bombası kullanıldı" https://www.hurriyet.com.tr/dunya/ilk-kez-grafit-bombasi-kullanildi-39077426 (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

İlhan, A., Sarı, R. ve Çörtenlioğlu, Y.Y., 2020, Avrupa İçin Yeni Bir Kaynak: Türkiye Grafit Oluşumları Madencilik Türkiye https://yermam.org.tr/uploads/kutuphane/259761_avrupa_icin_yeni_bir_kaynak_turkiye_grafit_olusumlari_01_06_2020.pdf (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Jara, A.D., Betemariam A., Woldetinsae G. and Kim J.Y., 2019, Purification, application and current market trend of natural graphite: A Review. International Journal of Mining Science and Technology 29, 671- 689.

Karabacak, M., 2021, https://www.karabacakmaden.com.tr/ (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Karabulut, B., 2004, Jeostrateji ve Jeopolitiğin Ülke Dış Politikalarındaki Yeri ve Türkiye, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Gazi Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Karaman M., 2021, Grafit Cevherleşmelerinin Sentinel-2 Uydu Görüntülerinden Belirlenmesinde En Uygun Bant Kombinasyonları. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (25), 749-757.

Kardaş, A., 2017, Osmanlı'dan Cumhuriyet'e Van'da Madencilik Çalışmaları (1900-1980). Gazi Kitabevi, Ankara.

Kavitha, M. K. and Jaiswal M., 2016, "Graphene: A review of optical properties and photonic applications", Researh Gate, https://www.researchgate.net/publication/312070999_Graphene_A_review_of_optical_properties_and_photonic_applications. (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Kaya, Ö. and Canbazoglu, M., 2009, Chemical demineralization of three different graphite ores from Turkey. Minerals & Metallurgical Processing, 26(3), 158-162.

Kaya, Ö. and Canbazoğlu, M., 2007, A Study on the foatability of graphite or from Yozgat Akdağmadeni (Turkey).” Journal of Ore Dressing, 9, 40-44.

Kaya,Ö., 2006, Grafit Zenginleştirme Yöntemleri ve Zenginleştirmeye Etki Eden Parametrelerin Araştırılması, Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi. 250s.

Ketin, İ., 1945, Askeri Jeoloji, Genelkurmay Başkanlığı İstanbul Askeri Basımevi.

Kiersch, G. A., 1998, Engineering geosciences and military operations, Engineering Geology, Volume 49, Issue 2, Pages 123-176

Kim, B. G., Choi, S. K., Park, C. L., Chung, H. S., and Jeon, H. S., 2003, Inclusion of gangue mineral and its mechanical separation from expanded graphite, Particulate Science and Technology. 21, 341- 351.

Kimber, G. and Gray, M., 1967, Rapid devolatilization of small coal particles. Combust Flame. 11(4), 360-362.

Klare, M. T., 2001, Natural resources wars: The new landscape of global conflict. New York: Metropolitan Books.

Konuk, A., Gürsoy, Y. H., Ak, H., 2021, Doğal grafit ihracatı yoğunlaşmasının ekonomik büyüme üzerindeki etkisi. Eskişehir Osmangazi üniversitesi mühendislik ve mimarlık fakültesi dergisi, 29(3), 316-327.

Kosynkin, D. V., Higginbotham, A. L., Sinitskii, A., Lomeda, J. R., Dimiev, A., Price, B. K. and Tour, J. M., 2009, Longitudinal unzipping of carbon nanotubes to form graphene nanoribbons. Nature, 458(7240), 872-U875.

Kowarski, İ., 2021, US NEWS - How to Train for CIA Jobs and Become a CIA Officer, https://www.usnews.com/education/best-graduate-schools/articles/degrees-that-can-lead-to-cia-jobs-and-how-to-work-for-the-cia (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Laverty, P., Nicks, L. and Walters, L., 1994, Recovery of flake graphite from steelmaking kish. Report of investigations. Reno, NV: Reno Rese.

Leith, W., 1998, Recent Activities in military geology at U.S. Geological Survey.

Li, H., Feng, Q., Ou, L., Long, S., Cui, M. and Weng, X., 2013, Study on washability of microcrystal graphite using float-sink tests. Int J Mining Sci Tech. 23 (6), 855-861.

Lloyd, S., 2018, “Interface Engineering for Stable Perovskite Solar Cells” Graphene Flagship, https://graphene-flagship.eu/interface-engineering-for-stable-perovskite-solar-cells. (Erişim Tarihi: Kasım 2023)

Lu, X. and Forssberg, E., 2001, Flotation selectivity and upgrading of woxna fine graphite concentrate. Minerals Engineering. 14(11), 1541-1543.

Lu, X. and Forssberg, E., 2002, Preparation of high-purity and low-sulphur graphite from Woxna fine graphite concentrate by alkali roasting. Mineral Engineering. 15 (10), 755-757.

Lujala, P., Gleditsch N. P. and Gilmore, E., 2005, A diamond curse? civil war and a lootable resource. Journal of Conflict Resolution, 49 (4): 538–562.

Mackey P. J., El-Kady M. F., Johansen M. R., Hogue M. D., Wang, L., Hwang J. Y., Kaner, R. B. and Calle C. I., 2014, Graphene-based energy storage devices for space applications, Fourth International Symposium on Graphene Devices, NASA.

McPhee, J., 1998, Irons in the Fire, Farrar, Straus and Giroux

Magnis Energy Technologies, 2021, "Graphite Market" https://magnis.com.au/graphite-market/#:~:text=The%20global%20graphite%20market%20is,representing%20a%20CAGR%20of%208.2%25. (Erişim tarihi: Ocak 2024)

Mantell, C. L., 1968, Natural Graphite. Carbon and Graphite Handbook. John Wiley&Sons. Inc., 61-71.

Matsumoto, T. and Hoshikawa, T., 1995, Method for manufacturing high purity graphite material, USA: US005419889A, May 30.

McKenzie, D., 1978, Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions, Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 55, 217-252.

Mindat, Graphite Photo https://www.mindat.org/photo-233436.html (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Mitchell, C. J., 1993, Industrial Minerals Laboratory Manual: Flake Graphite, Technical Report WG/92/30, British Geological Survey, 35 s.

MTA,Afyon İli Maden ve Enerji Kaynakları Raporu, https://docplayer.biz.tr/10786698-Afyonkarahisar-ili-maden-ve-enerji-kaynaklari.html (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

MTA, Artvin İli Maden ve Enerji Kaynakları Raporu- https://docplayer.biz.tr/25527383-Artvin-ili-maden-ve-enerji-kaynaklari.html (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

MTA, Çanakkale İli Maden ve Enerji Kaynakları Raporu- https://docplayer.biz.tr/6358703-Canakkale-ili-maden-ve-enerji-kaynaklari.html (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

MTA, Çorum İli Maden ve Enerji Kaynakları Raporu- https://www.MTA.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden_potansiyel_2010/Corum_Madenler.pdf (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

MTA, 2021. https://www.MTA.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/grafit (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Nano Werk, 2016, "$1.3 million DARPA grant to fund graphene infrared detector research" https://www.nanowerk.com/nanotechnology-news/newsid=43596.php (Erişim tarihi: 09.01.2024)

Nelson, C. M, 2012, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology Volume 45 Pages 349-367.

NGA, "Know the World, Show the Way…from Seabed to Space" https://www.nga.mil/about/About_Us.html (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Nicks, L. J. and Nehl, F. H., 1995, Chambers MF. Recovering flake graphite from steelmaking kish. JOM, 47(6), 48–51.

Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Zhang, Y., Dubonos, S. V. and Firsov, A. A., 2004, Electric field effect in atomically thin carbon films. Science, 306(5696), 666-669.

The New York Times, 2021, "Inside the C.I.A., She Became a Spy for Planet Earth" https://www.nytimes.com/2021/01/05/science/linda-zall-cia.html (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

O'Loughlin, J. and Witmer, F., 2005, Taking 'Geography' seriously: disaggregating the study of civil wars, Paper presented at the conference on "Disaggregating the study of civil war and transnational violence", University of California Institute of Global Conflict and Cooperation, La Jolla, CA.

Okay, A. I., 1984, Distribution and characteristics of the northwest Turkish blueschists, In: The geological evolution of the eastern Mediterranean (Editors: Dixon JE, Robertson AHF), Geological Society of London Special Publication, 17, 455-466.

Öney, Ö., 2023, Grafit Zenginleştirme Yöntemlerinin İncelenmesi. MT Bilimsel (24), 29-42.

Özburan, M., 2006, Kütahya ve Çevresinin Neotektonik İncelemesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 207 s. (Yayımlanmamış).

Özburan, M. ve Gürer, Ö. F., 2009, Kütahya ve Çevresinin Neotektonik Özellikleri. Aktif Tektonik Araştırma Grubu ATAG 13. Çalıştayı, s40.

Özcan, A., Göncüoğlu, M.C., Turan, N., Uysal, Ş., Şentürk, K. and Işık, A., 1988, Late Paleozoik evolution of the Kütahya–Bolkardağı belt. METU Journal of Pure and Applied Sciences, 21, 211-220.

Özgül, N., 1976, Torosların bazı temel jeolojisi özellikleri, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 19, 65-78.

Park, S., and Ruoff, R. S., 2009, Chemical methods for the production of graphenes. Nature Nanotechnology, 4(4), 217-224.

Pavel, C. C. and Tzimas, E., 2016, "Raw Materials in the European Defence Industry" (LU: Publications Office of the European Union).

Pehlevan, M., 2009, Kastamonu-İnebolu-Gölmet (Ar:91283), Kastamonu-İnebolu-Dibek (Ar: 91286), Kastamonu-Merkez (Ar: 93038)-(Ar: 93039)-(Ar: 93040) ve (Ar: 95205) Grafit Ruhsat Sahalarının Maden Jeolojisi Raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 11339.

Pohl, W. L., 2020, Economic Geology, Principles and Practice: Metals, Minerals, Coal and Hydrocarbons – an Introduction to Formation and Sustainable Exploitation of Mineral Deposits. 2nd ed. 755 pp.

PR Newswire, 2019, "Graphene Nanocomposites Market Projected to Reach US$ 800.4 Mn by 2028 - Future Market Insights", https://www.prnewswire.com/news-releases/graphene-nanocomposites-market-projected-to-reach-us-800-4-mn-by-2028--future-market-insights-300812332.html. (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Qureshi, Y., 2016, "Scientists eye first-ever aeroplane made using ultra-thin graphene", Manchester Evening News, https://www.manchestereveningnews.co.uk/news/greater-manchester-news/scientists-graphene-aeroplane-university-lancashire-11602615. (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Radic, S., Geitner, N. K., Podila, R., Kakinen, A., Chen, P. Y., Ke, P. C. and Ding, F., 2013, Competitive Binding of Natural Amphiphiles with Graphene Derivatives. Scientific Reports, 3.

Rand Corporation, "A Brief History of RAND", https://www.rand.org/about/history.html (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Reina, A., Jia, X. T., Ho, J., Nezich, D., Son, H. B., Bulovic, V. and Kong, J., 2009, Large Area, FewLayer Graphene Films on Arbitrary Substrates by Chemical Vapor Deposition. Nano Letters, 9(1), 30-35.

Reyes, A., 2018, "How Lockheed Martin's driverless trucks and graphene partnership can revolutionize military might", Technology.org, https://www.technology.org/2018/03/27/how-lockheed-martins-driverless-trucks-and-graphene-partnership-can-revolutionize-military-might/. (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Rivera-Utrilla, J., López-Ramón, M. V., Carrasco-Marín, F., Maldonado-Hódar, F. J., and Moreno-Castilla, C., 1996, "Demineralization of a bituminous coal by froth flotation before obtaining activated carbons." Carbon. 34, 917-921.

Robinson G. R., Hammarstrom J. M., and Olson D. W., 2017, Graphite, chapter j. In J. H. D. Klaus J. Schulz, Jr., Robert R. Seal II, Dwight C. Bradley (Ed.), Critical mineral resources of the United States, economic and environmental geology and prospects for future supply: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. Erişim adresi: https://pubs.USGS.gov/pp/1802/pp1802_entirebook.pdf (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Rojay, F. B., Toprak, V., Demirci, C. and Süzen, L., 2005, Plio-Quaternary evolution of the Küçük Menderes Graben Southwestern Anatolia, Turkey, Geodinamica Acta, 18, 317-331.

Ross, M. L., 2004, What do we know about natural resources and civil war? Journal of Peace Research, 41 (3): 337–356.

Russian Government, Rusya Federal Mineral Kaynakları Ajansı Web, "Federal Agency for Mineral Resources" http://government.ru/en/department/53/ (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Ruta, M., and Venables, A. J., 2012, International trade in natural resources: Practice and policy. Annu. Rev. Resour. Econ., 4(1), 331-352.

Sakhizada, M., 2020, Oysu (Altıntaş/Kütahya) Kaolen Yataklarının, Jeolojik, Mineralojik, Jeokimyasal Özellikleri ve Kökenlerinin İrdelenmesi - Yüksek Lisans Tezi - Eskişehir Osmangazi Üniversitesi - Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı.

Sarıcı-Özdemir, Ç., Önal, Y. and Akmil-Basar, C., 2006, The effects of demineralization and swelling in producing active carbon from Turkish lignites. Fuel Processing Technology. 87 (11), 979-986.

Sevim, C., 2013, Küresel Enerji Stratejileri ve Jeopolitik, İkinci Baskı, Ankara, Seçkin Yayıncılık.

Silberglitt, R., 2017, Critical materials and u.S. Import reliance: Recent developments and recommended actions, rand corporation document number: Ct-485. Erişim adresi: https://www.rand.org/pubs/testimonies/CT485.html (Erişim tarihi: Ocak 2024)

Simandl, G. J., Paradis, S. and Akam, C., 2015, Graphite deposit types, their origin, and economic significance. Symposium on Strategic and Critical Materials Proceedings, British Columbia Ministry of Energy and Mines & British Columbia Geological Survey Paper 2015-3, 163-171.

Solomon, P.R., Hamblen, D.G., Carangelo, R., Serio, M. and Deshpande, G., 1998, General model of coal devolatilization. Energy Fuels. 2(4), 405-422.

Sputnik News, 2018, "China Adds Powerful Graphene Armor to Z-10 Assault Helicopters – Report", https://sputniknews.com/military/201810241069185679-china-powerful-graphene-armor-z-10/. (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Stiller, A. H., Zondlo, J. W. and Stansberry, P. G., 1998, Method of producing high quality, high purity, isotropic graphite from coal. USA: US5705139A, January 6.

STM ThinkTech, 2018, "5G ve Savunma Sanayii", https://thinktech.stm.com.tr/detay.aspx?id=180. (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

STM ThinkTech, 2019, "5G Yarışı", https://thinktech.stm.com.tr/detay.aspx?id=217. (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

STM ThinkTech, 2019, Grafen Teknolojisi ve Savunma Sanayiinde kullanımı, Savunma ve Güvenlik Trend Analizi.

Subramanian, S. and Laskowski, J. S., 1993, Adsorption of dextrin onto graphite. Langmuir. 9, 1330-1333.

Şengör, A. M. C. and Yılmaz, Y., 1981, Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach, Tectonophysics, 75, 181-241.

Şengör, A. M. C., 1979, The North Anatolian Transform Fault its age, offset and tectonic significance, Journal of the Geological Society London, 136, 269-282.

Tandogan, E., 2004, Değişen Dünyada Askeri Jeoloji. JMO Haber Bülteni Sayı: 2004/1. Syf:57-58.

Tarakçı, N., 2003, Devlet Adamlığı Bilimi: Jeopolitik ve Jeostrateji, İstanbul, Çantay Kitabevi.

Tenmak Web, "Günümüzde Nükleer Enerji(Rapor)" https://www.tenmak.gov.tr/2016-06-09-00-43-55/135-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor.html (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

The Engineer, 2018, "Uni-built Juno becomes world's first graphene skinned plane", https://www.theengineer.co.uk/worlds-first-graphene-skinned-plane/. (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Tiringa, D., Çelik, Y., Demirkıran, G., Ateşçi, B., Yüceel, S., Niğdeli, S. F ve Aksoy, T., 2019, Kırklareli Demirköy-Balaban Yöresindeki Ar: 201400302 (Er: 3317272) No'lu IV. Grup Ruhsat Sahasına Ait Demir Madeni Buluculuk Talebine Esas Maden Jeolojisi ve Kaynak Tahmin Raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 13770.

Toprak, S., 2006, Grafit, Ülkemizdeki Grafit Oluşumları ve Sorunları, MTA Genel Müdürlüğü, MAT Dairesi, Mineraloji Petrografi Koordinatörlüğü.

Tovy, T., 2015, The Changing Nature of Geostrategy: 1900-2000, Alabama, Air University Press

Trademap, 2023, "List of exporters for the selected product Product: 2504 Natural graphite" https://www.trademap.org/Country_SelProduct_TS.aspx?nvpm=1%7c%7c%7c%7c%7c2504%7c%7c%7c4%7c1%7c1%7c2%7c2%7c1%7c2%7c1%7c1%7c1 (Erişim tarihi: Ocak 2024)

Tufan B. ve Batar T., 2015, Oysu Grafit Cevheri Flotasyon Parametrelerinin İyileştirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19(3), 17-25.

TUİK, 2021, Sanayi ve hizmet sektörlerinde yoğunlaşma. Erişim adresi: https://tuikweb.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1036

U.S. CIA, 2016a, United States Central Intelligence Agency, ABD merkezi istihbarat teşkilatı sitesi (Web arşiv bağlantısı), "Lithium-Iodine Battery" https://web.archive.org/web/20230716183618/https://www.cia.gov/legacy/museum/artifact/lithium-iodine-battery (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

U.S. CIA, 2016b, United States Central Intelligence Agency, ABD merkezi istihbarat teşkilatı twitter hesabı: "1970s: we shared our battery research w med community & today lithium batteries can power pacemakers" https://twitter.com/CIA/status/746067019376771072 (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

U.S. Intelligence Community web, "Mission", https://www.intelligence.gov/mission (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

U.S. National Science foundation, "About Earth Sciences" https://www.nsf.gov/geo/ear/about.jsp (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

IAEA, 2005, Accident Analysis for Nuclear Power Plants with Graphite Moderated Boiling Water RBMK Reactors, International Atomic Energy Agency, https://www.iaea.org/publications/7165/accident-analysis-for-nuclear-power-plants-with-graphite-moderated-boiling-water-rbmk-reactors (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

IAEA, 2016, "Nuclear Energy For The Future, International Atomic Energy Agency https://www.iaea.org/newscenter/news/nuclear-energy-for-the-future (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

UNCTAD, 2020, Handbook of statistics 2020. Erişim adresi: https://unctad.org/webflyer/handbookstatistics-2020 (Erişim tarihi: Kasım 2023)

Urcun, U., 2008, Türkiye'de Grafit Madenciliği. Madencilik Bülteni.

USGS Web sayfası, "Who we are?" https://www.USGS.gov/about/about-us/who-we-are (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

USGS, 2020, Mineral commodity summaries. In United States Geological Survey (pp. 204). Erişim adresi: https://pubs.USGS.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

USGS, 2022, Critical minerals list, https://www.USGS.gov/news/national-news-release/us-geological-survey-releases-2022-list-critical-minerals (Erişim tarihi: Ocak 2024)

USGS, 2023, Graphite Report, https://pubs.USGS.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023-graphite.pdf (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Uysal, S., 2012a, Kritik Hammaddeler: Grafit. Madencilik.

Uysal S., 2012b, Graphite In Turkey And Its Position In Europe. Industrial Minerals International Congress&Exhibition.

Uysal, S., 2012c, 2nd Graphite Conference/London Global Marketing Manager Syrah Resources Limited.

Uysal S., 2020, "Cevherden Bataryaya Grafit", Madencilik Türkiye Dergisi 15 Ocak 2020, Yıl 11, Sayı 84, Sayfa: 68-70.

Uysal, S., 2021, Türkiye Grafitlerinin Lityum Pillerde kullanılabilirliği. 86-88.

Uzumer, A., Tiringa, D., Gülez, B., Kıral, N. ve Özkümüş, S., 2023, Büyükeceli (Silifke-Mersin) grafit mineralizasyonu köken yaklaşımı ve benzer mineralizasyonlar açısından önemi. MTA Yerbilimleri Ve Madencilik Dergisi, 3(3), 43-60.

Vasumathi, N., Kumar, V., Nayak, B., Rao, S., Swarna, P. and Raju, B., 2014. Beneficiation of low grade graphite ore of eastern India by two-stage grinding and flotation. Journal of Mining and Metallurgy A: Mining. 50. 9-17. 10.5937/JMMA1401009V.

Wang, H., Feng, Q., Liu, K., Zuo, K. and Tang, X., 2018, A novel technique for microcrystalline graphite beneficiation based on alkali-acid leaching process. Sep Sci Technol, 53(6), 982-989.

Whitmore JR., F. C., 1954, Military Geology, The Military Engineer, Vol. 46, No. 311 pp 212-215, 1954.

WITS, 2021, World integrated trade solution. Erişim adresi: https://wits.worldbank.org/ (Erişim tarihi: Ocak 2024)

CIA, 2013, Directorate of Science and Technology (DS&T), web arşiv bağlantısı, https://web.archive.org/web/20170123134716/https://www.cia.gov/library/readingroom/docs/CIA-RDP90-00530R000701680006-9.pdf (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Wood Mackenzie, 2022, "Main Uses of Graphite" https://ecga.net/main-uses-of-graphite/ (Erişim tarihi: Ocak 2024)

WorldBank, 2021, Products exports by country & region, 2002 Erişim adresi: https://wits.worldbank.org/CountryProfile/en/Country/WLD/Year/2002/TradeFlow/Export/Partner/all/Product/Total (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Xu, Z., 2018, Fundamental Properties of Graphene. 10.1016/B978-0-12-812651-6.00004-5.

Yener, T., 2018, Yerküremizdeki mineral-metal kaynaklarının kıt ve tükenir niteliği ile ülkelere eşitsiz dağılımı gerçeği sonucunda, küresel tedarik zincirinde karşılaşılan engeller hangi kaygıları doğurmaktadır. Türkiye Madenciler Derneği Sektörden Haberler Bülteni,74,66-78.

Yersel G., 1978, Grafit Yataklarının Jeolojisi Madenciliği ve Dünya Üretimi, Dergipark, 2, 17-21.

Yığmatepe, M. ve Kırbaş, H., 2019, Kahramanmaraş-Göksun, Fındıklıkoyak Köyü S: 201201296 (Er: 3079520)

Yılmaz, S., 2014, Jeopolitik ve Jeostrateji, s.4, http://www.academia.edu/7648509/Jeopolitik_ve_Jeostrateji (Erişim Tarihi: Ocak 2024)

Yılmaz, Y., Genç, Ş. C., Gürer, Ö. F., 1999, Ege Denizi ve Ege Bölgesinin jeolojisi ve evrimi, TÜBİTAK Yayınları, 211-337, Ankara.

Yılmaz, Y., Genç, Ş. C., Gürer, Ö. F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş. and Elmas, A., 2000, When did the Western Anatolian grabens begin to develop, Journal of the Geological Society London, 173, 353-384.

Yoshio, M., Brodd, R. J. and Kozawa, A., 2009, Lithium-Ion Batteries:Science and Technologies, Springer Science and Business Media, Newyork, USA, pp. 1-7.

Yüksel, A. K., Güngör, T. ve Kılıç, A. M., 2014, Kuzeybatı Anadolu'daki ofiyolit tabanı metamorfik kayaçlarından yeni bulgular (Gediz-Kütahya), Türkiye Jeoloji Bülteni, 57,2, 19-34.

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

UĞUR DOĞUKAN DOĞU YL Tezi

ORİJİNALLİK RAPORU

%15	%15	%1	%4
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	%5
2	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%3
3	thinktech.stm.com.tr İnternet Kaynağı	%1
4	openaccess.ogu.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	%1
5	www.nanografi.com.tr İnternet Kaynağı	%1
6	www.yermam.org.tr İnternet Kaynağı	%1
7	www.savunmasanayist.com İnternet Kaynağı	%1
8	hozir.org İnternet Kaynağı	<%1
9	Submitted to Marmara University Öğrenci Ödevi	<%1

ETİK KURUL İZİN YAZISI

Uyarı: Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

☐ **Etik Kurul izni gerekmektedir.**

☑ **Etik Kurul izni gerekmemektedir.**

Uğur Doğukan Doğu

KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

☐ **Kurum izni gerekmektedir.**

☑ **Kurum izni gerekmemektedir.**

Uğur Doğukan DOĞU