
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

GÖK TAŞINDA TİCARİ MİNERALİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Süleyman CANOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEMMUZ 2024

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Süleyman CANOĞLU

26/07/2024

GÖK TAŞINDA TİCARİ MİNERALİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Süleyman CANOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2024

ÖZET

Gök taşları, güneş sistemi içerisindeki Jüpiter-Mars arasındaki Asteroit kuşağı ve kuyruklu yıldızlardan kopan parçalardan dünyamıza ulaşır. İncelediğimiz gök taşı örnekleri Bodrum ve Kırşehir çevresinden temin edilmiştir. Bu örnekler, XRD (X-Ray Difraksiyon), SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu), EDAX (Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi) ve sertlik ölçümleri ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre gök taşları yoğun olarak Wurtzite (FeO) ve Magnetite (Fe_3O_4) bileşiklerinin farklı oranlardaki bileşiklerinden (Fe_xO_y) oluştuğu belirlendi. Ayrıca, bu gök taşlarında Ni (Nikel), Cr (Krom), Si (Silisyum), Ir (İridyum) ve Fe (Demir) gibi elementler bulundu. Bu örneklerin içeriği yüksek sertlikteki Fe'nin Ni ve Cr bileşikleri gibi kompozit malzemelerden oluşur, bu da paslanmaz çelik özellikleri göstermesine neden olur. Günümüzde gök taşlarının önemi, içeriğinde bulunan değerli elementlerin iletişim, sağlık, elektronik ve savunma sanayinde kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Bilim Kodu : 20227

Anahtar Kelimeler : Gök taşlarının özellikleri, Demir içerikli gök taşları, Nikel-çelik gök taşları, Kobalt gök taşları, Gök taşlarının kristal yapıları

Sayfa Numarası : 91

Danışman : Doç. Dr. Yunus ÖZEN

PHYSICAL PROPERTIES OF COMMERCIAL MINERAL IN SKYSTONE

(M. Sc. Thesis)

Süleyman CANOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2024

ABSTRACT

Meteorites reach our world from the asteroid belt between Jupiter and Mars in the solar system and fragments from comets. The meteorite samples we analyzed were obtained from Bodrum and Kırşehir. These samples were analyzed by XRD (X-Ray Diffraction), SEM (Scanning Electron Microscopy), EDAX (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy) and hardness measurements. According to the results of the analyses, it was determined that the meteorites are mainly composed of Wurtzite (FeO) and Magnetite (Fe_3O_4) compounds (Fe_xO_y) in different ratios. In addition, elements such as Ni (Nickel), Cr (Chromium), Si (Silicon), Ir (Iridium) and Fe (Iron) were found in these meteorites. The content of these samples consists of composite materials such as Ni and Cr compounds of Fe with high hardness, resulting in stainless steel properties. The importance of meteorites today is due to the use of the valuable elements contained in them in the communication, health, electronics and defense industries.

Science Code : 20227

Key Words : Properties of meteorites, Iron-containing meteorites, Nickel-steel meteorites, Cobalt meteorites, Crystal structures of meteorites

Page Number : 91

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Yunus ÖZEN

TEŞEKKÜR

Tez konumun belirlenmesinden tezimin tamamlaması sürecine kadar olan tüm aşamalarda rehberlikleriyle, paha biçilmez engin bilgileri ve çok değerli geri bildirimleriyle, bu çalışmayı başarıyla tamamlamamda eşsiz destekleriyle bana yardımcı olan değerli hocalarım Doç. Dr. Yunus ÖZEN ve Prof. Dr. Mustafa Kemal ÖZTÜRK'e, destek ve emeklerini esirgemeyen tüm değerli arkadaşlarıma ve hocalarıma, iş hayatım ile birlikte yürüttüğüm yüksek lisans eğitimim boyunca gerek maddi gerekse manevi desteklerini esirgemeyen başta eşim ve tüm aileme, en derin şükranlarımı sunar, en kalbi duygularla teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ iv

SİMGELER VE KISALTMALAR vi

1. GİRİŞ 1

2. GÖK TAŞLARI (METEOR VE METEORİTLER) 3

2.1. Gök Taşı Nedir? 3

2.2. Gök Taşların Kaynağı 3

2.2.1. Asteroit kuşağı nedir? 3

2.2.2. Kuyruklu yıldızlardan kopan gök taşları 5

3. GÖK TAŞLARININ SINIFLANDIRILMASI 9

3.1. Taş Meteoritler (Lititler) 9

3.2. Demir Gök Taşları 10

3.2.1. Demir gök taşlarının genel özellikleri ve şekilleri 10

3.3. Taş-Demir Meteoritler 10

3.3.1. Pallasitler 11

3.3.2. Mezosideritler 11

4. GÖK TAŞLARININ GÖRSEL, MANYETİK VE AĞIRLIK ANALİZİ 13

4.1. Görsel İnceleme 13

4.1.1. Füzyon kabuğu analizi 13

4.1.2. Aerodinamik şekil analizi 13

4.1.3. İç yapı ve renk analizi 13

4.1.4. Manyetik özellik analizi 14

Sayfa

4.1.5. Krater bağlantısı (düşme yeri incelemesi) 14
4.1.6. Yoğunluk ve ağırlık analizi 14
4.2. Gök Taşlarının Mineralojik Analiz Yöntemleri 17
4.2.1. XRD (X-Işını Kırınımı) analizi 17
4.2.2. SEM (Taramalı elektron mikroskobu) analizi 17
4.2.3. XRF (X-Işını floresans) analizi 17
4.2.4. Raman spektroskopisi 18
4.2.5. FTIR spektroskopisi 18
4.2.6. ICP-MS analizi 18
4.2.7. Termal analiz 18
4.2.8. UV-Vis spektroskopi (ultraviyole ve görünür ışık spektroskopisi) 19
4.2.9. Nikel testi 19
4.2.10. Radyoaktif yaş tayini (c-14 izotop) analizi 19
4.3. Kütle Spektrometrisi Teknikleri 19
4.3.1. Atomik kütle spektrometrisi (AMS) 19
4.3.2. Moleküler kütle spektrometrisi (MS) 20
5. BAŞVURULAN DENEYSEL YÖNTEMLER 21
5.1. XRD (X-Işını Kırınımı) Analizi 21
5.1.1. XRD analizinin aşamaları 22
5.1.2. XRD cihazı ve çalışma prensibi 22
5.1.3. Veri toplama 23
5.1.4. Veri Analizi 23
5.1.5. XRD analizi sonuçları ve yorumu 24
5.2. Veri Analizi Teknikleri 25
5.3. Elektron Tarama Mikroskopisi (SEM) 26
5.4. Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDS) 27

Sayfa

5.5. Gök Taşı Analizinde SEM-EDS (Taramalı Elektron Mikroskobu - Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi) Tekniği 28

5.5.1. SEM-EDS tekniği ile gök taşı analizi 28

5.5.2. SEM-EDS analiz prosedürü 28

5.5.3. SEM-EDS verilerinin yorumlanması 29

5.5.4. SEM-EDS tekniğinin avantajları ve sınırlamaları 30

5.5.5. Pratik Uygulama Örnekleri 30

5.5.6. Demir-Nikel Alaşımları 31

5.6. Kristal Yapı Tayini 31

5.6.1. Pikleri tanımlama 33

5.6.2. d'nin hesaplanması 33

5.6.3. Miller indisleri tanımlanır 33

5.6.4. Örgü parametrelerinin hesaplanması 34

5.6.5. Yönlendirme ve yoğunluk analizi 34

5.6.6. İnceleme 34

5.7. Sertlik 35

6. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA 37

6.1. Gök Taşların XRD Taramasının Analizi 37

6.2. Gök Taşların XRD Taramasının İndeksleme Analizi 39

6.3. Gök Taşları için Analitik Metotun kullanımı 42

6.4. X-Işını Kırınım Metoduyla Kesin Örgü Parametresinin Belirlenmesi 47

6.5. Kristal Boyutu ve Örgü Gerilmesinin Belirlenmesi 58

6.6. Gök Taşların SEM Analizi 67

6.7. Gök Taşların Sertlik Değerleri 77

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 79

KAYNAKLAR 83

ÖZGEÇMİŞ 91

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 6.1. Yansımaların varlığına veya yokluğuna göre seçim kuralları 41

Çizelge 6.2. $h^2+k^2+l^2$ den hkl indisleme ve örgü tipi belirleme tablosu 42

Çizelge 6.3. Örnek #1, Örnek #2 ve Örnek #3 için Bravais örgünün yarı deneysel analitik hesaplaması ve hesaplanan örgü parametreleri 44

Çizelge 6.4. Analitik yöntemden elde edilen örgü parametreleri 45

Çizelge 6.5. Gök taşının x-ışını kırınım örneğinin indeksleme ayrıntıları 45

Çizelge 6.6. Gök taşının x-ışını kırınım örneğinin analitik yöntem ile indeksleme hesaplanması 46

Çizelge 6.7. Gök taşlarının örgü parametrelerinin hesaplanması 54

Çizelge 6.8. Cohen'in analitik metodu için gereken veriler 56

Çizelge 6.9. Cohen'in analitik metodu için matris denklem çözümü ve A değeri 57

Çizelge 6.10. Cohen'in analitik metodu bulunan A, a_o, C ve D değerleri 58

Çizelge 6.11. Gök taşı örneklerin kristalit boyutu ve gerilme hesaplamaları ve Sin(θ) karşın B_r*Cos(θ) eğrisi için yarı deneysel hesaplama 65

Çizelge 6.12. Gök taşı örneklerin Sin(θ) karşın B_r*cos(θ) eğrisin uygun doğrusal fitten hesaplama 67

Çizelge 6.13. Örnek #1'in birinci bölgesindeki Spot 1 ve 2'nin EDS analizi 68

Çizelge 6.14. Örnek #1'in ikinci bölgesindeki Spot 1, 2 ve 3'ün EDS analizi 69

Çizelge 6.15. Örnek #1'in üçüncü bölgesindeki Spot 1 ve 2'nin EDS analizi 70

Çizelge 6.16. Örnek #1'in dördüncü bölgesindeki Spot 1 ve 2'nin EDS analizi 71

Çizelge 6.17. Örnek #2'nin birinci bölgesindeki Spot 1'den 4'e kadar EDS analizi 72

Çizelge 6.18. Örnek #2'nin ikinci bölgesindeki sırasıyla Spot 1'den 5'e kadar EDS analizi 74

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 6.19. Örnek #3’ ün birinci bölge için sırasıyla spot 1’den 4’e kadar EDS analizi 75

Çizelge 6.20. Örnek #3’ ün ikinci bölge için spot 1 ve 2 EDS analizi 76

Çizelge 6.21. Örnek #3’ ün üçüncü bölge için spot 1, 2 ve 3 EDS analizi 77

Çizelge 6.22. Gök taşların sertlik ölçümleri 78

Çizelge 7.1. Cohen’in analitik metodu bulunan A, a_o, C ve D değerleri sonuçları 80

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Asteroit kuşağının ve gezegen yörüngelerinin temsili gösterimi 4

Şekil 2.2. Kuyruklu Yıldız' dan kopup Dünya'ya ulaşan bir parçanın görüntüsü 7

Şekil 5.1. Rigaku tanımlaması ile Bragg-Brentano geometri..... 22

Şekil 5.2. Elektron-metal etkileşmeleri ile SEM diagram ve spektroskopi teknikleri .. 27

Şekil 6.1. Gök taşlarından Örnek #1 yapısının XRD kırınım deseni. Şekil içinde resim Örnek #1 resmini gösterir. 37

Şekil 6.2. Gök taşlarından Örnek #2 yapısının XRD kırınım deseni. Şekil içinde resim Örnek #2 resmini gösterir. 38

Şekil 6.3. Gök taşlarından Örnek #3 yapısının XRD kırınım deseni. Şekil içinde resim Örnek.#3 resmini gösterir. 39

Şekil 6.4. Sinθ' nın θ ile değişimi. 48

Şekil 6.5. $Cos(\theta)^2/sin(\theta)$ karşın Gök taşlarının hesaplanan örgü parametrelerin ölçüm aralığında kesin değerin bulunması (ekstrapolasyon). 55

Şekil 6.6. X-ışını kırınımı pik genişliği. a) Sarı eğri ideali, b) Kırmızı cihaz etkilerini, c) Yeşil eğri cihaz ve kristal boyutun etkilerinin üst üste binmesi ve d) Mavi eğri ise cihaz, kristal boyut ve örgü gerilme etkileri üs üste binmesini gösterir. 60

Şekil 6.7. Simetrik Gaussian ve Lorentzian x-ışını kırınım pik profilleri 62

Şekil 6.8. Kırınım açısında kristal boyut ve örgü gerilmesi tarafından neden olan FWHM bağımlılığı. Hatta her iki özellik, kırınım açısı ile hızlıca artar. Onlar arasında küçük kırınım açılarda geniştir. 63

Şekil 6.9. a) B_r cos(θ)'nin sin(θ)'ye karşı grafiği, b) Kesme noktasının (kλ/L) ve c) eğimi (η) 64

Şekil 6.10. Gök taşı örneklerinde sin(θ) karşın B_r*cos(θ) eğrisi için yarı deneysel hesaplama 66

Şekil 6.11. Örnek #1'in birinci bölgesindeki Spot 1 ve 2'nin SEM görüntüsü..... 68

Şekil 6.12. Örnek #1'in ikinci bölgesindeki Spot 1, 2 ve 3'ün SEM görüntüsü 69

Şekil 6.13. Örnek #1'in üçüncü bölgesindeki Spot 1 ve 2'nin SEM görüntüsü 70

Şekil 6.14. Örnek #1'in dördüncü bölgesindeki Spot 1 ve 2'nin SEM görüntüsü 71

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.15. Örnek #2'nin birinci bölgesindeki Spot 1, 2, 3 ve 4'ün SEM görüntüsü..... 72

Şekil 6.16. Örnek #2'nin ikinci bölgesindeki Spot 1, 2, 3, 4 ve 5'in SEM görüntüsü..... 73

Şekil 6.17. Örnek #3' ün birinci bölge için SEM görüntüsü..... 74

Şekil 6.18. Örnek #3' ün ikinci bölge için SEM görüntüsü 75

Şekil 6.19. Örnek #3' ün üçüncü bölge için SEM görüntüsü..... 76

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar ve simgeler, açıklamalarıyla birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
2θ	Pik pozisyonu
θ	Kırınım açısı
λ	Dalgaboyu
Å	Angström
akb	Keyfi birim
AMS	Atomik kütle spektroskopisi
a.u	Atomik birim
BCC	Cisim merkezli kübik
cm	Santimetre
D	Elmas kübik
d	Kristal düzlem
E	10^x
F	Yüzey merkezli kübik
FTIR	Fourier dönüşüm infrared spektroskopisi
FCC	Yüzey merkezli kübik
g	Gram
HV 0.5	Vickers sertliği (0.5 değerde)
I	Yoğunluk
ICDD	Kristalografi veri merkezi
ICP-MS	İndüktif olarak bağlı plazma spektroskopisi
kgf	Kilogramkuvvet
L	Kristalize boyut
mm	Mili metre
MS	Moleküler kütle spektroskopisi
n	Kırınım mertebesi
nm	Nano metre
NMR	Nükleer manyetik rezonans

Simgeler	Açıklamalar
P	İlkel kübik
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SEM-EDS	Taramalı elektron mikroskopisi
TEM	İletim elektron mikroskopisi
UV-VİS	Ultraviyole ve görünür ışık spektroskopisi
XRD	X-ışını kırınımı
XRF	X-ışını floresans

1. GİRİŞ

Evrenin ve gezegenlerin oluşumu hakkında bilgi sahibi olmak, gök taşlarının incelenmesi, evrenin nasıl oluştuğunu ve gezegenlerin nasıl şekillendiğini anlamamıza yardımcı olabilir. Gök taşların bileşimi ve özellikleri Güneş sisteminin erken evresine ışık tutabilir. Bu nedenle, gök taşlarının içeriğindeki mineral ve organik bileşenlerin araştırılması, yani gök taşlarının bileşimi, gezegenlerin oluşumu ve evrimi hakkında değerli bilgiler sağlayabilir. Ayrıca organik bileşenler içeren gök taşları, yaşamın kökeni ve evrimi hakkında ipuçları sağlayabilir. Bazı gök taşları nadir mineraller veya değerli metaller içerebilir. Bu nedenle, gök taşlarının madencilik potansiyeli, gelecekte uzay madenciliği için bir kaynak olabilir. Bu motivasyonlar gök taşlarının incelenmesi ve araştırılmasında büyük bir rol oynar. Bu alanlarda çalışan bilim insanları, bu hedeflere ulaşmak için gök taşlarını inceleyerek önemli katkılarda bulunmaktadırlar [1-8].

Güneş sistemi, gök taşları vb. gibi güneş sisteminin oluşumundan bu yana değişmeden kalmış eski bilgi kaynakları içerebilir. Bu, bilim insanlarının Güneş sisteminin başlangıcına dair bilgi edinmelerini sağlar. Gök taşları, farklı gezegenlerin ve ayın yüzey özelliklerini anlamada kilit rol oynar. Organik bileşenler içeren karbonlu gök taşları, Dünya dışı organik moleküllerin varlığı ve potansiyel olarak yaşamın kökenleri üzerine çalışmalara kapı açabilir. Ayrıca ekonomik değeri yüksek elementler (örneğin platin ve nadir toprak elementleri) içeren gök taşları, gelecekteki uzay madenciliği girişimleri için potansiyel kaynaklar sunar ve bu dünyadaki kaynakların sürdürülebilirliğine katkıda bulunabilirler [9-13].

Gök taşları ve meteorlar üzerine yapılan çalışmalar hem akademik çevrelerde hem de genel halk arasında bilim ve uzay hakkına bilgi ve ilgiyi teşvik eder. Gök taşlarından alınan örnekler, müzelerde sergilenerek ziyaretçilere uzay bilimi hakkında eğitim fırsatları sunar. Bu geniş yelpazede motivasyonlar ve amaçlar, gök taşlarının incelenmesini sadece bilimsel bir çaba olmaktan çıkarıp, geniş kapsamlı, çok disiplinli bir araştırma alanına dönüştürmektedir. Her bir motivasyon ve amaç hem bilimsel topluluk için hem de toplum için değerli sonuçlar doğurabilir [14-17].

Gök taşları, platin gibi birçok değerli metallerce zengin olabileceğinden uzay madenciliği potansiyeli açısından ekonomik değer sağlar. Bu metallerin potansiyel çıkarımı, dünyadaki kaynakların korunmasına katkıda bulunabilir ve yeni sanayi uygulamaları için temel

oluşturabilir. Bu amaçla teknoloji geliştirme ve uzay madenciliği konsepti, uzay araçları tasarımı, madencilik ekipmanları ve işlem teknikleri geliştirilmesine öncülük edebilir [18-20].

Uzay madenciliği ve bilimsel araştırma çalışmaları aynı zamanda dünyaya yaklaşan gök taşlarını izlemek için gelişmiş gözlem teknolojileri ve algoritmaların geliştirilmesini sağlarken, dünyayı gök taşı tehlikelerinden koruma amaçlı olarak erken uyarı sistemleri ve benzer teknolojilerin geliştirilmesine de katkı sağlamaktadır. Bu da olası çarpma senaryolarına karşı zamanında önlem alınmasını sağlar. NASA (National Aeronautics and Space Administration)'nın Dart misyonu gibi projeler bir gök taşıyla bilinçli çarpışarak onun yörüngesini değiştirmeyi amaçlayan çarpışma önleme misyonları ve uzay madenciliği gibi çalışmalar aynı zamanda gelecekteki tehditleri önleme konusunda olduğu kadar ekonomiye ve bilimsel çalışmalara da kritik veriler sağlar [21-23].

Gök taşlarının incelenmesinin sadece bilim adamları için değil, aynı zamanda teknoloji geliştiriciler, politika yapıcılar ve genel halk için de önemli olduğunu gösterir. Gök taşları konusundaki her bir bilimsel çalışma bu alanın multidisipliner doğasını ortaya çıkarır ve toplumsal hayata doğrudan yansıyan çok geniş etkileri vardır. Bölüm 1'de genel olarak gök taşlarının önemi motivasyonu, amacına bakıldı. Bölüm 2'de gök taşları hakkında detaylı bilgi sunuldu. Özellikle problem detaylarını ortaya çıkartabilmek için kavramlar, gök taşının kaynağı, meteor çeşitleri verildi. Bölüm 3'de gök taşlarının manyetik ve ağırlık analiz yöntemlerine değinildi [24-32]. Bölüm 4'de gök taşlarını incelemek için XRD, SEM, EDX ve Vickers sertlik analiz sistemleri tanıtıldı. Bölüm 5'de gök taşlarının yapısal analizleri yapıldı. Buna bağlı olarak verilerin hesaplamaları gerçekleştirildi. Bölüm 6'da sonuçlar tartışıldı.

2. GÖK TAŞLARI (METEOR VE METEORİTLER)

Her yıl yaklaşık 600 gök taşının Dünya'ya düştüğü tahmin edilmektedir. Düşen bu meteorların bazıları dünyanın seyrek nüfuslu bölgelerine düşerken büyük bir kısmı da denizlere düşmektedir. Bu nedenle birçok gök taşı düşmesi kayıt altına alınamamaktadır [33-35].

2.1. Gök Taşı Nedir?

Gök taşları, uzaydan Dünya atmosferine giren ve yüzeye ulaşan taş veya metal parçalarıdır. Atmosferde yanarak ışık saçan küçük parçalara meteor, yüzeye ulaşıp yerle temas eden parçalara ise meteorit denir [36,37].

2.2. Gök Taşların Kaynağı

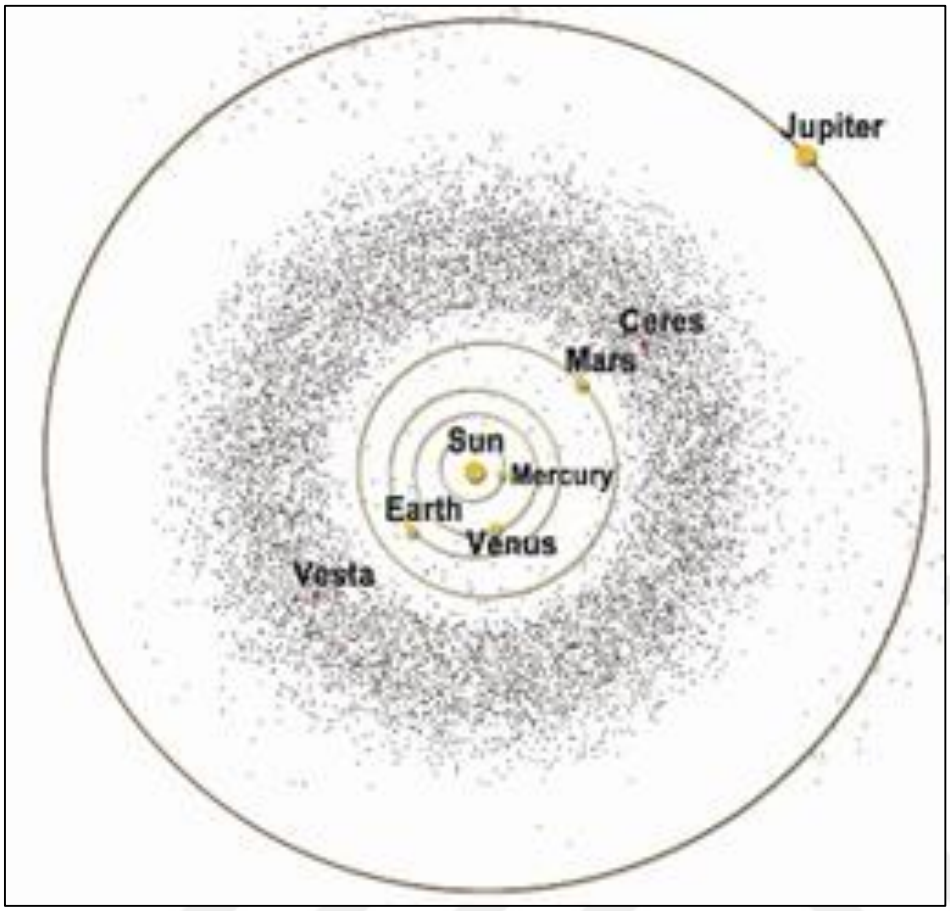
Gök taşlarının Trojan Asteroitleri, Oort Bulutu ve daha birçok kaynağı bulunmakla birlikte Dünyamıza ulaşan gök taşlarının en temel kaynakları Asteroit Kuşağı, Kuyruklu Yıldızlar, Mars ve Ay'dır [38].

2.2.1. Asteroit kuşağı nedir?

Asteroit kuşağı, Mars ve Jüpiter arasındaki bölgede yer alan ve milyonlarca küçük kaya ve metal parçalarından oluşan bir alandır. Bu bölge, Güneş Sistemi'nin erken dönemlerinde oluşmuş ve gezegenlerin oluşum sürecinde artakalan maddelerden meydana gelmiştir. Asteroit kuşağının büyük çoğunluğu kaya ve metalden oluşan milyonlarca asteroit barındırır. Bu asteroitlerin boyutları birkaç metre çapından yüzlerce kilometre çapa kadar değişir [39-42].

<u>Asteroit kuşağının oluşumu</u>

Asteroit kuşağındaki cisimler, Güneş Sistemi'nin oluşumu sırasında gezegenlerin çekirdeğine katılmamış maddelerdir. Jüpiter'in güçlü yer çekimi, bu bölgedeki maddelerin birleşip bir gezegen oluşturmasını engellemiştir, bu yüzden bu materyaller asteroit olarak kalmıştır [43,44]. Asteroit kuşağının ve gezegen yörüngelerinin temsili gösterimi Şekil 2.1' de verilmiştir.



Şekil 2.1. Asteroit kuşağının ve gezegen yörüngelerinin temsili gösterimi [41]

Asteroit kuşağındaki ana cisimler

Asteroit kuşağında Ceres, Vesta, Pallas ve Hygiea en büyük boyuta sahip asteroitlerdir.

Asteroit kuşağındaki en büyük cisim Ceres'tir ve aynı zamanda bir cüce gezegen olarak sınıflandırılır. Yaklaşık olarak çapı 941 kilometredir.

Kuşağın en büyük ikinci cismi olan Vesta yaklaşık 530 kilometre çapa sahiptir.

Diğer büyük asteroitler arasında ise Hygiea ve Pallas yer alır. Bu asteroitlerin çapları 400-410 kilometre civarındadır [45-47].

Asteroit kuşağındaki gök taşlarının genel özellikleri

Kompozisyon olarak bu kuşakta bulunan asteroitler üç ana gruba ayrılır: karbonlu (C-tipi), silikatlı (S-tipi), ve metalik (M-tipi). C-tipi asteroitler en yaygın olanlardır ve karbon

açısından zengindir. S-tipi asteroitler silikat ve metal içerir, M-tipi asteroitler ise büyük oranda metalden oluşur. Astroitler Güneş etrafında eliptik yörüngelerde dönerler. Bu yörüngeler genellikle Mars ve Jüpiter'in yörüngeleri arasında kalır [39,40,44].

Asteroit kuşağının önemi

Asteroit kuşağındaki cisimler, Güneş Sistemi'nin erken dönemlerine dair önemli bilgiler sunar. Bu asteroitler, milyarlarca yıl önceki şartları ve materyalleri korur. Bu nedenle Güneş sisteminin tarihine de ışık tutmaktadır [41].

Ayrıca bu kuşak gelecekteki uzay misyonları için su, metaller ve diğer mineraller gibi kaynaklar açısından önemli bir hedeftir [48].

2.2.2. Kuyruklu yıldızlardan kopan gök taşları

Kuyruklu yıldızlar, büyük oranda buz, toz ve kayaç maddelerinden oluşan küçük gök cisimleridir. Güneş Sistemi'nin dış bölgelerinden gelirler ve güneş etrafında eliptik yörüngelerde dönerler [49].

Kuyruklu yıldızlar güneşe yaklaştıkça, yüzeylerindeki buz ve diğer uçucu maddeler süblimleşir (katı halden gaz hale geçer). Bu süreçte kuyruklu yıldızların çekirdeğinden parçalar kopar ve uzaya molozlar saçılır [50]. Bu tür gök taşları, kuyruklu yıldızların güneş etrafında dönerken bıraktıkları enkazın bir parçasıdır.

Meteor yağmurları

Kuyruklu yıldızlardan kopan parçalar, Dünya'nın yörüngesiyle kesiştiğinde meteor yağmurlarına neden olur [51]. Dünya bu enkaz bulutlarının içinden geçtiğinde, atmosfere giren küçük parçacıklar (meteoritler) yüksek hızlarda yanar ve "yıldız kayması" olarak bilinen parlak meteorları oluşturur. En çok bilinen meteor yağmurları Perseid ve Leonid Meteor Yağmurudur [52,53].

Perseid Meteor Yağmuru, Swift-Tuttle Kuyruklu Yıldızı'ndan gelen enkazla ilişkilidir ve her yıl Ağustos ayında zirve yapar.

Her yıl Kasım ayında gözlemlenen ve Tempel-Tuttle Kuyruklu Yıldızı'ndan gelen parçacıklarla ilişkili olan ise Leonid Meteor Yağmurudur.

Kuyruklu yıldızlardan kopan gök taşlarının özellikleri

Kuyruklu yıldızlardan kopan gök taşları kimyasal bileşim olarak genellikle karbon açısından zengin bileşikler ve organik moleküller içerir. Bu gök taşları, Güneş Sistemi'nin erken dönemlerinde oluşmuş ilkel materyalleri içerir [54,55].

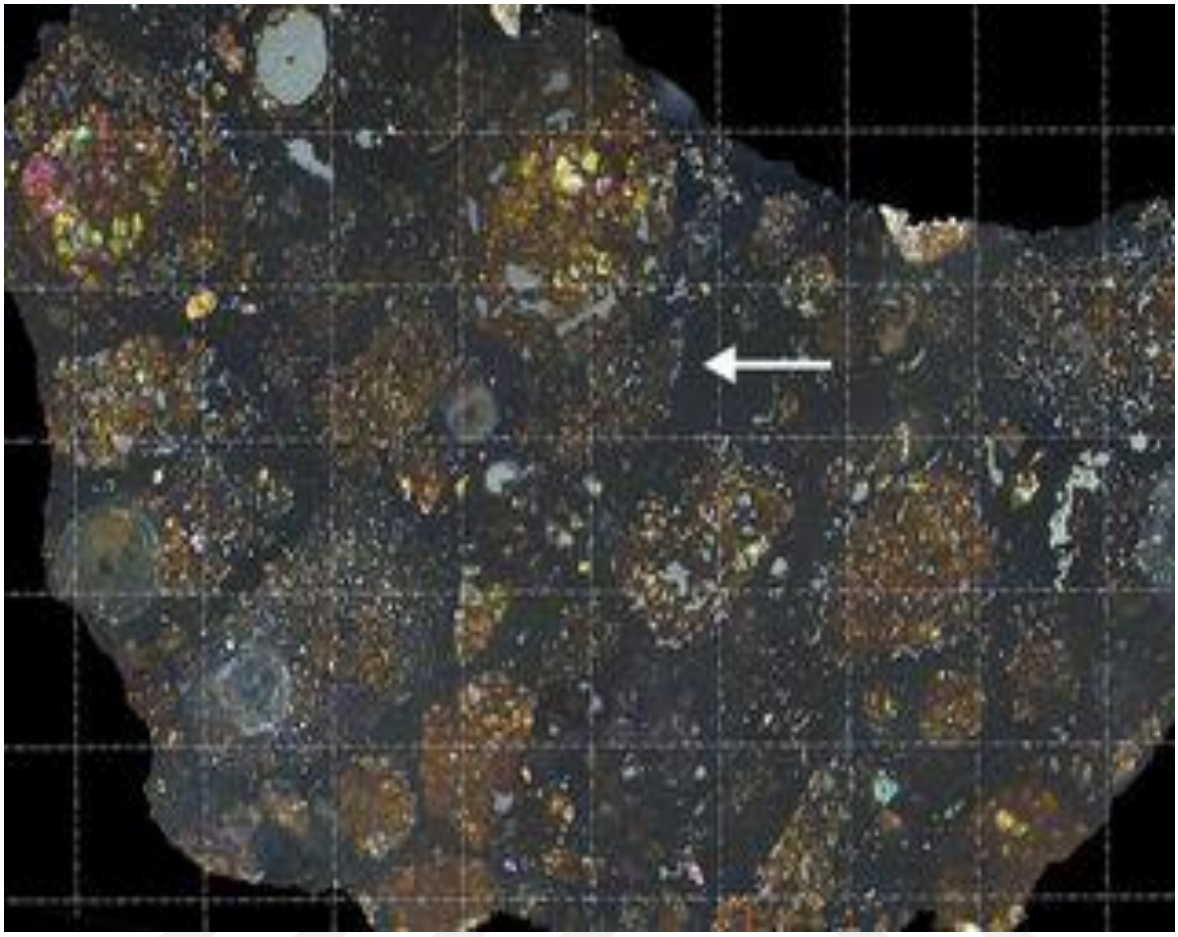
Yapı olarak bu tür gök taşları genellikle gevşek yapılı ve kırılgandır, çünkü kuyruklu yıldızlar büyük oranda buz ve tozdan oluşur. Kuyruklu yıldızların çekirdeklerinden gelen parçalar, diğer meteorit türlerine kıyasla daha az yoğun ve daha gözeneklidir [56,57].

Kuyruklu yıldızlardan kopan gök taşlarının bilimsel önemi

Kuyruklu yıldızlardan kopan gök taşları, Güneş Sistemi'nin oluşumu ve evrimi hakkında önemli bilgiler barındırdığından dolayı Güneş Sistemi'nin tarihine dair çok önemli bilgiler sağlayan değerli örneklerdir [58].

İçerdikleri organik bileşikler, Dünya'daki hayatın başlangıcıyla ilgili ipuçları sunabilir. Bu gök taşları, bilim insanlarına, gezegenlerin ve diğer gök cisimlerinin oluşum süreçlerini daha iyi anlamalarına yardımcı olur [59,60].

Bilim insanları, Şekil 2.2.’ de beyaz ok ile gösterilen ve gök taşının içine gömülmüş olan, karbon açısından zengin bir kuyruklu yıldız parçasını buldu. Gök taşının renkleri, polarize ışığın ince bir dilim boyunca parlatılmasıyla görülebiliyor ve ızgara çizgileri bir milimetrelik aralıkları göstermektedir [61].



Şekil 2.2. Kuyruklu Yıldız’ dan kopup Dünya’ya ulaşan bir parçanın görüntüsü [62]

3. GÖK TAŞLARININ SINIFLANDIRILMASI

Gök taşları üç ana kategoriye ayrılır:

3.1. Taş Meteoritler (Lititler)

Güneş sistemimizin en yaygın meteorit türlerinden biridir ve genellikle kondritler ve akondritler olarak iki ana gruba ayrılır. Taş meteoritlerin şekilleri ve yapısal özellikleri, düştükleri yüzey ve atmosferdeki hareketleri gibi birçok faktöre bağlı olarak çeşitlilik gösterebilir. Şöyle ki taş meteoritlerin çoğu, atmosfere girdiğinde sürtünmeden dolayı yanarken düzensiz ve köşeli şekiller oluşturur. Bu şekiller, meteoritin orijinal kayaç yapısına ve atmosferik sürtünmeye bağlı olarak değişir [63,64].

Atmosfere giriş sırasında yüzeyleri eriyen meteoritlerin dış yüzeyinde, genellikle siyah veya koyu kahverengi renkte ince bir füzyon kabuğu oluşur [36]. Bu kabuk, erimiş yüzeyin hızla soğumasıyla meydana gelir.

Bazı taş meteoritler, atmosferdeki uçuş sırasında aerodinamik şekiller alabilir. Bu şekiller, akışkanlar dinamiği yasalarına göre yuvarlak ve akıcı formlar alır [65].

Meteoritlerin yüzeyinde atmosferdeki erime ve soğuma süreçleri sonucunda oluşan küçük çukur ve girintilere Regmaglipler denir [66]. Bu yapılar, genellikle meteoritin yüzeyine eşsiz ve karakteristik bir görünüm kazandırır.

Kondritler olarak adlandırılan taş meteoritler, güneş sisteminin oluşumundan kalan ilkel maddelerden oluşur. Dolayısıyla erken Güneş Sistemi'nin materyallerini içerir. İçlerinde küçük, yuvarlak tanecikler olan kondrüller bulunur ve güneş bulutsusunun katılaşması sırasında oluşmuştur. Kondritlerin şekilleri genellikle düzensizdir ve yüzeylerinde füzyon kabuğu ile regmaglipler görülebilir [36,67,68].

Taş meteoritlerin diğer türü olan Akondritler ise büyük olasılıkla farklılaşmış gezegenimsi cisimlerin kabuk veya mantolarından kopmuşlardır. İçlerinde kondrül bulunmaz. Akondritler, genellikle daha homojen yapılıdır ve çeşitli mineraller içerir. Bazaltik lav akıntılarından veya büyük cisimlerin yüzeylerinde oluşmuş materyallerden meydana gelir. Şekilleri de düzensiz olabilir, ancak daha düzgün yüzeyler ve daha az belirgin regmaglipler gösterebilirler [36,69,70].

3.2. Demir Gök Taşları

Bu tür gök taşları, büyük asteroitlerin çekirdeklerinden gelmektedir. Yüksek oranda demir ve nikel içerirler ve kristal yapılar gösterirler. Widmanstätten desenleri, demir gök taşlarının karakteristik bir özelliğidir ve yavaş soğuma süreçlerini yansıtır [71,72].

Demir gök taşları, esas olarak demir ve nikelden oluşan meteoritlerdir ve genellikle asteroitlerin çekirdeklerinden gelmektedirler. Bu tür gök taşları, gezegenimsi cisimlerin erken evrelerinde oluşmuş ve çekirdeklerinde yüksek basınç altında katılaşmış metalleri içerirler [73,74]. Demir gök taşlarının şekilleri ve özellikleri, atmosferdeki yolculukları ve Dünya'ya düştükleri yerler gibi faktörlere bağlı olarak çeşitlilik gösterebilir.

3.2.1. Demir gök taşlarının genel özellikleri ve şekilleri

Demir gök taşları genellikle düzensiz ve pürüzlü yüzeylere sahiptir. Atmosfere giriş sırasında yüzeylerinde erime ve yeniden kristalleşme olur, bu da benzersiz yüzey yapıları oluşturur [71,72].

Atmosferde sürtünme sonucu yüzeyde oluşan ince, genellikle koyu renkte, meteoritin yüksek hızla Dünya atmosferine girerken yüzeyinin erimesiyle oluşan Füzyon Kabuğu denilen bir tabakaya sahiptir [36].

Demir gök taşlarının içyapısında, kesilip cilalandıklarında ortaya çıkan ve Widmanstätten Desenleri olarak adlandırılan karakteristik kristal desenler vardır. Bu desenler, demir ve nikel alaşımının yavaş soğuması sonucu oluşur ve yalnızca demir meteoritlerinde görülür [71,73].

Demir gök taşlarının yüzeylerinde atmosferdeki erime ve buharlaşma sonucu ortaya çıkan ve Regmaglipler denilen küçük çukur ve girintiler oluşur [66]. Bu yapılar, gök taşının atmosferdeki hareketi sırasında yüzeyin farklı hızlarda erimesiyle meydana gelir.

3.3. Taş-Demir Meteoritler

Taş-Demir meteoritler, hem silikat mineralleri hem de demir-nikel alaşımları içeren gök taşlarıdır. Bu gök taşları, asteroitlerin mantosu ile çekirdeği arasındaki bölgeden gelir ve bu nedenle hem metalik hem de taşlı bileşenler içerirler [75,76].

Hem silikat mineralleri hem de metal içeren bu gök taşları, daha nadir bulunur. İki gruba ayrılan Taş-Demir Meteoritlerden ilki olan Pallasitler, olivin kristalleri ve demir-nikel matriksinden oluşurken, ikinci gruptaki mezosideritler metal ve silikat karışımı içerir [75].

3.3.1. Pallasitler

Bileşim olarak Pallasitler, büyük olivin kristalleri (bir silikat minerali) ile metalik demir-nikel matrisinden oluşur. Görünüm olarak ise Pallasitler, genellikle büyük ve şeffaf olivin kristalleriyle doludur, bu kristaller bazen sarı-yeşil renkte olur ve gök taşına çok estetik bir görünüm kazandırır [76]. Pallasitler, hem metalik hem de silikat bileşenler içerdikleri için yoğunluğu ortalama seviyededir.

Pallasitlerin farklılaşmış asteroitlerin mantosu ile çekirdeği arasındaki sınırdan geldikleri düşünülmektedir. Bu, mantodaki olivin minerallerinin, çekirdekteki demir-nikel alaşımları ile birleşmesi sonucu oluşur [75].

Pallasitler, yavaş soğuma süreçleri sırasında olivin kristallerinin büyümesi ve metal matrisinin kristalleşmesi ile oluşur [76].

3.3.2. Mezosideritler

Mezosideritler içeriğinde metalik demir-nikel fazı ile çeşitli silikat minerallerini (genellikle bazaltik veya piroksenik) içerir [75].

Görünüm olarak Mezosideritler, genellikle karışık metal ve taş bileşenlerinden oluşan heterojen bir yapıya sahiptirler. Kesitlerinde metalik fazlar ile taşlı fazlar arasında belirgin bir ayrım görülür [77].

Yoğunlukları, pallasitlere göre daha fazladır çünkü daha fazla metalik faz içerirler. Gök taşlarının çarpışmaları, metalik çekirdek materyali ile taşlı manto/kabuk materyalini karıştırır ve mezosideritlerin ortaya çıkmasını sağlar [75].

4. GÖK TAŞLARININ GÖRSEL, MANYETİK VE AĞIRLIK ANALİZİ

Bir cismin gök taşı (meteorit) olup olmadığı konusunda karara varabilmek için aşağıdaki yöntemlerden yararlanılır [78].

4.1. Görsel İnceleme

Gök taşı olduğu düşünülen numunelerin ayrıntılı analizlerine başlamadan önce görsel olarak şekillerine bakarak ve bazı fiziksel özellikleri ile bir ön fikre varılır [36].

4.1.1. Füzyon kabuğu analizi

Atmosfere giren bir meteorit, büyük bir hızla hareket ederken sürtünme nedeniyle ısınır ve dış yüzeyinde ince bir erimiş kaya tabakası oluşur. Bu tabaka, Dünya'ya ulaştığında hızlı bir şekilde soğur ve siyah veya koyu kahverengi bir kabuk oluşturur [79].

Genellikle 1-2 mm kalınlığında, mat siyah veya koyu kahverengi. Füzyon kabuğunda çatlaklar veya küçük çukurlar olabilir [78].

4.1.2. Aerodinamik şekil analizi

Meteoritler atmosfere girdiklerinde eriyip yeniden şekillenirler, bu da onların daha aerodinamik ve yuvarlak hatlı olmalarına neden olur [36].

Yuvarlak veya oval hatlar, bazen yüzeyde erime izleri ve akıntı şekilleri bulunabilir. Keskin köşeler nadirdir, köşeler genellikle yuvarlanmış olur [79].

4.1.3. İç yapı ve renk analizi

Gök taşlarının içyapısı genellikle homojen ve sıkı bir dokudadır. Taşlı meteoritlerin içi genellikle gri, koyu gri veya siyah renkte olabilir. İçyapıda metalik taneler (özellikle demir ve nikel) ve silikat mineralleri görülebilir. Gök taşlarının mikroskobik yapısını inceleyerek oluşum süreçlerini anlamak için petrografik mikroskop kullanılır [36,79].

Olivin ve piroksen gibi silikat mineralleri ve metalik demir taneleri şeklinde olan Demir Meteoritler, metalik parlaklıkta olabilir ve bazen paslanma izleri gösterebilir. Taş Meteoritlerdeki kondrüller ise mikroskop altında yuvarlak tanecikler olarak görünür [65].

4.1.4. Manyetik özellik analizi

Demir içerikli meteoritler manyetiktir ve mıknatıs tarafından çekilir. Yalnız bu testi küçük ve zayıf çekim gücüne sahip bir mıknatısı cisme yaklaştırarak yapmak gerekir. Aksi halde cismin manyetik alanını ve spin yönelimlerini bozduğu için diğer incelemelerin hatalı olmasına sebep olabilir. Eğer mıknatıs cismi çekiyorsa, bu demir veya demir-nikel alaşımları içerdiğini gösterir. Ancak, bu test tek başına yeterli değildir, çünkü bazı Dünya kayaçları da manyetik olabilir [36,78].

4.1.5. Krater bağlantısı (düşme yeri incelemesi)

Gök taşları genellikle bir kraterin yakınında bulunurlar. Çarpma kraterleri, çevresindeki kırıntılar ve çarpma sonucunda oluşan jeolojik yapılar, gök taşının kaynağını belirlemeye yardımcı olabilir. Kraterin yaşı ve büyüklüğü de meteoritin türü ve çarpma enerjisi hakkında bilgi verebilir [78,79].

4.1.6. Yoğunluk ve ağırlık analizi

<u>Yoğunluk ölçümü</u>

Gök taşları, sıradan kayaçlardan genellikle daha yoğundur [36]. Yoğunluk, bir cismin kütlesinin hacmine oranıdır.

Cismin kütlesi bir terazi ile ölçülür. Ardından cismin hacmi ölçülür ve yoğunluğu hesaplamak için kütle hacme bölünür. Taşlı meteoritlerin yoğunluğu genellikle 3-4 g/cm³, demir meteoritlerin yoğunluğu ise 7-8 g/cm³ civarındadır [79].

Ağırlık karşılaştırması

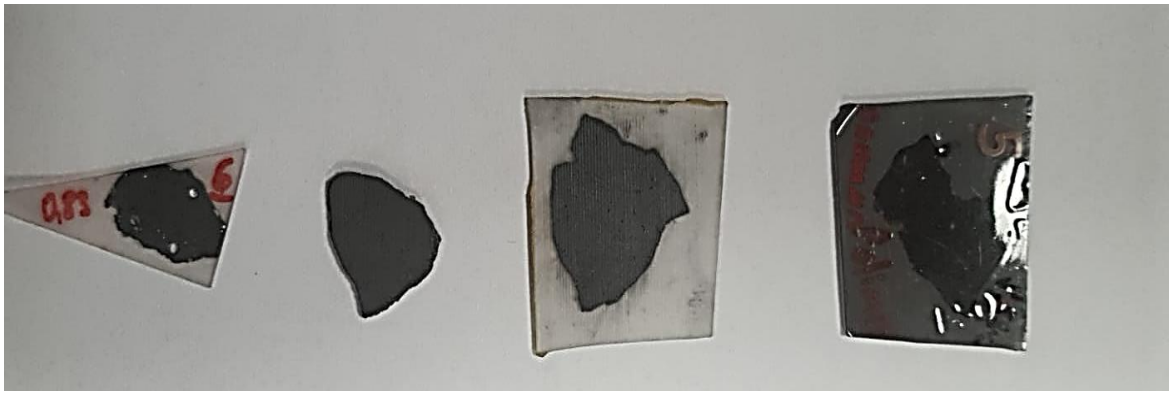
Gök taşı, aynı boyuttaki sıradan bir taşa göre daha ağır hissediliyorsa bu, yüksek yoğunluğa işaret eder. Küçük boyutlu fakat ağır bir cisim, gök taşı olma olasılığını artırır. Örnek #1, #2 ve #3 ün ayrıntılı görüntüleri Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3'de verilmiştir [78,79].



Şekil 4.1. Örnek #1'de incelenen gök taşının farklı açıdan görüntüleri



Şekil 4.2. Örnek #2’de incelenen gök taşının farklı açıdan görüntüleri



Şekil 4.3. Örnek #3’de incelenen gök taşının epoksi içine yerleştirilerek ince kesit alınmış halinin farklı açıdan görüntüleri

4.2. Gök Taşlarının Mineralojik Analiz Yöntemleri

Gök taşı mineralojik analizi, gök taşının bileşimini ve yapısını belirlemek için kullanılan bir dizi tekniktir. Bu bilgiler, gök taşının kökeni, tarihi ve evrimi hakkında bilgi edinmemize yardımcı olabilir [79].

Gök taşı mineralojik analizinin bazı yaygın yöntemleri şunlardır:

4.2.1. XRD (x-ışını kırınımı) analizi

Meteoritteki minerallerin kristal yapılarını ve atom düzenlerini belirlemek için X-ışınları kullanılır. Bu analizde, örnek X-ışınlarına maruz bırakılır ve yayılan ışınlar detektörler tarafından toplanıp özellikleri ölçülerek analiz yapılır. Bu analiz gök taşının türünü ve sınıfını belirlemeye ve gök taşının oluşum koşulları hakkında bilgi edinmeye yardımcı olabilir [79,80].

Tez çalışmamızda XRD tekniği aktif olarak kullanılmıştır ve ayrıntılı anlatımı ve analiz sonuçları bir sonraki ana başlık altında ele alınmıştır.

4.2.2. SEM (taramalı elektron mikroskobu) analizi

SEM, optik mikroskopiden çok daha yüksek büyütme sağlayarak gök taşındaki minerallerin ve dokuların en küçük ayrıntılarını görmemizi sağlar [81]. Bu, gök taşındaki mikro metalleri ve mineralleri tanımlamak ve gök taşının oluşum sürecine dair ipuçları bulmak için kullanılabilir.

Tez çalışmamızda yapılan SEM analizleri sonraki bölümde ayrıntılı olarak verilecektir.

4.2.3. XRF (x-ışını floresans) analizi

Meteoritin yüzeyine X-ışınları gönderilerek elementlerin tespit edilmesi sağlanır. Elementlerin karakteristik enerjileri belirlenerek kompozisyon tespit edilir. Yüksek demir ve nikel içeriği meteorit olduğunu gösterebilir [79].

4.2.4. Raman spektroskopisi

Raman spektroskopisi, gök taşındaki minerallerin moleküler titreşimlerini ve rotasyonlarını inceleyen bir analiz tekniğidir. Bu teknik, bir örneğe lazer ışığı göndererek, saçılan ışığın dalga boyundaki değişiklikleri ölçer. Bu değişiklikler, örneğin moleküllerinin kimyasal bağlarının ve yapılarının karakteristik titreşim ve rotasyon modlarını yansıtır. Sonuç olarak, Raman spektroskopisi, bir maddenin kimyasal bileşimini, moleküler yapılarını ve fiziksel özelliklerini belirlemek için kullanılır [83].

4.2.5. FTIR spektroskopisi

FTIR spektroskopisi (Fourier Transform Infrared Spectroscopy), bir maddenin kimyasal bağlarını ve moleküler yapılarını incelemek için kullanılan bir analiz tekniğidir. Bu teknik, bir örneğe kızıl ötesi ışık göndererek, örneğin bu ışığı emme ve saçma özelliklerini ölçer. Maddelerin moleküler düzeydeki titreşim ve dönüşümleri kızıl ötesi bölgede gerçekleştiğinden, elde edilen spektrum, örneğin moleküllerinin kimyasal bağları ve yapıları hakkında bilgi sağlar. FTIR spektroskopisi, kimyasal analiz, malzeme karakterizasyonu ve biyomedikal araştırmalar gibi birçok alanda kullanılır [84].

4.2.6. ICP-MS analizi

ICP-MS (İndüktif Olarak Bağlı Plazma Kütle Spektrometresi), iz elementlerin ve izotopların analiz edilmesi için kullanılır. Elementlerin konsantrasyonları ve izotop oranları belirlenir. Meteoritlerin tipik iz element oranları, Dünya kayaçlarından farklıdır [79,85].

Bu yöntem, gök taşının kökeni ve oluşumu hakkında bilgi edinmemize yardımcı olabilecek nadir elementlerin varlığını belirlemek için kullanılabilir [85].

4.2.7. Termal analiz

Termal analiz, gök taşındaki minerallerin ısıya nasıl tepki verdiğini incelemek için kullanılır. Bu, gök taşının oluşum sürecine dair ipuçları bulmak ve gök taşının uzayda maruz kaldığı sıcaklık değişimlerini belirlemek için kullanılabilir [79,86].

4.2.8. UV-Vis spektroskopi (ultraviyole ve görünür ışık spektroskopisi)

Bu teknik, gök taşlarının içinde bulunan bileşenlerin emilim veya yayılım özelliklerini analiz eder. Gözle görülen ve ultraviyole aralığındaki ışığın buharlaşma, absorbsiyon veya yansıma özellikleri incelenerek içerik hakkında bilgi elde edilir [87].

4.2.9. Nikel testi

Meteoritler genellikle Dünya kayaçlarından daha yüksek nikel içeriğine sahiptir. Kimyasal reaktifler kullanılarak nikel varlığı test edilir. Pozitif sonuç, gök taşı olma ihtimalini artırır [79].

4.2.10. Radyoaktif yaş tayini (C-14 izotop) analizi

Meteoritlerdeki organik bileşenlerin yaşını belirlemek için radyoaktif izotoplar kullanılır. Özellikle Karbon 14 (C-14) izotop analizi en yoğun kullanılan yöntemdir. Uranyum-kurşun, rubidyum-stronsiyum, potasyum-argon gibi izotop oranlarının ölçülmesi ile de analizler yapılabilmektedir. Bu yöntemlerle meteoritlerin kristalleşme yaşı belirlenebilir [79,88].

Genellikle 4.5 milyar yıl civarında olan yaşlar, meteoritin Güneş Sistemi'nin başlangıcından beri var olduğunu gösterir [88].

4.3. Kütle Spektrometrisi Teknikleri

4.3.1. Atomik kütle spektrometrisi (AMS)

Bu teknik, gök taşlarında bulunan elementlerin ve izotopların atomik kütlelerini belirler. AMS, gök taşlarının içindeki elementlerin yoğunluklarını, iz elementlerin varlığını ve izotop oranlarını analiz eder. Özellikle karbon, oksijen, demir, nikel gibi elementlerin tespitinde kullanılır [85,88].

4.3.2. Moleküler kütle spektrometrisi (MS)

Bu teknik, gök taşlarında bulunan organik bileşenlerin moleküler yapılarını ve kütlesel özelliklerini belirler. MS, organik bileşenlerin türlerini, miktarlarını ve dağılımlarını analiz eder [89].

Tüm bu teknikler, bir cismin gök taşı olup olmadığını anlamak için kullanılabilecek en kapsamlı yöntemler arasındadır. Her bir teknik, cismin özelliklerini ve bileşimini belirlemek için önemli bilgiler sağlar ve bu bilgiler, gök taşlarının bilimsel ve tarihi önemini anlamamıza yardımcı olur [79].

5. BAŞVURULAN DENEYSEL YÖNTEMLER

5.1. XRD (X-Işını Kırınımı) Analizi

X-ışını Kırınımı (X-ray Diffraction, XRD) mineraloji analizlerinde kullanılan önemli bir yöntemdir. Bu teknik, katı maddelerin kristal yapısını belirlemek için kullanılır ve özellikle meteoritlerin mineral bileşimlerinin ve kristal yapılarının incelenmesinde oldukça etkilidir [80].

X-ışınları: Elektromanyetik spektrumun yüksek enerjili bir bölgesinde yer alan ışınlardır. Dalga boyları yaklaşık 0.01-10 nanometre arasında değişir [80].

Kristal Yapı: Katı maddelerin atomlarının düzenli bir şekilde dizildiği üç boyutlu periyodik yapıdır [80].

Bragg Yasası: XRD analizinin temelini oluşturur. Bu yasa, X-ışınlarının kristal yapıya çarptığında nasıl kırındığını açıklar [90].

Bragg yasasına göre, X-ışınları kristalin düzlemlerine belirli bir açıyla (θ) çarptığında, belirli bir dalga boyunda (λ) yapıcı girişim meydana gelir ve belirgin bir kırınım deseni oluşur ve $n\lambda=2d\sin\theta$ şeklinde formüle edilir. Burada,

n: Kırınımın mertebesi (genellikle 1 olarak alınır),

λ: X-ışınının dalga boyu,

d: Kristal düzlemler arası mesafe,

θ: Kırınım açısı

olarak tanımlanır [90].

5.1.1. XRD analizinin aşamaları

Numune hazırlığı ve ölçüm

Öncelikle numune homojen bir toz haline getirilir. Bu, X-ışınlarının tüm kristal yönelimlerinde kırınıma uğramasını sağlar. Sonra numune XRD cihazındaki numune tutucusuna yerleştirilir ve ölçüm başlatılır [80].

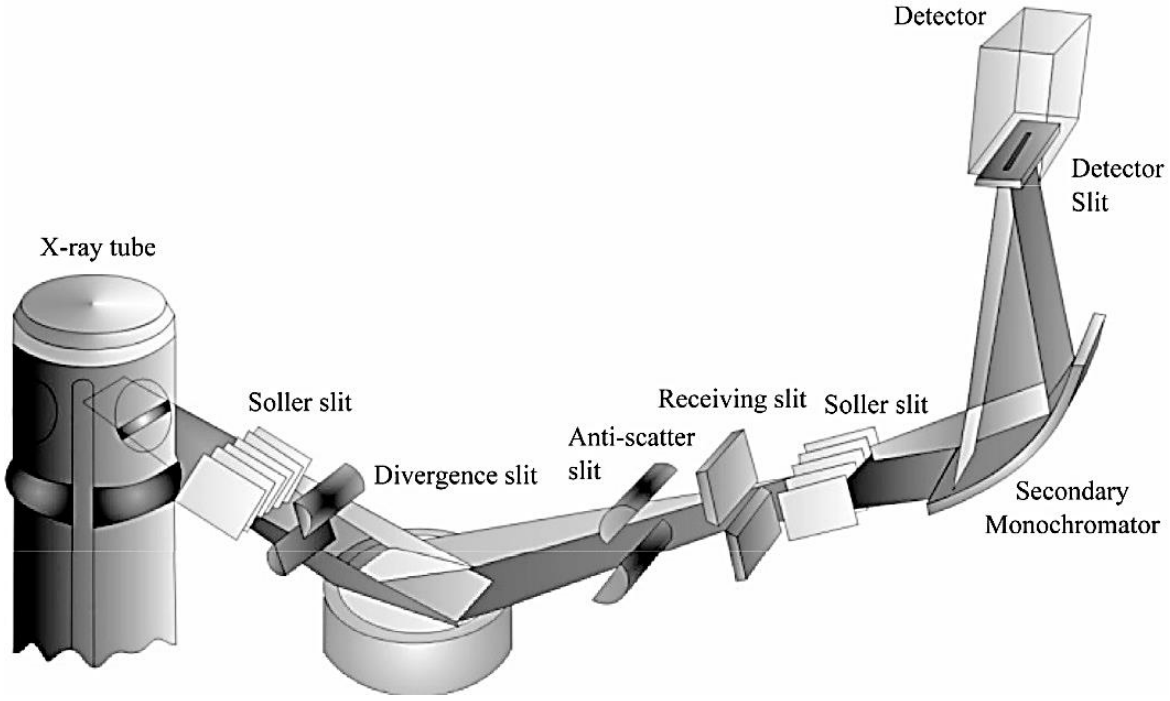
5.1.2. XRD cihazı ve çalışma prensibi

X-ışını Kaynağı: Cihazda X-ışını tüpü bulunur. Burada üretilen X-ışınları numuneye yönlendirilir [80].

Detektör: Kırınıma uğrayan X-ışınlarını tespit eder ve kırınım desenini kaydeder [80].

Gonyometre: Numuneyi ve detektörü belirli açılarla döndürerek X-ışınlarının farklı yönlerden kırınıma uğramasını sağlar [80].

Bu teknikte $K\alpha_1$ ve $K\alpha_2$ spektrumları X-ışını kaynağı olarak kullanılır. Ancak yarık, solar yarık ve monokromatör kullanılarak $K\alpha_2$ pikleri ortadan kaldırılır [80]. En basit yöntem Bragg Brentano olarak bilinir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Rigaku tanımı ile Bragg-Brentano geometri [91].

Bu düzenekte numuneye gelen X-ışınları önce yansır, daha sonra daralarak dar bir yarıktan geçerek detektöre ulaşır. X-ışını kırınım tekniği, bir miller düzlemine karşılık geldiğinde, teta-2teta taramada ayna yansımasında kırınım koşulu korunduğundan veya düzlemler arası yoğunluk farkına (hava-madde) göre iyi kristallenmiş numuneler için keskin tepeler görülür. X ışınları kırınıma uğrar. Geri yansıma sırasında tekrar kırınıma uğrarlar. Detektörde birinci, ikinci vb. sıradaki tüm yansımalar yapıcı girişim oluşturur ve bu durum detektörde fark edilen piklerin oluşmasına neden olur [80]. Yapıcı girişim, iki sinüs dalgasının herhangi bir faz farkı olmadan bir araya gelerek birbirine güç vermesi gibi bir şeydir. X-ışınları vektörel özelliklere sahip olan ve elektrik alanıyla polarize olabilen sinüs dalgalarıdır ($E=A\sin 2\pi(x/\lambda - vt)$) [92]. Gelen X-ışınlarının dalga boyu λ (0,5-2Å derece) olduğunda ve gelen ve yansıyan dalgalar arasındaki yol farkı $2d\sin(\theta)$'a eşit olduğunda kırınım korunur. n, 2'ye eşit olduğunda yol farklarının toplamı 4 d sin(θ), n 3 olduğunda bu toplam 9 d sin(θ) olur. Ancak denklem basitleştirildiğinde tüm derecelerde $\lambda=2d\sin(\theta)$ eşitliği sağlanır [80]. Toz yöntemi olarak bilinen bu teknik, mineraller, alaşımlar, yayılma fazları, düzeltme ürünleri, polimer, zeolit, gök taşları, patlayıcılar ve çimento benzeri malzemelerin niteliksel ve niceliksel olarak analiz edilmesi için kullanılır [92]. Niteliksel analiz malzemenin ne olduğunu belirler ve niceliksel analiz malzemenin miktarını belirler [80].

5.1.3. Veri toplama

Kırınım Deseni: Numuneden kırınıma uğrayan X-ışınları, detektör tarafından toplanır ve kırınım deseni (difraktogram) oluşturulur [80].

Difraktogram: X-ışını yoğunluğunun kırınım açısına (2θ) karşı grafiğidir. Pikler, kristalin belirli düzlemlerinden gelen kırınımları temsil eder [80].

5.1.4. Veri analizi

a) Pik tanımlama

Pozisyon (2θ): Her pikin pozisyonu, kristalin düzlemler arası mesafesi (d) ile ilişkilidir.

Yoğunluk: Piklerin yüksekliği, ilgili düzlemlerden kırınıma uğrayan X-ışını miktarını gösterir [80].

b) Mineral tanımlama

Karşılaştırma: Elde edilen difraktogram, bilinen minerallerin referans desenleriyle karşılaştırılır. Referans desenleri, Uluslararası Kristalografi Veri Merkezi (ICDD) veritabanında bulunur [92].

Tanımlama: Numunede bulunan minerallerin belirlenmesi, piklerin konumları ve yoğunluklarına dayanarak yapılır [80].

c) Kristal yapının belirlenmesi

Hücre Parametreleri: Kristalin birim hücresinin boyutları ve simetrisi hesaplanır. Bu, kristalin yapısal özelliklerini belirlemeye yardımcı olur [80].

d) Yüzde kompozisyon

Yarı Kantitatif Analiz: Pik yoğunlukları, numunede bulunan farklı minerallerin yaklaşık yüzde kompozisyonlarını belirlemek için kullanılabilir [92].

5.1.5. XRD analizi sonuçları ve yorumu

XRD analizi, meteoritlerin ve diğer katı maddelerin kristal yapılarını ve mineral bileşimlerini belirlemek için güçlü bir araçtır. Elde edilen veriler, meteoritin kökeni, oluşumu ve geçmişi hakkında önemli bilgiler sağlar. Bu bilgiler, bilim insanlarının Güneş Sistemi'nin evrimini ve meteoritlerin Dünya'ya nasıl ulaştığını anlamalarına yardımcı olur [80,92].

Sonuç olarak, XRD, meteoritlerin mineraloji analizlerinde vazgeçilmez bir yöntemdir ve kristalografik bilgilerin detaylı olarak elde edilmesini sağlar. Bu analizler, meteoritlerin bilimsel ve tarihi önemini ortaya koymada büyük rol oynar [80].

5.2. Veri Analizi Teknikleri

a) Difraktogramın yorumu

Pik Pozisyonları (2θ): Her bir pik, belirli bir kristal düzleminin kırınım açısını temsil eder. Bu açılar, kristal düzlemler arası mesafeyi (d) belirlemek için kullanılır [80].

Yoğunluk (I): Pik yoğunlukları, ilgili düzlemin kristalde ne kadar yaygın olduğunu gösterir. Yüksek yoğunluklu pikler, bu düzlemlerin daha fazla olduğunu veya daha düzenli olduğunu işaret eder [80].

Pik Genişliği: Piklerin genişliği, kristal boyutları ve iç gerilimler hakkında bilgi verebilir. Daha dar pikler, daha büyük kristaller veya daha az iç gerilim anlamına gelir [92].

b) Kristal yapının belirlenmesi

Hücre Parametreleri: Kristalin birim hücresinin boyutları ve simetrisi, Bragg yasası kullanılarak hesaplanabilir. Bu parametreler, kristal yapıların tanımlanmasında kritiktir [80].

Veri tabanı Karşılaştırması: Elde edilen pik pozisyonları ve yoğunlukları, Uluslararası Kristalografi Veri Merkezi (ICDD) veya benzeri veri tabanlarında kayıtlı referans desenleri ile karşılaştırılır. Bu, numunedeki minerallerin tanımlanmasını sağlar [92].

c) Kantitatif analiz

İçerik Dağılımı: Elde edilen pik yoğunluklarına dayanarak, numunedeki farklı minerallerin yaklaşık yüzdeleri belirlenebilir. Bu yarı kantitatif analiz, mineral bileşenlerinin oranlarını verir [80].

Rietveld Analizi: Daha hassas bir kantitatif analiz yöntemi olan Rietveld yöntemi, difraktogramın tüm desenini modelleyerek numunedeki fazların miktarlarını belirler [92].

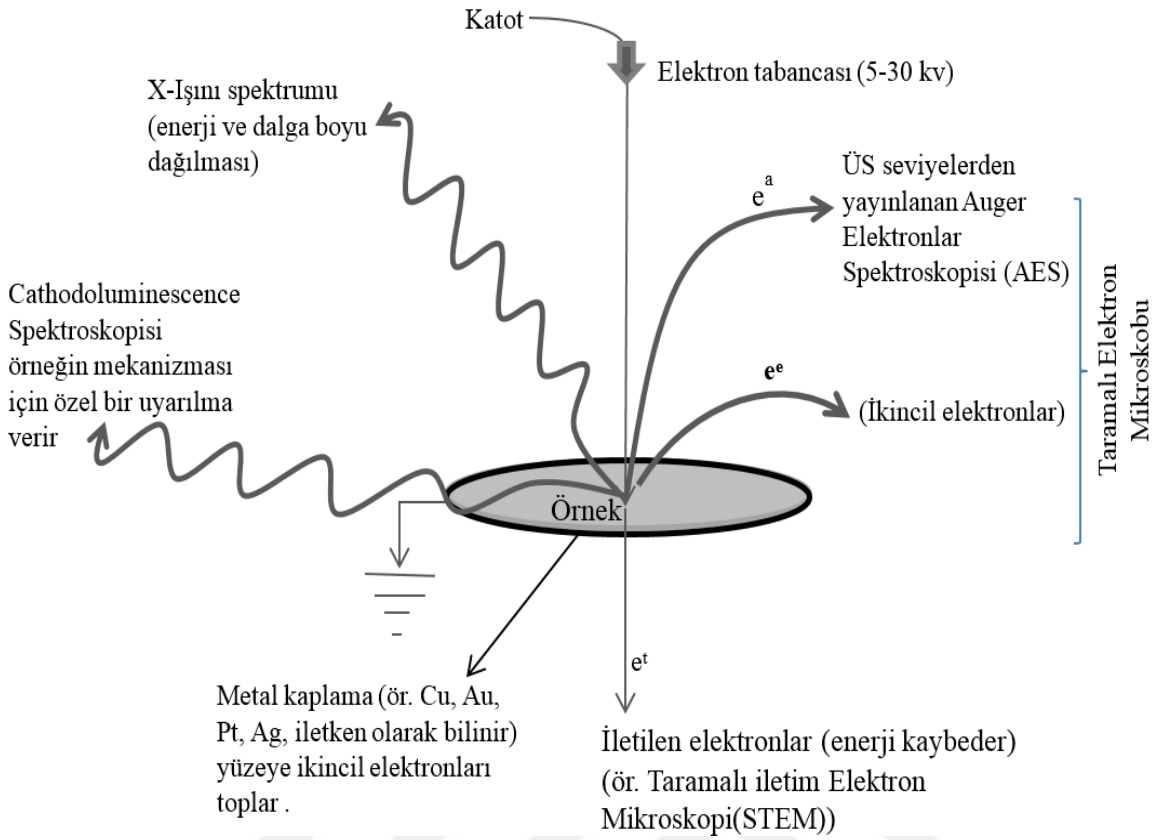
XRD analizi, mineraloji ve malzeme bilimlerinde vazgeçilmez bir yöntemdir. Özellikle meteoritlerin yapısal ve bileşimsel analizlerinde, kristal yapıların belirlenmesinde kritik bir rol oynar. Bu yöntem, gezegen bilimi, malzeme mühendisliği, jeoloji, kimya ve farmasötik bilimler gibi birçok alanda geniş uygulama yelpazesine sahiptir [80,92].

5.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

SEM-EDS tekniği, gök taşı analizlerinde mikro yapısal ve kimyasal detayların belirlenmesinde kritik bir araçtır. Bu teknik, gök taşlarının mineral bileşimlerini, yapısal özelliklerini ve elementel dağılımlarını ayrıntılı olarak inceleyerek, onların oluşumu ve evrimi hakkında değerli bilgiler sağlar [93]

Bu sistemde tungsten elektron tabancası vasıtasıyla elektronlar koparılır. Enerjisi 5-30 kV arasında olan kopan elektronlar, elektrik alanına ters yönde yönlendirilen elektrik kuvveti yardımıyla hızlandırılır. Bu elektronlar, (Au, Pt, Ag, Cu) ile kaplanan malzemenin yüzeyine doğru yönlendirilir (Şekil 5.2). Bu durumun sonucunda elastik ve elastik olmayan iki tip çarpışma görülür [93].

SEM ve spektroskopik teknikler elastik olmayan çarpışmalarla ilgilidir. Esnek olmayan çarpışmalarda elektron, numune malzemenin atomlarıyla etkileşime girer. Gelen elektron 1s taban seviyesindeki bir elektronu koparır ve enerjisinin çoğunu kaybederek numunenin arka tarafına geçer. Bu elektronlar iletilen elektron mikroskobu (STEM) görüntüsünün taranmasına olanak sağlar. 1s kopan elektron ikinci elektron olarak bilinir. Malzemenin yüzeyinden yaklaşık 10 nm aşağıya doğru atomlardan kopan 1s elektronları, kaplanmış metaller yardımıyla yüzeye alınır ve sahip oldukları kinetik enerji ile malzeme yüzeyine yayılırlar. İletken metal, yüzeydeki elektronları toplar ve bu nedenle içinde hiçbir yük kalmaz. Yüzeydeki elektronlar enerji yoğunluklarına göre geniş spektrumlu ışınım yapar. Daha sonra bu radyasyonlar görüntü analizörlerine, amplifikatörlere ve detektörlere dönüştürülür [93].



Şekil 5.2. Elektron-metal etkileşmeleri ile SEM diyagram ve spektroskopi teknikleri [93]

Elektron Demeti: SEM'de, yüksek enerjili bir elektron demeti numune yüzeyine odaklanır.

Geri Saçılan Elektronlar (BSE): Elektron demeti, numunenin yüzeyine çarptığında geri saçılan elektronlar (BSE) üretir. Bu elektronlar, numunenin atom numarası ile ilgilidir; ağır elementler daha fazla geri saçılan elektron üretir.

Sekonder Elektronlar (SE): Elektron demetinin yüzeye çarpması sonucu yüzeyden düşük enerjili sekonder elektronlar (SE) yayılır. SE, yüzey topografyasını ve ince detayları görüntülemek için kullanılır.

5.4. Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi (EDS)

X-Işını Emisyonu: Elektron demeti numunenin yüzeyine çarptığında, atomların iç kabuklarındaki elektronları yerlerinden çıkarır. Bu elektronlar yerine daha yüksek enerjili elektronlar geçerken, karakteristik X-ışınları yayılır [80,94].

Spektrum Analizi: EDS detektörü, yayılan X-ışınlarını enerji seviyelerine göre algılar ve bir spektrum oluşturur. Her elementin karakteristik X-ışını spektrumu farklıdır, bu sayede elementlerin kimlikleri ve miktarları belirlenebilir [94].

5.5. Gök Taşı Analizinde SEM-EDS (Taramalı Elektron Mikroskobu - Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi) Tekniği

Gök taşlarının yüzey özelliklerini ve kimyasal bileşimlerini detaylı bir şekilde incelemek için yaygın olarak kullanılır. Bu teknikler, gök taşlarının mineral bileşimlerini, yapısal özelliklerini ve kimyasal element dağılımlarını belirlemek için idealdir. [94]

SEM-EDS tekniği hakkında ayrıntılı bilgi verelim.

5.5.1. SEM-EDS tekniği ile gök taşı analizi

Numune hazırlığı aşağıdaki 2 prosedür uygulanarak yapılır.

Numune Kesme ve Parlatma: Gök taşı, analize uygun boyutta kesilir ve parlatılır. Bu, düzgün bir yüzey elde edilmesini sağlar [94].

Karbon Kaplama: Numune, elektron demetinin yüzeyde düzgün dağılması ve yük birikiminin önlenmesi için ince bir karbon tabakası ile kaplanır [94].

5.5.2. SEM-EDS analiz prosedürü

SEM görüntüleme

Gök taşı numunesi SEM içine yerleştirilir ve yüzeyi yüksek çözünürlükte taranır. Geri saçılan ve sekonder elektronlar kullanılarak yüzeyin topografyası ve yapısal özellikleri incelenir [94].

EDS analizi

Elektron demeti belirli bir noktaya odaklanarak EDS spektrumu elde edilir. Bu spektrum, numunenin o bölgesindeki elementlerin kimyasal bileşimini ortaya çıkarır [94].

Haritalama

EDS, numunenin yüzeyi boyunca elementlerin dağılımını haritalar. Bu, gök taşının farklı bölgelerindeki elementel farklılıkları gösterir [94].

5.5.3. SEM-EDS verilerinin yorumlanması

SEM görüntülerinin analizi aşağıdaki adımlar takip edilerek yapılır.

Topografik detaylar

Geri saçılan ve sekonder elektron görüntüleri, gök taşının yüzey özelliklerini, doku ve yapılarını ayrıntılı olarak gösterir. Kristal büyüklüğü, şekli ve dağılımı gibi detaylar incelenir [93].

Mikro yapısal özellikler

Mikroskobik çatlaklar, inklüzyonlar (diğer minerallerin dahil edilmesi) ve faz sınırları gibi mikro yapısal özellikler belirlenir [94].

EDS spektrumlarının analizi aşağıdaki adımlarla yapılır.

Elementel kompozisyon

EDS spektrumları, gök taşındaki farklı elementlerin varlığını ve miktarını ortaya koyar. Her bir elementin karakteristik X-ışını pikleri spektrumda belirlenir [93].

Kantitatif analiz

EDS spektrumları, elementlerin yarı kantitatif oranlarını belirlemek için kullanılabilir. Bu, numunenin toplam kimyasal bileşimi hakkında bilgi verir [94].

Elementel haritalama (element dağılımı)

EDS haritaları, gök taşının farklı bölgelerindeki elementel dağılımı görselleştirir. Örneğin, demir, magnezyum, silikon gibi elementlerin nasıl dağıldığı gösterilir [93].

Faz tanımlama

Farklı minerallerin (fazların) tanımlanması ve bunların kimyasal bileşimlerinin haritalanması yapılır. Bu, gök taşının mineralojik yapısını belirlemede kritiktir [94].

5.5.4. SEM-EDS tekniğinin avantajları ve sınırlamaları

Yüksek Çözünürlük: SEM, gök taşının mikro yapısal detaylarını yüksek çözünürlükte görüntüleyebilir [93].

Hızlı ve Hassas: EDS, elementel bileşimi hızlı ve hassas bir şekilde belirleyebilir [94].

Haritalama Yeteneği: EDS, elementlerin yüzeydeki dağılımını haritalayarak detaylı bir kimyasal analiz sunar [93].

Yüzey Analizi: SEM-EDS, sadece numunenin yüzeyindeki elementleri analiz eder. Derinlik bilgisi sınırlıdır [94].

Yarı Kantitatif: EDS analizleri genellikle yarı kantitatif olup, kesin miktar tayini için ek yöntemler gerekebilir [93].

Örnek Hazırlığı: Numune hazırlığı (kesme, parlatma ve kaplama) zaman alıcı olabilir ve dikkat gerektirir [94].

5.5.5. Pratik uygulama örnekleri

Meteoritik olivin ve piroksen analizini aşağıdaki iki süreçle yapabiliriz.

Olivin ve Piroksen Taneleri: SEM görüntüleri, bu minerallerin şekli, boyutu ve yüzey özelliklerini belirler. EDS ile bu minerallerin elementel bileşimi (örneğin, Mg, Fe, Si içerikleri) analiz edilir [93].

Şok Metamorfizması: Şok metamorfizmasının neden olduğu yapısal değişiklikler ve mikro çatlaklar tespit edilir [94].

5.5.6. Demir-Nikel alaşımları

Fe-Ni fazları

SEM, demir-nikel alaşımlarının yüzey yapılarını incelerken, EDS bu fazların elementel bileşimini ve dağılımını belirler [93].

İnklüzyonlar ve katkılar

Demir-nikel matrisindeki diğer mineral inklüzyonlarının (örneğin, sülfürler, fosfatlar) tespiti ve analizi yapılır [94].

Karbonat mineralleri

SEM görüntüleri karbonat minerallerinin morfolojisini ve iç yapısını gösterir. EDS ile bu minerallerin kimyasal bileşimi (örneğin, Ca, Mg içerikleri) belirlenir [93].

Organik madde ve volkanik cam

Gök taşındaki organik madde ve volkanik camın tespiti ve kimyasal analizi gerçekleştirilir [94].

5.6. Kristal Yapı Tayini

Kristal yapı belirleme, bir kristal örgü içindeki atomların düzenini belirleme işlemidir. Basit kübik, cisim merkezli kübik (BCC) ve yüzey merkezli kübik (FCC) yapıları içeren bir kübik kristal sistemi bağlamında, yapı belirleme için kullanılabilecek çeşitli teknikler ve yöntemler vardır.

X-ışını kristalografisi, kristal yapıları belirlemek için en yaygın ve güçlü tekniktir. X-ışını kristalografisi, X-ışınlarının bir kristale yönlendirilmesini ve ortaya çıkan kırınım modelinin analiz edilmesini içerir. Kırınım modelinden, bilim adamları atomların kristal örgü içindeki düzenini anlayabilirler. Atomların konumları daha sonra özel yazılım kullanılarak belirlenir [80].

Nötron Kırınımı, X-ışını kristalografisine benzer şekilde, nötron kırınımı, nötronları bir kristale yönlendirmeyi ve kırınım modelini analiz etmeyi içerir. Nötron kırınımı, X-ışınları kullanılarak tespit edilmesi zor olan hafif elementlerin (hidrojen gibi) konumlarını belirlemek için özellikle yararlıdır [92].

Elektron kırınımında, bir elektron ışını bir kristale yönlendirilir. Bu teknik, özellikle çok küçük kristalleri veya kristal olmayan malzemeleri incelemek için kullanışlıdır. Ayrıca atomların yerel dizilişi hakkında bilgi sağlayabilir [95].

Toz X-ışını Kırınımı, tek bir kristal elde etmenin zor olduğu durumlarda kullanılır. Toz kırınımı, toz haline getirilmiş bir numune tarafından üretilen kırınım modelinin analiz edilmesini içerir. Desenden, kristal yapı hakkında bilgi hala çıkarılabilir [92].

Tek Kristal Elektron Mikroskobu, tek tek kristalleri görüntülemek için transmisyon elektron mikroskobunun (TEM) kullanılmasını içerir. Bilim adamları, kristal tarafından üretilen elektron kırınım modelini analiz ederek yapısını belirleyebilirler [96].

Nükleer Manyetik Rezonans (NMR), NMR genellikle çözelti içindeki molekülleri incelemekle ilişkilendirilirken, bir kristal kafes içindeki atomların yerel yapısını belirlemek için de kullanılabilir. Bununla birlikte, NMR tipik olarak bir kristal içindeki karmaşık organik veya biyolojik moleküller için daha uygundur [92].

Hesaplama Yöntemleri, hesaplama gücünün ilerlemesiyle birlikte, başlangıçtan itibaren hesaplamalar ve moleküler dinamik simülasyonları gibi hesaplama yöntemleri, kristal yapı belirleme için değerli araçlar haline geldi. Bu yöntemler, teorik modellere dayalı olarak atomların düzenini tahmin etmek için matematiksel algoritmalar ve simülasyonlar kullanmayı içerir [97].

Sinkrotron Radyasyonu, Sinkrotron radyasyon kaynakları, son derece yoğun ve odaklanmış X-ışını ışınları sağlayarak daha yüksek çözünürlüklü kırınım verilerine izin verir. Bu, özellikle karmaşık veya çok küçük kristalleri incelemek için yararlı olabilir [80].

Seçilen yöntemin kristalin boyutu ve kalitesi, dahil olan unsurlar, gereken ayrıntı düzeyi ve mevcut kaynaklar gibi faktörlere bağlı olduğunu unutmayın. Her durumda, süreç kırınım verilerinin toplanmasını ve kristal kafes içindeki atomların düzenini yeniden oluşturmak için gelişmiş analiz yazılımlarının kullanılmasını içerir.

X-ışını kırınımı (XRD), kristal malzemelerdeki atomların dizilişini analiz etmek için kullanılan güçlü bir tekniktir. Basit kübik, cisim merkezli kübik (BCC) ve yüzey merkezli kübik (FCC) gibi kübik kristal yapılar söz konusu olduğunda, kırınım modelleri, doğrudan indekslemeye izin veren farklı özellikler sergiler. İndeksleme, kafes parametrelerini (a, b, c) ve kristal kafesin X-ışını ışınına göre yönünü belirleme işlemidir [80]. Kübik kristal yapılar için, XRD modellerini indeksleme için şu adımları takip edebiliriz:

5.6.1. Pikleri tanımlama

Kristal örneğinden kırınım verilerini toplayarak bir XRD deseni elde edilir. Desendeki farklı kırınım pikin tepe noktalarını belirlenir. Her pik, kırınımdan sorumlu olan bir dizi kristalografik düzleme karşılık gelir [80].

5.6.2. d'nin hesaplanması

Kırınım pik noktalarının oluştuğu pikin tepe açıları (2θ) ölçülür. Ardından, her pik ile ilişkili d aralığını (atom düzlemleri arasındaki mesafe) hesaplamak için Bragg yasası kullanılır. d = λ/(2*sin(θ) burada: d ise düzlemler arası uzaklıktır. λ, X-ışını dalga boyudur ve θ kırınım açısıdır [80].

5.6.3. Miller indisleri tanımlanır

Kübik sistemler için, kırınım tepe noktalarının Miller indisleri genellikle basit tam sayı değerleridir çünkü kübik kafesin tüm kenarları ve açıları eşittir. Miller indisleri (hkl) kırınıma neden olan kristal düzlemlerin yönünü tanımlar [80].

Bir kübik örgü için kırınım pik noktalarının Miller indeksleri aşağıdaki gibi belirlenebilir:

- Pik belirli bir d-aralığına karşılık, $h^2 + k^2 + l^2$ hesaplayabilir; burada h, k ve l Miller indisleridir.
- h, k ve l 'nin $h^2 + k^2 + l^2$ 'yi sağlayan en küçük değerleri bulunur. Bunlar, karşılık gelen kırınım piki için Miller indisleri olacaktır.
- Belirlenen kırınım pik noktalarının Miller indekslerine dayanarak, kübik kristal yapı tipi belirlenebilir.

- Tüm h, k ve l çift veya tümü tek ise, bu muhtemelen yüzey merkezli kübik (FCC) bir yapıdır.
- h, k veya l'den biri çift, diğer ikisi tek ise, büyük ihtimalle cisim merkezli kübik (BCC) bir yapıdır.
- Tüm h, k ve l tek ise, muhtemelen basit bir kübik yapıdır [80].

5.6.4. Örgü parametrelerinin hesaplanması

Kübik yapının türünü belirledikten sonra, örgü parametrelerini hesaplamak için Miller indislerini kullanabilir. a, b ve c örgü parametreleri d-aralığı ve Bragg yasasına dayalı formüller:

- FCC: a = d*$\sqrt{(h^2 + k^2 + l^2)}$
- BCC: a = d*$\sqrt{(h^2 + k^2 + l^2)}$ (örnek olarak (110) piki için)
- Basit Kübik: a = d*$\sqrt{(h^2 + k^2 + l^2)}$ (örnek olarak (100) piki için)

Miller indislerini ve kübik sistemler için bilinen simetri kurallarını kullanarak kristalin örgü parametrelerini hesaplayabilir. Örneğin, basit bir kübik yapı için örgü parametresi "a" d-aralığı ile "d = a / $\sqrt{}$ ($h^2 + k^2 + l^2$)" ile ilişkilidir [80].

5.6.5. Yönlendirme ve yoğunluk analizi

Kristal kafesin yönü, kırınım pik noktalarının açıları analiz edilerek belirlenebilir. Piklerin bağıl yoğunlukları, pik içindeki atomların düzenlenmesi hakkında bilgi sağlayabilir [80].

5.6.6. İnceleme

Verilerin kalitesine ve kristalin karmaşıklığına bağlı olarak, belirlenen kafes parametrelerinin ve atomik konumların doğruluğunu iyileştirmek için arıtma teknikleri kullanılabilir [80].

Bu adımlar, X-ışını kırınım verilerini kullanarak bir kübik kristal yapının kırınım pikin noktalarını indekslemenize yardımcı olacaktır. Özellikle daha karmaşık malzemelerle uğraşırken veya pikler iyi çözülmemişse, sürecin biraz yineleme ve iyileştirme gerektirebileceğini unutmamak gerekir [80].

5.7. Sertlik

Bir malzemenin sertliği, tipik olarak girinti yoluyla lokalize kalıcı deformasyona dayanma yeteneği olarak tanımlanır. Sertlik aynı zamanda bir malzemenin kesme, aşınma ve penetrasyon gibi diğer eylemlerden dolayı deformasyona karşı direncini tanımlamak için de kullanılabilir. Sertlik ölçülürken dikkate alınan deformasyon türü plastik deformasyondur. Başka bir deyişle, nesne veya malzeme elastik deformasyondan farklı olarak deforme olduktan sonra orijinal şekline dönmeyecektir [98].

Sertlik çok sayıda mühendislik tasarım uygulamasında kullanılmaktadır. Bu özellik, malzemenin performansı ve uygunluğuyla doğrudan ilişkili olduğundan önemlidir. Örneğin, bir bileşenin aşınmaya karşı direnci genellikle sertliğin artmasıyla birlikte artar. Bu özellikle asansör boşlukları gibi hareketli parçalara sahip mekanik ekipmanlar için önemlidir [98].

Sertlik temel bir malzeme özelliği değildir, dolayısıyla bu özelliklerin birbirleriyle nasıl ilişkili olduğunu anlamak için mukavemet, elastikiyet ve süneklik gibi diğer özelliklerle birlikte ele alınmalıdır. Örneğin bir malzeme sert olabileceği gibi kırılgan da olabilir. Bu özellik malzemenin belirli uygulamalarda kullanımını sınırlayabilir [98].

Malzeme sertliği sertlik testi kullanılarak ölçülür. Sertliğin değeri aşağıdakiler gibi çeşitli faktörlere bağlıdır: Girinti üzerindeki yük, Yükün niteliği (darbe, sürekli yükleme), Yükleme süresi ve girinti geometrisi açından önemlidir. Setlik analizi ile demir, nikel ve krom gibi minerallerden oluşan Gök taşın sertliği belirlenebilir [98].

Minerallerin tayini için Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkez'indeki GNR marka APD 2000 PRO modeli XRD cihazı kullanıldı.

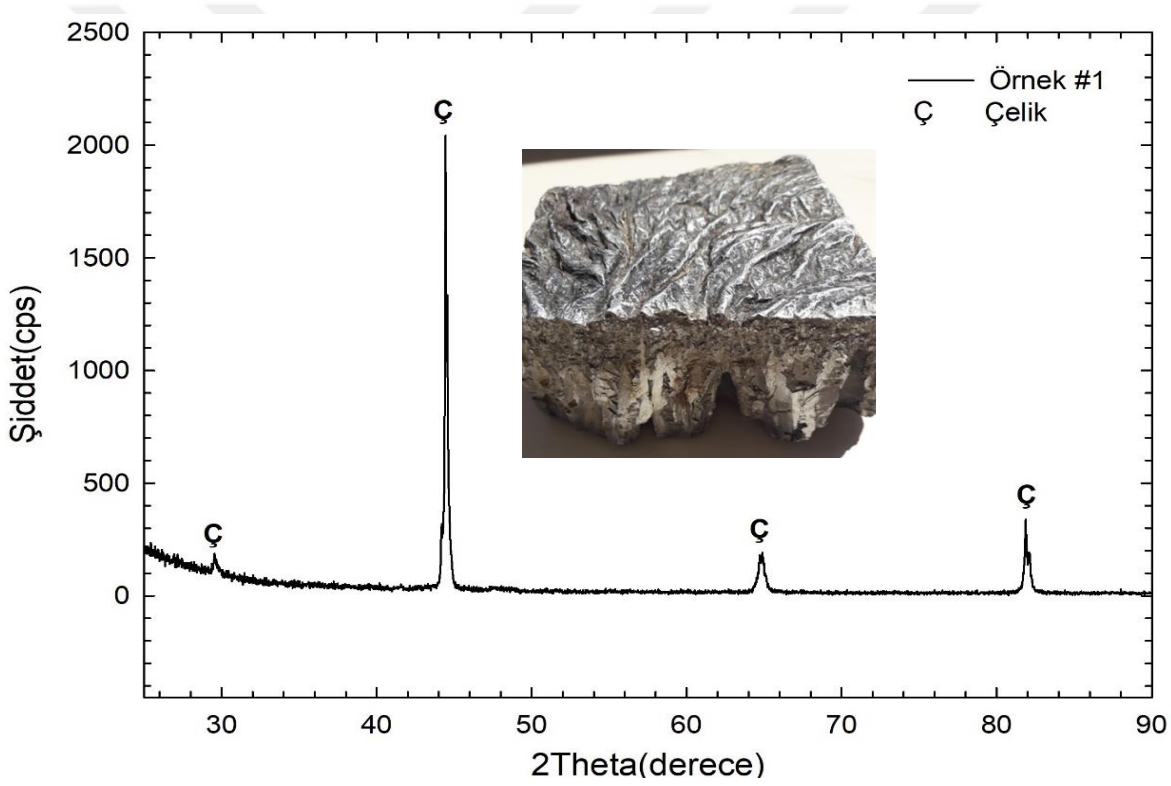


Şekil 5.3. XRD Ölçümlerini yaptığımız Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkez'indeki GNR marka APD 2000 PRO modeli XRD cihazı.

6. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

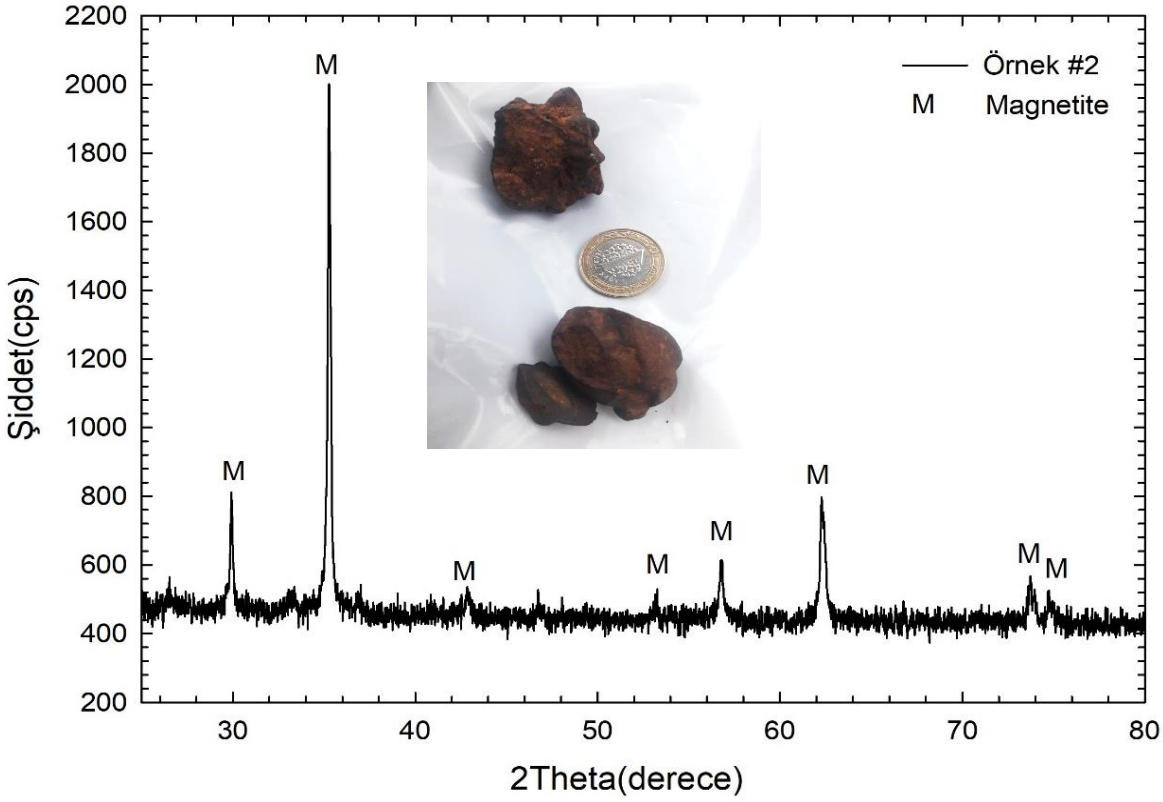
6.1. Gök Taşların XRD Taramasının Analizi

Şekil 6.1' de Örnek #1'in 2thetaya karşın XRD tekniğinin şiddet pikleri gözükmektedir. Yapı yüksek kristalize paslanmaz çeliğe benzemektedir (Şekil 6.1 iç resim). XRD deseninde dört pik bulunmaktadır. Farklı şiddetlerdeki pikler Pdf34-0396 data kartına göre 42.0^o civarındaki pik en yüksek (110) miller indisli ile mozaik (texture) yapıdadır. Yönelim bu pik yönündedir. Piklerden 42.0 ve 81.0 civarında $K_{\alpha 1}$, $K_{\alpha 2}$ den ayrıldığı görülür ve yapının kristalize olduğunu destekler [80].



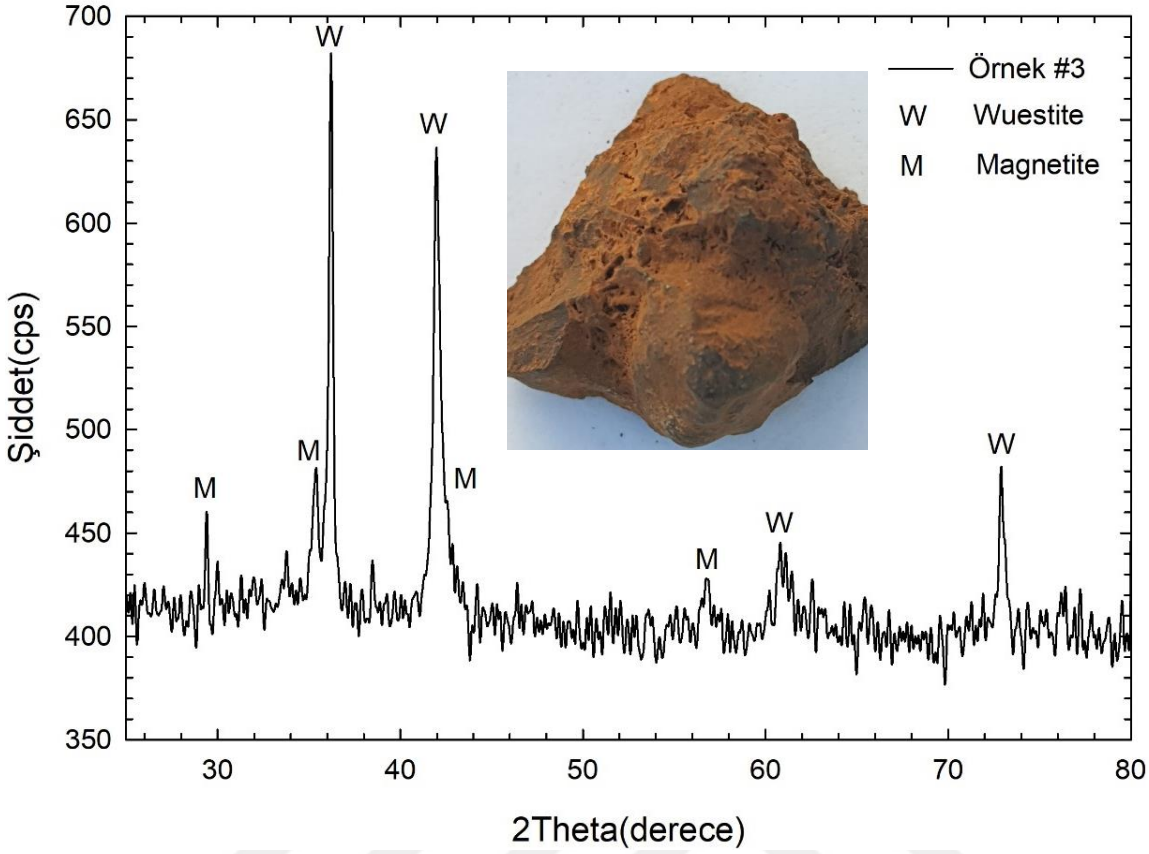
Şekil 6.1. Gök taşlarından Örnek #1 yapısının XRD kırınım deseni. Şekil içinde resim Örnek #1 resmini gösterir.

Aşağıdaki Şekil 6.2'de Örnek #2 için 2 thetaya karşın şiddet pikleri gözükmektedir. Örnek #2 bütünüyle Magnetite mineral yapısındadır. Örnek #1 'de paslanmaz çelikte olduğu gibi yapı mozaikli olarak görülür. Yapı mıknatısı zayıf spin yönelimleri ile hafif çekmektedir. Yapı oksijen ile bileşik yapıda, 32.5^o civarında en yüksek pik ile yönelim bu pik yönündedir. Yapı polikristal yapıda olduğu için sert yapı olarak gözükmektedir. Yer yer kristalize bölgeleri yüksek şiddet ile XRD deseninden de anlaşılabilir [80].



Şekil 6.2. Gök taşlarından Örnek #2 yapısının XRD kırınım deseni. Şekil içinde resim Örnek #2 resmini gösterir.

Şekil 6.3' de Örnek #3 için 2 thetaya karşın şiddet pikleri gözükmektedir. Örnek #3, iki fazdan oluşur. Ayrıca XRD deseninde geri planda minör fazlar gözükmektedir. Bunlar Wurtzite (vürtzit), Magnetite (magnetit) ve minör yapılardan fazlarıdır [99]. Bu gök taşında Magnetite fazı Örnek #2'ye göre iyi kristalize değildir [100]. Hatta wurtzite ye göre de kristalize düşüktür ve yüzde olarak azdır. Magnetite (magnetit) fazının çoğu pik gürültülü geri planda kalmaktadır [101]. Wurtzite minerali iyi belirlenmekte yüksek kristalize polikristaldir. Yönelim 35.0^{o} civarında ve mozaik (Texture) yapıdadır [99].



Şekil 6.3. Gök taşlarından Örnek #3 yapısının XRD kırınım deseni. Şekil içinde resim Örnek #3 resmini gösterir.

6.2. Gök Taşların XRD Taramasının İndeksleme Analizi

Plastik deformasyon, alaşım oluşumu ve faz geçişleri gibi olayları anlamak için kristal yapı bilgisi gereklidir. Birim hücrenin yapı, boyut ve şeklinin, kırınım piklerinin açısal pozisyonunu belirlemekte kullanılmakta olduğu bilinmektedir. Birim hücre içindeki atomların dağılımında, piklerin ilişkili şiddetlerini belirler. Bunlar sayesinde, piklerin açısal pozisyonundan ve birim hücre içindeki atomların konumlarından, birim hücrenin şekil ve boyutunu hesaplamak mümkündür. Bu durum kırınım piklerinin şiddetleri ile mümkün olur [80,99-101].

Bilinmeyen bir kristal yapının tam olarak belirlenmesi üç adımdan oluşur:

a) Birim hücrenin şekil ve boyutunun kırınım piklerinin açısal pozisyonundan hesaplanması.

b) Birim hücrenin şekil ve boyutundan, birim hücre başına düşen atom sayısının hesaplanması. Bununla birlikte numunenin kimyasal bileşimi ve ölçülmüş yoğunluğun da belirlenir.

c) Kırınım piklerinin göreli şiddetlerinden birim hücre içindeki atomların konumlarının çıkarılması [80].

Bu tezde sadece adım-a'yı uygulayacağız (yapılar kübik yapı olduğu için hesaplamalar bu yapı üzerinden olacaktır). Deseni indeksleme, her pike doğru Miller indislerinin uyarlanmasını içerir. Bu pikler aynı zamanda yansımalara da karşılık gelir. Doğru indeksleme kırınım desenindeki her pikin hesaba katılmasıyla yapılır. Kübik yapıdaki malzemelerin kırınım desenlerinin indekslenmesinin tipik bir örneği burada sunulmuştur [80].

Düzlemler arası boşluk "d", malzemenin (h,k,l) setinde ardışık düzlemler arası mesafedir. Örgü parametresi "a"dır. Bragg yasasını ($\lambda=2d\sin\theta$) denklem ile

$$a = d\sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \tag{6.1}$$

Denklemi birleştirilerek

$$\frac{1}{d} = \frac{\sqrt{h^2+k^2+l^2}}{a} = \frac{2sin(\theta)}{\lambda} \tag{6.2}$$

şeklinde elde ederiz [80]. Denklemleri tekrar düzenlersek

$$sin^2(\theta) = \left(\frac{\lambda^2}{4a^2}\right)(h^2 + k^2 + l^2) \tag{6.3}$$

elde ederiz [102].

$\lambda^2/4a^2$, her desen için sabittir. $\mathrm{Sin}^2\theta$ ise $(h^2+k^2+l^2)$ ile orantılıdır. θ arttıkça, kırınım büyük Miller indisli düzlemlerde olacaktır. Denklem (6.3)'ü iki farklı düzlem için yazıp bölersek, denklem

$$\frac{sin^2(\theta_1)}{sin^2(\theta_2)} = \frac{h_1^2+k_1^2+l_1^2}{h_2^2+k_2^2+l_2^2} \tag{6.4}$$

elde ederiz [80]. Kübik sistemde, kırınım desenindeki ilk yansıma ilkel kübik için (100), cisim merkezli kübik için (110) ve yüzey merkezli kübik için (111) Miller indisli düzlemlerdeki kırınımdan kaynaklanır [103] (Her durumda en yüksek düzlem yoğunluğu ele alınır.). Bu durumda $h^2+k^2+l^2$=1,2,3 olabilir. $Sin^2\theta$ değeri oranları, farklı düzlemler için $h^2+k^2+l^2$ ile ölçeklendirildiği için ve h, k, l değerleri her zaman tam sayı olduğu için, $h^2+k^2+l^2$ değerleri farklı yansımalar için $sin^2\theta$ değerlerini bölerek ve oranları çarparak elde edilebilir. Böylece kırınım desenindeki her pik için hesaplanan $sin^2\theta$ değerleri en küçük değere bölünmüş olur (ilk yansıma). Bu oranlar 2 veya 3 ile çarpılınca tam sayıları verir. Bu tam sayılar $h^2+k^2+l^2$'yi temsil eder. hkl değerleri ise Çizelge 6.1' de verilen kuadratik formlardan tanımlanabilir [80]. Kırınım deseninin indekslemesini, $sin^2\theta$ değerleri yerine $1/d^2$ oranını kullanarak da yapabiliriz [102]. θ doğrudan ölçülebilen bir nicelik olduğundan $sin^2\theta$ değerlerini kullanmayı tercih ettik.

Bravais örgünün tanımlanması, Bravais örgüsü, kırınım desenindeki yansımaların sistematik varlığını veya yokluğunu not ederek tanımlanabilir [103]. Çizelge 6.1 kübik örgüler için seçim kurallarını özetler. Bu seçim kurallarına göre, farklı kübik örgüler için $h^2+k^2+l^2$ değerleri aşağıdaki sıralamaya uyar;

İlkel → 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16....

Hacim merkezli → 2,4,6,8,10,12,14,16.....

Yüzey merkezli → 3,4,8,11,12,16,19,20,24,27,32...

Çizelge 6.1. Yansımaların varlığına veya yokluğuna göre seçim kuralları

Bravais Örgü	Yansımalar vardır.	Yansımalar yoktur.
İlkel Kübik	Hepsi	Hiçbiri
Hacim Merkezli Kübik	h+k+l(çift)	h+k+l(tek)
Yüzey Merkezli Kübik	h+k+l karışmamış (hepsi çift veya hepsi tek)	h,k,l karışmış

Böylece Bravais örgü, $h^2+k^2+l^2$'nin kırınım desenindeki sıklığından hesaplanabilir.

Örgü Parametresi *a* Denk 6.3 ile hesaplanabilir. Denk 6.3 düzenlenirse,

$$a = \frac{\lambda}{2sin(\theta)}\sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \quad (6.5)$$

örgü parametresinin hesabı elde edilir [80].

6.3. Gök Taşları İçin Analitik Metotun Kullanımı

Gök taşların kırınım desenini indekslemek için, kübik yapılar analitik bir metot da kullanılabilir. Denk 6.3' e tekrar kullanılır. Herhangi bir desen için $\lambda^2/4a^2$ sabit olduğu için denklem

$$sin^2(\theta) = A(h^2 + k^2 + l^2) \quad (6.6)$$

Yazılabilir [80]. Burada $A=\lambda^2/4a^2$'dir. Gök taşları kübik sistemde, mümkün $h^2+k^2+l^2$ değerleri 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8...(her tip kübik yapıda hepsi mevcut olmayabilir) [102]. Gözlenen $\sin^2\theta$ değerleri 2, 3, 4, 5, 6... çarpanlarıyla, ortak bir katsayı elde etmek için bölünür. Bu katsayı A'nın değeridir ve $h^2+k^2+l^2=1$ değeri ile örtüşür [102]. Böylece $A=\lambda^2/4a^2$ eşitliğini kullanarak A'nın değerini kullanarak örgü parametresini elde edebiliriz. $A=\lambda^2/4a^2$ den örgü çekilirse

$$a = \frac{\lambda}{2\sqrt{A}} \quad (6.7)$$

olur. Farklı yansımalar için $\sin^2\theta$ değerlerini A'ya bölersek $h^2+k^2+l^2$'yi buluruz. Gök taşların hkl değerleri ise aşağıdaki listeden (Çizelge 6.2) elde edilebilir [80].

Çizelge 6.2. $h^2+k^2+l^2$ den hkl indisleme ve örgü tipi belirleme tablosu

$h^2+k^2+l^2$	hkl	Örgü[a]
1	100	P
2	110	P, I
3	111	P, F, D
4	200	P, I, F
5	210	P
6	211	P, I
7		
8	220	P, I,F, D
9	300, 221	P
10	310	P, I
11	311	P, F,D
12	222	P, I, F
13	320	P

Çizelge 6.2. (devamı) $h^2+k^2+l^2$ den hkl indisleme ve örgü tipi belirleme tablosu

14	321	P, I
15		
16	400	P, I, F, D
17	410, 322	P
18	411, 330	P, I
19	331	P, F, D
20	420	P, I, F
21	421	P
22	332	P, I
23		
24	422	P, I, F, D
25	500, 430	P
26	510, 431	P, I
27	511, 333	P, F, D
28		
29	520, 432	P
30	521	P, I
31		
32	440	P, I, F, D
33	522, 441	P
34	530, 433	P, I
35	531	P, F, D
36	600, 442	P, I, F
37	610	P
38	611, 532	P, I
39		
40	620	P, I, F, D

(a) P = ilkel kübik,
I = cisim merkezli kübik,
F = yüzey merkezli kübik,
D = elmas kübik.

Aşağıdaki Çizelge 6.3.'te Bravais örgünün yarı deneysel analitik hesaplaması ile tüm gök taşı için hesaplanan örgü parametreleri gösterilir.

Çizelge 6.3. Örnek #1, Örnek #2 ve Örnek #3 için Bravais örgünün yarı deneysel analitik hesaplaması ve hesaplanan örgü parametreleri

Malzeme: Gök taşı		Radyasyon(CuKα)							$\lambda_{K\alpha1}$=0.154056nm
Örnek #1									
Pik #	2θ	Sin(θ)	Sin(θ)/2	Sin(θ)/3	Sin(θ)/4	Sin(θ)/5	Sin(θ)/6	Sin(θ)/7	Sin(θ)/8
1	44.456	0.14	**0.0716**	0.0477	0.0358	0.0286	0.0239	0.0179	0.0089
2	64.829	0.29	0.1437	0.0958	**0.0718**	0.0575	0.0479	0.0359	0.0180
3	81.907	0.43	0.2148	0.1432	0.1074	0.0859	**0.0716**	0.0537	0.0269
4	98.475	0.57	0.2868	0.1912	0.1434	0.1147	0.0956	**0.0717**	0.0359
Örnek #2									
Pik #	2θ	Sin(θ)	Sin(θ)/2	Sin(θ)/3	Sin(θ)/4	Sin(θ)/5	Sin(θ)/6	Sin(θ)/7	Sin(θ)/8
1	18.31	0.03	0.0127	**0.0084**	0.0063	0.0051	0.0042	0.0021	0.0032
2	30.05	0.07	0.0336	0.0224	0.0168	0.0134	0.0112	0.0056	**0.0084**
3	35.5	0.09	0.0465	0.0310	0.0232	0.0186	0.0155	0.0077	0.0116
4	56.87	0.23	0.1134	0.0756	0.0567	0.0453	0.0378	0.0189	0.0283
5	62.53	0.27	0.1347	0.0898	0.0673	0.0539	0.0449	0.0224	0.0337
Örnek #3									
Pik #	2θ	Sin(θ)	Sin(θ)/2	Sin(θ)/3	Sin(θ)/4	Sin(θ)/5	Sin(θ)/6	Sin(θ)/7	Sin(θ)/8
1	36.2900	0.0970	0.0485	0.0324	0.0242	0.0194	0.0162	0.0139	0.0061
2	36.2500	0.0968	0.0484	**0.0323**	0.0242	0.0194	0.0161	0.0138	0.0060
3	42.1000	0.1290	0.0645	0.0430	**0.0323**	0.0258	0.0215	0.0184	0.0081
4	61.0600	0.2581	0.1290	0.0860	0.0645	0.0516	0.0430	0.0369	0.0161
5	72.9100	0.3531	0.1765	0.1177	0.0883	0.0706	0.0588	0.0504	0.0221
6	91.8400	0.5161	0.2580	0.1720	0.1290	0.1032	0.0860	0.0737	**0.0323**

Çizelge 6.3' de üç gök taşı için hkl indeksleme örgü uzunluğu için Bravais örgünün yarı deneysel analitik hesaplaması verilir. Tabloda $Cu_{\alpha1}$ dalga boyu için $Sin^2(\theta)/n$ hesaplaması n=8 kadar tüm örnekler için yapılır. $Sin^2(\theta)/n$ ortak en küçük değerler sırasıyla 0.0717, 0.0084 ve 0.0323 okunmaktadır. Burada değer daha küçük olsa da tekrarı olamadığı ve örgü parametresi uygun aralık olmadığı görülür. $Sin^2(\theta)$ en küçük ortak değer aranmalıdır. İndeksleme için Bravais örgü için düzlem sıraları sırası (n değeri) Örnek #1 için 3, 4, 6 ve 8 olmakta, bu Bravais örgü tipi ilkel kübik yapıya uygun olmaktadır. Örnek #2 için Bravais örgü düzlem sıraları sırası 3 ve 8 olmaktadır. Bravais örgü tipi yüzey merkezli kübik yapı olmaktadır. Son Örnek #3 için düzlem sıraları 3, 4 ve 8 ile yüzey merkezli kübik yapıdadır.

Burada Çizelge 6.3 den ortak en küçük değerler A değerleri (0.0717, 0.0084 ve 0.0323) verir ve bu değerlerden a_o=0.154059/(2*A) denklemi ile bulunan değerler bu tabloda verilir. Örgü parametreleri kararlı yapılardan oluşur ve database değerlerle uyumlu olduğu Çizelge 6.4' de görülür. Database kaynak kodları tabloda verilir.

Çizelge 6.4. Analitik yöntemden elde edilen örgü parametreleri

Örnek	Örgü parametresi (nm)	Database
Örnek #1	0.287871	0.28760/Pdf34-0396
Örnek #2	0.840431	0.840530/Cod96-152-8612
Örnek #3	0.428800	0.429970/Cod96-101-1168

Çizelge 6.5. de Gök taşların Bravais örgü düzlemlerin indekslenmesini gösterir. Yöntem sin(2θ) minimum sin(2θ) bölünüp uygun bir sabit ile çarpılarak oluşan sayılar tam sayıya yuvarlandığında $h^2+k^2+l^2$ değerini verir (Örnek #1 için 2,4 ve 6 Örnek #2 için 8,11, 27 ve 32 ve Örnek #3 için 3, 4, 8, 11 ve 12). Bu değerden (hkl) indeksleri tablo indis den tahmin edilerek database ile kıyas edilir. Sonuçların da database ile uyumlu olduğu görülür.

Çizelge 6.5. Gök taşının x-ışını kırınım örneğinin indeksleme ayrıntıları

Malzeme: Gök taşı			Radyasyon(CuK$_\alpha$)			K$_\alpha$1=0.154056 nm
Örnek #1						
Pik #	2θ	sin(2θ)	sin(2θ)/sin(2θ)$_{min}$	sin(2θ)/sin(θ)$_{min}$ x^3	$h^2+k^2+l^2$	(hkl)
1	44.46	0.1431	1.0000	2.0000	2	110
2	64.83	0.2873	2.0079	4.0158	4	200
3	81.91	0.4296	3.0020	6.0041	6	211
Örnek #2						
Pik #						
1	18.27	0.02521	1.00000	3.00000	3	111
2	30.05	0.06721	2.66635	7.99904	8	202
3	37.02	0.10079	3.99868	11.99605	12	222
4	43.01	0.13438	5.33156	15.99469	16	400
5	47.09	0.15958	6.33108	18.99324	19	313
6	53.35	0.20154	7.99589	23.98767	24	422
7	56.87	0.22673	8.99538	26.98615	27	511
8	62.63	0.27013	10.71737	32.15210	32	404
9	73.88	0.36117	14.32943	42.98828	43	533

Çizelge 6.5. (devamı) Gök taşının x-ışını kırınım örneğinin indeksleme ayrıntıları

Örnek 3#						
Pik #						
1	36.2900	0.0970	1.0000	3.0000	3	(111)
3	42.1000	0.1290	1.3302	3.9907	4	(200)
4	61.0600	0.2581	2.6608	7.9823	8	(202)
5	73.1200	0.3548	3.6585	10.9755	11	(311)
6	76.9400	0.3870	3.9905	11.9715	12	(222)

Çizelge 6.6. Gök taşların analitik yöntemden Bravais örgü düzlemlerin indekslenmesini gösterir. Bu metot Sin(2θ)'yı, daha önce Sin(θ)n ye bölünen metottan alınan orta en küçük sabitler ile bölünür. Elde edilen değer $h^2+k^2+l^2$ toplamı verir. Buradan tekrar analitik yöntemle önceki yöntemle uyumlu olarak hesaplanır. Bu sayede gök taşının yapısal çözümlemesi hem örgü uzunluğu hem de indeksleme ile yapılmış olur.

Çizelge 6.6. Gök taşının x-ışını kırınım örneğinin analitik yöntem ile indeksleme hesaplanması

Örnek #1					
Pik #	2θ	Sin(2θ)	Sin(2θ)/A	$h^2+k^2+l^2$	(hkl)
1	44.485	0.14328	2.01807	2	110
2	64.779	0.28694	4.04147	4	200
3	81.986	0.43029	6.06046	6	211
4	98.475	0.57369	8.08013	8	
Örnek #2					
Pik #					111
1	18.27	0.15876	2.99847	3	202
2	30.05	0.25924	7.99496	8	222
3	37.02	0.30470	11.98992	12	400
4	43.01	0.51840	15.98652	16	313
5	47.09	0.51840	18.98354	19	422
6	53.35	0.51840	23.97542	24	511
7	56.87	0.51840	26.97237	27	404
8	62.63	0.51840	32.13569	32	533

Çizelge 6.6. (devamı) Gök taşının x-ışını kırınım örneğinin analitik yöntem ile indeksleme hesaplanması

Örnek #3					
Pik #					
2	36.25	0.09678	2.99621	3	111
3	42.1	0.12901	3.99418	4	200
4	61.06	0.25805	7.98927	8	202
5	72.91	0.35306	10.93075	11	311
6	91.84	0.51605	15.97691	16	222

6.4. X-Işını Kırınım Metoduyla Kesin Örgü Parametresinin Belirlenmesi

Katıhal incelemelerinde, kesin örgü parametresi bilgisi önemlidir. Mesela, kristal katılarda, bağ enerjileri bakımından bu bilgi önemlidir. Üstelik bir bileşenin diğerinde çözünebilirliğinin belirlenmesinde kesin örgü parametresi ölçümü faydalıdır. Termal genleşme katsayısı ve malzemelerin gerçek yoğunlukları da buna dahildir. Bu durumlarda, çözünen bileşeni ve sıcaklık yüzünden, örgü parametresindeki değişim o kadar küçüktür ki oldukça kesin örgü parametresi ölçümü yapılmalıdır. Örneğin termal genleşme katsayısı $10^{-6}/^{o}C$ civarındadır. Bu yüzden örgü parametresindeki değişimlerin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak belirlenmesi oldukça hassas ölçüm gerektirir [80,102,103].

Burada, “kesinlik” ve “doğruluk” terimlerini birbirinden ayırmamız gerekir. Günlük hayattaki konuşmalarımızda bu iki deyimi aynı şey gibi kullanabiliriz. Ama bilimsel olarak bu iki deyim birbirinden ayrılmalıdır. “Kesinlik, tekrarlanabilirliği ve bir seri halinde ölçümlerin birbirine ne kadar yakın olduğunu gösterir. “Doğruluk” ise bir ölçümün gerçek değere ne kadar yakın olduğunu gösterir. Çoğu zaman yüksek kesinlikte fakat doğru olmayan ölçümü, doğru olmayan ölçüm metodu ve cihazı ile yapıyor olunabilir. Yüksek doğruluk, ölçüm cihazı iyi kalibre edildiyse elde edilebilir. Kesinlik ise, herhangi bir cihazla gerekli kayıt ve data analizi yapılarak elde edilebilir. Bu deneyde, cihazın ideal durumda olduğu, örgü parametresi değerlerinin de en iyi kesinlikte ölçüldüğü farz edilmiştir. Örgü parametresi ölçümünün dolaylı bir süreç olduğu bilinmelidir [80,102]. Mesela kübik yapıdaki bir malzeme için;

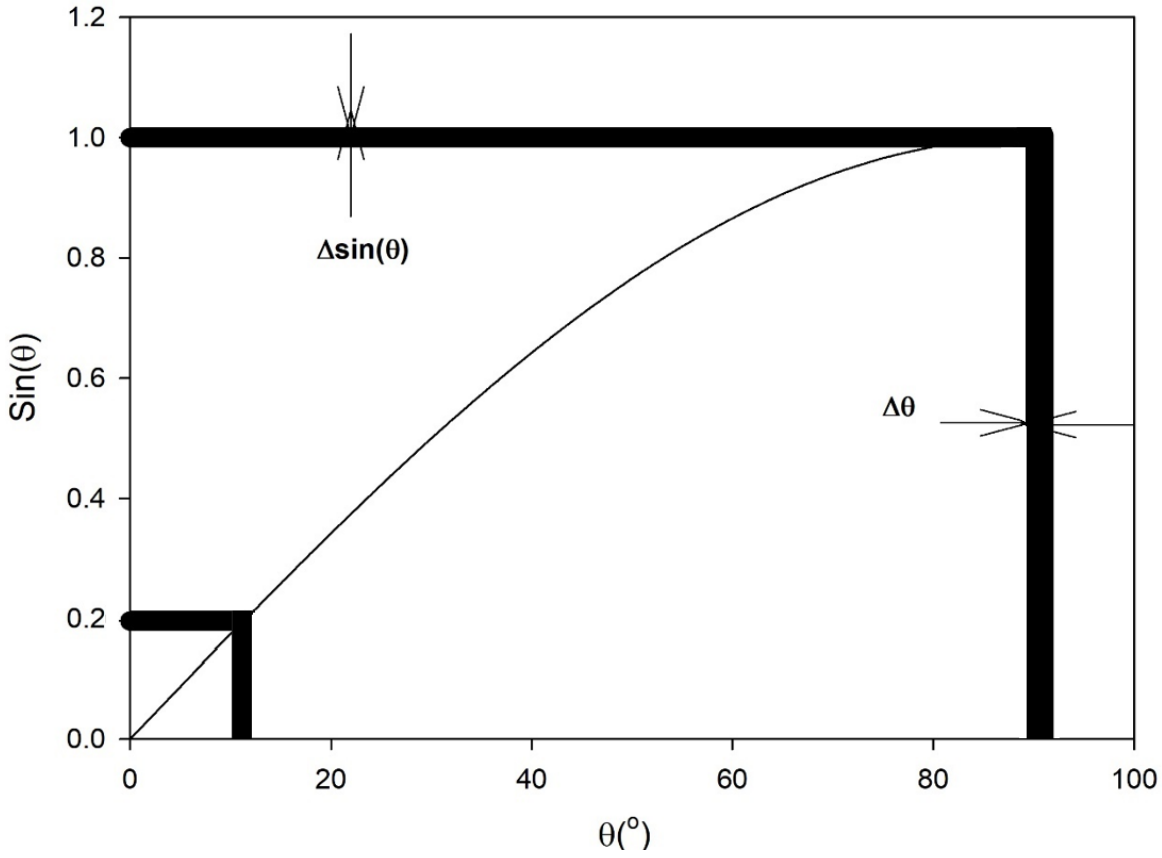
$$a = d\sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \tag{6.8}$$

ve d, Bragg denklemindeki Sin(θ) değerinden hesaplanır [80].

$$\lambda = 2 * dsin(\theta) \tag{6.9}$$

"a" ve "d" nin ölçümündeki kesinlik sin(θ) değerindeki kesinliğe bağlıdır. Sin(θ) değeri türetilmiş bir büyüklüktür. θ' daki kesinliğe bağlı değildir, θ ölçülmüş bir büyüklüktür [103].

θ da verilen bir hata için Sinθ' daki hata artan θ değeri ile azalır [80]. Şekil 6.4'de Sinθ' nın θ ile değişimi verilmiştir.



Şekil 6.4. Sinθ' nın θ ile değişimi.

Şekil 6.4, Sin(θ)' nın θ'ya göre değişimini gösterir. θ değeri arttıkça Sin(θ) değerinin ölçümündeki hata azalır. Mesela , θ ölçümündeki 1°'lik hata sin(θ)'da %1.7' lik hataya sebep olur (θ=45'te). Ama θ=85'de %0,15'lik hataya sebep olur. Böylece sin(θ) değerleri, θ çok doğru ölçülmese bile, oldukça doğru belirlenir.

Aynı sonuç Bragg denkleminin θ'ya göre türevleyerek de elde edilebilir [80] (Şekil 6.4),

$$\frac{\Delta d}{d} = -cot(\theta)\Delta\theta \tag{6.10}$$

θ=90^o iken Cot(θ)=0 olduğu için, d'deki kesirsel hata θ=90 iken sıfırdır. θ=90^o'ye mümkün olan gözlemleyemeyeceğimiz için, θ=90^{o}ye mümkün olan en yakın açılarla çalışmalıyız. Maalesef, örgü parametresinin θ'ya göre grafiği lineer değildir, bu yüzden örgü parametresinin θ'ya göre eğrisinin 90^o'ye yuvarlanabilir. Yuvarlama fonksiyonunun tam şekli, x-ışını kırınımını elde ettiğimiz cihaza da bağlı olduğu unutulmamalıdır [80].

Kameralar son zamanlarda x-ışını kırınımı çalışmalarında pek kullanılmamaktadır. Çünkü fotoğraf filmi içerirler. Bunun incelenmesi zaman kaybına neden olur. Aynı zamanda kimyasalların depolanmasını da gerektirir. Buna ilave olarak, filmlerinde depolanması çok fazla analiz yapıldıysa problem olabilir. Metodun tam olması için Debye-Scherrer kamerasıyla kesin örgü parametresinin belirlenmesini buraya ilave ettik. Bu modülün sonunda bu konuyla ilgili bir alıştırmayla da karşılaşacaksınız. Ama uygulamada bu metotla karşılaşmazsınız.

Debye-Scherrer Kameraları; Debye-Scherrer kamerasında θ'nın ölçülmesinde hataya neden olabilecek çeşitli etkiler;

- Film bozukluğu
- Yanlış kamera çapı
- Numunenin yanlış yere yerleştirilmesi
- Numunede soğurulma
- Işın demetinin sapması

X-ışını kırınımı hakkında yazılmış bazı kitaplar, bu hataların kaynağını tartışmıştır ve bunların nasıl giderileceğini yazmıştır [80]. Olası bu hatalar yüzünden aşağıdaki yuvarlama fonksiyonları yazılmıştır.

$Cos^2\theta$ → Bradley-Jay fonksiyonu,

$Cos^2\theta/Sin\theta+Cos^2\theta/\theta$ → Nelson-Riley fonksiyonu.

Örgü parametresi değerlerinin bu fonksiyonlara göre grafikleri çizilirse düz bir doğru elde edilebilir. Yuvarlama fonksiyonunun "0" değerine karşılık gelen örgü parametresi değeri gerçek değerdir. "a_o". Nelson-Riley yuvarlama fonksiyonunu kullanmak daha avantajlıdır.

Çünkü daha doğrusal sonuç verir ve sadece birkaç yüksek açılı yansıma mevcutken de faydalıdır. θ=60º'den küçük açılı yansımalar da bu durumda kullanılabilir.

Kırınım ölçerler, bir x-ışını deseni elde etmek için kırınım ölçer kullanma ihtimaliniz daha fazladır. Kırınım ölçer kullandığımızda, kamera kullanırken karşılaşacağınız pek çok problemle karşılaşmazsınız. Diğer bir büyük avantaj ise, elde ettiğiniz veriler bilgisayara kolayca kaydedilebilir Bunlara ilave olarak incelenen yapı hakkında bilgi, bilgisayar yazılımları kullanılarak elde edilebilir (Örgü parametresi, örgü gerilmesi, kristal boyutu vb.). Bir kırınım ölçer, kameradan daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu yüzden parçalarının işleyişi esnasında daha fazla hataya maruz kalabilir. Bir kırınım ölçerde, Sin(θ) hesabında rastlanan önemli hata kaynakları şunlardır;

1) Cihazın yanlış ayarlanması

2) Odaklanma çemberine uyabilecek eğri bir numune kullanmak yerine, düz numune kullanmak. Bu hata, şiddetin azaltılması, küçük yatay sapmaya denk gelen ışın ve numunenin genişliğini azaltarak minimize edilebilir.

3) Numunedeki soğurma. Numune kalınlığı, maksimum şiddette yansıma elde edilebilecek şekilde seçilmelidir.

4) Numunenin kırınım ölçer ekseninden olan uzaklığı. Bu genellikle en büyük hata kaynağıdır ve d'de şöyle bir hataya neden olur.

$$\frac{\lambda_{K\alpha}^2}{\lambda_{K\beta}^2}(sin^2\theta_\beta) = sin^2\theta_\alpha \qquad (6.11)$$

Burada d, numune yüzeyinin kırınım ölçer çemberinden olan uzaklığıdır. R ise kırınım ölçer çemberinin çapıdır.

5) Gelen ışın demetinin düşey sapması. Bu hata şiddetin azaltılması ve alıcı yarığın düşey açıklığını azaltarak minimize edilebilir.

Δd/d, farklı hatalarla farklı sonuçlar elde edildiği için, tek bir yuvarlama fonksiyonu tatmin edici değildir. Örneğin Δd/d, 2-3 için $\cos^2\theta$ ile değişirken, 4 için $\cos^2\theta/\sin\theta$ olarak değişir. Bu yüzden, hangi hatanın daha önemli olduğunu karar vermek için, örgü parametresi $\cos^2\theta/\sin\theta$ ve $\cos^2\theta$'ya göre yuvarlanır. Hangisi daha düz bir çizgi verirse önemli olan hata odur [80].

X-ışını kırınımının deseninin kaydetmek için kullandığınız metot önemli değildir. Önemli olan, kırınım deseninin büyük açık bölgesinde mümkün olduğunca çok sayıda yansıma elde etmektir. Böylece en iyi düzgün çizgiyi çizmek için çok sayıda noktanız olacaktır. Bir pik α_1 ve α_2 diye bileşenlerine ayrıldığında, iki çeşit örgü parametresi noktaları elde edersiniz. Bu noktalar her bir hkl için geçerlidir. Pikin α_1 ve α_2 bileşenlerine ayrılması 2θ skalasının büyütülmesi ile yapılabilir. Bir malzemeden elde edilen kırınım piklerinin sayısı şu şekilde artırılabilir [80]:

- Kullanılan ışının dalga boyunu azaltarak (Cu K_α yerine Mo K_α kullanın). Ama bu her zaman mümkün olmayabilir, çünkü birçok laboratuvarda sadece bir hedef (x-ışını kaynağı) vardır.
- $K_{\alpha1}$ ve $K_{\alpha2}$ bileşenlerinin ikisini de kullanmak. Bunu yapmak kolaydır, çünkü iyi tavlanmış ve büyük taneli bir malzeme keskin ve iyi çözünürlüklü kırınım deseni verir. Ayrıca θ'nın artan değeriyle α_1 ve α_2 arasındaki açısal ayrılma artar.
- K_α ve K_β bileşenlerinin ikisini de kullanmak. Bu da her zaman mümkün değildir, çünkü modern kırınım ölçerler bir monokromatör kullanırlar. Bu sayede sadece K_α kırınıma uğrar.

Eğer K_α ve K_β bileşenlerinin her ikisi de gelen ışının içerisindeyse o zaman tüm kristal düzlemlerinin K_α ve K_β'yı yansıttığı bilinir. Bir desende K_β piklerinin varlığı, genellikle hesaplamayla ortaya çıkarılabilir. Bir θ_β açısında K_β belli düzlemlerden yansıyorsa, bu düzlemler θ_α açısında K_α'yı da yansıtmalıdır (θ_α 90º'yi geçmediği sürece).

Bir açı, diğerinin yardımıyla Denk 6.11 den hesaplanır. Burada $\lambda^2_{K\alpha} / \lambda^2_{K\beta}$, 1.226 değerine sahiptir. Bu değer Cu, K ışımasına aittir ve pek çok deneyde bu oran 1.2 alınabilir [80]. Birkaç nokta için en iyi düzgün çizgi, en küçük kareler metoduyla çizilebilir. Bu işlem, ölçülen niceliğin en mümkün değerinin, hatalarının karelerinin toplamının bir minimumu olduğunu belirtir. Ölçümdeki rastgele hatalar, bazı noktaların yuvarlama çizgisinden sapmasından sorumludur.

Rastgele hataları minimize eden analitik bir metot Cohen tarafından önerilmiştir [97]. Bu metot, kesin örgü parametresi belirlenmesinde kübik ve kübik olmayan yapılar için kullanılabilir. Kübik sistem için yapılacak işlemlerin detayı aşağıdaki gibidir. Bragg denkleminin karesinin logaritmasını alırız ve

$\log((sin\theta)^2) = \log(\left(\frac{\lambda}{2}\right)^2)$-2log(d) (6.12)

denklemini elde ederiz.

denk (6.12)'nın diferansiyelini alırsak

$$\frac{\Delta sin^2(\theta)}{sin^2(\theta)} = -\frac{2\Delta d}{d} \quad (6.13)$$

'ü buluruz. Eğer birleşik sistematik hataların

$$\frac{\Delta d}{d} = Kcos^2\theta \quad (6.14)$$

deki gibi olduğunu farz edersek ve denklemler 6.13 ile 6.14'ü birleştirirsek

$$\Delta sin^2(\theta) = -2Kcos^2(\theta)\, sin^2(\theta) = Dsin^2(2\theta) \quad (6.15)$$

'i elde ederiz. Burada D yeni bir sabittir. Denklem 6.15'in anlamı gözlenen $\sin^2\theta$ değerinin herhangi bir pik için değeri $D\sin^2 2\theta$ kadar hatalı olacaktır. Bu sistematik hataların birleşik davranışının sonucudur [80].

Herhangi bir pik için $\sin^2\theta$'nın gerçek değeri

$$sin^2(\theta(gercek)) = \frac{\lambda^2}{4a_o^2}(h^2 + k^2 + l^2) \quad (6.16)$$

'dır. Burada a_o örgü parametresinin doğru değeri, elde etmek istediğimiz değeridir. Ama

$$sin^2(\theta(gözlenen)) - sin^2(\theta(gercek)) = \Delta sin^2(\theta) \quad (6.17)$$

$$sin^2(\theta(gözlenen)) - \frac{\lambda^2}{4a_o^2}(h^2 + k^2 + l^2) = Dsin^2(2\theta) \quad (6.18)$$

veya

$$sin^2(\theta(gözlenen)) = A\alpha + C\beta \quad (6.19)$$

Burada, $A=\lambda^2/4a_o^2$, $\alpha=(h^2+k^2+l^2)$, $C=D/10$ ve $\delta=10\sin^2 2\theta$. Buradaki D parametresi sürüklenme sabitidir. Bu sabit herhangi bir kırınım deseninde sabittir. Ama desenden desene değişebilir.

En iyi kesinlik, D mümkün olduğunca küçük olduğunda elde edilir. Denklem 6.18 kırınım desenindeki her yansıma için yazılabilir. Denklem 6.19'da, $Sin^2\theta$'yı biliyoruz. α'yı da desenin indekslenmesinden biliyoruz. δ'yı da $\delta=10sin^2 2\theta$ denklemi sayesinde hesaplayarak bulabiliyoruz. Denklemleri çözerek A ve C'yi hesaplayabiliriz. A'dan örgü parametresinin gerçek değeri, a_o, hesaplanabilir [97].

Devam eden süreç, rastgele hataların etkisini azaltmak için, en küçük kareler prensibiyle birleştirilebilir. Bu hataların yüzünden, Denk(6.15) herhangi bir yansıma için tam sonuç vermez. Ama bunun yerine $A\alpha+C\delta-Sin^2\theta$ sıfırdan biraz farklı çıkar. En küçük kareler teorisine göre, A ve C sabitlerinin en iyi değerleri karelerin toplamıdır. Bu durumda rastgele hatalar en küçüktür.

$$\sum\langle e\rangle^2 = a\ minumum = \sum[A\alpha + C\delta - sin^2\theta(gözlenen)]^2 \quad (6.20)$$

Denk(6.20)'ün diferansiyelini alarak bir çift normal denklem elde edilebilir. Burada denklem (6.20) A ve C'ye göre diferansiyel edilmiştir ve denklemler sıfıra eşitlenmiştir.

$$\sum \alpha sin^2\theta = A\sum \alpha^2 + C\sum \alpha\delta \quad (6.21)$$

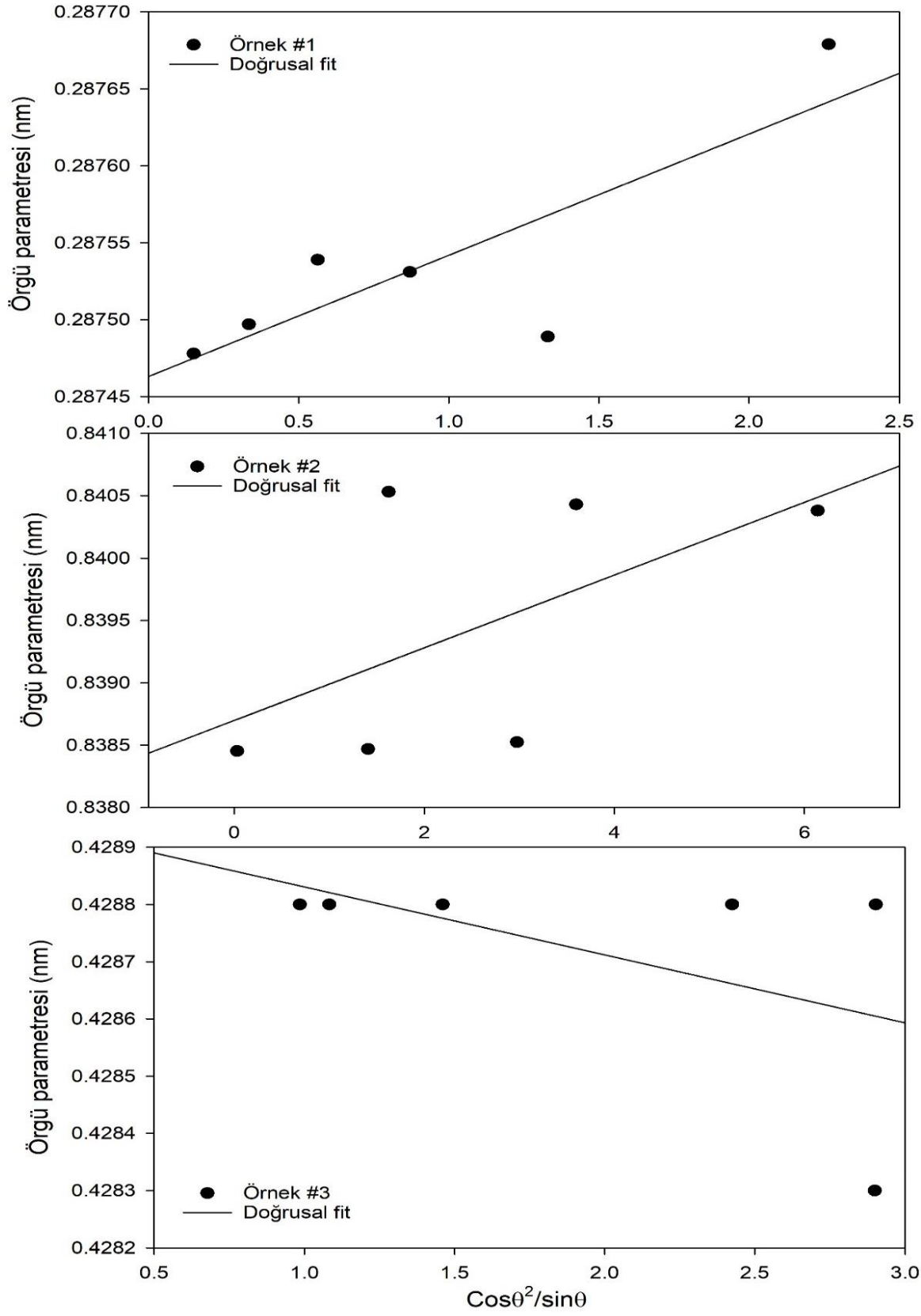
$$\sum \alpha sin^2\theta = A\sum \alpha\delta + C\sum \delta^2 \quad (6.22)$$

Bu denklemleri çözerek A'yı belirleriz ve A'nın bu değerinden gerçek örgü parametresi değeri, a_o, belirlenebilir [80,97].

Çizelge 6.7 gök taşlarının örgü parametrelerinin hesaplanmasını gösterir. Burada hata fonksiyonu önemli bir fonksiyondur. Çünkü XRD deseni artan derecelerde pik porsiyonlarda sapmalar olur. Bu hatanın sinüsü alarak doğru örgü uzunluğu elde edilir. Diğer hata kaynağı pik yüksek şiddet değeri doğrusal değildir. Bu durum XRD de donanımsal yani aralık (slit) denilen aparatlarla yüksek doğrusal olmayan kısım kesilir daha sonra yazılımla doğrusal veri pike eklenir. Burada $\cos2\theta/\sin\theta$ hata fonksiyonuna bağlı olarak doğru örgü parametresi elde edilir [80]. Çizelge 6.7 de $\cos2\theta/\sin\theta$ karşın örgü parametrelerin grafiği (Şekil 6.5) çizilir.

Çizelge 6.7. Gök taşlarının örgü parametrelerinin hesaplanması

Örnek #1					
Pik #	2θ	Sin(θ)	$h^2+k^2+l^2$	Cos2θ/Sinθ	a(nm)
1	44.46	0.3783	2	2.2652	0.2877
2	64.83	0.5360	4	1.3295	0.2875
3	81.91	0.6554	6	0.8702	0.2875
Örnek #2					
Pik #	2θ	Sin(θ)	$h^2+k^2+l^2$	Cos2θ/Sinθ	a(nm)
1	18.27	0.1588	3	6.1400	0.8404
2	30.05	0.2592	8	3.5982	0.8404
3	35.50	0.3049	11	2.9753	0.8385
4	56.87	0.4762	27	1.6240	0.8405
5	62.53	0.5190	32	1.4078	0.8385
Örnek #3					
Pik #	2θ	Sin(θ)	$h^2+k^2+l^2$	Cos2θ/Sinθ	a(nm)
1	36.2900	0.3114	3	2.8996	0.4283
2	36.2500	0.3111	3	2.9034	0.4288
3	42.1000	0.3592	4	2.4249	0.4288
4	61.0600	0.5080	8	1.4606	0.4288
5	73.1200	0.5957	11	1.0831	0.4288
6	76.9500	0.6222	12	0.9851	0.4288



Şekil 6.5. $Cos(\theta)^2/sin(\theta)$ karşın Gök taşlarının hesaplanan örgü parametrelerin ölçüm aralığında kesin değerin bulunması (ekstrapolasyon).

Şekil 6.5 çizilen veriye doğrusal (y=a*x+c) denklem fit edilir. Her üç grafikte de örgü dalgalanmaları vardır. Gök taşları ne kadar baskın bir faz ile tanımlansa da polikristal olmasından kusur yoğunluğu yüksek sevide olur. Dolasıyla örnek olarak nokta kusurları ile her bir pik farklı örgü uzunluğu tanımlar. Hesaplanan örgü uzunlukları sırasıyla Örnek #1 için 0.2875 nm, Örnek #2 için 0.8387 nm ve Örnek #3 için 0.4288 nm olur.

Çizelge 6.8., Cohen'in analitik metodu için doğrusal denklem sistemi için verilenlerin hesaplanmasını gösterir. Denk. 6.15 ve 6.16 denklemlerde katsayılar $\alpha=(h^2+k^2+l^2)$ ve $\delta=10\sin^2 2\theta$ denklemlerin yardımıyla başta α, γ olmak üzere sırasıyla α^2 , $\alpha*\gamma$, $\alpha*\sin(2\theta)$ ve $\gamma*\sin(2\theta)$ aşağıdaki tabloda verilir.

Çizelge 6.8. Cohen'in analitik metodu için gereken veriler

Örnek #1							
Pik #	α	γ	α^2	$\alpha*\gamma$	γ^2	$\alpha*\sin(2\theta)$	$\gamma*\sin(2\theta)$
1	2	4.9051	4	9.8101	24.0596	0.2862	0.7019
2	4	8.1910	16	32.7641	67.0928	1.1494	2.3536
3	6	9.8018	36	58.8109	96.0755	2.5777	4.2110
4	8	9.7828	64	78.2624	95.7031	4.5895	5.6123
5	10	8.1108	100	81.1080	65.7850	7.1732	5.8181
6	12	4.7899	144	57.4791	22.9434	10.3309	4.1237
		S	364	318.2345	371.6594	26.1068	22.8205
Örnek #2							
Pik #	α	γ	α^2	$\alpha*\gamma$	γ^2	$\alpha*\sin(2\theta)$	$\gamma*\sin(2\theta)$
1	3	0.9828	9	2.9484	0.9659	0.0756	0.0248
2	8	2.5076	64	20.0605	6.2879	0.5376	0.1685
3	11	3.3722	121	37.0938	11.3715	1.0224	0.3134
4	27	7.0129	729	189.3492	49.1813	6.1217	1.5900
5	32	7.8722	1024	251.9094	61.9711	8.6195	2.1204
6	115	1.1397	13225	131.0606	1.2988	111.6244	1.1062
		S	15172	632.4219	131.0763	128.0012	5.3234

Çizelge 6.8. (devamı) Cohen'in analitik metodu için gereken veriler

Örnek #3 Pik #	α	γ	α^2	$\alpha*\gamma$	γ^2	$\alpha*\sin(2\theta)$	$\gamma*\sin(2\theta)$
1	3	0.9698	9.0000	2.9095	0.9406	0.2910	0.0941
2	3	3.4965	9.0000	10.4894	12.2253	0.2903	0.3384
3	4	4.4947	16.0000	17.9789	20.2025	0.5160	0.5799
4	8	7.6585	64.0000	61.2678	58.6522	2.0644	1.9763
5	11	9.1569	121.0000	100.7255	83.8481	3.9030	3.2490
6	12	9.4901	144.0000	113.8817	90.0627	4.6452	3.6736
		Σ	363.0000	307.2527	265.9314	11.7099	9.9112

Çizelge 6.9.'da Cohen'in analitik metodu çözümünü gösterir. Yukarıda verilen denklem sistemi tabloda her üç örnek için A ve C matrisleri ile verilir. Doğru örgü parametresi ölçümü için A matrisini tersi A^{-1} alınarak (tabloda veriler gösterilmektedir) C matrisi ile nümerik olarak çarpılır. $x=A^{-1}*C$ çözüm matrisinden daha önce elde ifade ettiğimiz A sabiti tabloda örnekler için koyu yazı ile gösterilmektedir.

Çizelge 6.9. Cohen'in analitik metodu için matris denklem çözümü ve A değeri

Örnek #1	A		C
	364	318.2345	26.10684
	318.2345	371.6594	22.82052
	A^{-1}		$x=A^{-1}*C$
	0.010928	-0.00936	**0.071759**
	-0.00936	0.010702	-4.2E-05
Örnek #2	A		C
	15172	632.4219	128.0012
	632.4219	131.0763	5.323387
	A^{-1}		$x=A^{-1}*C$
	8.25E-05	-0.0004	**0.008442**
	-0.0004	0.00955	-0.00012
Örnek #3	A		C
	363.00000	307.25273	11.70993
	307.25273	265.93144	9.91123
	A^{-1}		$x=A^{-1}*C$
	0.1249	-0.1443	**0.0323**
	-0.1443	0.1705	-0.0001

Çizelge 6.10'da Cohen'in analitik metodu bulunan A, a_o, C ve D değerleri gösterilir. Burada $a_o=\lambda/2*A^{1/2}$ formülü ile hesaplanır. Hesaplanan örgü parametreleri daha önce hesaplan örgü parametrelerine benzemektedir. Çizelge 6.10'da da C ve D değerlerin küçük olması örgü parametresinin doğruluğunu kesinleştirir.

Çizelge 6.10. Cohen'in analitik metodu bulunan A, a_o, C ve D değerleri

	Örnek #1	Örnek #2	Örnek #3
A=	0.071759	0.008442	0.03231
a_o=	0.287549	0.838376	0.42853
C=	-4.2E-05	-0.00012	-0.00006
D=	-0.00042	-0.00116	-0.00061

6.5. Kristal Boyutu ve Örgü Gerilmesinin Belirlenmesi

Bragg yasasını çıkartırken, kırınım esnasında ideal durumların var olduğu varsayılır. Bu durumlar, kristalin mükemmel olması ve gelen ışın demetinin mükemmel bir şekilde paralel ve kesin bir şekilde tek renkli olmasıdır. Bu durumlar asla tam olarak gerçekleşmez. Aslında, sadece sonsuz bir kristal mükemmeldir. Sonlu boyut bir kristalin mükemmel olmaması olarak değerlendirilir [103].

Toz kırınımında ideal boyut, polikristal malzemenin göreli mükemmeliyetine bağlıdır, ancak genellikle boyut 500nm-10000nm arasındadır. Eğer kristalitler daha küçükse, paralel düzlemlerin sayısı keskin bir kırınım elde etmek için küçük kalır ve kırınım desenindeki pikler genişler [104].

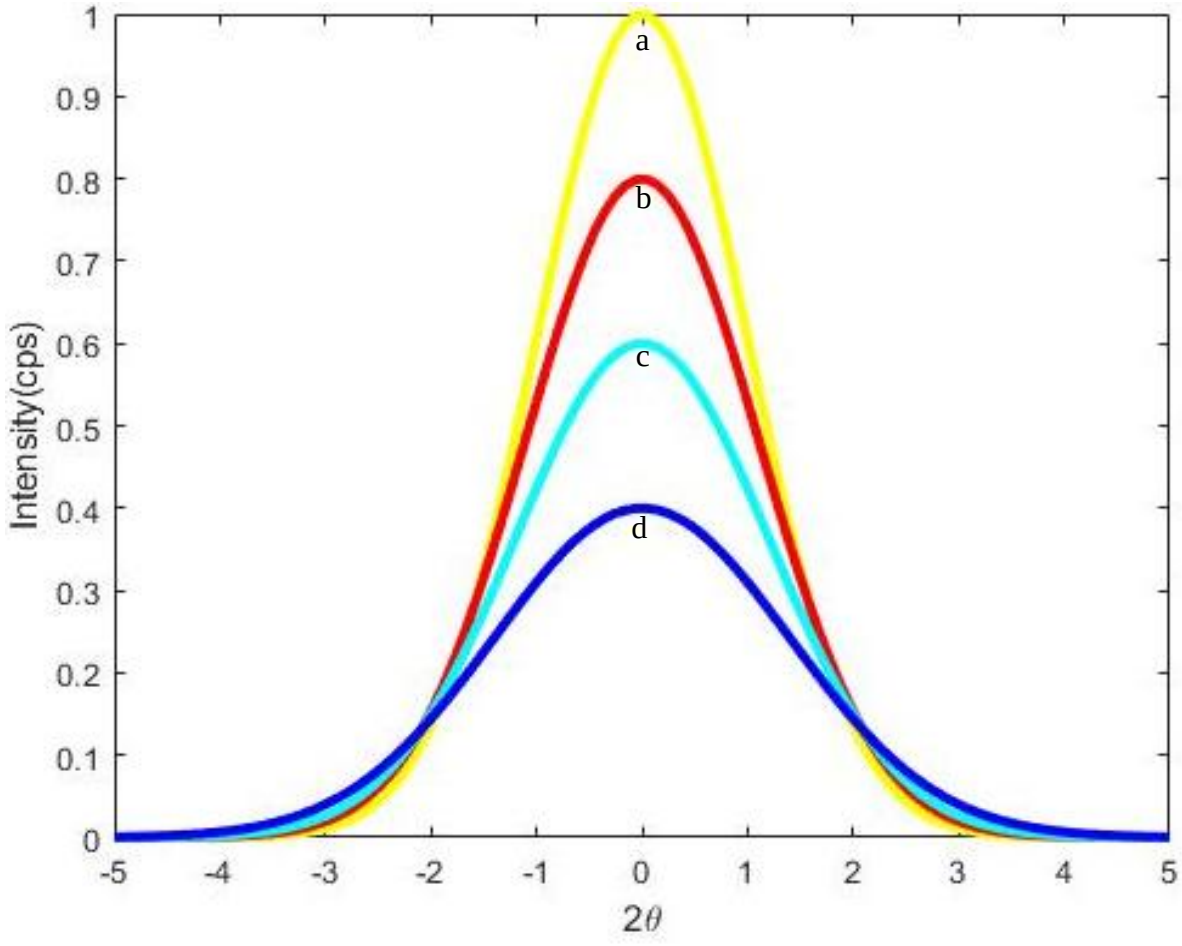
X-ışını kırınım piklerinin genişlemesi, bir kırınım ölçerle elde edilen desenlerde kolayca gözlenebilir ve bu bilgi doğrudan niceleyebilir. Ama x-ışını kırınım piklerinin genişlemesinin temel olarak üç faktöre bağlı olduğunun farkında olunmalıdır [100].

- Cihaza bağlı etkiler: Bu etkiler içinde, kusurlu odaklama, çözünmemiş α_1 ve α_2 pikleri veya α_1 ve α_2 piklerinin genişlikleri. Bu sorunlar kırınım piklerinin genişlemesine neden olur. İdeal pik şekli(fark edilmeyecek kadar küçük genişlikte pik) şekil 6.6a'daki şekle dönüşür. Cihaza bağlı etkiler sonucu Şekil 6.6b'deki gibi oluşur.

- Kristalit boyutu: Küçük kristalit boyutları etkisiyle pikler daha geniş olur. Pik genişlemesinin analizi 100nm ila 500nm boyuttaki kristalit boyutlarını belirlemek için kullanılabilir. Küçük kristalit boyutları kırınım piklerinde ilave genişlemeye neden olur. Yani, cihaza bağlı etkilerin varlığında, kristalit boyutları Şekil 6.6c'deki gibi genişler.

- Örgü gerilmesi: Eğer sözü edilen etkiler numunede mevcutsa, pik çok geniş olacaktır (Şekil 6.6d'deki gibi). Ama genişlemeye etki eden olayları bireysel olarak birbirinden ayırabiliriz. Bunu aşağıdaki verilen basit süreci takip ederek yapabiliriz.

- Bazı tanımlar: Pik genişlemesi üzerine, literatürde karşılaşacağınız bazı terimler şunlardır; domain boyutu, kristalit boyutu ve tanecik boyutu. Bu terimler bazı karışıklıklara neden olur. Bu yüzden bunların anlamlarını açıklamaya çalışacağız. Bir domain, koherent olarak x ışınını kırınıma uğratan numunenin bölümüdür ve bazen koherent olarak kırınıma neden olan domain olarak isimlendirilir. Domainler bir alt yapı oluşturur. Bu alt yapı oluşumu tek kristallerde ve polikristal malzemelerde olur. Bireysel olarak domainler hafif bir şekilde yönelimsizdir. Parçacık boyutundan daha küçüktürler. Örneğin, parçacıklar küçük açı parçacık sınırlarıyla bölünebilirler. Mesela, soğuk olarak çalışılmış bir metal domainlere sahiptir. İyi tavlanmış bir metalin domainleri yoktur ama tanecikleri vardır [102].



Şekil 6.6. X-Işını kırınımı pik genişliği. a) Sarı eğri ideali, b) Kırmızı cihaz etkilerini, c) Yeşil eğri cihaz ve kristal boyutun etkilerinin üst üste binmesi ve d) Mavi eğri ise cihaz, kristal boyut ve örgü gerilme etkileri üs üste binmesini gösterir.

Kristalit ise daha genel bir terimdir. Soğuk bir metal için domain demek olurken, iyi tavlanmış bir metalde tanecik anlamı taşır. Literatürde bu terimler birbiri yerine kullanılır. İyonik veya kovalent bağlı malzemelerde, domain yapı muhtemel değildir. Çünkü dislokasyon yoğunlukları düşüktür ve metaldekine göre dislokasyonlarının hareketi zordur. Nano-kristal malzemede parçacık boyutu o kadar küçüktür ki bir alt yapı oluşumu mümkün değildir. Bu yüzden kristalit, domain veya parçacık aynı anlamı alır [80].

Bu modülde kullandığımız terimlerin tanımları pik yüksekliği ve FWHM, tipik bir x-ışını kırınım pikinde (Şekil 6.6) belirtilmiştir. B'yi ölçerek genişleme elde edilmiştir. Bu bilgi radyasyon cinsindendir ve yarı maksimum şiddetteki şiddete eşittir. Burada B'nin açısal genişlik olduğuna dikkat edin. Bu eksen 2θ eksenidir θ değildir ve genişlik doğrusal bir genişlik değildir [102].

Cihaza bağlı genişlemenin çıkarılması: Küçük kristalit boyutu ve örgü gerilmelerine bağlı genişleme ilk önce cihaza bağlı genişlemenin çıkarılmasıyla elde edilebilir. Cihaza bağlı genişlemenin tahmin edilebilmesi için, bilinmeyen örnek, büyük tanecikli, iyi tavlanmış standart bir tozla karıştırılır. Sonradan eklenen bu toz, piklerde herhangi bir genişlemeye neden olmaz. Örneğin 10μm parçacık boyutlu silikon toz bu iş için idealdir [104].

Bu standart tozun x-ışını kırınım deseni, bilinmeyen örneğinkine benzer şekilde cihazsal koşullarda elde edilir. Standart toza ait pik genişlemesi, bilinmeyen örneğe ait pik genişlemesiyle aynı olur. Standart toza ait birkaç pik, bilinmeyen örneğe ait piklere yakın olabilir. Bu pikleri dikkate almalıyız. Bu durum bize her iki malzemeye ait cihaza bağlı genişlemelerini benzer Bragg açılarında elde edildiğini gösterir.

Bu duruma alternatif olarak, aynı bileşiğin tozunu kullanabiliriz. Ama bu toz iyi tavlanmış olmalıdır. Böylece parçacık boyutu büyük olur ve örgü gerilmesi ortadan kalkar. Bu sürecin artı bir avantajı vardır. Pik genişliği standarttır ve deneysel malzemeler tam olarak aynı açıda ölçülür [103].

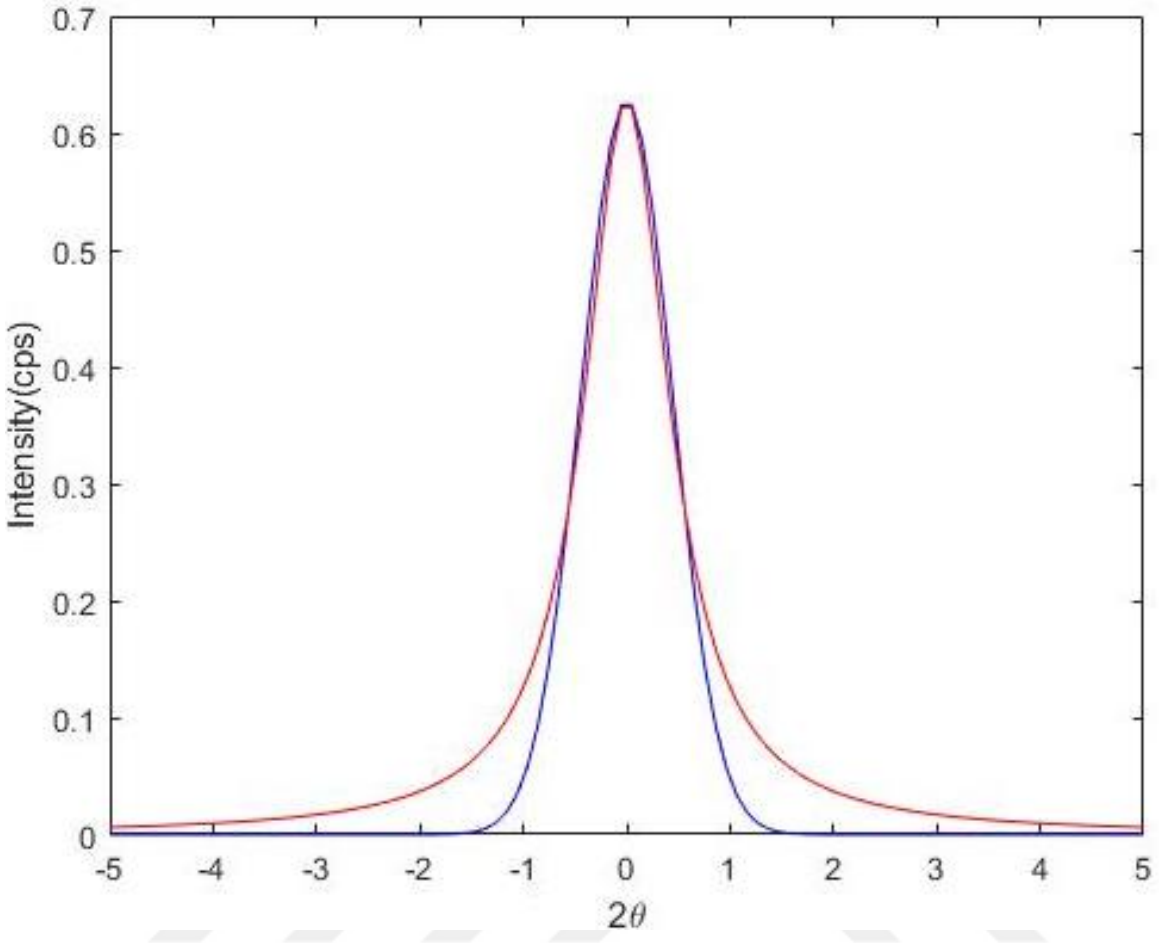
Eğer gözlenen x-ışını piki β_o gibi bir genişliğe sahipse ve genişlik cihaza bağlı etkilerden kaynaklandıysa (β_i) o zaman geriye kalan genişlik B_r, kristalit boyutu ve örgü gerilmesinden kaynaklanmaktadır. Şekil 6.7'de $B_r = B_0 - B_i$ Bu ifade, pik eğer Lorentz profiline sahipse doğrudur. Eğer pik Gauss profiline sahipse daha doğru bir ifade

$$B_r^2 = B_0^2 - B_i^2 \tag{6.23}$$

olur [105].

Küçük Kristalit Boyutuna Bağlı Genişleme, Scherrer, sadece küçük kristalit boyutuna bağlı genişlemeyi elde edebilmek için bir ifade türetmiştir.

$$B = \frac{k\lambda}{Lcos(\theta)} \tag{6.24}$$



Şekil 6.7. Simetrik Gaussian ve Lorentzian x-ışını kırınım pik profilleri

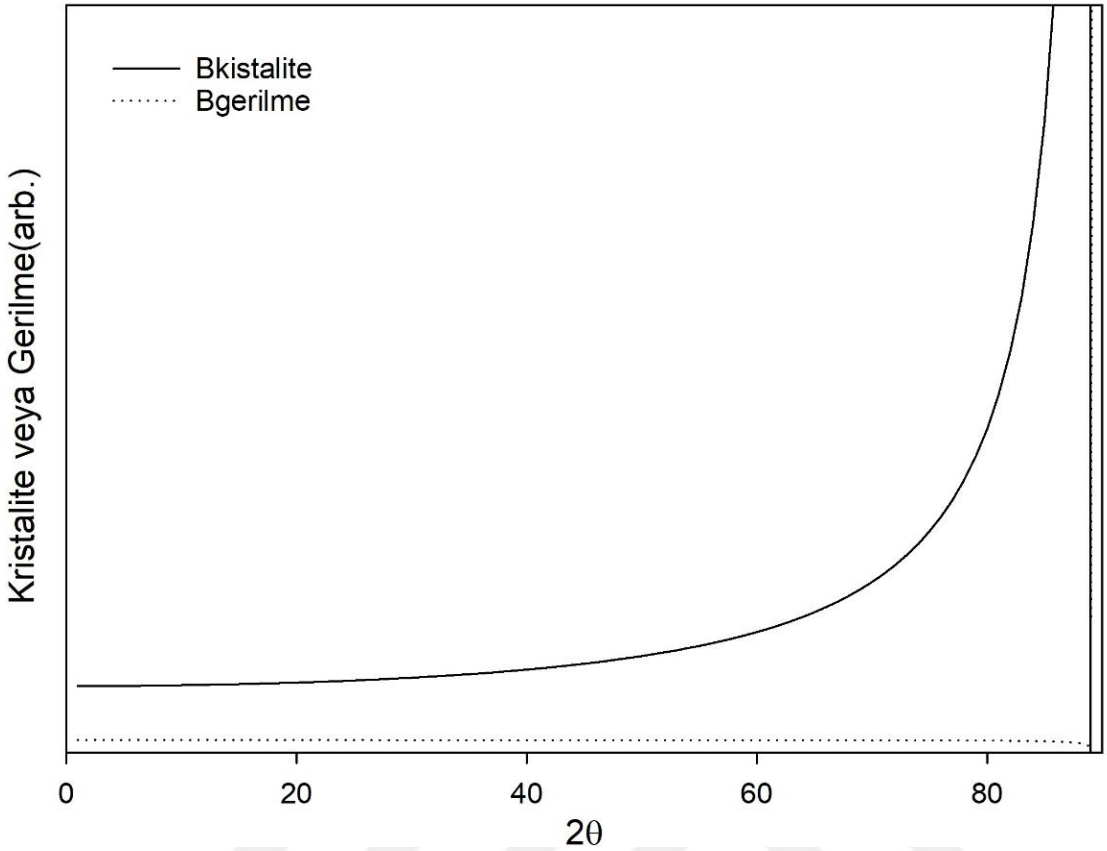
Burada λ, kullanılan x-ışınlarının dalga boyudur. θ, Bragg açısıdır. L ise ortalama kristal boyutudur ve k bir sabittir. Denklem 6.24, Scherrer denklemi olarak bilinir [103,106]. Bu denklem pikin Gauss profiline sahip olduğu varsayılarak çıkarılmıştır (k=0,94). Bu denklem hem kübik, hem kübik olmayan yapıların kristalit boyutunu belirlemek için kullanılmaktadır. Denklem 6.24'teki k sabiti 0.89 ve 1.39 arasında değişir ama genellikle 1 alınır.

Gerilmeye bağlı genişleme, malzemedeki örgü gerilmesi de kırınım piklerinde genişlemeye neden olur [92].

$$B_{gerilme} = \varepsilon \, tan\theta \tag{6.25}$$

ile temsil edilir. Burada ε malzemedeki gerilmedir.

Denklem (6.24) ve (6.25)'ten açıktır ki, kristalit boyutu ve örgü gerilmesine bağlı genişleme artan θ ile hızlı bir şekilde artar. Ama bunlar arasındaki ayrım daha küçük θ' larda daha belirgindir. Bu durum Şekil 6.8'de görülebilir [80].



Şekil 6.8. Kırınım açısında kristal boyut ve örgü gerilmesi tarafından neden olan FWHM bağımlılığı. Hatta her iki özellik, kırınım açısı ile hızlıca artar. Onlar arasında küçük kırınım açılarda geniştir.

Malzemeler hem küçük kristalit boyutu hem de örgü gerilmesine sahip olabileceği için küçük kırınım açılarındaki pikleri kullanmak, bunların etkilerini ayırt etmek için gereklidir.

β_r genişlemesi, cihaza bağlı genişlemeyi çıkardıktan sonra, küçük kristalit boyutu ve örgü gerilmesine bağlı genişlemelerin toplamı olarak yazılabilir [106].

$$B_r = B_{kristalite} + B_{gerilme} \tag{6.26}$$

denklem (6.24) ve (6.25)'ten

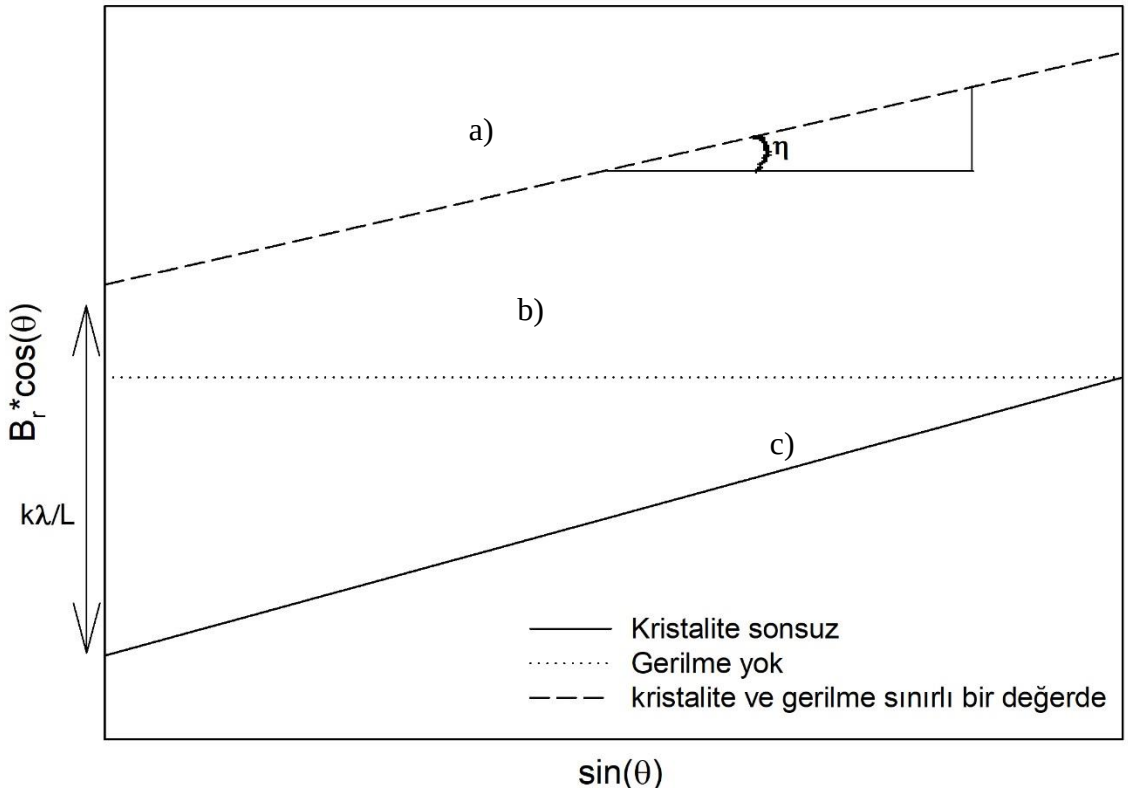
$$B_r = \frac{k\lambda}{Lcos(\theta)} + \eta tan(\theta) \tag{6.27}$$

'yi elde ederiz. Denklem 6.27'yi cos(θ) ile çarparsak

$$B_r cos(\theta) = \frac{k\lambda}{L} + \eta sin(\theta) \tag{6.28}$$

elde edilir. β_r*cos(θ)'nın sinθ' ya göre grafiği çizilirse düz bir doğru elde edilir. Bu doğrunun eğimi η'yi verir ve kesim noktası kλ/L'yi verir (Şekil (6.9a). Kristalit boyutu L, k=1 alınarak ve λ değeri kullanılarak kesim noktasından elde edilebilir [106].

Denklem 6.9'a göre, kesim noktasının değeri arttıkça kristalit boyutu azalır. η değeri azaldıkça doğru daha düz olur ve malzemedeki gerilme daha küçük demektir. Şekil 6.9a'de bu durumlar görülebilir [106].



Şekil 6.9. a) B_r cos(θ)'nin sin(θ)'ye karşı grafiği, b) Kesme noktasının (kλ/L) ve c) eğimi (η)

B_r Cos(θ)'nin Sin(θ)'ye karşı grafiği, kesme noktasının (kλ/L) ve eğimin (η) şu şekilde ifade edilebileceğini gösterir; sırasıyla kristalit boyutunu (L) ve örgü gerilimini (η) hesaplamak için kullanılır. Grafikler de çok büyük kristalit boyutları (L=∞), gerinim yok (Şekil 6.9c) (η=0) için düz çizginin bağıl konumları ve hem kafes gerilimi hem de kristalit boyutu pik pozisyonda pikin genişlemesine katkıda bulunur (Şekil 6.9b).

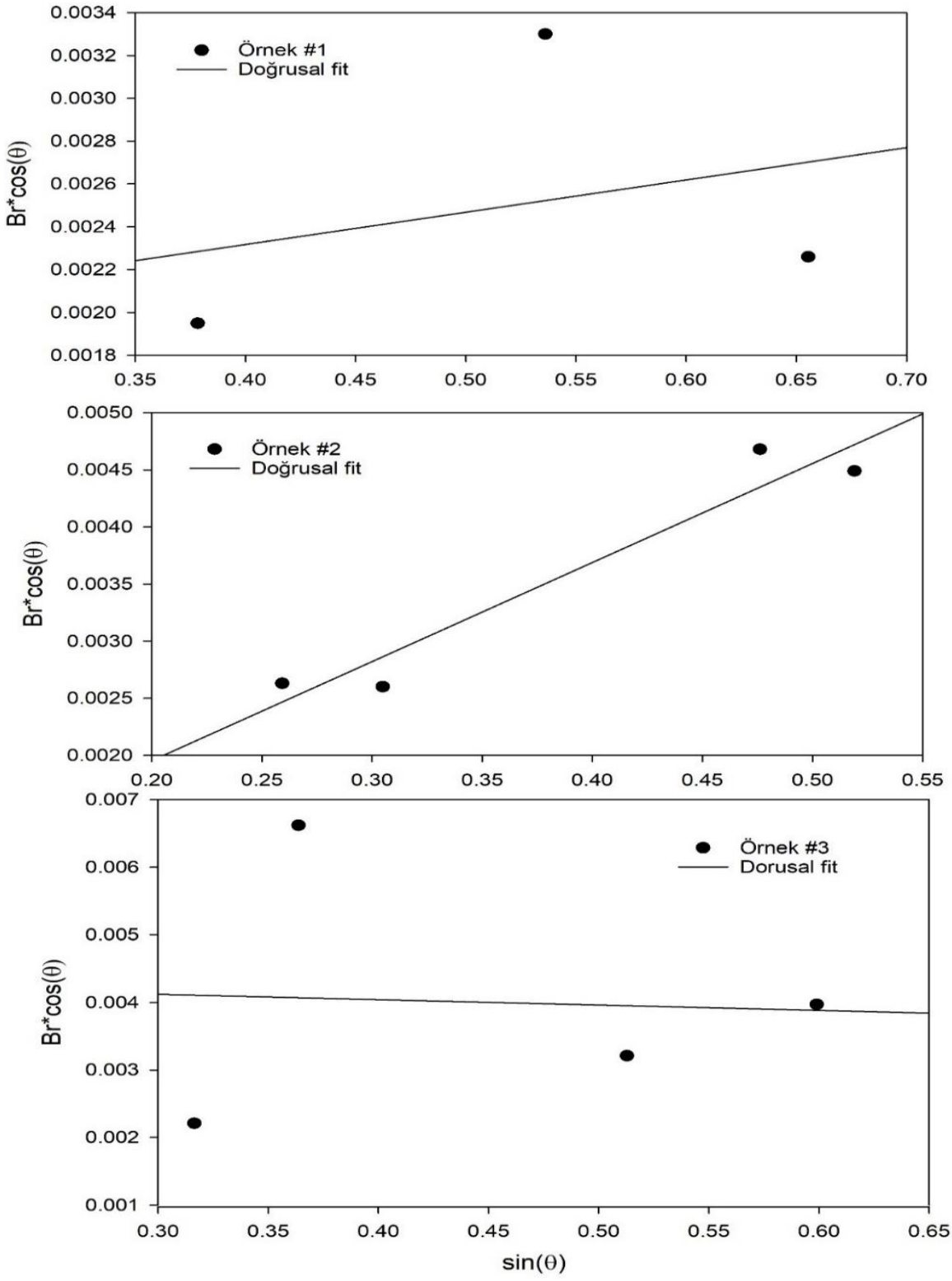
Kristalit boyutu gök taşları için kaliteyi ortaya koymada önemli bir niceliktir, gök taşları polikristaldir. Gök taşının özellikle ekonomik değeri için hesaplanması gerekir. Çizelge 6.11 Gök taşı örneklerin kristalize boyu ve gerilme hesaplamaları gösterir ve sin(θ) ve B_r*cos(θ)

hesaplaması yapılır. Burada B_r ölçülen pik genişliği karesi ile XRD sisteminin kalibrasyon pikin genişliğin karesi farkının kare köküdür [106].

Çizelge 6.11. Gök taşı örneklerin kristalit boyutu ve gerilme hesaplamaları ve Sin(θ) karşın B_r*Cos(θ) eğrisi için yarı deneysel hesaplama

Örnek #1								
Pik #	2θ	Sin(θ)	hkl	B_o	B_o(rad)	B_i(rad)	$B_r^2=B_o^2-B_i^2$	B_r*cosθ
1	44.456	0.378293207	110	0.130649	2.28E-03	8.73E-04	4.44E-06	1.95E-03
2	64.829	0.536040454	200	0.229435	4.00E-03	8.73E-04	1.53E-05	3.30E-03
3	81.907	0.655446307	211	0.178368	3.11E-03	8.73E-04	8.93E-06	2.26E-03
Örnek #2								
Pik #	2θ	Sin(θ)	hkl	B_o	B_o(rad)	B_i(rad)	$B_r^2=B_o^2-B_i^2$	B_r*cosθ
1	30.05	0.259240485	202	0.1641	2.86E-03	8.73E-04	7.44E-06	2.63E-03
2	35.50	0.304864299	200	0.1644	2.87E-03	8.73E-04	7.47E-06	2.60E-03
3	56.87	0.476161467	311	0.309	5.39E-03	8.73E-04	2.83E-05	4.68E-03
4	62.53	0.518997056	404	0.3048	5.32E-03	8.73E-04	2.75E-05	4.49E-03
Örnek #3								
Pik #	2θ	Sin(θ)	hkl	B_o	B_o(rad)	B_i(rad)	$B_r^2=B_o^2-B_i^2$	B_r*cosθ
1	36.2	0.31067643	111	0.1428	2.49E-03	8.73E-04	5.45E-06	2.22E-03
2	41.97	0.358123526	200	0.41	7.16E-03	8.73E-04	5.04E-05	6.63E-03
3	61.02	0.507688738	202	0.22	3.84E-03	8.73E-04	1.40E-05	3.22E-03
4	72.91	0.594191256	311	0.2883	5.03E-03	8.73E-04	2.46E-05	3.99E-03

Aşağıdaki Şekil 6.10. gök taşı örneklerinin Sin(θ) karşın B_r*Cos(θ) eğrisi için yarı deneysel hesaplamasını gösterir. Her üç grafikte örgü yapıları polikristal yapısından dolayı geniş dağılım göstermesine rağmen Sin(θ) karşın B_r*Cos(θ) eğrisi çizilerek doğruya fit edilir. Doğrunun eğimi ve kesim noktası Örnek #1 için 0.0015*x+0.0017, Örnek #2 için y=0.0086*x+0.0044 ve Örnek #3 için -0.0008*x+0.0044 ile verilir.



Şekil 6.10. Gök taşı örneklerinde sin(θ) karşın B_r*cos(θ) eğrisi için yarı deneysel hesaplama

Şekil 6.10'da yukarıda elde edilen eğim ve kesilme noktalarından örgü gerilmesi ve kristalit boyutu elde edilir. Kristalit boyutu(L), doğrunun kesim noktası= k*λ/L formülünden elde edilir. Doğrunun eğiminde doğrudan gerilmeyi tanımlar. Veriler Çizelge 6.12 de

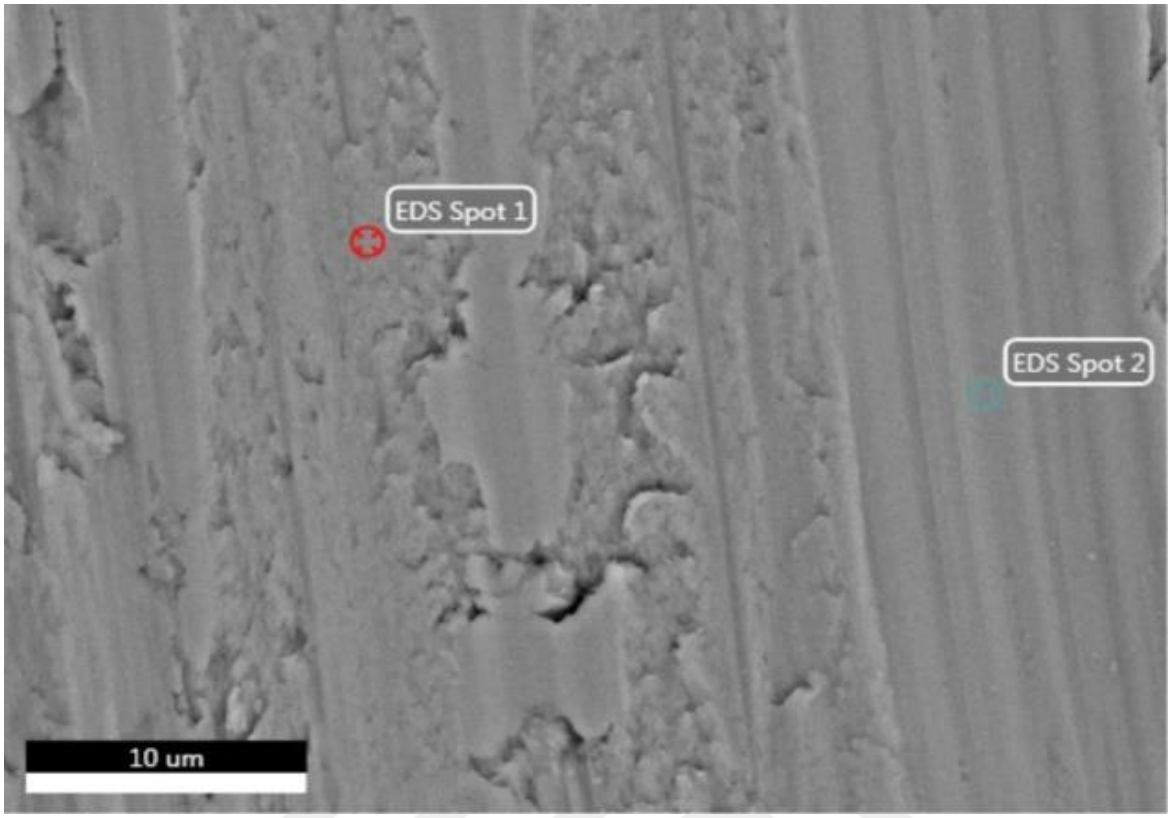
toplanmıştır. Örnek #1 düşük kristalize polikristal ve sert paslanmaz çeliktir, düşük örgü gerilmesi ile örgü yapılar, mozaik kristaller birbirine sıkı bağlıdır. Örnek #2 yüksek kristalize Magnetite bir yapıdadır. Yüksek örgü yapısıyla mozaik blok arası zayıf bağlı ve kırılgan yapıdadır. Kristalit boyutu 31.76nm ile Örnek #3 baskılı örgü yapısı yapı sağlam olmasına rağmen çabuk ufalanmaktadır. Yapı Wurtzitedir.

Çizelge 6.12. Gök taşı örneklerin Sin(θ) karşın B_r*cos(θ) eğrisin uygun doğrusal fitten hesaplama

Örnek #1		
	Doğrunun kesim noktası	Doğrunun Eğimi (derece)
	1.7197E-03	0.001495
	Kristalit boyutu (nm)	Gerilme
	80.60	1.4953E-03
Örnek #2		
	Doğrunun kesim noktası	Doğrunun eğimi (derece)
	2.3194E-04	0.008642
	Kristalit boyutu (nm)	Gerilme
	597.58	8.6424E-03
Örnek #3		
	Doğrunun kesim noktası	Doğrunun eğimi (derece)
	4.3638E-03	-0.000807
	Kristalit boyutu (nm)	Gerilme
	31.76	-8.0716E-04

6.6. Gök Taşların SEM Analizi

Şekil 6.11, Örnek #1' in birinci bölge için SEM görüntüsünü ve Çizelge 6.13. spot 1 ve 2'nin EDS görüntüsünü verir. SEM görüntüsü düzlükler ve tümsek bölgelerden oluşur. Bu bölgeler yapının homojen dağılmadığını yer yer polikristal yapılardan oluştuğunu gösterir. İki bölgenin EDS analizi aşağıda verilmiştir. Spot 1'de de en fazla Ni %86.68, Cr %6.2 ve Fe %2.71 gözükmektedir. Ayrıca yoğun C ve düşük oranda O gözükmektedir. Spot 2'de EDS analizinden en fazla Cr %67.86, Fe %26.65 ve %1'in altında Si, Al, Ca ve Ni gözükmektedir. Bu SEM görüntüsünde tümsek yapıların yoğunluğunun fazla olması nedeniyle Ni ağırlıkça daha fazladır. Tabi bu durum genelinde böyle değildir.

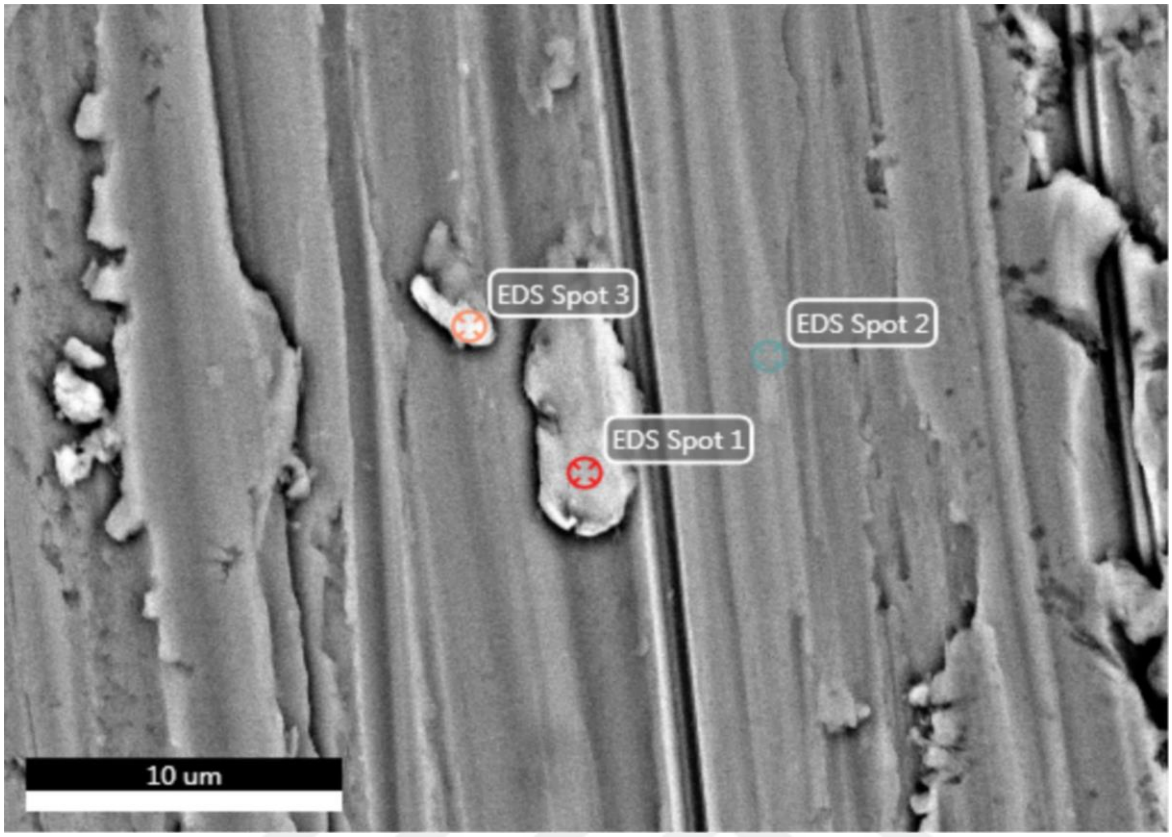


Şekil 6.11. Örnek #1'in birinci bölgesindeki Spot 1 ve 2'nin SEM görüntüsü

Çizelge 6.13. Örnek #1'in birinci bölgesindeki Spot 1 ve 2'nin EDS analizi

Spot 1			Spot 2	
Element	Weight %		Element	Weight %
C K	4.29		C K	2.41
O K	0.12		O K	2.29
CrK	6.20		AlK	0.17
FeK	2.71		SiK	0.20
NiK	86.68		CaK	0.15
			CrK	67.86
			FeK	26.65
			NiK	0.27

Aşağıdaki Şekil 6.12 Örnek #1' in ikinci bölge için SEM görüntüsünü ve Çizelge 6.14. spot 1, 2 ve 3'ün EDS analizini verir. Görüntü birinci bölgedeki gibi tümsek ve düzlüklerden oluşur. Üç spotta da Ni, Cr yüzde ağırlığı başı çeker. Üç spotta da Ni yüzdesi sırayla 77.67, 49.34 dür. Spot 2'de Ni bulunmamaktadır. Cr ise spotlarda sırasıyla %13.45, %65.75 ve %30.24 olur. Burada Fe yüzdeleri 5.08, 27.98 ve 11.22 yüzdesi ile değişmektedir. C ve O yüzde oranları gök taşının yeryüzünde oksitlenmesi veya karbonla bileşik yapması ağırlıklı mümkündür. EDS sonuçlarına Ca, Si ve Ge düşük oranda gözükür.

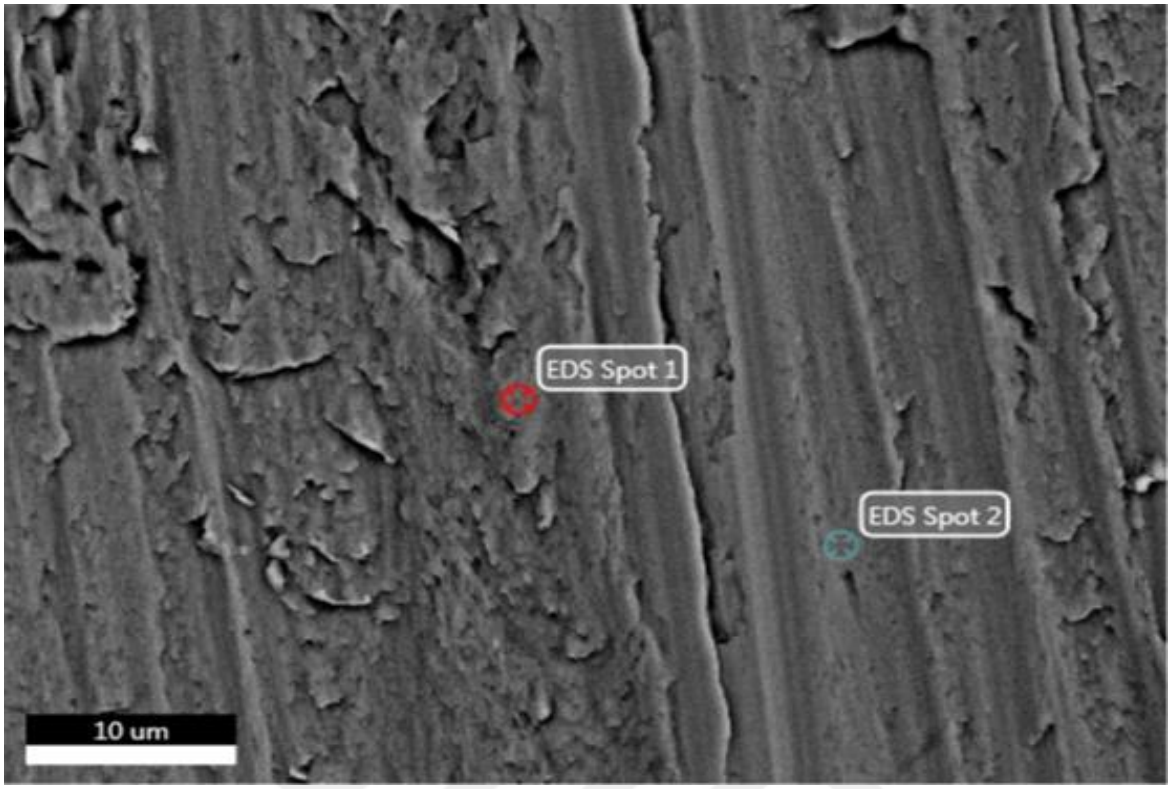


Şekil 6.12. Örnek #1'in ikinci bölgesindeki Spot 1, 2 ve 3'ün SEM görüntüsü

Çizelge 6.14. Örnek #1'in ikinci bölgesindeki Spot 1, 2 ve 3'ün EDS analizi

Spot 1			Spot 2/3	
Element	Weight %		Element	Weight %
C K	3.57		C K	3.12/6.93
O K	0.23		O K/Ge K	2.72/1.55
CrK	13.45		SiK	0.18
FeK	5.08		CaK	0.25
NiK	77.67		CrK	65.75/30.24
C K	3.57		FeK	27.98/11.22
			/Ni K	49.34

Aşağıdaki Şekil 6.13, Örnek #1' in üçüncü bölge için SEM görüntüsünü, Çizelge 6.15 de spot 1 ve 2'nin EDS analiz görüntüsünü verir. Üçüncü bölgenin SEM görüntüsünde tümsek yapıların yoğunluğu fazladır. Bu yapıların ağırlıklı olarak EDS den Cr ve Fe elementlerden oluşur. Yüzdeleri Cr için ilk spot için %66.12 ve ikinci spot için %62.88. Fe için ilk spotta yüzde oran %28.53 ve ikinci spotta %30.87 dir. Diğer elementler Ni, Ca, Si, Al, C ve O yüzde oranları çok düşük değerdedir.

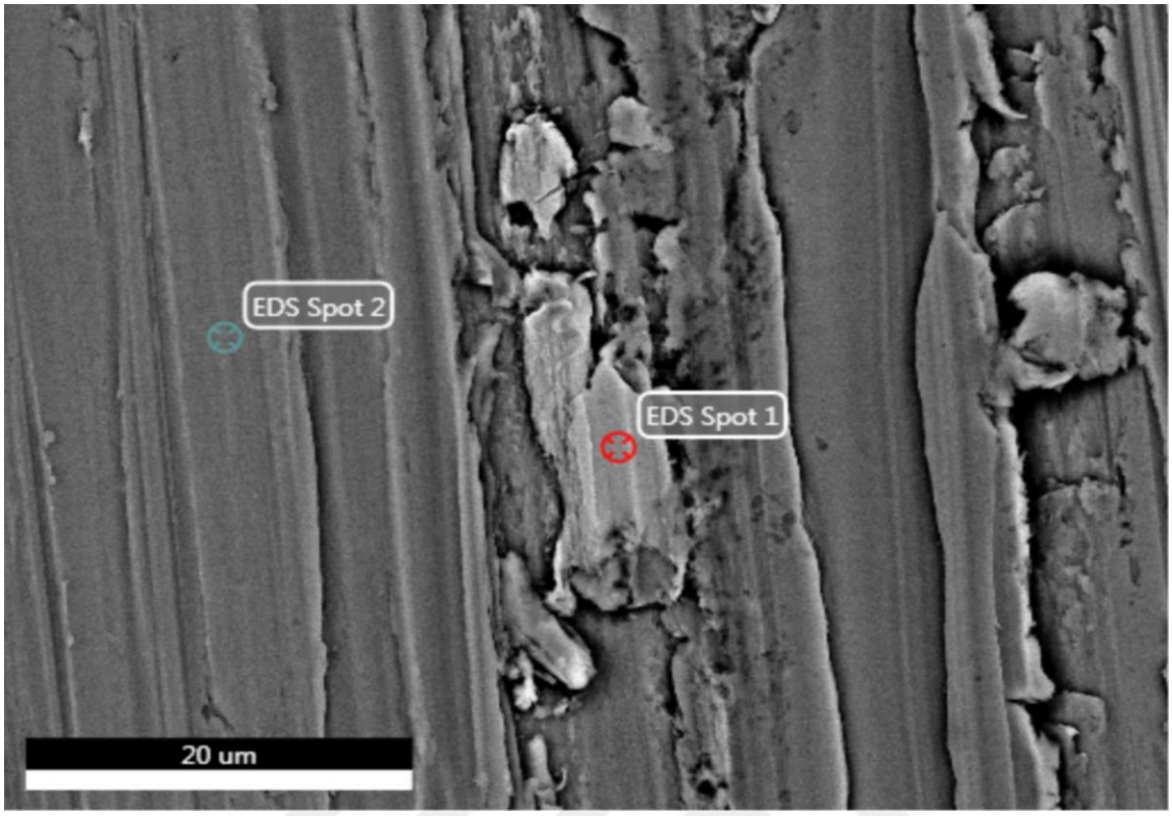


Şekil 6.13. Örnek #1'in üçüncü bölgesindeki Spot 1 ve 2'nin SEM görüntüsü

Çizelge 6.15. Örnek #1'in üçüncü bölgesindeki Spot 1 ve 2'nin EDS analizi

Spot 1			Spot 2	
Element	Weight %		Element	Weight %
C K	2.86		C K	3.20
O K	1.80		O K	1.88
AlK	0.16		AlK	0.16
SiK	0.11		SiK	0.11
CaK	0.17		CaK	0.16
CrK	66.12		CrK	62.88
FeK	28.53		FeK	30.87
NiK	0.25		NiK	0.74

Aşağıdaki Şekil 6.14, Örnek #1' in dördüncü bölge için SEM görüntüsü ve Çizelge 6.16. spot 1 ve 2'nin EDS analizini gösterir. Diğerlerinde olduğu gibi SEM görüntüsünde tümsek ve düzlüklerden oluşur. Tümseklerin yapıların ilk EDS spot 1'e göre %86.98 ile Ni elementidir. İkinci spot analiz durumda düzlük yapısı Cr ve Fe elementlerden oluşmaktadır. Bu elementlerin yüzde oranları sırasıyla %67.86 ve %26.65 dir.



Şekil 6.14. Örnek #1'in dördüncü bölgesindeki Spot 1 ve 2'nin SEM görüntüsü

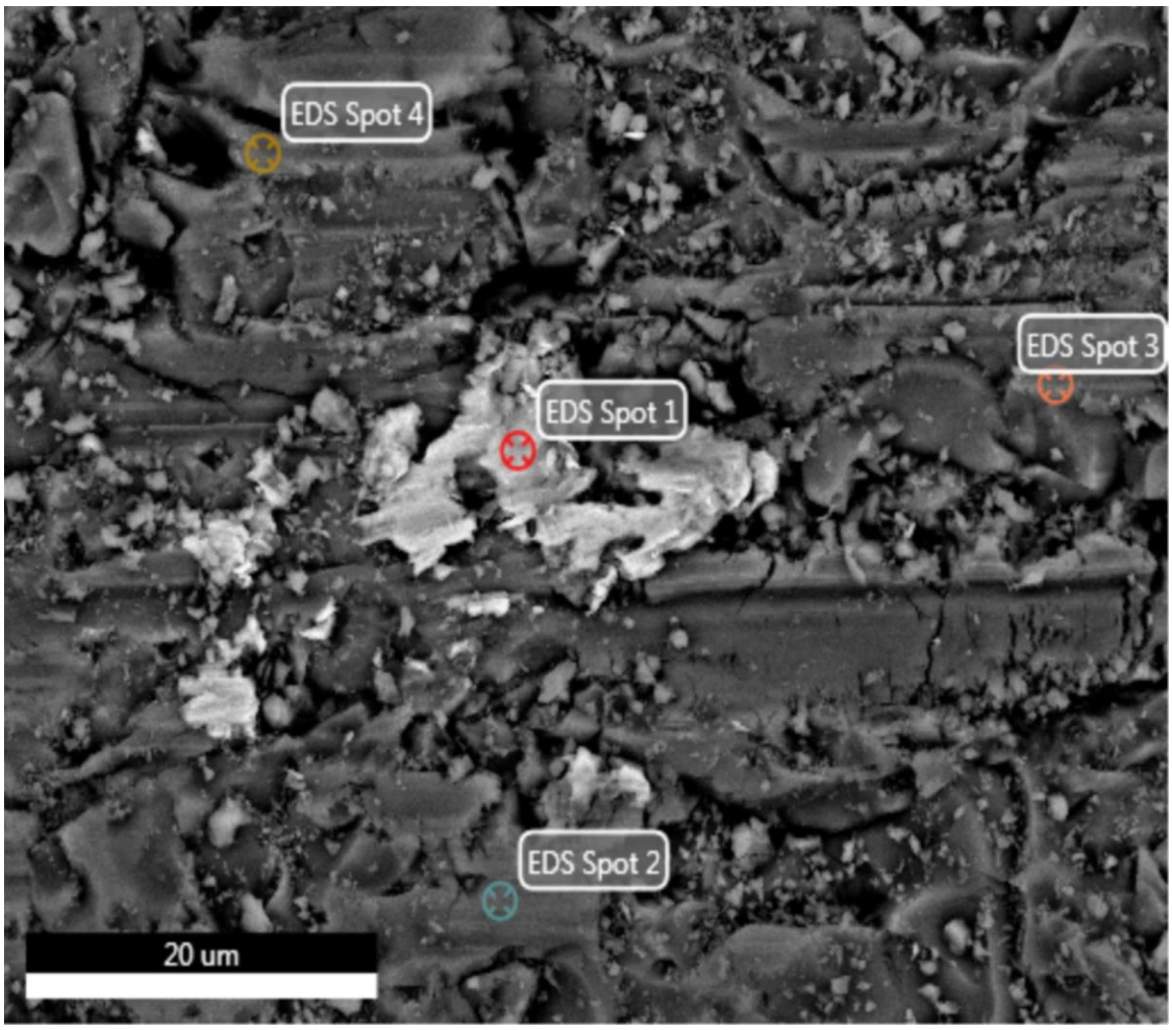
Çizelge 6.16. Örnek #1'in dördüncü bölgesindeki Spot 1 ve 2'nin EDS analizi

Spot 1			Spot 2	
Element	Weight %		Element	Weight %
C K	4.29		C K	2.41
O K	0.12		O K	2.29
CrK	6.20		AlK	0.17
FeK	2.71		SiK	0.20
NiK	86.68		CaK	0.15
			CrK	67.86
			FeK	26.65
			NiK	0.27

Tüm sonuçlara bakıldığında ağırlıklı olarak Cr ve Fe yüzde oranları gözükmekte, Ni yer yer yüksek oranlarda gözükmektedir. Cr ve Fe bileşik yaparak XRD ile uyumlu ve sonucuna göre ağırlıklı Ni ve minör element katkılı Fe-Cr bileşiği ile paslanmaz çelik olmaktadır.

Aşağıdaki Şekil 6.15, Örnek #2' nin birinci bölge için SEM görüntüsü ve Çizelge 6.17 sırasıyla spot 1'den 4'e kadar EDS analizini gösterir. SEM görüntüsünde yoğun olarak tümsek yapılardan oluşur. Bir kısmı beyaz olup EDS spot 1 analizinde düşük Fe(%10.22)

oranda ve C(%12.45) ve O(%4.84) önemli bir değerdedir. Diğer spot alanlarda Fe yüzde oran baskın olarak gözükürken O oranı %25 de az yukarısında arttığı görülür.



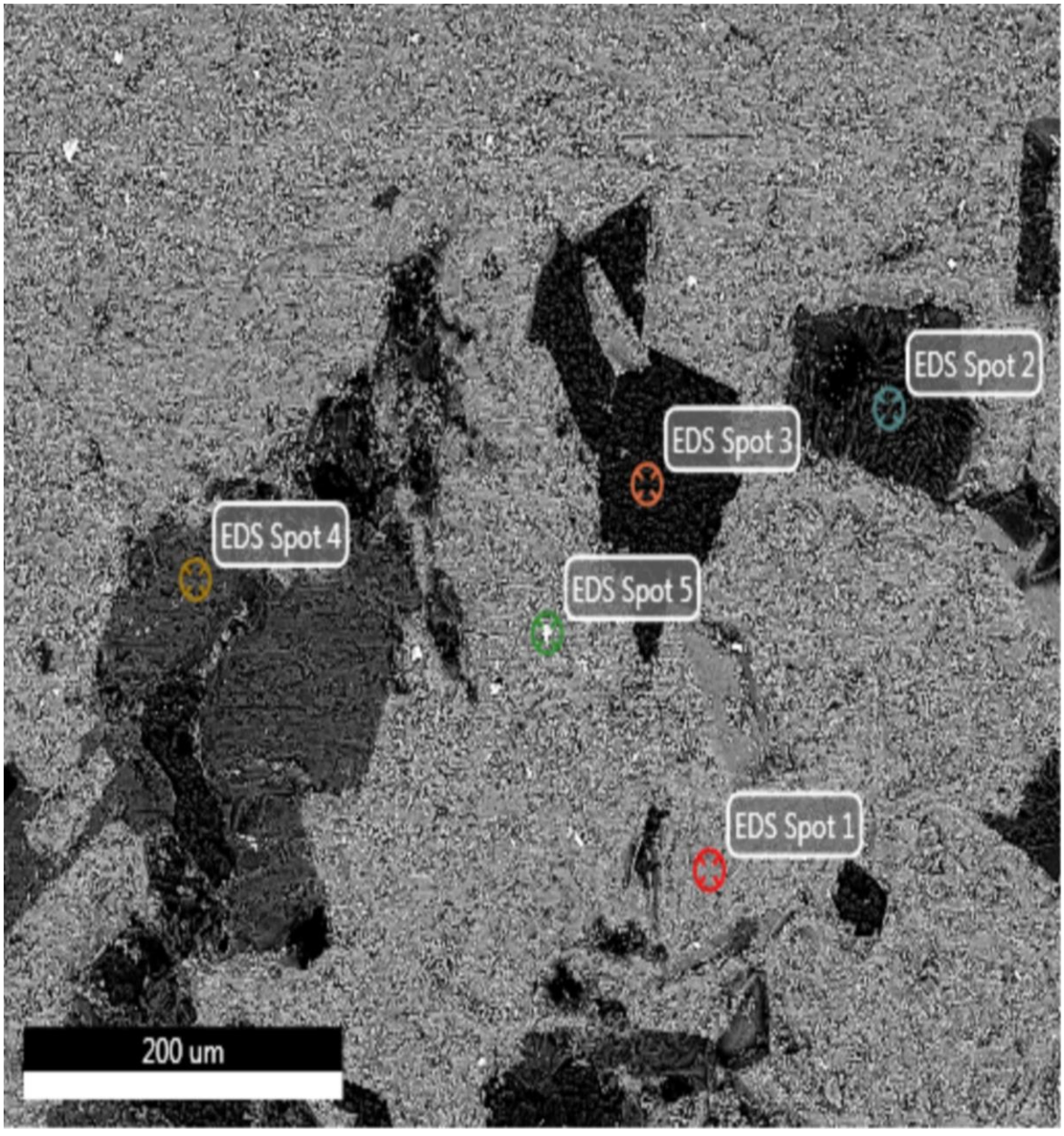
Şekil 6.15. Örnek #2'nin birinci bölgesindeki Spot 1, 2, 3 ve 4'ün SEM görüntüsü

Çizelge 6.17. Örnek #2'nin birinci bölgesindeki Spot 1'den 4'e kadar EDS analizi

Spot 1		Spot 2		Spot 3		Spot 4	
Element	Weight %	Element	Weight %	Element	Weight %	Element	Weight %
C K	12.45	C K	7.97	C K	7.84	C K	7.78
O K	4.84	O K	25.80	O K	28.27	O K	24.24
GeK	1.97	MgK	0.44	MgK	0.55	NaK	1.33
FeK	10.22	AlK	0.54	AlK	0.46	MgK	0.57
		SiK	2.09	SiK	1.90	AlK	0.49
		CaK	0.74	CaK	0.63	SiK	1.77
		MnK	0.68	MnK	0.54	CaK	0.34
		FeK	61.74	FeK	59.81	MnK	0.64
						FeK	62.84

Aşağıdaki Şekil 6.16, Örnek #2' nin ikinci bölge için SEM görüntüsü ve Çizelge 6.18 sırasıyla spot 1'den 5'e kadar EDS analizini gösterir. Örnek #2'nin ikinci SEM bölgesinde yoğun olarak siyah beyaz görüntü alanları bulunmaktadır. Bu spot 1,2 ve 4 bölgelerde Fe ve O oranları baskındır. Spot 3 ve 4 de Ca, Si ve Al oranları artmaktadır. Spot 5 ise Fe ve O dışında Ni(%65.36) olmaktadır.

Genel olarak bakıldığında C, Mg, Mn, Si, Ca, Na ve Al düşük katkılı Fe_xO_y bileşikler oluşmaktadır. Bu sonuç XRD ile uyumludur.

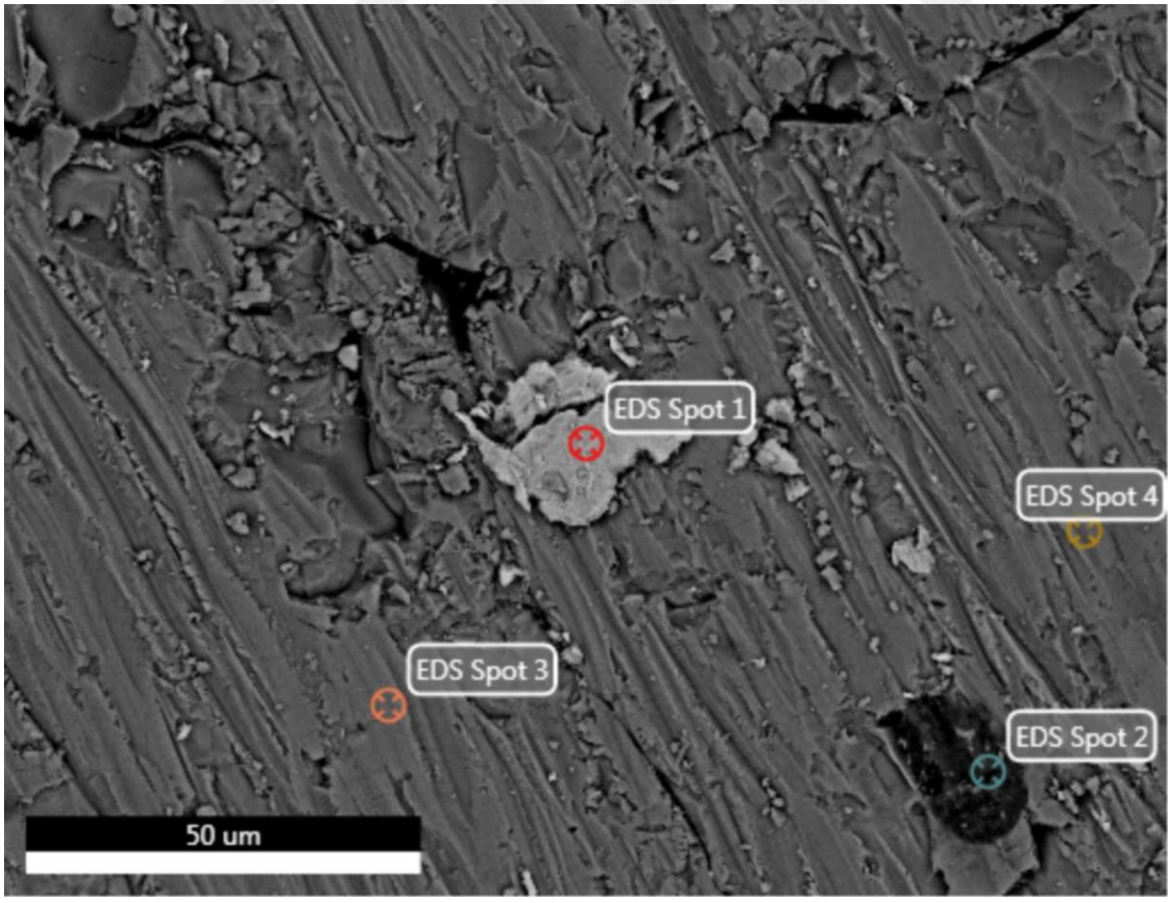


Şekil 6.16. Örnek #2'nin ikinci bölgesindeki Spot 1, 2, 3, 4 ve 5'in SEM görüntüsü

Çizelge 6.18. Örnek #2'nin ikinci bölgesindeki sırasıyla Spot 1'den 5'e kadar EDS analizi

Spot 1		Spot 2		Spot 3		Spot 4		Spot 5	
Element	Weight %	Element	Weight %	Element	Weight %	Element	Weight %	Element	Weight %
C K	9.49	O K	40.94	C K	13.24	O K	41.03	C K	10.20
O K	23.82	MgK	13.56	O K	43.50	MgK	0.71	O K	2.91
MgK	0.54	AlK	10.74	CaK	42.63	AlK	2.26	FeK	21.54
AlK	0.30	SiK	15.69	FeK	0.63	SiK	15.65	NiK	65.36
SiK	1.39	K K	0.40			CaK	22.31		
CaK	0.32	CaK	0.91			MnK	1.29		
MnK	0.52	MnK	1.42			FeK	16.75		
FeK	63.62	FeK	16.34						

Aşağıdaki Şekil 6.17, Örnek #3' ün birinci bölge için SEM görüntüsünü ve Çizelge 6.19 sırasıyla spot 1, 2, 3 ve 4 EDS analizini gösterir. İlk bölgenin SEM görüntüsünde beyaz, siyah ve yoğun oluklu bölgelerden oluşur. Beyaz kesimde çok fazla Ni(%78.56) ve Fe(%8.14) varken oluklu bölgede Fe(%64.76), oksijen ile baskın oluyor. Spot 4 de O(%74.22) ve C(%22.18) ile yoğun oksitlenme bölgesi görülür. Siyah bölgede ise spot 2 EDS analizine göre Ca(%20.40), Si(%9.82), Ge(%20.69) ve Fe(%16.45) fazlalığı vardır.

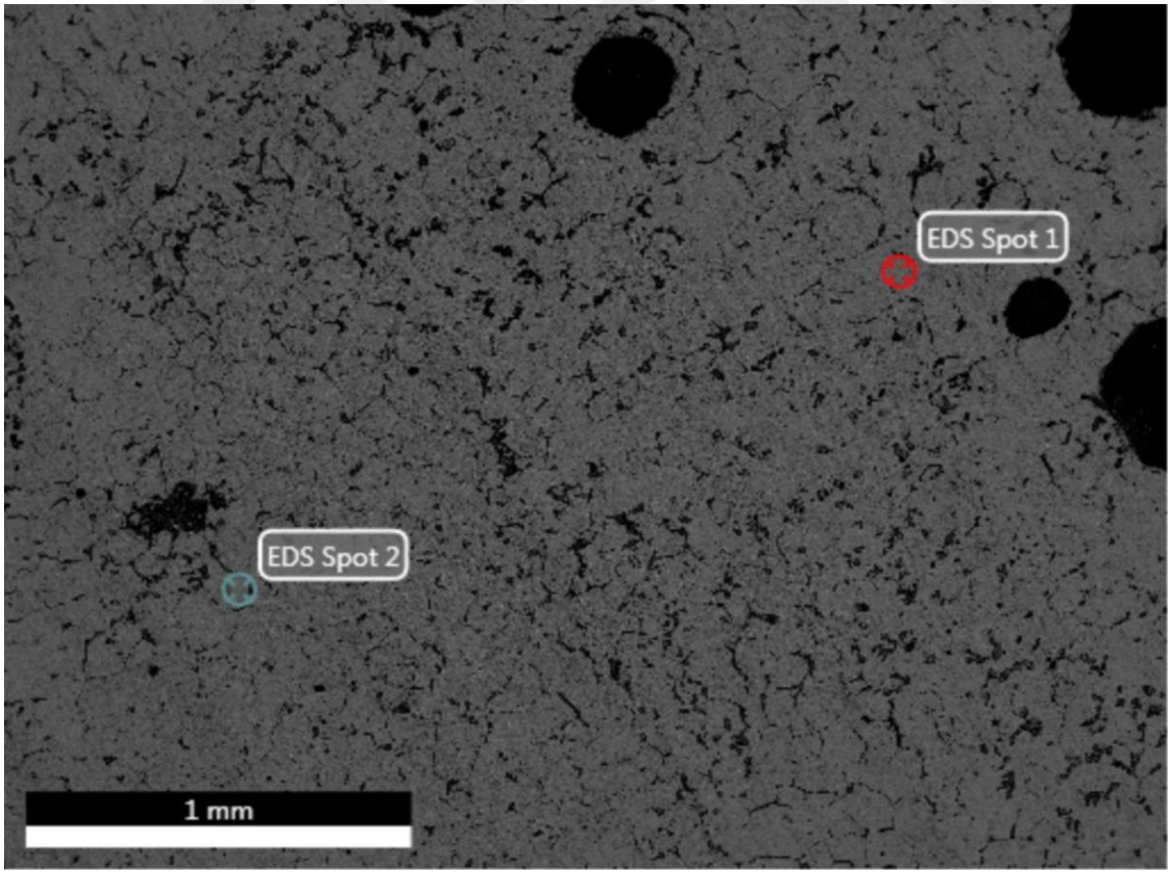


Şekil 6.17. Örnek #3' ün birinci bölge için SEM görüntüsü

Çizelge 6.19. Örnek #3’ ün birinci bölge için sırasıyla spot 1’den 4’e kadar EDS analizi

Spot 1		Spot 2		Spot 3		Spot 4	
Element	Weight %	Element	Weight %	Element	Weight %	Element	Weight %
C K	9.58	O K	27.01	C K	10.26	C K	22.18
O K	2.31	AlK	0.83	O K	23.47	O K	74.22
AlK	0.29	SiK	9.82	MgK	0.70	NaK	0.97
FeK	8.14	P K	0.39	AlK	0.32	MgK	0.42
NiK	78.56	S K	0.04	CaK	0.49	AlK	0.35
GeK	1.12	ClK	0.32	FeK	64.76	CaK	1.85
		K K	3.60				
		CaK	20.40				
		FeK	16.45				
		NiK	0.47				
		GeK	20.69				

Aşağıdaki Şekil 6.18, Örnek #3’ ün ikinci bölge için SEM görüntüsünü ve Çizelge 6.20. sırasıyla spot 1 ve 2 EDS analizini gösterir. İki spot alanında Fe(%70.68/%73.89) ve O(%20.09/%17.54) baskın olmaktadır. Siyah bölgeler analizi Örnek #3’ ün birinci bölgede yapıldı.

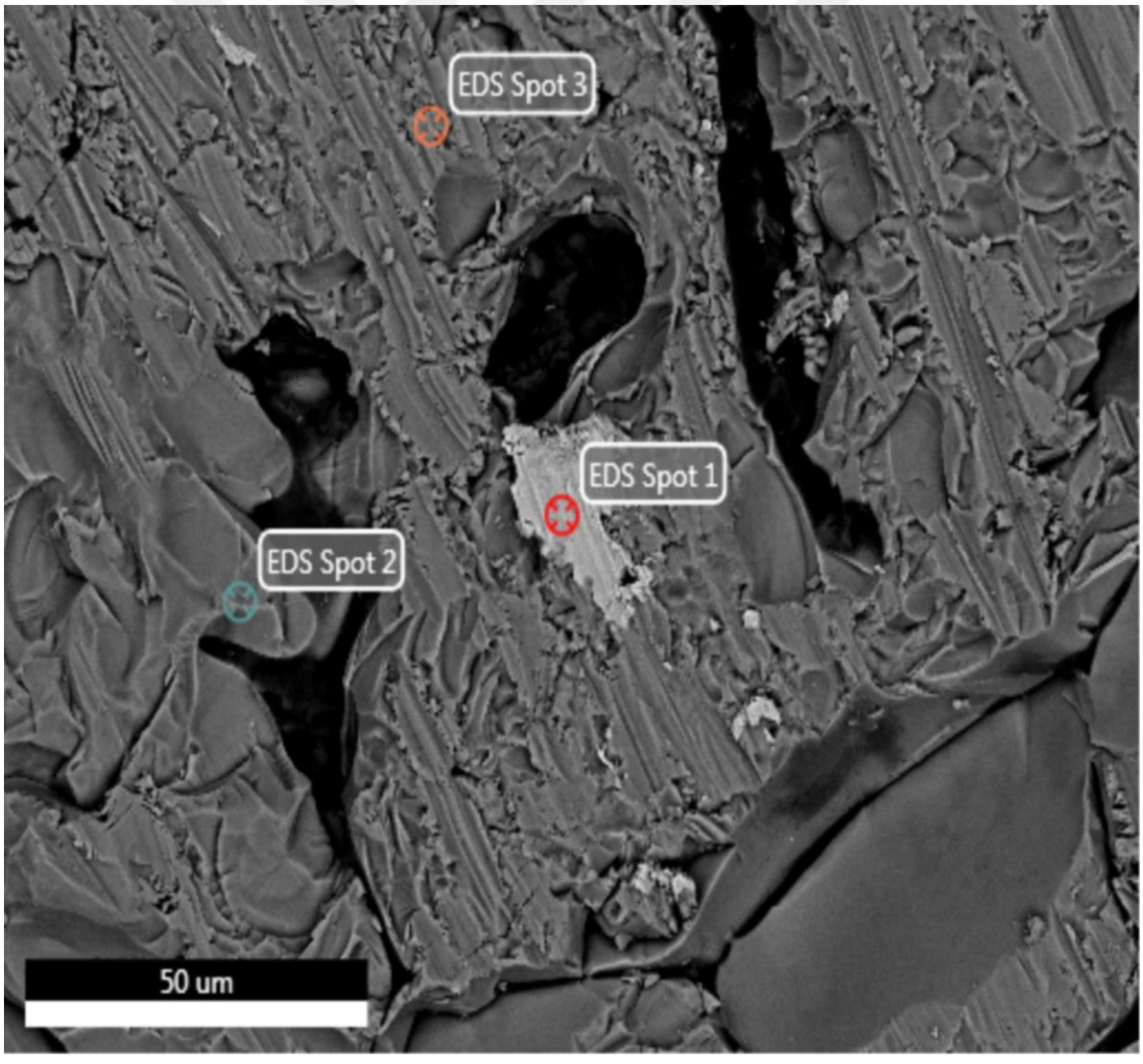


Şekil 6.18. Örnek #3’ ün ikinci bölge için SEM görüntüsü

Çizelge 6.20. Örnek #3’ ün ikinci bölge için Spot 1 ve 2 EDS analizi

Spot 1		Spot 2	
Element	Weight %	Element	Weight %
C K	6.76	C K	7.47
O K	20.09	O K	17.54
NaK	1.05	MgK	0.37
MgK	0.64	AlK	0.19
AlK	0.29	CaK	0.54
CaK	0.51	FeK	73.89
FeK	70.68		

Aşağıdaki Şekil 6.19, Örnek #3’ ün üçüncü bölge için SEM görüntüsünü ve Çizelge 6.21. sırasıyla spot 1, 2 ve 3 EDS analizini gösterir. Spot 1’de beyaz alan da Ni(%79.06) fazlalığı vardır spot 2 ve 3 de Fe(%64.36/%6198) ve O fazlalığı Fe_xO_y’nin oluşuna kanıt olabilir.



Şekil 6.19. Örnek #3’ ün üçüncü bölge için SEM görüntüsü

Çizelge 6.21. Örnek #3' ün üçüncü bölge için spot 1, 2 ve 3 EDS analizi

Spot 1		Spot 2		Spot 3	
Element	Weight %	Element	Weight %	Element	Weight %
C K	10.34	C K	7.79	C K	8.74
O K	1.85	O K	25.49	O K	27.08
FeK	8.76	MgK	1.25	MgK	1.28
NiK	79.06	AlK	0.55	AlK	0.62
		SiK	0.27	CaK	0.30
		CaK	0.29	FeK	61.98
		FeK	64.36		

Genel olarak lokal bölgelerde Ni elementi gözlenirken Fe ve O oranı çok yüksek, aralarda çok küçük veya büyük siyah alanlarda Si, Ge ve Ca yoğunluğu olan elementler gözlemlenir.

Yer yer Cr oranının yüksek olduğu görülmüştür. Bilindiği üzere krom kromit mineralinden üretilmektedir. Teorik formülü $FeCr_2O_4$ olarak belirtilmektedir. EDS analizlerine baktığımızda Cr, Fe ve O elementlerinin varlığı tespit edilmiştir. Bu gök taşının kromit minerali ile benzerlik gösterdiği düşünülmektedir.

Fe oranının en yüksek olduğu EDS analizleri sonucu belirlenmiştir. Demir cevherleri doğada Manyetit (Fe_3O_4), Hematit (Fe_2O_3), Limonit ($2Fe_2O_3$. 2H2O), Götit (Fe_2O3. H_2O), Siderit ($FeCO_3$) ve Pirit (FeS_2) mineralleri şeklinde bulunmaktadır. EDS analizlerine bakıldığında bu gök taşının manyetit ve hematit mineraline benzediği görülmüştür.

6.7. Gök Taşların Sertlik Değerleri

Bilindiği üzere Sertlik malzemenin batma, sürtünme, çizme ve kesme üzerinde oluşturulan iz veya aşınmanın neden olduğu lokal plastik deformasyona karşı gösterilen direncin bir ölçüsüdür. Birçok sertlik ölçme yöntemi vardır. Numunelerin sertlik analizleri vickers sertlik yöntemi seçilerek alınmıştır [106]. Hassas olarak farkların anlaşılması için mikro sertlik analizi yapılmıştır. Çizelge 6.13' de numunelerin sertlik değerleri görülmektedir. En sert malzemenin Örnek #2 numaralı gök taşı olduğu görülmüştür. Örnek #1 numaralı gök taşının ise sertlik değeri diğerlerine kıyasla en az olduğu görülmüştür. Tahmin edilen hematit (Örnek #2) minerali, kromit (Örnek #1) mineraline göre daha serttir. Sertlik değerleri bu durumu desteklemektedir. Örnek #2 numaralı malzemenin Örnek #3 numaralı malzemeden daha sert olması az miktarda farklı elementlerin varlığından kaynaklanabilir. Yük Kuvveti 0.5 kgf olarak ayarlandı. 1HV=kg*f*/mm^2. Burada *f* mikro sertlik için kullanılır.

Çizelge 6.22. Gök taşların sertlik ölçümleri

Numuneler	Mikro Sertlik HV 0.5
Örnek #1	462 HV 0.5
Örnek #2	657 HV 0.5
Örnek #3	550 HV 0.5

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı bölgeden gelen üç gök taşı nedir sorusuna cevap verebilmek için yapısal analiz yapılmıştır.

Alınan ölçüm sonuçlarına göre; Örnek #1 numunesi yüksek kristalize paslanmaz çeliğe benzemektedir. Sertliği Örnek #2 ye göre daha azdır ve değeri 462 HV'dir. XRD deseninde dört pik bulunmaktadır. Farklı şiddetlerdeki pikler Pdf34-0396 database göre 42.0^o civarındaki pik en yüksek (110) miller indisli ile mozaik (texture) yapıdadır. Yönelim bu pik yönündedir. Piklerden 42.0 ve 81.0 civarında $K\alpha_1$, $K\alpha_2$ den ayrıldığı görülür ve yapının kristalize olduğunu destekler. İkinci örnek için Örnek #2 numunesi bütünüyle Magnetite mineral yapısındadır. Örnek #1 'de paslanmaz çelikte olduğu gibi yapı mozaikli olarak görülür. Yapı mıknatısı zayıf spin yönelimleri ile hafif çekmektedir. Yapı oksijen ile bileşik yapıda 32.5^o civarında en yüksek pik ile yönelim bu pik yönündedir. Yapı polikristal yapıda olduğu için sert yapı olarak gözükmektedir. Sertlik değeri 657 HV'dir. Yer yer kristalize bölgeleri yüksek şiddet ile XRD deseninden den anlaşılabilir. Son üçüncü örnek için Örnek #3 numunesi iki fazdan oluşur. Ayrıca XRD deseninde geri planda minör fazlar gözükmektedir. Bunlar Wurtzite, Magnetite ve minör yapılardan fazlarıdır. Bu gök taşında magnetite fazı Örnek #2'ye göre iyi kristalize değildir. Hatta wurtzite ye göre de kristalize düşüktür ve yüzde olarak azdır. Magnetite fazının çoğu pik gürültülü geri planda kalmaktadır. Wurtzite minerali iyi belirlenmekte yüksek kristalize polikristaldir. Yönelim 35.0 civarında ve mozaik yapıdadır. Sertlik değeri 550 HV'dir. Örnek #2 numaralı malzemenin Örnek #3 numaralı malzemeden daha sert olması az miktarda farklı elementlerin varlığından kaynaklanabilir. Örnek #1 numaralı gök taşının ise sertlik değeri diğerlerine kıyasla en az olduğu görülmüştür. Tahmin edilen hematit (Örnek #2) minerali, kromit (Örnek #1) mineraline göre daha serttir.

Üç örneğin yapı endekslemesi elde edilmiştir. Üç gök taşı için hkl indeksleme örgü uzunluğu için Bravais örgünün yarı deneysel analitik hesaplaması yapıldı. Tabloda $Cu_{\alpha 1}$ dalga boyu için $Sin^2(\theta)/n$ hesaplaması n=8 kadar tüm örnekler için yapıldı. $Sin^2(\theta)/n$ ortak en küçük değerler sırasıyla 0.0717, 0.0084 ve 0.0083 olarak bulundu. Burada değer daha küçük olsa da tekrarı olamadığı ve örgü parametresi uygun aralık olmadığı görüldü. Bu neden ile $Sin^2(\theta)$ en küçük ortak değer arandı. İndeksleme için Bravais örgü için düzlem sıraları sırası (n değeri) Örnek #1 için 3,4,6 ve 8 olmakta, bu Bravais örgü tipi ilkel kübik

yapıya uygun olduğu belirlendi. İkinci ve üçüncü Örnek #2 için Bravais örgü için düzlem sıraları sırası 3 ve 8 olarak alındı. Bravais örgü tipi yüzey merkezli kübik yapı da olduğu gösterildi. Son Örnek #3 için düzlem sıraları 3, 4 ve 8 ile yüzey merkezli kübik yapıdadır.

Numunelerin kesin örgü uzunluğu Cohen analitik metodu ile hesaplandı. Burada C ve D değerlerinin küçük olması örgü parametresinin doğruluğunu kesinleştirdi. Çizelge 7.1 Cohen'in analitik metodu çözümünü gösterir. Yukarıda verilen denklem sistemi tabloda her üç örnek için A ve C matrisleri ile verilir. Doğru örgü parametresi ölçümü için A matrisini tersi A^{-1} alınarak (tabloda veriler gösterilir) C matrisi ile nümerik olarak çarpılır. $x=A^{-1}*C$ çözüm matrisinden daha önce elde ifade ettiğim gibi A sabiti tabloda örnekler için koyu yazı ile gösterilir.

Çizelge 7.1'de Cohen'in analitik metodu bulunan A, a_o, C ve D değerleri gösterilir. Burada $a_o=\lambda/2*A^{1/2}$ formülü ile hesaplanır. Hesaplanan örgü parametreleri daha önce hesaplan örgü uzunluklara benzemektedir. Çizelge 7.1' de C ve D değerlerin küçük olması örgü parametresinin doğrulunu kesinleştirir.

Çizelge 7.1. Cohen'in analitik metodu bulunan A, a_o, C ve D değerleri sonuçları

	Örnek #1	Örnek #2	Örnek #3
A=	0.071759	0.008442	0.03231
a_o=	0.287549	0.838376	0.42853
C=	-4.2E-05	-0.00012	-0.00006
D=	-0.00042	-0.00116	-0.00061

Alınan SEM görüntüsü sonuçlarına göre genel olarak lokal bölgelerde Ni elementi gözlenirken Fe ve O oranı çok yüksek, aralarda çok küçük veya büyük siyah alanlarda Si, Ge ve Ca yoğunluğu olan elementler gözlemlenir.

Yer yer Cr oranının yüksek olduğu görülmüştür. Bilindiği üzere krom kromit mineralinden üretilmektedir. Teorik formülü $FeCr_2O_4$ olarak belirtilmektedir. EDS analizlerine baktığımızda Cr, Fe ve O elementlerinin varlığı tespit edilmiştir. Bu gök taşının kromit minerali ile benzerlik gösterdiği düşünülmektedir.

Fe oranının en yüksek olduğu EDS analizleri sonucu belirlenmiştir. Demir cevherleri doğada Manyetit (Fe_3O_4), Hematit (Fe_2O_3), Limonit ($2Fe_2O_3$. 2H2O), Götit (Fe_2O3. H_2O), Siderit ($FeCO_3$) ve Pirit (FeS_2) mineralleri şeklinde bulunmaktadır. EDS analizlerine bakıldığında bu gök taşının manyetit ve hematit mineraline benzediği görülmüştür. Her 3 örnek numunenin sertlik ölçüleri yapıldı. Numunelerin sertlik analizleri vickers sertlik yöntemi seçilerek alındı. Hassas olarak farkların anlaşılması için mikro sertlik analizi yapıldı. En sert malzemenin Örnek #2 numaralı gök taşı olduğu görüldü. Örnek #1 numaralı gök taşının ise sertlik değeri diğerlerine kıyasla en az olduğu belirlendi. Tahmin edilen hematit (Örnek #2) minerali, kromit (Örnek #1) mineraline göre daha sert olduğu kanısına varıldı. Yapılan sertlik ölçüm sonuçlarına göre sertlik değerleri bu durumu desteklemektedir. Örnek #2 numaralı malzemenin Örnek #3 numaralı malzemeden daha sert olması az miktarda farklı elementlerin varlığından kaynaklanabilir.

Öneri olarak asteroitten kopan bir parçada Ni, Au, Cr, Fe fazlalığı ile asteroit madenciliği ön plana çıkıyor. Asteroit parçası yere düştükten sonra radyoaktif elementlerin yarılamasında dolayı yaydığı zararlı ışın nedeniyle kurşun ve borlu alaşımlar içeren kutularda tutulmalı.

Gök taşları, farklı gezegenlerin ve ayın yüzey özelliklerini anlamada kilit rol oynamaktadır. Organik bileşenler içeren karbonlu gök taşları, Dünya dışı organik moleküllerin varlığı ve potansiyel olarak yaşamın kökenleri üzerine çalışmalara kapı açabilir. Ayrıca ekonomik değeri yüksek elementler (örneğin platin ve nadir toprak elementleri) içeren gök taşları, gelecekteki uzay madenciliği girişimleri için potansiyel kaynaklar sunabilir ve bu dünyadaki kaynakların sürdürülebilirliğine katkıda bulunabilirler. Gök taşları ve meteorlar üzerine yapılan çalışmalar hem akademik çevrelerde hem de genel halk arasında bilim ve uzay hakkına bilgi ve ilgiyi teşvik edebilir.

Gök taşları, birçok değerli metallerce zengin olabileceğinden uzay madenciliği potansiyeli açısından ekonomik değer sağlar. Bu metallerin potansiyel çıkarımı, dünyadaki kaynakların korunmasına katkıda bulunabilir ve yeni sanayi uygulamaları için temel oluşturabilir. Bu amaçla teknoloji geliştirme ve uzay madenciliği konsepti, uzay araçları tasarımı, madencilik ekipmanları ve işlem teknikleri geliştirilmesine öncülük edebilir.

Uzay madenciliği ve bilimsel araştırma çalışmaları aynı zamanda dünyaya yaklaşan gök taşlarını izlemek için gelişmiş gözlem teknolojileri ve algoritmaların geliştirilmesini sağlarken, dünyayı gök taşı tehlikelerinden koruma amaçlı olarak erken uyarı sistemleri ve

benzer teknolojilerin geliştirilmesine de katkı sağlayabilir. Bu da dünyaya olası gök taşı çarpma senaryolarına karşı zamanında önlem alınmasını sağlar.

KAYNAKLAR

1. Jones, A. (2017). Understanding the Universe and Planetary Formation through Meteorite Analysis. *Astronomical Journal*, 20 (9), 419-422.

2. Smith, J. and Clark, P. (2018). Characteristics of Meteorites and Early Solar System Insights. *Geophysical Research Letters*, 71-78.

3. Brown, T. (2019). Composition of Meteorites and Their Implications for Planetary Evolution. *Geochemical Perspectives*, 25-38.

4. Taylor, M. (2020). Organic Compounds in Meteorites and Their Implications for the Origin of Life. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 17-45.

5. Miller, C. (2021). Rare Minerals and Valuable Metals in Meteorites. *Mineralogy Journal*, 11-22.

6. Johnson, R. (2022). Mining Potential of Meteorites for Future Space Exploration. *Astro Mining*, 10-19.

7. Davis, M. (2023). Motivations and Roles in Meteorite Research. *Space Science Reviews*, 45-87.

8. Wilson, A. (2023). Contributions of Meteorite Studies to Scientific Goals. *Advances in Space Research*, 9-17.

9. Williams, T. and Lee, H. (2017). Ancient Knowledge Sources in Meteorites. *Historical Astronomy*, 5-24.

10. Robinson, K. (2018). Insights into the Early Solar System through Meteorite Studies. *Journal of Cosmology* 18-47.

11. Anderson, R. (2019). Surface Characteristics of Different Planets and Moons. *Astrophysical Journal*, 75-83.

12. Thomas, E. (2020). Extraterrestrial Organic Molecules and the Potential Origins of Life. *Astrobiology Journal*, 17-34.

13. Jackson, A. and Martin, S. (2021). Potential Resources in Carbonaceous Meteorites. *Journal of Space Resources*, 41-52.

14. Evans, N. (2022). Promoting Science and Space Awareness through Meteorite Studies. *Public Understanding of Science*, 12-27.

15. Parker, E. (2023). Educational Opportunities in Space Science through Meteorite Exhibits. *Science Museums Journal*, 96-115.

16. Harris, G. (2023). Multi-disciplinary Research in Meteorite Studies. *Interdisciplinary Science Review*, 93-121.

17. Lewis, S. (2023). Scientific Community and Societal Outcomes of Meteorite Research. *Journal of Space Exploration*, 159-167.

18. Walker, F. and Taylor, G. (2017). Economic Value of Valuable Metals in Meteorites. *Economic Geology*, 26-35.

19. Hill, B. (2018). Preservation of Earth's Resources through Potential Metal Extraction from Meteorites. *Environmental Science & Technology*, 9-25.

20. Green, D. (2019). Development of Mining Equipment and Techniques for Space Mining. *Mining Engineering Journal*, 17-25.

21. Baker, S. (2020). Development of Advanced Observation Technologies for Asteroid Monitoring. *Space Technology and Innovation*, 75-96.

22. Mitchell, T. (2021). Early Warning Systems and Technologies for Asteroid Impact Prevention. *Planetary Defense Quarterly*, 35-47.

23. White, J. (2022). Data from Impact Prevention Missions and Their Economic and Scientific Contributions. *Journal of Space Missions*, 101-115.

24. Young, B. (2023). Importance of Meteorite Studies for Technologists, Policymakers, and the General Public. *Science Policy Review*, 106-112.

25. King, H. (2023). The Multi-disciplinary Nature of Meteorite Studies and Its Societal Impact. *Science and Society*, 50-69.

26. Scott, D. (2023). Importance, Motivation, and Purpose of Meteorite Research. *Astrophysics and Space Science*, 75-79.

27. Campbell, L. (2023). Detailed Concepts and Sources of Meteorites. *Meteorite Studies Quarterly*, 63-75.

28. Allen, J. (2023). Magnetic and Weight Analysis Methods for Meteorites. *Journal of Planetary Science*, 28-32.

29. Bailey, K. (2023). XRD, SEM, EDX, and Vickers Hardness Analysis Systems for Meteorite Studies. *Journal of Material Science*, 24-46.

30. Turner, R. (2023). Structural Analysis of Meteorites. *Planetary Science Journal*, 87-91.

31. Foster, P. (2023). Data Calculations in Structural Analysis of Meteorites. *Analytical Chemistry Journal*, 125-141.

32. Stewart, L. (2023). Discussion of Results in Meteorite Structural Analysis. *Journal of Astrophysical Research*, 17-43.

33. Ceplecha, Z. (1996). Luminous efficiency based on photographic observations of meteor trains. *Astronomy & Astrophysics*, 311(1), 329-340.

34. Bland, P. A. and Artemieva, N. A. (2006). The rate of small impacts on Earth. *Meteoritics & Planetary Science*, 41(4), 607-631.

35. Halliday, I., McIntosh, B. A. and Griffin, A. A. (1989). The flux of meteorites on the Earth's surface. *Meteoritics*, 24(3), 173-178.

36. McSween, H. Y. (1999). *Meteorites and Their Parent Planets*. Cambridge University Press, Cambridge, 452-489.

37. Rubin, A. E. and Grossman, J. N. (2010). Meteorite and meteoroid: New comprehensive definitions. *Meteoritics & Planetary Science,* 45(1), 114-122.

38. Zolensky, M. E., Barrett, R. and Browning, L. (2006). Mineralogy and composition of matrix and chondrule rims in carbonaceous chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta,* 67(17), 3113-3137.

39. Gradie, J. C. and Tedesco, E. F. (1982). Compositional structure of the asteroid belt. *Science,* 216(4553), 1405-1407.

40. DeMeo, F. E. and Carry, B. (2014). Solar System evolution from compositional mapping of the asteroid belt. *Nature,* 505(7485), 629-634.

41. Bottke, W. F., Jedicke, R., Morbidelli, A., Petit, J.-M. and Gladman, B. (2002). Understanding the distribution of near-Earth asteroids. *Science,* 288(5474), 2190-2194.

42. Chapman, C. R. (2004). The hazard of near-Earth asteroid impacts on Earth. *Earth and Planetary Science Letters,* 222(1), 1-15.

43. Morbidelli, A., Bottke, W. F., Nesvorný, D. and Levison, H. F. (2009). Asteroids were born big. *Icarus,* 204(2), 558-573.

44. Petit, J.-M., Morbidelli, A. and Chambers, J. (2001). The primordial excitation and clearing of the asteroid belt. *Icarus,* 153(2), 338-347.

45. Russell, C. T., Raymond, C. A., Coradini, A., McSween, H. Y., Zuber, M. T., Joy, S. and Polanskey, C. A. (2012). Dawn at Vesta: Testing the protoplanetary paradigm. *Science,* 336(6082), 684-686.

46. Thomas, P. C., Parker, J. W., McFadden, L. A., Russell, C. T., Stern, S. A., Sykes, M. V. and Young, E. F. (2005). Differentiation of the asteroid Ceres as revealed by its shape. *Nature,* 437(7056), 224-226.

47. Vernazza, P., Migliorini, A., Zambon, F., Bland, P. A., Brunetto, R., Desanctis, M. C. and Turrini, D. (2011). Palaeointensity and magnetic stability of the Martian crust. *Nature,* 475(7357), 217-220.

48. Elvis, M. (2014). How We'll Mine the Asteroids, Comets, and Planets. *Scientific American,* 311(3), 38-45.

49. Whipple, F. L. (1950). A comet model. I. The acceleration of comet Encke. *Astrophysical Journal,* 111, 375-394.

50. Hughes, D. W. (2003). Cometary orbits. In M. C. Festou, H. U. Keller and H. A. Weaver (Eds.), *Comets II*, University of Arizona Press, Tucson, Arizona, 1-10.

51. Jenniskens, P. (2006). *Meteor Showers and Their Parent Comets*. Cambridge University Press, Cambridge.

52. Beech, M. (2006). The Helion and the Head: On the Relationship Between the Sun and the Perseid Meteor Stream. *WGN, Journal of the International Meteor Organization*, 34(4), 93-96.

53. Kronk, G. W. (1988). *Meteor Showers: A Descriptive Catalog*. Enslow Publishers, Berkeley Heights, New Jersey.

54. Wooden, D. H., Butner, H. M., Harker, D. E. and Woodward, C. E. (2004). Interstellar and Circumstellar Grains in Comets. In G. W. Kronk (Ed.), *Comets II*, University of Arizona Press, 33-56.

55. Bockelée-Morvan, D., Crovisier, J., Mumma, M. J. and Weaver, H. A. (2004). The composition of cometary volatiles. In G. W. Kronk (Ed.), *Comets II*, University of Arizona Press, 391-423.

56. Hanner, M. S., Lynch, D. K. and Russell, R. W. (1994). The 8-13 micron spectra of comets and the composition of silicate grains. *Astrophysical Journal*, 425(1), 274-285.

57. Blum, J., Wurm, G., Poppe, T. and Heim, L.-O. (2006). An experimental study of the stickiness of micron-sized preplanetary dust. *Astrophysical Journal*, 652(2), 1768-1781.

58. Delsemme, A. H. (2000). The origin of the atmosphere and of the oceans. *Planetary and Space Science*, 48(12-14), 1293-1304.

59. Mumma, M. J. and Charnley, S. B. (2011). The Chemical Composition of Comets: Emerging Taxonomies and Natal Heritage. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 49, 471-524.

60. Kerridge, J. F. (1985). Carbon, hydrogen and nitrogen in carbonaceous chondrites: Abundances and isotopic compositions in bulk samples. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49(8), 1707-1714.

61. Nakamura-Messenger, K., Messenger, S., Keller, L. P., Clemett, S. J. and Zolensky, M. E. (2006). Organic globules in the Tagish Lake meteorite: Remnants of the protosolar disk. *Science*, 314(5807), 1439-1442.

62. Carnegie Institution for Science. (2019, April 15). Cometary surprise found inside meteorite. EurekAlert!, URL: https://www.eurekalert.org/news-releases/473472, Son Erişim Tarihi: 25.06.2024

63. Weisberg, M. K., McCoy, T. J. and Krot, A. N. (2006). Systematics and evaluation of meteorite classification. In D. S. Lauretta and H. Y. McSween Jr. (Eds.), *Meteorites and the early solar system II*, University of Arizona Press, Tucson, Arizona, 19-52.

64. Krot, A. N., Scott, E. R. D. and Zolensky, M. E. (2004). Meteoritical and physical constraints on the origin of chondrules. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68(4), 575-620.

65. Rubin, A. E. (2000). Petrologic, geochemical and experimental constraints on models of chondrule formation. *Earth-Science Reviews*, 50(1-2), 3-27.

66. Rubin, A. E. (2003). The origin of meteoritic chondrules and chondrites. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences,* 31, 237-264.

67. Brearley, A. J. and Jones, R. H. (1998). Chondritic meteorites. In J. J. Papike (Ed.), *Planetary materials,* Mineralogical Society of America, 313-398

68. Scott, E. R. D. and Krot, A. N. (2003). Chondrites and their components. In A. N. Krot, E. R. D. Scott and B. Reipurth (Eds.), *Origin of the solar system,* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 143-200.

69. Keil, K. (2000). Thermal alteration of asteroids: evidence from meteorites. *Planetary and Space Science,* 48(4), 887-903.

70. Buseck, P. R. and Goldstein, J. I. (1969). Olivine compositions and cooling rates of pallasitic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta,* 33(4), 417-426.

71. Buchwald, V. F. (1975). *Handbook of Iron Meteorites: Their History, Distribution, Composition, and Structure* (Vol. 1-3). University of California Press, Berkeley, California.

72. Chabot, N. L. and Haack, H. (2006). Evolution of asteroid core compositions. In D. S. Lauretta and H. Y. McSween Jr. (Eds.), *Meteorites and the early solar system II*, University of Arizona Press, Tucson, Arizona, 747-771.

73. Scott, E. R. D. (1977). Formation of olivine-metal textures in pallasite meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta,* 41(3), 349-360.

74. Krot, A. N., Scott, E. R. D. and Zolensky, M. E. (2003). Mineralogical and chemical modification of components in chondritic meteorites. In A. N. Krot, E. R. D. Scott and B. Reipurth (Eds.), *Origin of the solar system*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 553-586.

75. Mittlefehldt, D. W., McCoy, T. J., Goodrich, C. A. and Kracher, A. (1998). Non-chondritic meteorites from asteroidal bodies. In J. J. Papike (Ed.), *Planetary materials*, Mineralogical Society of America, 114-195.

76. Buseck, P. R. (1977). Pallasite meteorites-mineralogy, petrology, and geochemistry. *Geochimica et Cosmochimica Acta,* 41(5), 711-740.

77. Rubin, A. E. and Mittlefehldt, D. W. (1992). IAB iron meteorites: Mineralogy, petrology, and chemistry. *Geochimica et Cosmochimica Acta,* 56(3), 827-840.

78. Bevan, A. W. R. and de Laeter, J. R. (2002). *Meteorites: A Journey through Space and Time*. Smithsonian Institution Scholarly Press, Washington.

79. Norton, O. R. (2002). *The Cambridge Encyclopedia of Meteorites*. Cambridge University Press, Cambridge.

80. Cullity, B. D. and Stock, S. R. (2001). *Elements of X-Ray Diffraction* (3rd ed.). Pearson Prentice Hall, New Jersey.

81. Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Echlin, P., Joy, D. C., Fiori, C. and Lifshin, E. (2003). *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis* (3rd ed.). Springer, 23-52.

82. Jenkins, R. (1999). *X-Ray Fluorescence Spectrometry* (2nd ed.). John Wiley & Sons, New Jersey, 56-61.

83. Smith, E. and Dent, G. (2005). *Modern Raman Spectroscopy: A Practical Approach*. John Wiley & Sons, New Jersey, 25-42.

84. Griffiths, P. R. and de Haseth, J. A. (2007). *Fourier Transform Infrared Spectrometry* (2nd ed.). John Wiley & Sons, New Jersey, 50-150.

85. Hou, X. and Jones, B. T. (2000). Inductively Coupled Plasma/Optical Emission Spectrometry. In R. A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, John Wiley & Sons, 9468-9485.

86. Brown, M. E. (2001). *Introduction to Thermal Analysis: Techniques and Applications* (2nd ed.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 259-268.

87. Schmidt, M. (2006). UV-Vis Spectroscopy: An Introduction. In J. Cazes (Ed.), *Encyclopedia of Chromatography* (2nd ed.). Taylor & Francis, Abington, 98-115.

88. Faure, G. and Mensing, T. M. (2005). *Isotopes: Principles and Applications* (3rd ed.). John Wiley & Sons, New Jersey, 51-59.

89. Nier, A. O. (1947). Mass spectrometer for isotope and gas analysis. *Review of Scientific Instruments*, 18(6), 398-411.

90. Bragg, W. H. (1913). The diffraction of short electromagnetic waves by a crystal. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 17, 43-57.

91. Rigaku Corporation. (2020). Bragg-Brentano geometry. URL: https://www.rigaku.com/xrd/bragg-brentano, Son Erişim Tarihi: 25.06.2024

92. Klug, H. P. and Alexander, L. E. (1954). *X-ray Diffraction Procedures: For Polycrystalline and Amorphous Materials*. Wiley, 23-26.

93. Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W. M., Scott, J. H. J. and Joy, D. C. (2018). *Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis* (4th ed.). Springer, 49-56.

94. Newbury, D. E., Michael, J. R., Ritchie, N. W. M. and Goldstein, J. I. (2018). *X-ray Microanalysis in the Electron Microscope*. Oxford University Press, Oxford, 656-687.

95. Murray, C. B., Kagan, C. R. and Bawendi, M. G. (2009). Synthesis and Characterization of Monodisperse Nanocrystals and Close-Packed Nanocrystal Assemblies. *Annual Review of Materials Science*, 30, 545-610.

96. Williams, D. B. and Carter, C. B. (2009). *Transmission Electron Microscopy: A Textbook for Materials Science*. Springer, 12-24.

97. Cohen, J. B. (1966). *The Precision Determination of Lattice Parameters and the Phenomenon of Variance*. Pergamon Press, Oxford, 25-87.

98. Hosford, W. F. (2010). *Mechanical Behavior of Materials*. Cambridge University Press, Cambridge, 15-63.

99. Norton, F. H. (1974). *X-ray Diffraction*. Addison-Wesley, New Jersey, 25-74.

100. Cullity, B. D. (1956). *Elements of X-ray Diffraction*. Addison-Wesley, New Jersey, 78-128.

101. Warren, B. E. (1969). *X-ray Diffraction*. Addison-Wesley, New Jersey, 54-98.

102. Warren, B. E. (1990). *X-ray Diffraction*. Dover Publications, Mineola, New York, 17-73.

103. Guinier, A. (1963). *X-ray Diffraction in Crystals, Imperfect Crystals, and Amorphous Bodies*. W.H. Freeman, New York, 36-55.

104. Patterson, A. L. (1939). The Scherrer formula for X-ray particle size determination. *Physical Review*, 56(10), 978.

105. Scherrer, P. (1918). Bestimmung der inneren Struktur und der Größe von Kolloidteilchen mittels Röntgenstrahlen. *Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, 98-100.

106. Suryanarayana, C. and Norton, M. G. (1998). *X-Ray Diffraction: A Practical Approach*. Springer Science+Business Media, New York, 28-196.



Gazili olmak ayrıcalıktır