



T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü



**NWA 6212 METEORİTİNDEKİ İNORGANİK VE
ORGANİK MATERYALLERİN TİTREŞİMSEL
SPEKTROSKOPİ, MİKROSKOPİ VE
KRİSTALOGRAFİ TEKNİKLERİYLE
BELİRLENMESİ: ASTROBİYOLOJİK BİR
YAKLAŞIM**

Yüksek Lisans Tezi

Raziye Ceren ERTATIŞ

Biyoteknoloji

İzmir
2023

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

**NWA 6212 METEORİTİNDEKİ İNORGANİK VE
ORGANİK MATERYALLERİN TİTREŞİMSEL
SPEKTROSKOPİ, MİKROSKOPİ VE
KRİSTALOGRAFİ TEKNİKLERİYLE
BELİRLENMESİ: ASTROBİYOLOJİK BİR
YAKLAŞIM**

Raziye Ceren ERTATIŞ

Danışman : Doç. Dr. Ozan ÜNSALAN

Biyoteknoloji Anabilim Dalı
Biyoteknoloji Yüksek Lisans Programı

İzmir
2023

Raziye Ceren ERTATIŞ tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “NWA 6212 Meteoritindeki İnorganik Ve Organik Materyallerin Titreşimsel Spektroskopi, Mikroskopi Ve Kristalografi Teknikleriyle Belirlenmesi: Astrobiyolojik Bir Yaklaşım” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 18.08.2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı :

.....

Raportör Üye :

.....

Üye :

.....

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “NWA 6212 Meteoritindeki İnorganik Ve Organik Materyallerin Titreşimsel Spektroskopi, Mikroskopi Ve Kristalografi Teknikleriyle Belirlenmesi: Astrobiyolojik Bir Yaklaşım” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

18/08/2023

Raziye Ceren ERTATIŞ



ÖZET**NWA 6212 METEORİTİNDEKİ İNORGANİK VE ORGANİK
MATERYALLERİN TİTREŞİMSSEL SPEKTROSKOPİ,
MİKROSKOPİ VE KRİSTALOGRAFİ TEKNİKLERİYLE
BELİRLENMESİ: ASTROBİYOLOJİK BİR YAKLAŞIM**

ERTATIŞ, Raziye Ceren

Yüksek Lisans Tezi, Biyoteknoloji Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ozan ÜNSALAN

Ağustos 2023, 87 sayfa

NWA 6212 meteoritinin incelenmesinin amaçlandığı bu yüksek lisans tezinde, FTIR, Raman spektroskopisi, XRD ve SEM-EDS yöntemleri kullanılmıştır. LL grubu meteoritlerin olivin, feldspar, troilit, demir oksit ve piroksen içerdikleri bilinmektedir. Toz ve parça olarak incelenen NWA 6212 meteoritinde olivin grubuna ait forsterit minerali ve piroksen grubuna ait olan ferrosilit minerali bulunduğu tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak XRD incelemesi sonunda troilit, daubreelit, mackinawit, magnetit, tschernichit ve pentlandit minerallerinin bulunduğu görülmüştür. Meteoritin içerdiği elementler ise SEM-EDS analizi ile ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar sözcükler: NWA 6212, LL kondrit, LL3 meteorit, LL4 meteorit, Kırmızıaltı Spektroskopisi, Raman Spektroskopisi, Taramalı Elektron Mikroskopisi, SEM-EDS, XRD

ABSTRACT

DETERMINATION OF INORGANIC AND ORGANIC MATERIALS IN NWA 6212 METEORITE BY VIBRATIONAL SPECTROSCOPIC, MICROSCOPIC AND CRYSTALLOGRAPHIC TECHNIQUES: AN ASTROBIOLOGIC APPROACH

ERTATIŞ, Raziye Ceren

MSc in Biotechnology

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ozan ÜNSALAN

August 2023, 87 pages

In this master thesis, FTIR, Raman spectroscopy, XRD and SEM-EDS methods were used to investigate the NWA 6212 meteorite. LL group meteorites are known to contain olivine, feldspar, troilite, iron oxide and pyroxene. NWA 6212 meteorite, which was analyzed as powder and fragments, was found to contain forsterite mineral which belong to the olivine group and ferrosilite mineral which belongs to the pyroxene group. In addition to these findings, XRD analysis revealed the presence of troilite, daubreelite, mackinawite, magnetite, tschernichite and pentlandite minerals. The elements contained in the meteorite were determined by SEM-EDS analysis.

Keywords: NWA 6212, LL chondrite, LL3 meteorite, LL4 meteorite, Infrared Spectroscopy, Raman Spectroscopy, Scanning Electron Microscopy, SEM-EDS, XRD



ÖNSÖZ

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birçok alanda ilerlemelerin önü gün geçtikçe açılmaktadır. Dünya dışı nesne ve canlıların varlığının olması konusuna olan ilgi geçmişte var olduğu gibi günümüzde de varlığını sürdürmektedir. Bu yüzden yaşadığımız gezegen dışındaki gezegenler ve yıldızlar hakkında inceleme yapmak ve bilgi sahibi olmak her zaman talep gören, dikkat çeken ve desteklenen proje ve araştırma konularından biri olmuştur. Yeryüzüne düşen bir meteoritin bir zamanlar hangi ana gövdeden geldiği, oradan kopmasına hangi olay veya olayların sebep olduğu, kopmadan önce ya da sonra yaşadığı süreç hakkında bilgi sahibi olmaya imkân sağlamaktadır. Dünya dışındaki bir gezegende hayat olabileceğine dair kanıt arama yolunda, bu yüksek lisans tezindeki meteoritin incelenmesi sonucunda elde edilebilecek olan bu tür veriler ve bu verilerin yorumlanmasıyla başta uzay bilimleri olmak üzere bütün bilim dünyasına yapılacak katkı her araştırma konusunda olduğu gibi bana heyecan vermektedir. Bilimin ışığının açtığı yolda her zaman desteklenmek ve ilerlemek umuduyla.

İZMİR

Raziye Ceren ERTATIŞ

18/08/2023



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
İÇ KAPAK	iii
KABUL ONAY SAYFASI	v
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI.....	vii
ÖZET	ix
ABSTRACT	xi
ÖNSÖZ	xiii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	xv
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxi
1.GİRİŞ.....	1
2.METEORİTLERİN SINIFLANDIRILMASI	5
2.1 LL3 Sınıfı.....	7
2.2 LL4 Sınıfı.....	8
3.GEREÇ VE YÖNTEMLER	9
3.1 NWA 6212 METEORİTİNİN GENEL YAPISI	9
3.2 KIRMIZI ALTI SPEKTROSKOPİ	12

İÇİNDEKİLER (devam)Sayfa

3.3 RAMAN SPEKTROSKOPİ	15
3.4 TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOPİ – ELEKTRON DİSPERSİYF SPEKTROSKOPİSİ.....	17
3.5 X-IŞINI KİRİNİMİ YÖNTEMİ.....	18
4. SONUÇ VE TARTIŞMA	21
4.1 IR SONUÇLARI.....	21
4.2 RAMAN SONUÇLARI.....	24
4.3 SEM-EDS SONUÇLARI.....	29
4.4 X-IŞINI KİRİNİMİ SONUÇLARI	43
4.5 TARTIŞMA	46
KAYNAKLAR DİZİNİ	51
TEŞEKKÜR.....	61
ÖZGEÇMİŞ	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Yıldızlarda ilerleyen nükleosentetik bölge.....	2
1.2. Asteroit, meteorit, meteor ve meteorit arasındaki fark.....	4
2.1. Meteoritlerin sınıflandırılması.....	6
3.1. NWA 6212 meteoriti	10
3.2. NWA 6212 meteoritinin iç yüzeyi	11
3.3. NWA 6212 meteoritinin dış yüzeyi.....	12
3.4. Dağılımlı kırmızıaltı spektrometrenin şematik gösterimi.....	13
3.5. FTIR spektrometrenin şematik gösterimi.....	14
3.6. ATR-FTIR yöntemi	14
3.7. Stokes, Rayleigh ve Anti-Stokes saçılmalarına ait enerji diyagramları ..	15
3.8. Raman spektrometresinin şematik gösterimi.....	16
3.9. Taramalı elektron mikroskobu ve EDS bileşenleri şeması.....	18
3.10. Bragg yasasına göre kırınım	19
3.11. X-Işını kırınım yöntemi şeması	20
4.1. NWA 6212 toz örneğinin ATR kristaline koyulması.....	21
4.2. NWA 6212'ye ait elde edilen 3 IR spektrumun ortalama grafiği.....	22

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

4.3	NWA 6212'ye ve forsterit mineraline ait IR spektrumlarının karşılaştırılması	21
4.4	NWA 6212 meteoritine ait örneğin Raman spektrofotometresinde incelenen parçası	24
4.5	NWA 6212 örneğinin cihaza yerleştirilmesi	25
4.6	NWA 6212 örneğinde belirli noktalardan çekilen spektrumlar	26
4.7	Spektrumu çekilen noktaların mikroskop görüntüleri	26
4.8	Matriks spektrumunun fayalit ve forsterit mineralleri spektrumlarıyla karşılaştırılması	27
4.9	Haritalama yöntemi ile elde edilen ortalama spektrum	28
4.10	Haritalama yönteminde elde edilen spektrumun ferrosilit ve enstatit mineralleriyle karşılaştırılması	29
4.11	NWA 6212 meteoritine ait parça kesim işlemi uygulanırken.....	30
4.12	NWA 6212 meteoritine ait yapılan ince kesit.....	30
4.13	SEM-EDS görüntülemesi için kullanılan Thermo Scientific Apreo S SEM cihazı	31
4.14	NWA 6212 meteoritine ait yapılan ince kesitin SEM numune haznesindeki görüntüsü	31
4.15	İncelenen ilk bölgenin görüntüsü.....	32
4.16	İlk bölgenin EDS spektrumu (A), mikroskop görüntüsü (B) ve kütlece yüzdelik dağılımları (C).....	33

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

4.17	İncelenen ikinci bölgenin SEM görüntüsü	34
4.18	İncelenen ikinci bölgenin EDS spektrumu (A), mikroskop altında görüntüsü (B) ve bulunan elementlerin kütlece yüzdeleri (C)	34
4.19	İkinci bölgedeki incelenen farklı noktanın EDS spektrumu (A), görüntüsü (B) ve örnekte kütlece bulunma yüzdesi (C).....	35
4.20	İncelenen bir diğer farklı noktanın EDS spektrumu (A), görüntüsü (B) ve kütlece bulunma tablosu (C).....	36
4.21	İncelenen farklı bir noktanın EDS spektrumu (A), mikroskop görüntüsü (B) ve örneğin içinde elementlerin kütlece bulunma yüzdeleri (C)	37
4.22	İncelenen farklı noktanın EDS spektrumu (A), görüntüsü (B) ve o noktada bulunan elementlerin kütlece yüzdeleri (C)	38
4.23	Haritalama yöntemi ile incelenen bölgenin görüntüsü.....	39
4.24	Haritalama yöntemi sonucunda bulunan elementlere göre o bölgenin renklendirilmiş görüntüsü.....	40
4.25	Haritalama yönteminde bulunan elementlerin yüzdece dağılım grafiği..	41
4.26	Haritalama yöntemiyle bulunan elementlerin buldukları noktalar	42
4.27	XRD analizi için kullanılan NWA 6212 meteoritine ait örnek	43
4.28	Diske yerleştirilen toz numune	43
4.29	Cihaza yerleştirilen toz örnek	44
4.30	NWA 6212 meteoritine ait spektrum	44
4.31	NWA 6212 meteoritinin yüzdece mineral dağılımı	45

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

4.32	NWA 6212 meteoritinin yüzdece element dağılımı	45
------	--	----



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
μm	Mikrometre
m	Metre
g	Gram
cm	Santimetre
λ	Dalgaboyu
$n \lambda$	Alınan yol farkı
d	Düzlemler arası uzaklık
θ	Kırınım açısı
nm	Nanometre
mm	Milimetre
kV	Kilo Volt
mA	Miliamper
<u>Kısaltmalar</u>	
NWA	Northwest Africa
H	Yüksek demir
L	Düşük demir
LL	Düşük demir düşük metal

CI	Ivuna-tipi karbonlu kondrit
CM	Mighei-tipi karbonlu kondrit
CO	Ornans-tipi karbonlu kondrit
CV	Vigarano-tipi karbonlu kondrit
CK	Karoonda-tipi karbonlu kondrit
CR	Renazzo-tipi karbonlu kondrit
CH	Yüksek metal-tipi karbonlu kondrit
CB	Bencubbin-tipi karbonlu kondrit
EH	Yüksek demirli enstatit kondrit
EL	Düşük demirli enstatit kondrit
IR	Infrared (kırmızıaltı)
FTIR	Fourier Transform Infrared
ATR	Azaltılmış Toplam Yansıma
CCD	Yük Bağlaşımli Cihaz
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	Elektron Dispersif Spektroskopi
XRD	X-Işını Kırınımı
MATAL	Merkezi Araştırma Test ve Analiz Laboratuvarları Uygulama ve Araştırma Merkezi

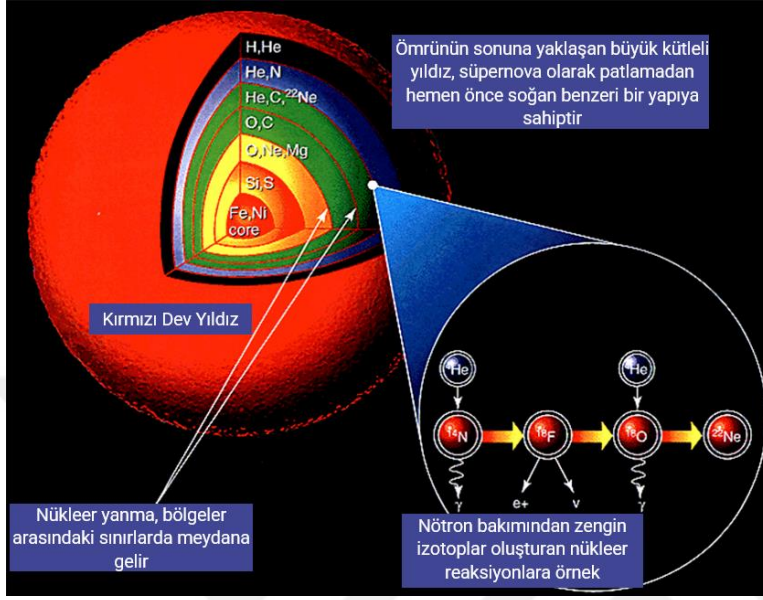


1. GİRİŞ

Evrendeki bütün kimyasal elementler, proton ve nötronların yani nükleonların çıkarılması ya da eklenmesini içine alan nükleosentetik süreçler sayesinde oluşmuştur. Evrende bulunan elementlerin ilk sentezinin ise Büyük Patlama nükleosentezi sırasında olduğu bilinmektedir ve bu sentez sırasında bugün evrende bulunan helyum ve hidrojenin büyük bir kısmı üretilmiştir (Cyburt et al., 2016). Helyum ve lityumdan daha ağır elementlerin oluşumu için öncelikle evrenin sahip olduğu yüksek sıcaklık ve yoğunluğundan kaynaklanan füzyon tepkimeleri meydana gelmiştir (Thorne, 1967). Kendilerinden daha ağır bir atom çekirdeği oluşturmak için, belirli koşullarda iki veya daha fazla atom çekirdeğinin tepkimeye girmesi nükleer füzyon olarak adlandırılır (Jones, 2020). Ancak, füzyon sırasında salınan enerjiden dolayı, oluşan yeni çekirdeğin kütlesi tepkimeye giren çekirdeklerin kütlesinden az bir kütleye sahip olmaktadır. Arka arkaya füzyon tepkimelerinin gerçekleşmesi ile de daha ağır elementlerin olduğu bilinmektedir. Yıldızların oluşmasıyla birlikte, bir ya da birden çok yıldızda gerçekleşen nükleer yanma tepkimeleri, demir ve nikel gibi ağır ve enerjili olan izotoplar oluşturmuştur (Jones, 2020). Bu tepkimelerde oluşan enerji yıldızların sürekliliğini devam ettirmek için gerekli olan enerjidir. Yıldızların içinde yer alan nükleosentetik bölge, sıcaklık arttıkça çekirdekten itibaren dış yüzeye doğru harekete başlar. Her bölgede artan sıcaklık, giderek daha da ağır elementlerin sentezlenmesini sağlar. Sıcaklık farkından dolayı ise, yıldızın içinde Şekil 1.1'deki gibi farklı nükleer yanma kabukları oluşturur (Domagal-Goldman et al., 2016).

Büyük Patlama nükleosentezinin sonucunda oluşan elementler yıldızlar tarafından daha ağır elementler olan oksijen, magnezyum, silikon ve demire dönüştürülmüştür ve böylece yaşam ve gezegenlerin oluşumu için gerekli olan elementlerin üretimi sağlanmıştır. Enerji salınımı ile gerçekleşen yani ekzotermik füzyon tepkimeleri, yıldız çekirdeğinde demir sentezlenene kadar devam etmiştir. Yıldızların merkezinde olan bu ekzotermik nükleer füzyon reaksiyonları ile demirden daha büyük kütleye sahip olan izotoplar üretilememiştir. Bunun için enerji gerektiren yani endotermik reaksiyonlara gereksinim vardır. Dolayısıyla, yıldızlarda oluşabilecek en ağır element demirdir. Bir yıldız çekirdeğinde demir

oluşumu sonrası füzyon tepkimeleri son bulur. Bu reaksiyonların durması ise yıldızların ölümüne yol açar (Domagal-Goldman et al., 2016).



Şekil 1.1 Yıldızlarda ilerleyen nükleosentetik bölge (Domagal-Goldman et al., 2016).

Güneş'in yaklaşık 4,5 milyar yıl önce toz ve gaz bulutlarının kütle çekim etkisiyle çökerek oluştuğu öngörülmektedir (Bouvier and Wadhwa, 2010). Oluşum sürecinde ilk olarak güneş öncesi bulutsu olarak adlandırılan çöken parçalardan biri oluşmuştur (Rawal, 1986). İçerisinde kütlelerinin %2'sini oluşturan, daha önceki yıldızlarda nükleosenteziyle oluşan ağır elementler ile kütlelerinin %98'ini oluşturan Büyük Patlama nükleosentezinde üretilen lityum da dahil olmak üzere hidrojen ve helyum bulunan (Zeilik and Gregory, 1998) bu bulutsunun içeriye doğru çökmesiyle kendi etrafında dönen gezegen öncesi disk adı verilen ve tüm elementlerin karışımını içeren bir toz ve gaz diski oluşmuştur (Michel, 2014). Merkezde toplanan ve çöken kütlelerin çoğu öncelikle sıcak ve yoğun olan bir ön yıldız oluşturmuş, hidrojenin basıncı ve yoğunluğu ise ön yıldızda nükleer füzyona yeterli miktara gelince Güneş'in son halini oluşturmuştur (Chrysostomou and Lucas, 2005). Gazlar ve tozlardan oluşan geriye kalan kütle ise daha sonra gezegenleri, asteroitleri ve diğer gök cisimlerini oluşturmuşlardır. Bu süreç, gezegenlerin oluşumu için kabul edilen en yaygın teori olan Çekirdek Akresyonu modeline aittir (Matsuo et al., 2007).

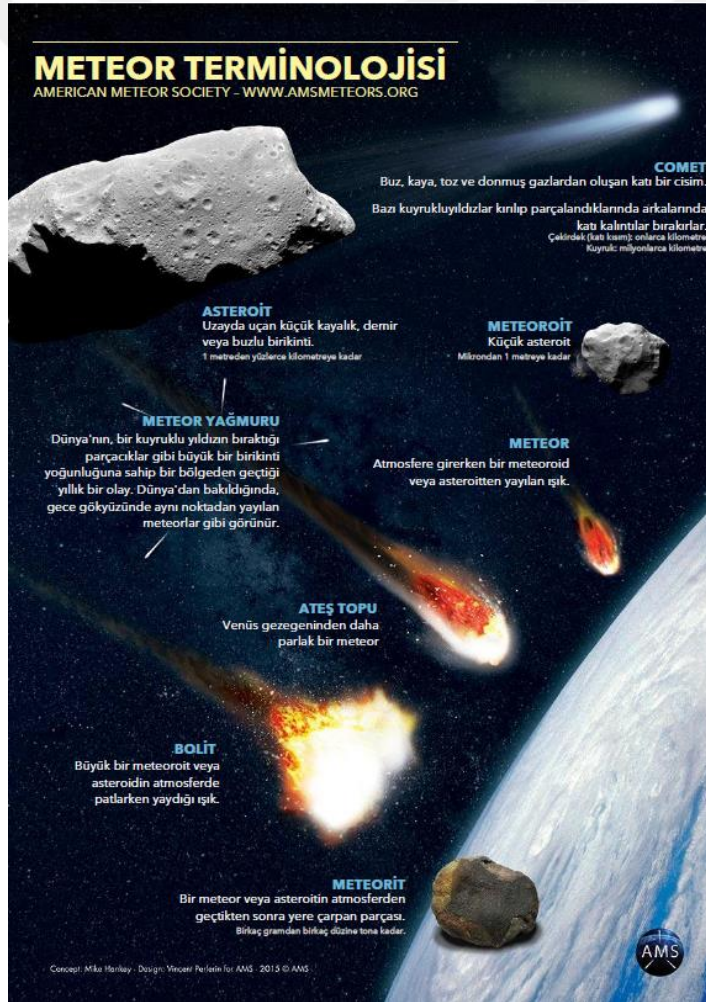
Güneş Sisteminin oluşumundan geriye kalan diskten, gezegen oluşturmayan, gezegen olacak kadar büyüemeyen ve gezegen oluşturan materyaller ile birleşemeyen cisimler asteroit olarak adlandırılır. Özellikle Mars ve Jüpiter'in yörüngeleri arasında kalan cisimler, asteroitlerinin çoğunun bulunduğu ana asteroit kuşağını oluşturmuşlardır (Bottkejr et al., 2005; Michel, 2014). Asteroitler Güneş etrafında dönen ve 10 metreden büyük çapa sahip olabilen, atmosferi olmayan kayalık veya metalik gök cisimleri olarak tanımlanmıştır (Asphaug, 2009). Asteroitlerin içerikleri, Güneş'ten ne kadar uzaklıkta oluştuklarına bağlı olarak değişmektedir. Asteroitler genel olarak C, M ve S tipi olmak üzere üç türe ayrılırlar. C tipi, asteroitler arasında en yaygın olanıdır ve adını karbon içeriğinden dolayı alır. S tipleri ise silikat ve demir-nikel içerdikleri için taşı adını almışlardır. M tipleri ise metal içerdikleri için bu ismi almışlardır. Ana asteroit kuşağında bulunan (1) Ceres ve (4) Vesta en büyük asteroitlerdendir (NASA Planetary Science Communication Team, 2021).

Meteoritler ise asteroitlerden daha küçük gök cisimleri olarak tanımlanırlar ve boyutları 10 µm ile 1 m arasında değişmektedir (Rubin and Grossman, 2010) Çoğunlukla asteroit kuşağında bulunan ve güneş yörüngesinde dönen asteroitlerin çarpışması sonucu oluşurlar. Meteoritlerin oluşumunda rol oynayan bir diğer süreç ise kuyruklu yıldızların güneş etrafında dönerken uzayda bıraktığı kalıntılardır. Meteoritlerin çok azını ise Ay ve Mars'tan kopan parçalar oluşturmaktadır. Silikat yani silikon ve oksijen ve ağır metallere olan nikel-demir içeren meteoritler daha yoğun bir yapıya sahipken, meteoritlerin diğer bir çeşidi olan taşı meteoritler ise daha hafif bir yapıya sahiptir (Evers, 2022).

Meteorlar ise yüksek hızda atmosfere girdiği için sürtünme kuvvetinden dolayı aşınan ve yanan göktaşlarıdır. Bu yanma esnasında gökyüzünde genellikle renkli izler bırakırlar. Meteoritten kopan parçaların hava molekülleriyle etkileşmesi sonucu o meteorun gökyüzünde bıraktığı izin rengi belirlenmiş olmaktadır. Genellikle kırmızı, beyaz ya da yeşil renkte olabilen bu izler, meteorun kimyasal yapısı hakkında bilgi verici bir özelliğe sahiptir. Örnek olarak, ardında

sarı renkte izler bırakan bir meteorda demirin, mavi-yeşil renkler bakırın, kırmızımsı renkler ise silikatın varlığını göstermektedir.

Atmosfere giren meteoroitler çoğu zaman sürtünmeden kaynaklı aşınır ve yanarlar. Ancak yeterli büyüklüğe sahip meteoroitler tamamen yanamaz ve dünya yüzeyine düşerler. Dünyada suya ya da karaya düşen meteoroitler, meteorit olarak adlandırılır. Meteoritlerin incelenmesi ile, meteoritlerin içerikleri ve koptukları ana (kaynak) gövde hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir (Koten et al., 2004). Asteroit, meteoroid ve meteor arasındaki fark Şekil 1.2’de gösterilmiştir.

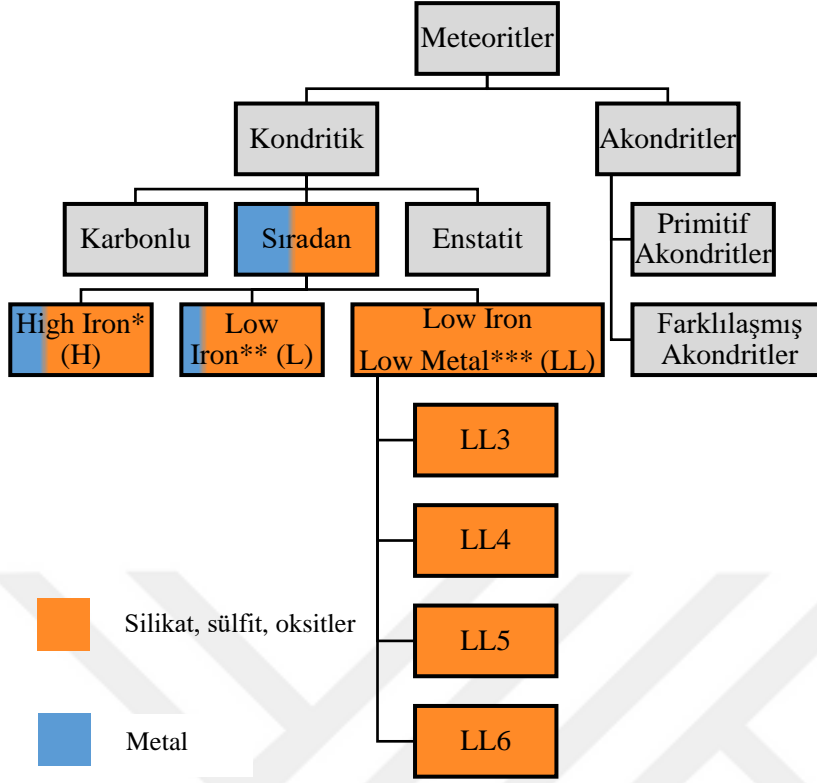


Şekil 1.2 Asteroit, meteoroit, meteor ve meteorit arasındaki fark (American Meteor Society, 2023).

2. METEORİTLERİN SINIFLANDIRILMASI

Meteoritler genel olarak adlarını buldukları veya düştükleri yerlerden almakla beraber buldukları yerde bir postane olması gereklidir. Bir postane yoksa en yakındaki postanenin olduğu yerin adını almaktadır. Aynı yerlerde birden fazla meteorit bulunduğunda ise, meteoritler en az 3 en fazla 6 haneli olmak üzere numaralandırılırlar. Bunlara örnek olarak bir Antarktika meteoriti olan Allan Hills A76001 ve Northwest Africa (NWA) 6212 meteoriti verilebilir. Günümüzde meteorit örneklerin sayısının fazla olması sebebiyle basit bir ayırım yerine daha detaylı bir sınıflandırma gerekmektedir. İçerikleri ve dokularına göre göktaşları iki ana kategoriye ayrılır; kondritler ve akondrit göktaşları (Şekil 2.1). Buna ek olarak, oksijen izotoplarına, kimyalarına ve mineralojilerine bağlı olarak detaylı gruplara ayrılmıştır. Bu şekilde yapılan sınıflandırmanın amacı ise benzer kökten yani aynı ana kayadan ya da gezegenden gelmesi muhtemel olan göktaşlarını saptamak ve varsa aralarında bulunan bağlantıları ortaya çıkarmaktır (Krot et al., 2014).

Akondritik göktaşları, kondritlerde bulunan bileşiklerin büyük kısmını içermeyen göktaşlarıdır. Primitif akondritler ve farklılaşmış akondritler olarak iki kategoriye ayrılırlar ancak iki kategoriyi ayıran kesin bir sınır yoktur. Primitif akondritlerde kondrül yapısı gözlenmemekle birlikte büyük ölçüde bir değişime uğramamış meteoritlerdir. Akapulkoitler-Lodranitler ve Winonaitler-IAB-IIICD meteoritlerinin oluşturduğu iki alt gruba sahiptir. Oksijen izotopları benzer olduğu için aynı grupta incelenmektedirler.



Şekil 2.1 Meteoritlerin sınıflandırılması (*Yüksek demir **Düşük demir *** Düşük demir ve düşük metal).

Farklılaşmış akondritlerde ise kondrül yapısı görülmez. Bu meteoritleri primitif meteoritlerden ayrılan özellikleri farklılaşmalarıdır. İlk oluşum sırasında magmanın ana gövdeden dışarı atılması sonucu ya da daha sonra ana gövdeden ayrılması sonucu oluşmuş olabilen meteoritlerdir. Farklılaşmış meteoritler, içerdikleri demir ve nikel bolluğuna bağlı demirli, taşlı akondrit ve taşlı demirli olarak üç türe ayrılırlar. Türlerin her biri birkaç göktaşı grubu ve gruplanmamış üyeler içermektedir (Scott et al., 2014).

Kondritler içerdikleri kondrül yapılarına göre karbonlu, sıradan ve enstatit olmak üzere üç ana sınıfta incelenmektedirler. Kondritler adlarını içerdikleri kondrül adı verilen parçacıklardan alırlar. Bu parçacıklar çoğunlukla uzayda serbest olan nesnelere erimiş gibi görünen silikat minerallerinden oluşmaktadır. Karbonlu kondritler, içerisinde karbon bulunduran meteoritlerdir. CI, CM, CO, CV,

CK, CR, CH ve CB olmak üzere sekiz grubu vardır. Baş harfi yapısındaki karbondan, diğer harfler ise o grubun örneğini oluşturan meteoritlerden gelmektedir. Enstatitler adını demirsiz ortopiroksenlerden yani enstatitlerden almaktadır. EH ve EL olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadırlar. İki grup arasındaki fark, içeriklerindeki toplam demir oranından ya da metal sülfid bileşiklerinden kaynaklanmaktadır. EL grubu yaklaşık olarak %25, EH grubu ise %30 oranında demir içermektedir (Norton and Chitwood, 2008). Sıradan kondritler ise dünyada en yaygın bulunan meteorit grubu olup (Weisberg et al., 2006) toplam demir içeriğine göre LL, L ve H olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Toplam demir içeriği düşük olanlar L (low), yüksek olanlar H (high), düşük demir ve metalik demir içerikli olanlar ise LL olarak isimlendirilirler (Krot et al., 2005). İçerdikleri demirin büyük bir kısmı ise silikatlarda bulunan demir oksitlerden (FeO) gelmektedir. Piroksen grubunda bulunan hipersten ve olivin ise LL grubunda en çok bulunan minerallerdir. Bunun dışında, feldspar, kromit, fosfat ve troilit, bulunabilen diğer minerallerdir. Üç ayrı alt grubu olmasına rağmen hepsi benzer içeriklere sahiptir (Scott et al., 2014). LL kondritlerin geçirdiği termal metamorfizmalarının incelendiği araştırmada bu metamorfizmaların yani yeniden kristalleşmiş kondritlerin oluşabilmesi için gerekli olan ısının darbe nedeniyle oluşmasının en olası olduğu tespit edilmiştir (Friedrich et al., 2014).

2.1. LL3 Sınıfı

Düşük metal ve düşük demir (LL) ve büyük kondrüller içeren ve sıradan kondritlerin alt grubu olan LL3 sınıfı, petrolojik tür olarak 3. türden olanları ifade etmektedir. LL3 türünde onaylanmış 455 meteorit bulunmaktadır (The Meteoritical Society, 2023a). Petrolojik sınıflandırma ise 1967 yılında Van Schmus ve Wood tarafından, kondritlerde meydana gelen termal ve sulu değişikliklere göre yapılmaktadır (Krot et al., 2014). Bu sınıflandırma 1'den 6'ya kadar olmak üzere 6 petrolojik tür içermektedir. 3.türe ait olan kondritler bu değişimlerden en az etkilenen ve en az değişim geçiren tür olarak bilinmektedir. Bir diğer deyişle, 3. tür kondritler, mineral bakımından meteoritin koptuğu ana gövdeye en benzer

olanlarıdır (McSween, 1979; Scott et al., 2014). Büyük ve bol miktarda kondrül ve dağınık şekilde mineral içermektedirler (The Meteoritical Society, 2023b).

2.2. LL4 Sınıfı

LL grubu sıradan kondritlerin bir diğer alt grubu olan ve 4. petrolojik tür olan LL4 sınıfında toplam 389 meteorit bulunmaktadır. Dengesiz ve güçlü bir şekilde dengelenmiş kondritler arasındaki geçişi oluşturan türdür (Lehtovuori, 2023). Bol miktarda kondrül içermenin (The Meteoritical Society, 2023c) yanı sıra 4. petrolojik türün farkları arasında belirgin olarak şekillendirilmiş magmatik cam bulunması ve belirgin şekilde yeniden kristalleşmiş kondrüllere sahip olma bulunmaktadır. Ortopiroksenden daha fazla klinoproksen içerirler ve karbon sayıları düşüktür (Van Schmus et al., 1967).

En iyi genomikte sahip yani klastlarının aynı gruba ait olduğu breş (Krot et al., 2005) olarak adlandırılan Greenwell Springs göktaşı LL4 türü meteoritlere bir örnektir (Byerly et al., 1988). Buna ek olarak bu çalışmada meteoritin değişken bir matrikse sahip olduğu, kondrüllerin matriksinin çok ince taneli ve olivin ve bronzitten oluştuğu tespit edilmiştir. Bu iki minerale az miktarda fosfat, feldspar, krom ve ilmenitin eşlik ettiği gözlemlenmiştir.

3. GEREÇ VE YÖNTEMLER

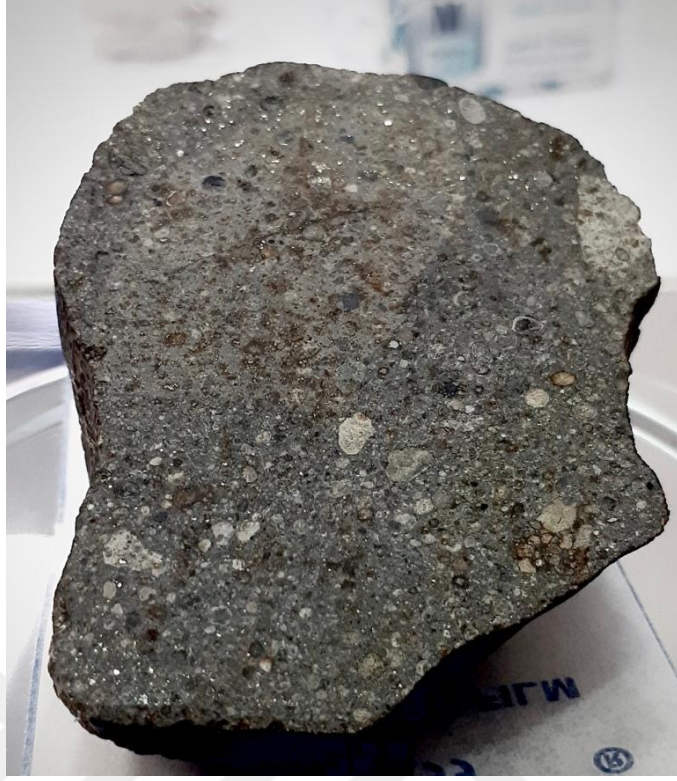
3.1. NWA 6212 Meteoritinin Genel Yapısı

NWA 6212, Kuzeybatı Afrika'da Şubat 2008'de 375 g ve tek parça olarak bulunan bir meteorittir. Bu tezde kullanılan NWA 6212 ise Şekil 3.1'de görüldüğü gibi tek parça ve 152.83 g'lık bir parçadır. Örneğin düz olan iç yüzey tarafı ise ortalama 0.44 cm çapa sahip noktalardan oluşan benekli bir yapıya sahiptir. Şekil 3.2'de açıkça görüldüğü gibi örneğin sağ ve sol tarafında sırasıyla yaklaşık 5.8 ve 1.3 cm çapında olmak üzere, örneğin kalan yüzeyinden daha açık renkli bölgeler mevcuttur. Bunlara ek olarak örneğin üst ve alt kısmında yoğunlaşmakla birlikte bütün yüzeye yayılmış olan parlak noktalar vardır. Şekil 3.2'ye ait ölçümler ImageJ v. 1.54f kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.2 Apple iOS 15.3.1 yazılımı ile (Apple Support, 2023) düzenlenmiştir. Bu yazılım içerisinde görüntü özelliklerinden pozlama -15, parıldama -20, ışıklı alanlar +94, gölgeler -74, kontrast +29, parlaklık -1, siyah nokta +45, keskinlik +16, netlik +15 ve dıştan solma +15 ayarları kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 3.3'te görülmekte olan düz olmayan dış tarafı ise yanık dış kabuk ve düşmeden kaynaklı engebeli bir yüzeye (regmaglipt) sahiptir. Aşınan kısımlar açık, yanan ancak darbe almayan kısımlar ise koyu renkli bir görünüm sergilemektedir.

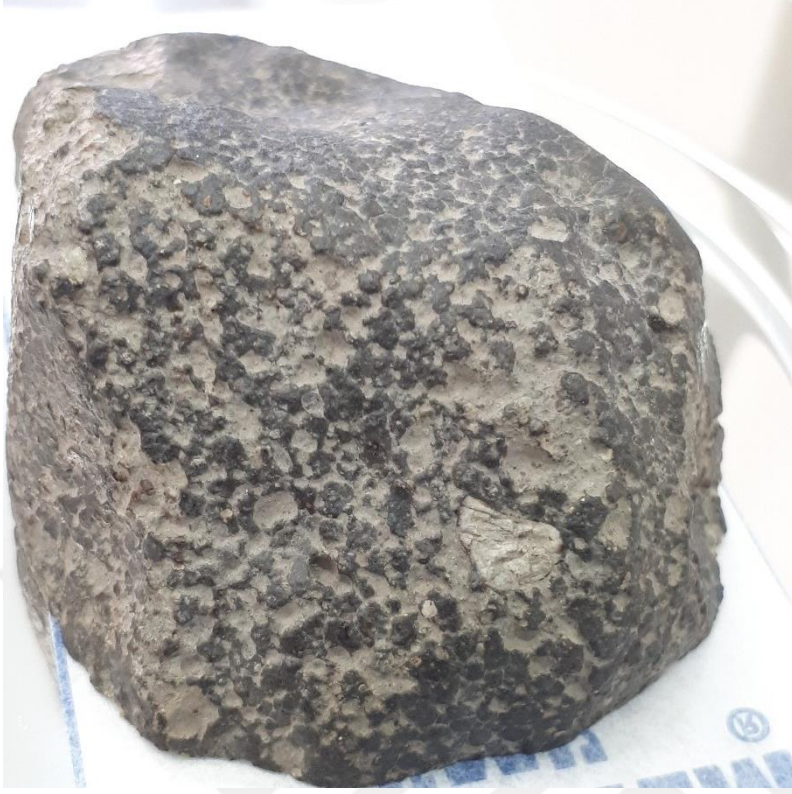
NWA 6212 meteoritinin Dr. Knut Metzler tarafından LL3-4 türü bir meteorit bir diğer deyişle 3. ve 4. petrolojik tür bileşenlerinden oluşan ve LL grubu sıradan bir kondrit olarak sınıflandırılması önerilmiştir (The Meteoritical Society, 2023d). LL3-4 grubunda, NWA 6212 (The Meteoritical Society, 2023d), NWA 2791 (The Meteoritical Society, 2023e), NWA 5756 (The Meteoritical Society, 2023f), ve NWA 13935 (The Meteoritical Society, 2023g) olmak üzere onaylanmış toplam 4 meteorit bulunmaktadır (The Meteoritical Society, 2023h).



Şekil 3.1 NWA 6212 meteoriti.



Şekil 3.2 NWA 6212 meteoritinin iç yüzeyi.



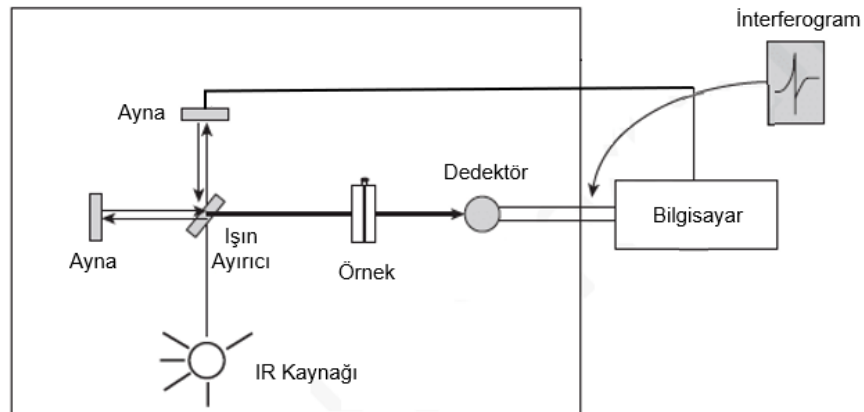
Şekil 3.3 NWA 6212 meteoritinin dış yüzeyi.

3.2. Kırmızıaltı Spektroskopi

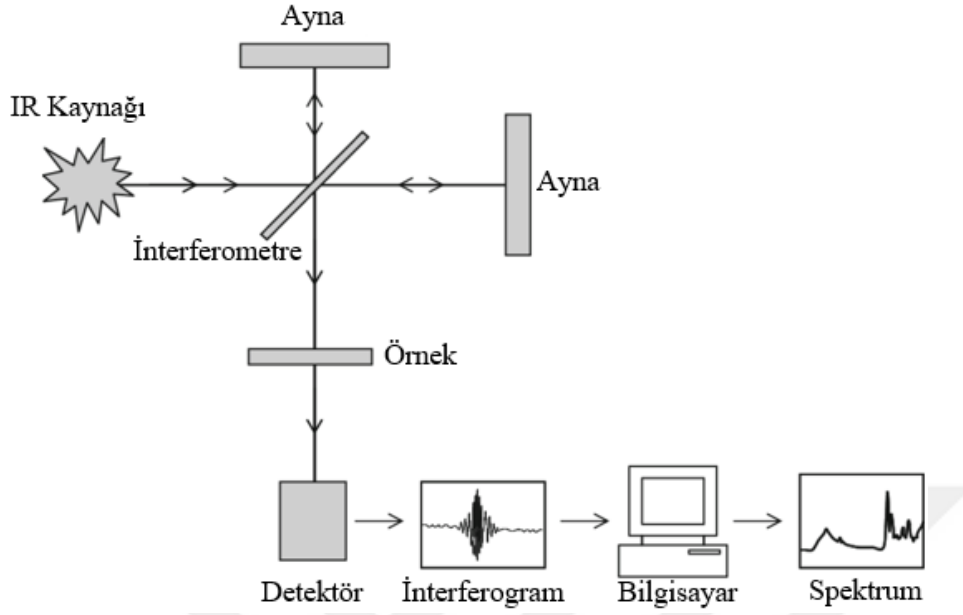
Kırmızıaltı (Infrared veya IR) spektroskopi, elektromanyetik spektrumda bulunan kırmızıaltı bölgedeki ışığın soğurulmasına dayalı bir tekniktir. Bu yöntem, örnek madde ile radyasyon arasında olan etkileşim sonucu örneğin moleküllerindeki kimyasal bağlar tarafından emilen radyasyonun ölçülmesi olarak tanımlanmaktadır (Ng and Simmons 1999). Bir molekülün, kendi moleküler eksenine boyunca o eksene göre değişen net bir dipol momenti olması sonucu IR spektrumunda gözükmelerini sağlamaktadır. Molekül atomlarının titreşim hareketi ile kırmızıaltı bölgede emilen radyasyon bantlarının belirlenmesi, örnekte bulunan moleküllerin analizlerinin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Bir diğer deyişle, örnekten geçirilen radyasyonun hangi enerji seviyesinde emildiği tespit edilerek incelenen molekül karakterize edilmektedir (Dufour, 2009). IR radyasyon kaynağı, detektör, yükseltici ve kayıt aracı spektrometrelerde bulunan temel bileşenlerdir.

Kullanılan kaynaklar arasında silisyum karbür (SiC) çubuk ve ısıtılmış olan Globar, Nerst Flaman, ısıtılmış Nikel-Krom (nikrom) teli ya da cıva lambası bulunmaktadır (Yıldız vd., 1997). Dedektörler ise IR radyasyonla etkileşime giren enerji akısının ölçümü için kullanılmaktadır (Rogalski, 2010). Termoelektrik, piroelektrik ve fotoiletken olmak üzere farklı çeşitleri mevcuttur. Gürültü varlığında yapılan hassas ve dar bantların ölçümlerinde kullanılan ve sinyali güçlendiren ise yükselticinin varlığından kaynaklanmaktadır. Sonuçların alınması için bilgisayarlar kayıt aracı olarak kullanılmaktadır.

IR spektrometreler, dağılımlı kırmızıaltı spektrometre ve Fourier dönüşüm kırmızıaltı spektrometre (FTIR) olarak iki türe ayrılmaktadır. Temel bileşenlere ek olarak dağılımlı spektrometrede enerji, monokromatör adı verilen, dalga boyu seçiminde kullanılan ve kırmızıaltı spektrumunu çeşitli frekanslara bölen bir bileşene yönlendirmektedir (Şekil 3.4). Ardından ışığın dalga boyları, algılanan frekansları seçen bir yarıktan detektöre doğru yönlendirilerek hareket etmesi sağlanmaktadır. FTIR'da ise kırmızıaltı ışığını iki ayrı ışına bölerek ışığın farklı yollar almasına sebep olan interferometre (girişimölçer) kullanılmaktadır. Ayrılan iki ışın ayırıcıda tekrar birleşir ve örnek üzerine gönderilmektedir (Şekil 3.5). İki ışının aldığı yol farkından dolayı, sonuçlar Fourier dönüşümü olarak adlandırılan matematiksel teknik kullanılarak oluşturulmaktadır (Larkin, 2017).

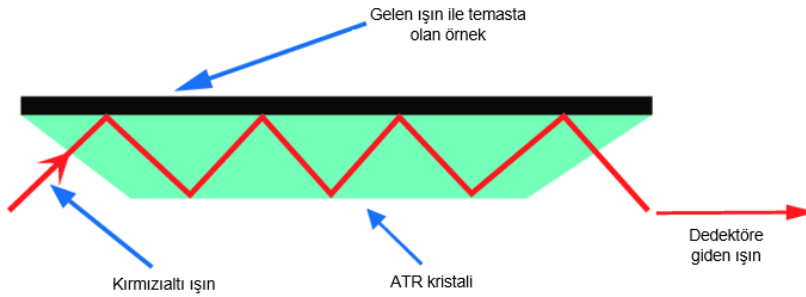


Şekil 3.4 Dağılımlı kırmızıaltı spektrometrenin şematik gösterimi (Theophile, 2012).



Şekil 3.5 FTIR spektrometrenin şematik gösterimi (Ojeda and Dittirich, 2012).

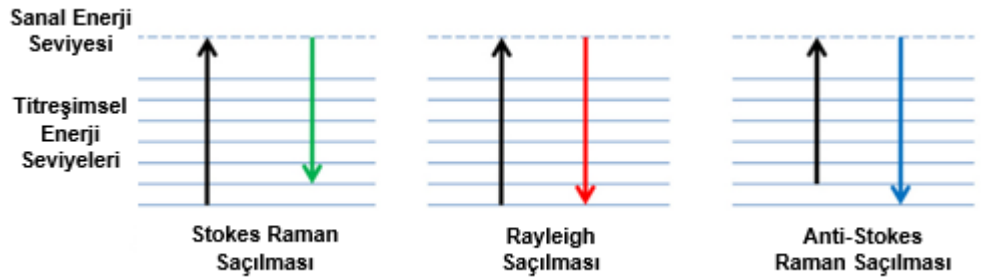
İnceleme sırasında kullanılabilen Azaltılmış Toplam Yansımaya (ATR) tekniği ile analiz edilemeyecek kalınlıkta ya da emicilikte olan örneklerle sıvı örneklerin analizi gerçekleştirilmektedir. Bir iç yansımaya elementi olan ve aynı zamanda yüksek kırılma indeksi ve kırmızı altı ışınım iletme özelliğine sahip olan bir kristal ile radyasyonun birkaç kez yansımalarını sağlayarak bu kristalden geçirilmekte ve detektör ile kristalden çıkan ışınlar toplanmaktadır (Larkin, 2017) (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 ATR-FTIR yöntemi (Uddin, 2018).

3.3. Raman Spektroskopisi

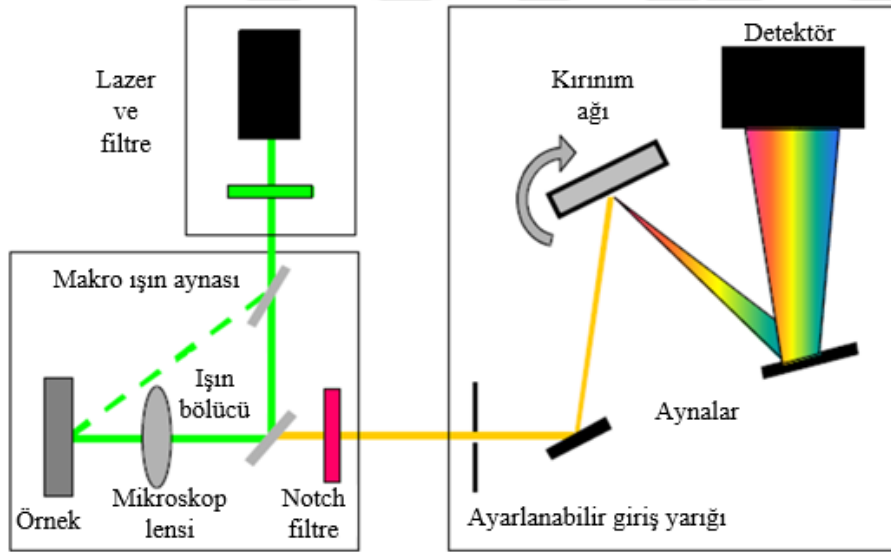
Kırmızıaltı spektroskopisi soğurma ilkesine dayanmaktayken bunun aksine Raman spektroskopisi temel olarak madde üzerine gelen lazer ışınının madde üzerinden farklı dalga boylarında saçılması ilkesine dayanmaktadır. Raman spektroskopisi bir örneğin güçlü bir monokromatik ışık kaynağı olan lazer ile etkileşmesi sonucu saçılan ışınların ölçümüyle gerçekleştirilmektedir. Bu süreçte ışık saçılması meydana gelmektedir. Bu ışık saçılması sırasında saçılan ışığın enerjisi ile, örnek ile etkileşim halinde olan ışığın enerjisinin aynı olması sebebiyle Rayleigh adı verilen saçılma gerçekleşmektedir. Işığın çok az bir kısmı farklı enerjiye sahip olan Raman saçılmasını gerçekleştirmektedir (Yıldız vd., 1997). Lazer ışığı, örnekte bulunan moleküllerdeki titreşimler ve fotonlarla etkileşip lazer fotonlarının sahip olduğu enerjinin seviyesini değiştirmesini sağlamaktadır. Örnek molekülü eğer saçılma sırasında fotondan enerji kazanırsa daha yüksek sanal bir titreşim seviyesine uyarılmış olabilmektedir. Böylece saçılan foton enerji kaybeder ve dalga boyu artar. Bu tür saçılma Stokes Raman saçılması adını almaktadır. Ancak eğer molekül daha düşük bir titreşim seviyesine geçerek enerji kaybederse, kaybedilen enerjiyi saçılan foton kazanır ve dalga boyu azalmaktadır (Şekil 3.7). Bu tür saçılmaya da Anti-Stokes Raman saçılması adı verilmektedir (Skoog et al., 2017; Smith and Dent, 2005).



Şekil 3.7. Stokes, Rayleigh ve Anti-Stokes saçılmalarına ait enerji diyagramları (Lupoi and Gjersing, 2015).

Raman spektrometresinde temelde lazer kaynağı, filtre, kırınım ızgarası (ağı), detektör ve bilgisayar olmak üzere beş parçadan oluşmaktadır (Şekil 3.8). Lazer

kaynağı örneği uyarmak için kullanılmaktadır. Raman saçılması sonucu oluşan ışınları toplamak, Rayleigh ve Anti-Stokes Raman saçılması sonucu oluşan ışınları ise filtrelemek için filtre kullanılmaktadır. Kırınım ağı ise, dalga boyuna göre kaydırılan Raman ışınlarını bükmek için gereklidir. Detektör, sinyalleri algılamakla ve bilgisayara iletmek için kullanılmaktadır (Yıldız vd., 1997). Teknolojik farklılıkları sebebiyle Raman spektrometreler, IR spektrometrelerinde olduğu gibi dağılımlı ve Fourier dönüşümlü olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Işık kaynağı olarak spektrometrelerde lazer kullanılmaktadır. Kullanılan lazerin küçük bir dalga boyuna sahip olması, Raman saçılımının daha güçlü olmasını sağlamaktadır. Temel bileşenlere ek olarak FT-Raman spektrometresinde ise FTIR spektrometresinde olduğu gibi interferometre kullanılmaktadır. Dağıtıcı Raman'da CCD (yük bağlaşımlı cihaz) tipi detektör kullanılırken, FT-Raman için genellikle germanyum ya da indiyum galyum arsenit (InGaAs) detektörleri kullanılmaktadır (McCreery., 2005).

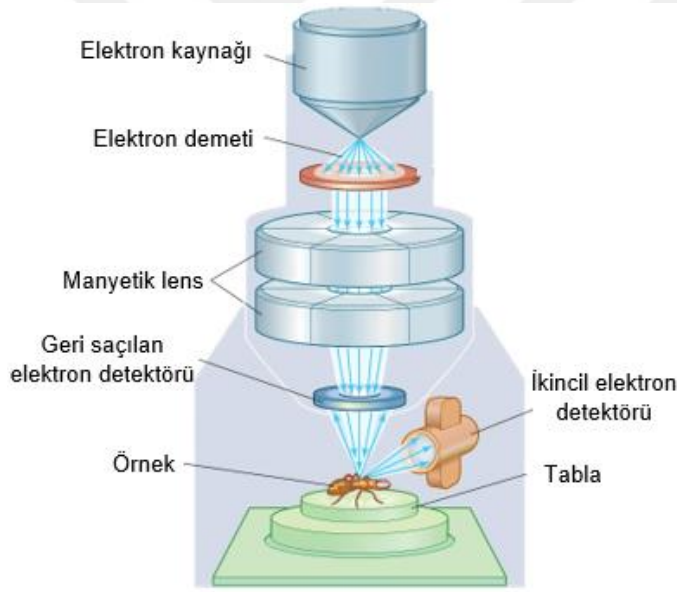


Şekil 3.8. Raman spektrometresinin şematik gösterimi (Bardina and Thirumalainambi, 2005).

3.4. Taramalı Elektron Mikroskopi – Enerji Dispersif X-Işınları Spektroskopisi

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) bir elektron demetinden çıkan elektronların, numuneye gönderilerek incelenecek yüzeyi taraması sonucu oluşan etkileşimlerden yararlanarak görüntü elde etme ilkesine dayanır. Elektronlar, örnekteki atomlar ile etkileşir ve sonucunda örneğin yüzeyi hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlayan sinyaller üretir (Zhou vd., 2006). Şekil 3.9’da görüldüğü gibi elektronların gönderimini sağlayan elektron kaynağı, elektromanyetik lensler, elektron detektörü, örneğin koyulduğu alan ve bilgisayar, taramalı elektron mikroskobunu temel parçalarıdır (Abd Mutalib et al., 2017). Görüntünün oluşması için, elektronlar ile örnek yüzeyinin arasında oluşan bu sinyaller toplanır ve incelenir. Bu mikroskop ile, incelenmek istenen örnek karbon veya ince bir altın veya paladyum iyonları ile kaplanır ve vakumlanır. Bu kaplamanın sebebi elektronların kaplamayla temas ettiğinde yüzeyden elektron koparılmasını sağlamaktır. Ardından elektron demeti örneğin üzerine gönderilir. Örneğin incelenen kısımlarında bulunan elektronların yoğunluğuna göre, o bölgelerden geçen elektronlar, daha az elektron bulunan bölgelerden geçerken kaybettikleri enerjiden daha fazlasını kaybederler. Elektron demetinin ışınının tarama mıknatısları ile örnek yüzeyini taramasının ardından, elektronlarla etkileşime giren örnek hücreleri, dışarıya ikincil bir elektron demeti yayar ve böylelikle o demet katot ışınları tüpüne doğru yönlendirilmiş olur. Elektronlarla etkileşime girmeyen, yani elastik saçılmaya uğrayan elektronlar ise geri saçılan elektronlar olarak adlandırılır. Genellikle örneğin daha derin bölgelerinden geri saçılan elektronların sinyalleri geri saçılım elektron detektörü tarafından toplanır. Bu detektörle elde edilen sinyaller örneğin manyetik alanı hakkında bilgi almak için kullanılmaktadır. Elektron mikroskobunda görüntünün oluşmasını sağlayan, örnek tarafından üretilmiş olan ikincil elektron demetlerinin yapmış oldukları açıdır. Detektörler tarafından toplanan sinyaller bir çoğaltıcı yardımıyla yükseltirilip ışık sinyaline dönüştürülmektedir (Mohammed and Abdullah, 2018; Vernon-Parry, 2000).

Enerji dispersif spektroskopi (EDS) ise, taramalı elektron mikroskobu ile kullanılır ve örneğin elementel analizini sağlamaktadır. Örnek, elektronlarla çarpışması sonucu, karakteristik olan X-ışınlarının oluşmasına sebep olur. X-ışınları, örnekte bulunan atomların çekirdeğinde bulunan atomu uyarır. Uyarılma sonucu serbest kalan elektronun yerini ise atomun kabuğunda hali hazırda bulunan diğer bir elektron tarafından doldurulur ve böylelikle X-ışını serbest bırakılmış olur (Abd Mutalib et al., 2017). X-ışınlarının emisyon spektrumları farklı elementlerde farklı değerlere sahip olması sonucunda elementlerin ayırt edilmesi sağlanır. Karakteristik X-ışınlarının farklı elementlerde farklı spesifik emisyon enerjisi ve spektrumu olması sonucunda elementlerin yaptığı piklerin sahip olduğu enerjilerden tanımlanması ve pikin yoğunluğundan tanımlanabilmektedir (Shindo and Oikawa, 2002).

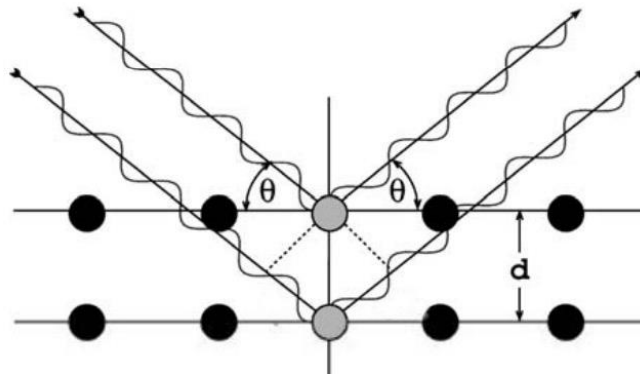


Şekil 3.9 Taramalı elektron mikroskobu ve EDS bileşenleri şeması. (Bradbury, 2023)

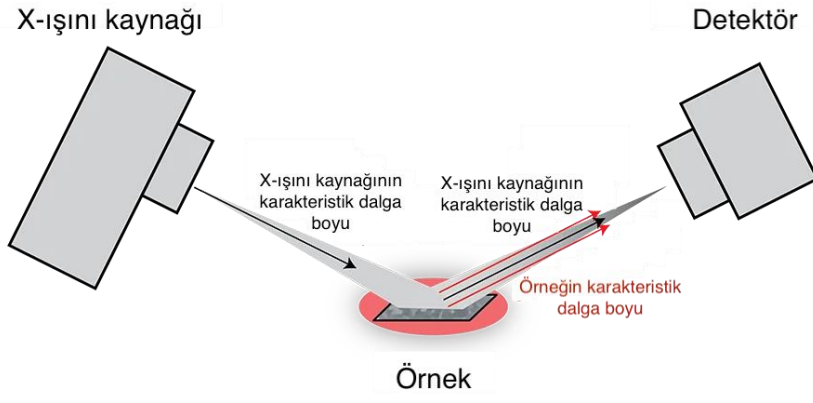
3.5. X-Işını Kırınımı Yöntemi

X-ışını kırınımı yöntemi (XRD) incelenen örneğin, kristal ya da moleküler yapısını incelemek için kullanılan bir tekniktir. İncelenecek örneğin içeriğine göre kristal boyutu büyük olan örnekte, örneğin inorganik bileşikler ya da makromoleküller için örnek içindeki atomik yapıyı ortaya çıkarmak amacıyla

kullanılabilmektedir. Küçük kristal boyutlu örneklerde ise, örneğin fazının sahip olduğu saflığı, bileşimini ve kristallik durumunu belirlemek için kullanılabilmektedir (Khan et al., 2020). Meteoritlerdeki minerallerin belirlenmesini ve o minerallerin örneğin içinde bulunma yüzdesinin hesaplanmasında kullanılan ve X-ışını toz kırınım yöntemi olarak da adlandırılan bu teknik ile inceleme yapılabilmesi için örneğin öğütülerek toz hale getirilmesi gerektirilmekte ve böylelikle örnekten alınan numuneye zarar verilmemiş olmaktadır. Işığın kırınımı temeline dayanmakta olan bu yöntemde, bir elektromanyetik radyasyon türü olan X-ışınları bir maddeden saçılmaya uğradığında girişim meydana gelir. Kırınımın gerçekleşmesi için X-ışınları ve örnek arasında Bragg yasasına uygun şekilde etkileşim olması gerekmektedir. Bragg yasasına göre kırınımın gerçekleşebilmesi için ise örneğe gelen ışının geliş açısının örnekten saçılan ışının saçılma açısına eşit olması ve kırınım oluşturacak düzlemlerin arasındaki uzaklığının, X-ışınının dalga boyunun tam katı olması gerekmektedir (Bunaciu et al., 2015). n bir tamsayı, λ dalga boyu, d düzlemler arası uzaklık ve θ ise kırınım açısı olmak üzere denklemi, $n\lambda = 2d \sin\theta$ olarak verilir (Şekil 3.10). Örneğin içinden geçen X-ışınları, örneğin atomlarından geliş açısından farklı olan ve kırınım açısı olan açı ile saçılır. Şekil 3.11’de görüldüğü gibi gelen ışının dalga boyunun katı dalga boyuna sahip olan ve kırılan ışınlar, daha yüksek bir genliğe sahip olan farklı ve yeni bir ışın oluşturmak üzere birleşirler ve bu yöntem içerisinde belirlenebilecek bir sinyale dönüşmektedir (Stanjek, 2004).



Şekil 3.10 Bragg yasasına göre kırınım (Stanjek, 2004).



Şekil 3.11 X-ışını kırınım yöntemi şeması (Azo Materials, 2021).



4. SONUÇ VE TARTIŞMA

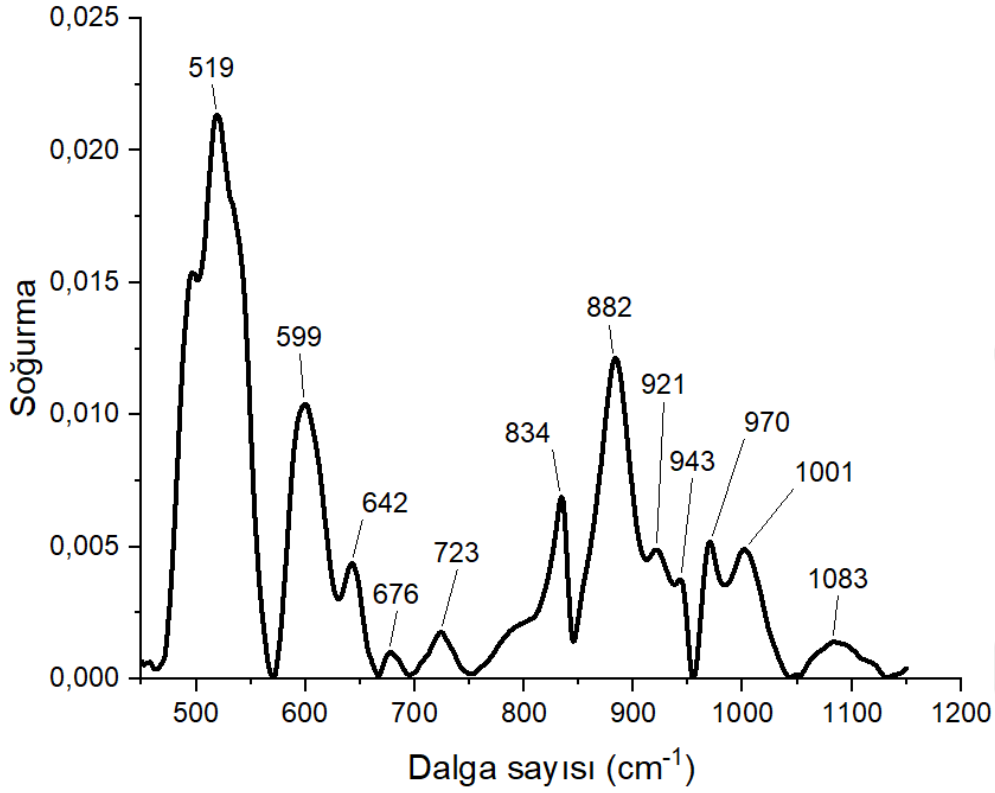
4.1. IR Sonuçları

Ege Üniversitesi Merkezi Araştırma Test ve Analiz Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (EGE-MATAL) gerçekleştirilen IR deneyleri için Zayıflatılmış Toplam Yansıma ünitesi, Perkin Elmer Spectrum Two Fourier Dönüşümlü Kırmızıaltı Spektrometresi kullanılmıştır. Cihaz, $4000-600\text{ cm}^{-1}$ spektrum aralığına ve döteryum triglisit sülfite sahiptir. Tüm ölçümler orta IR bölgede yani $4000-400\text{ cm}^{-1}$ aralığında, ortam sıcaklığında, 2 cm^{-1} çözünürlükte ve 32 tarama ile yapılmıştır. Deneyler yapılmadan önce, ATR kristali isopropil alkol ile temizlenmiş ve cihazın bulunduğu ortamın sonucu etkilememesi için havanın spektrumu çekilmiştir. Daha önce SEM-EDS deneyleri için toz haline getirilmiş olan NWA 6212 örneğinden her seferinde $\sim 2\text{ mg}$ ATR kristaline (Şekil 4.1) konularak toplamda 3 kez gerçekleştirilmiş ve spektrumlar Perkin Elmer Spektrum IR programı versiyon 10.6.2 ile kaydedilmiştir. Spektrumlar Spectragryph versiyon 1.2.16.1 ile incelenmiştir. Elde edilen spektrumların grafikleri OriginPro 2023b versiyon 10.0.5.157 programı ile oluşturulmuştur. Referans spektrumlar RRUFF veritabanından alınmıştır (Laetsch and Downs, 2006).



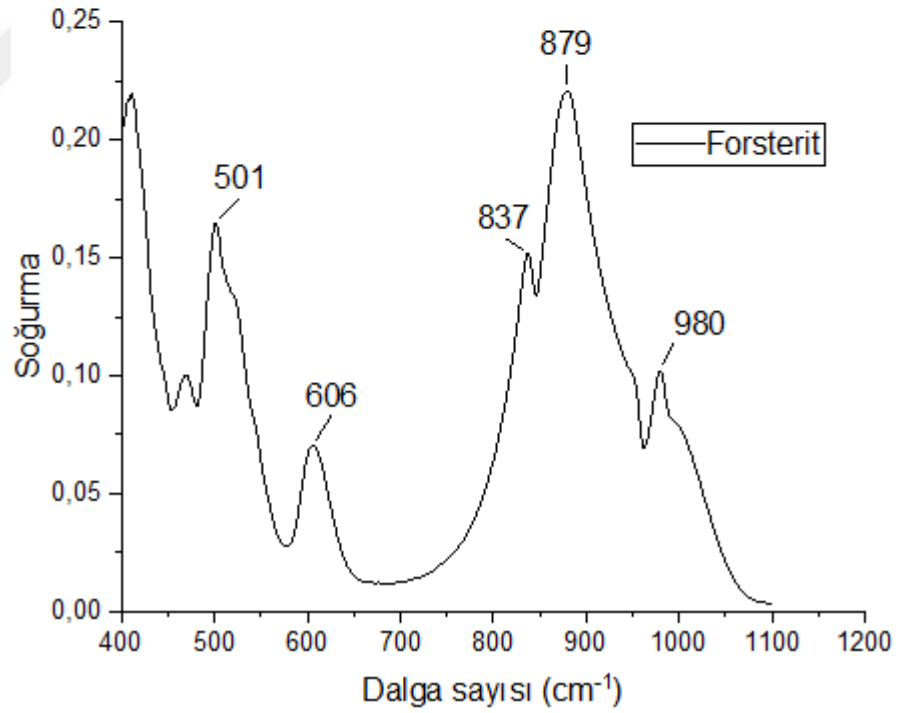
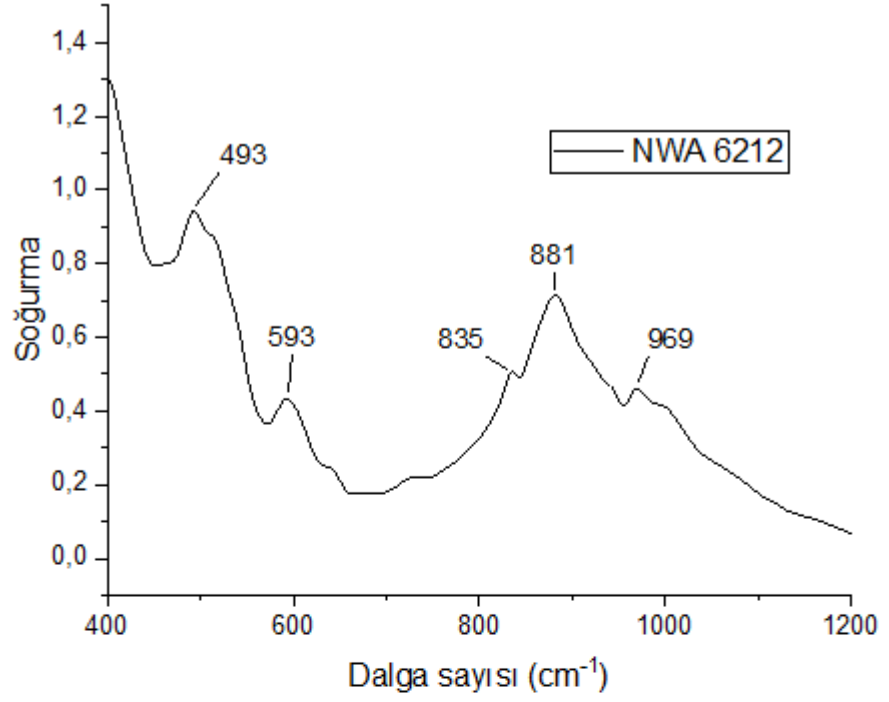
Şekil 4.1 NWA 6212 toz örneğinin ATR kristaline koyulması.

Toz örnekten çekilen 3 spektrumda da yaklaşık olarak 970, 884, 727, 679, 593, 495 ve 402 cm^{-1} bölgelerinde pike sahiptir. Şekil 4.2’de çekilen 3 spektrumun ortalaması görülmektedir.



Şekil 4.2 NWA 6212’ye ait elde edilen 3 IR spektrumun ortalama grafiği.

Şekil 4.3’de gösterildiği üzere, 835 ve 881 cm^{-1} ’de oluşan pikler olivin grubuna ait bir mineral olan forsterit pikleri (Lane et al., 2011) ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 4.3 NWA 6212'ye ve forsterit mineraline ait IR spektrumlarının karşılaştırılması.

4.2. Raman Sonuçları

Raman deneyleri için, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Merkez Laboratuvarlarında bulunan inVia Renishaw Konfokal Raman Spektrometresi kullanılmıştır. Bu spektrometre, 532 nm ve 785 nm dalga boylu olarak iki farklı lazer kaynağına ve CCD detektöre sahiptir. Spektrumlar, %10 lazer gücü, 20X objektif ve 532 nm dalga boylu lazer için 2400 çizgi/mm, 785 nm dalga boylu için 1200 çizgi/mm grating kullanılarak çekilmiştir. Bunun yanında 10X, 20X, 50X ve 100X olmak üzere toplam 4 odaklı objektife sahip bir Leica optik mikroskobu bulunmaktadır. İncelenen örnek tek parça ve ~ 15 g dır (Şekil 4.4) ve Şekil 4.5’de görüldüğü gibi cihaz mikroskobuna yerleştirilmiştir. İncelenmek üzere dışarıdan da rahatça gözlenebilen koyu ve açık renkli alanlar olarak seçilmiştir. Tek nokta incelemesinin ardından haritalama yöntemi kullanılarak analiz yapılmıştır. Çekilen spektrumların analizleri için Spectragryph versiyon 1.2.16.1 ve minerallerin referans spektrumları için RRUFF veritabanı kullanılmıştır. Buna ek olarak, spektrumların grafikleştirilmesinde OriginPro 2023b versiyon 10.0.5.157 programı kullanılmıştır.

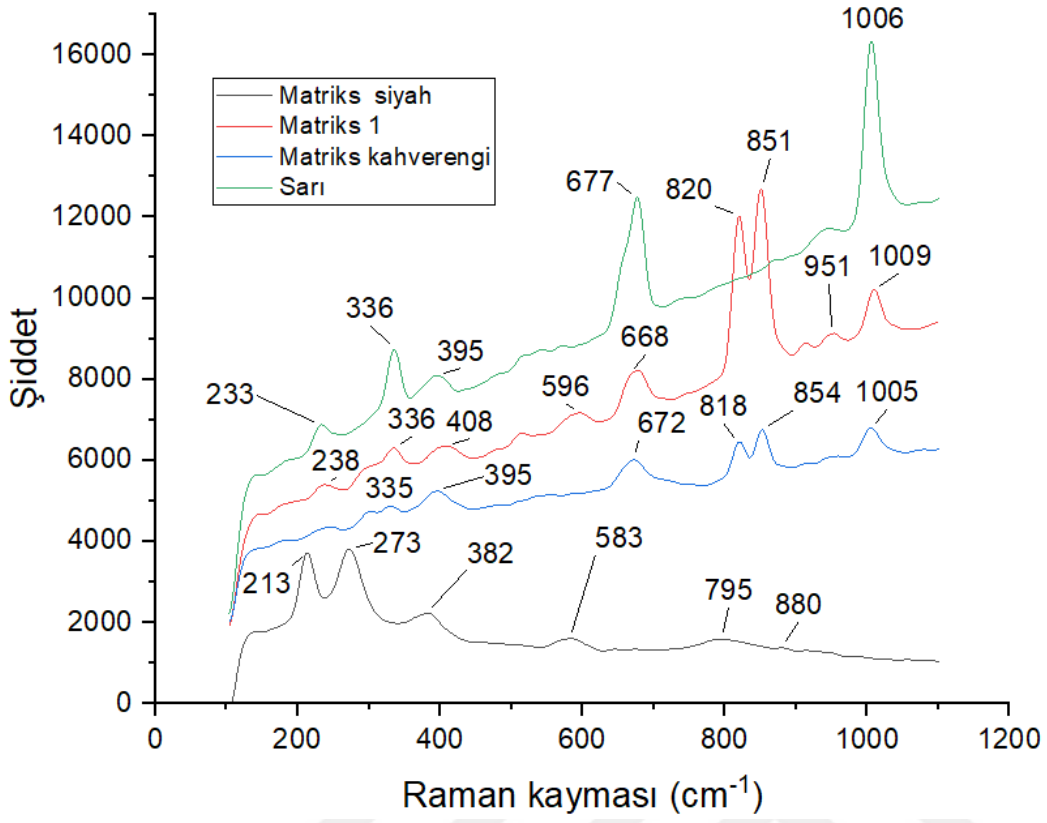


Şekil 4.4 NWA 6212 meteoritine ait örneğin Raman spektrofotometresinde incelenen parçası

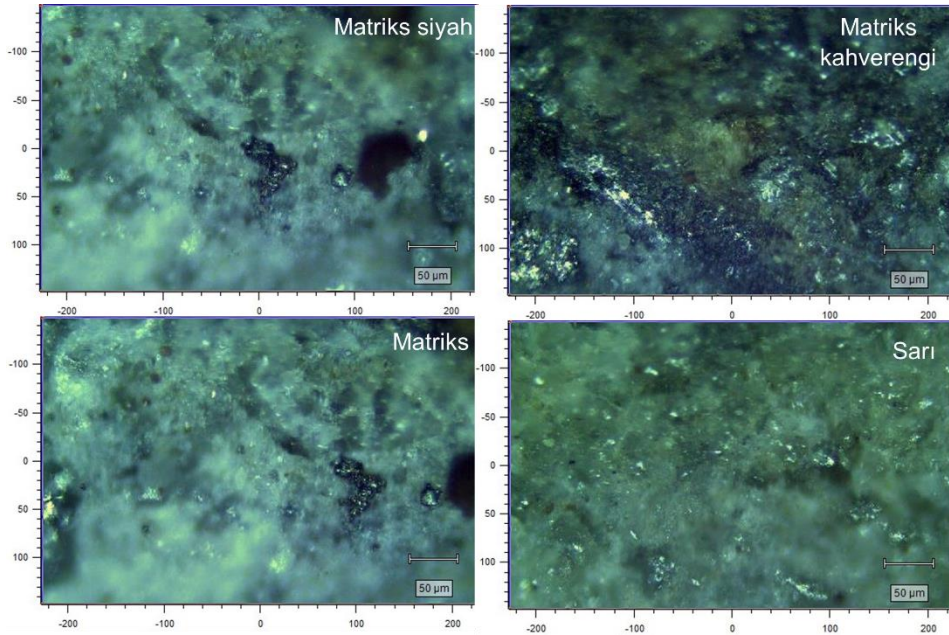


Şekil 4.5 NWA 6212 örneğinin cihaza yerleştirilmesi.

Örnek üzerinde bulunan matriks içerisindeki siyah, kahverengi ve normal bir noktadan ve örnek üzerindeki sarı olarak gözüken noktadan spektrumlar alınmıştır ve rahat görüntülenebilmesi için program ile y eksenini boyunca taşınmış ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Spektrum alınan bölgelerin mikroskobik görüntüleri ise Şekil 4.7'de verilmiştir. Çekilen spektrumlar, matriks içerisindeki siyah nokta, normal nokta ve örnek üzerindeki sarı nokta için 532 nm lazer, %10 lazer gücü ve 20x objektif, matriks içerisindeki kahverengi nokta için 532 nm lazer, %50 lazer gücü ve 20x objektif parametrelerine sahiptir.

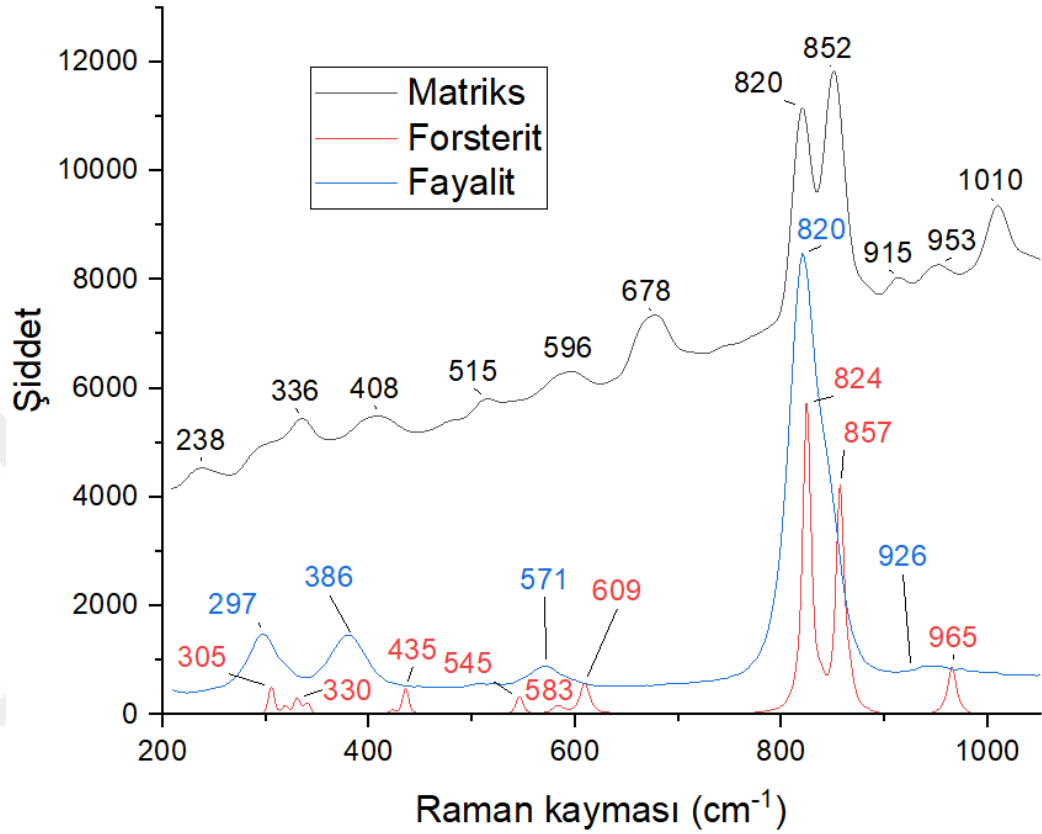


Şekil 4.6 NWA 6212 örneğinde belirli noktalardan çekilen spektrumlar.



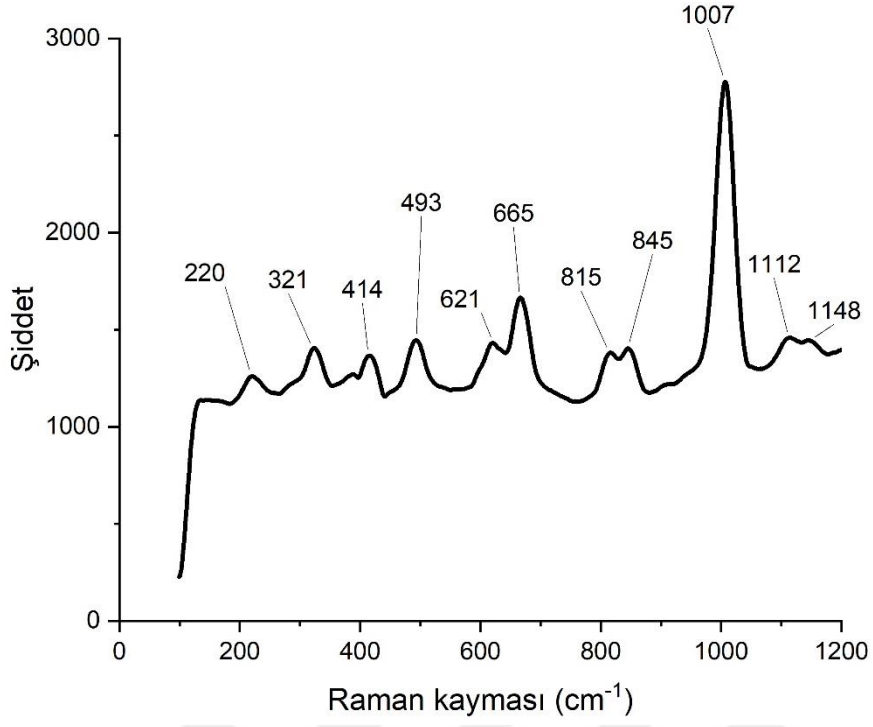
Şekil 4.7 Spektrumu çekilen noktaların mikroskop görüntüleri.

Örneğin matriks kısmından elde edilen spektrogramun, olivin grubu minerallerinden olan forsterit ve fayalit mineralleri referans spektrumlarıyla karşılaştırılması gösterilmiştir (Şekil 4.8).

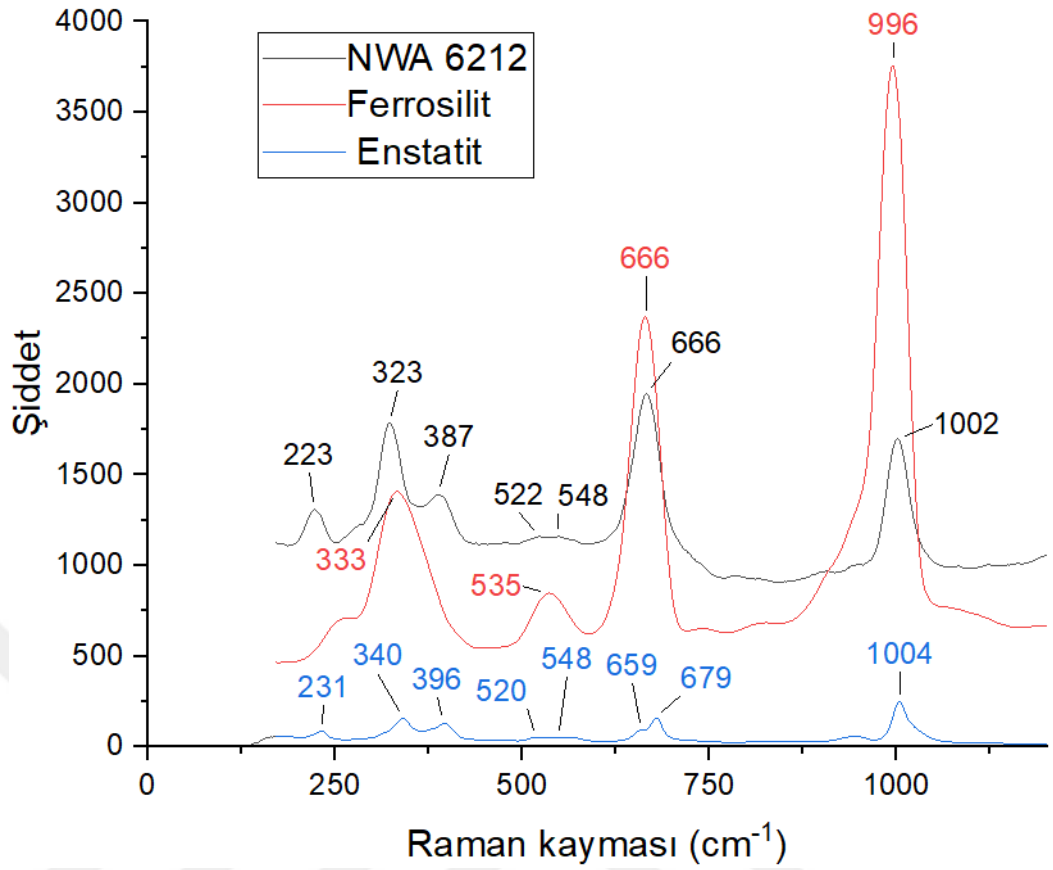


Şekil 4.8 Matriks spektrogramunun olivin grubu mineralleri fayalit ve forsterit spektrogramlarıyla karşılaştırılması.

Haritalama yönteminde 532 nm lazer, %50 lazer gücü ve 20x objektif kullanılmıştır. Haritalama yöntemi sonucunda elde edilen 120 spektrogramun ortalaması OriginPro programıyla oluşturulmuştur (Şekil 4.9). Elde edilen spektrogramlardan piroksen grubuna ait minerallerle uyduğu gözlemlenen spektrogram ve grup minerallerine ait referans spektrogramlar Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 Haritalama yöntemi ile elde edilen ortalama spektrum.



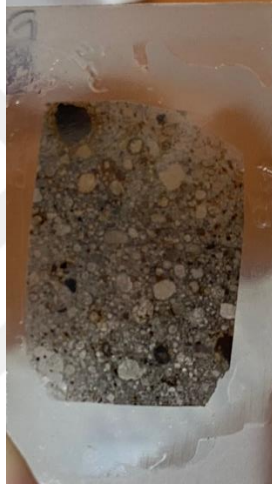
Şekil 4.10 Haritalama yönteminde elde edilen spektrumun piroksen grubu mineralleri olan ferrosilit ve enstatit mineralleriyle karşılaştırılması.

4.3. SEM-EDS Sonuçları

Ege MATAL’de gerçekleştirilen SEM-EDS deneylerinde, NWA 6212’ye ait örneğimiz, Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Optik Mineraloji Laboratuvarları’nda öncelikle Şekil 4.11’de görüldüğü gibi elmas testere ile kesilmiş, sonrasında ise cam üzerine yapıştırılarak inceltme işlemi uygulanmış ve Şekil 4.12’deki ince kesit halini almıştır. Bu işlemler için Struers Discoplan-TS kesme ve Labopol-35 zımparalama ve parlatma cihazı kullanılmıştır.

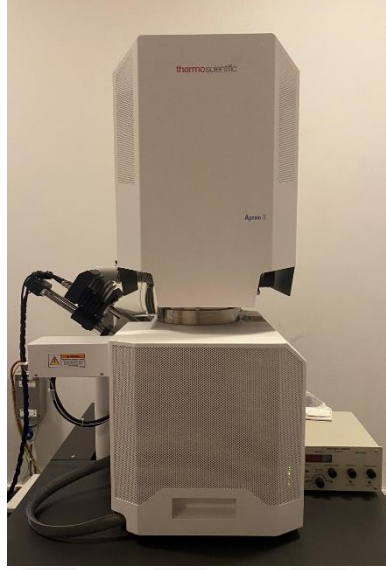


Şekil 4.11 NWA 6212 meteoritine ait parça kesim işlemi uygulanırken.



Şekil 4.12 NWA 6212 meteoritine ait yapılan ince kesit.

SEM-EDS incelemesi için öncelikle Leica EM ACE600 cihazı ile altın kaplama yapılmıştır. Görüntüleme ise Thermo Scientific Apreo S SEM (Şekil 4.13) ile gerçekleştirilmiştir. Cihazda 20 kV hızlanma voltajı, 26,7 mm çalışma uzaklığı ve 13 mm spot büyüklüğü kullanılmıştır. EDS için kullanılan detektör ise EDAX'tır. Görüntüleme için bilgisayarda kullanılan yazılımlar ise SEM için cihazın kendi yazılımı olan Thermo Scientific versiyon 13.9.1, EDS için ise Texture and Elemental Analytical Microscopy versiyon 4.5 kullanılmıştır. Örnek, incelenmek üzere Şekil 4.14'de görüldüğü üzere cihaza yerleştirilmiştir.

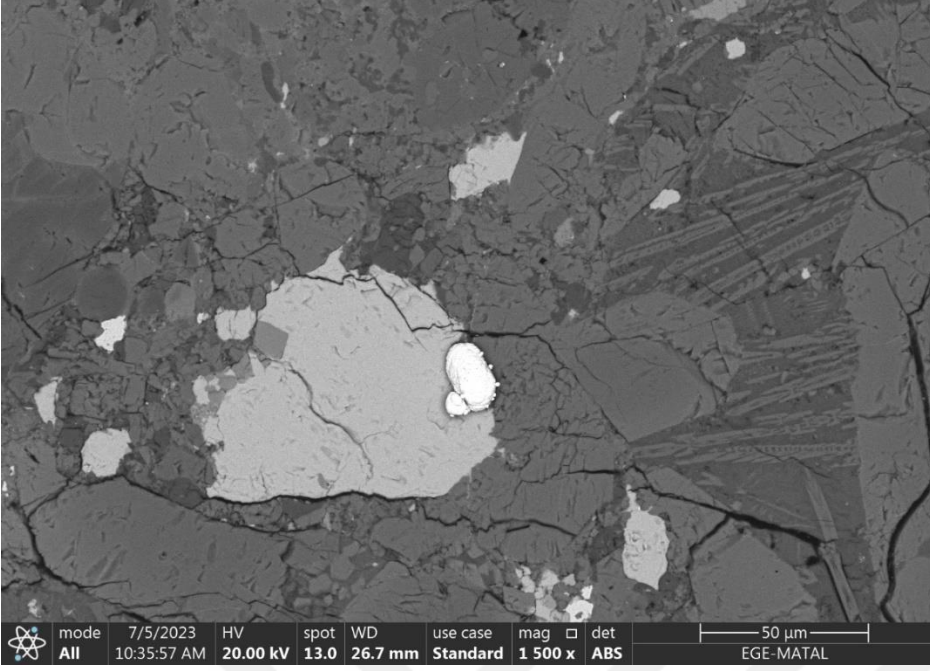


Şekil 4.13 SEM-EDS görüntülemesi için kullanılan Thermo Scientific Apreo S SEM cihazı

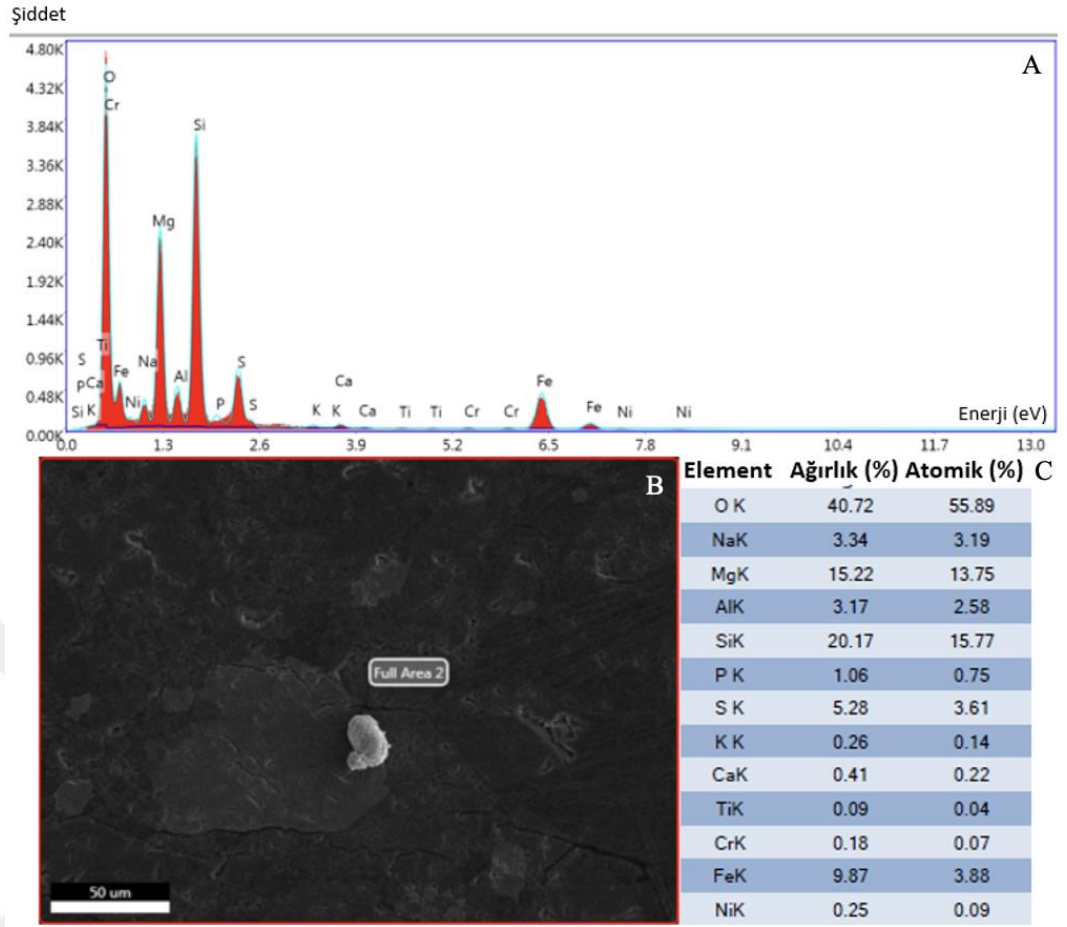


Şekil 4.14 NWA 6212 meteoritine ait yapılan ince kesitin SEM numune haznesindeki görüntüsü.

1500x büyütme ile görüntülenip incelenen ilk bölgede, alanın taraması yapılmış ve bu bölge Şekil 4.15’de gösterilmiştir. Bölgenin EDS spektrumu Şekil 4.16A’da, bölgenin mikroskop altındaki görüntüsü Şekil 4.16B’de ve bölgede bulunan elementlerin örnekteki kütlece ve atomik dağılımları Şekil 4.16C’de gösterilmiştir.

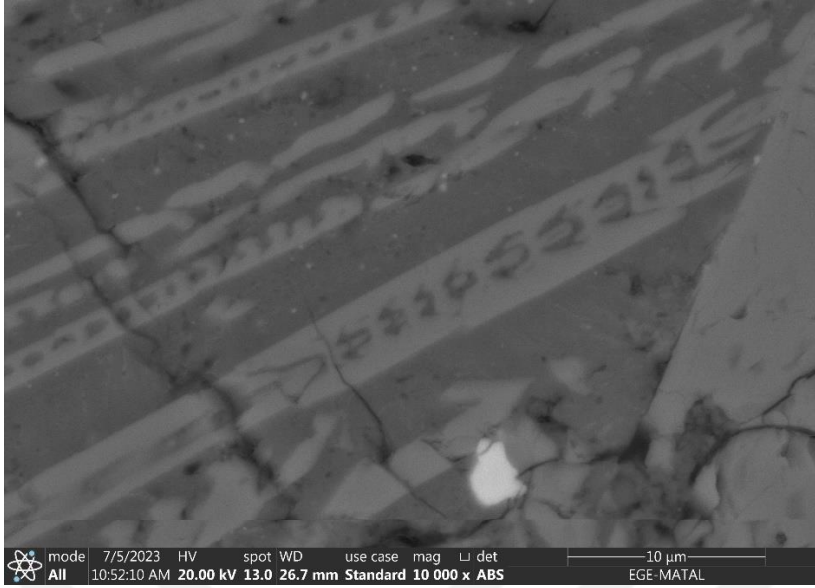


Şekil 4.15 İncelenen ilk bölgenin görüntüsü.

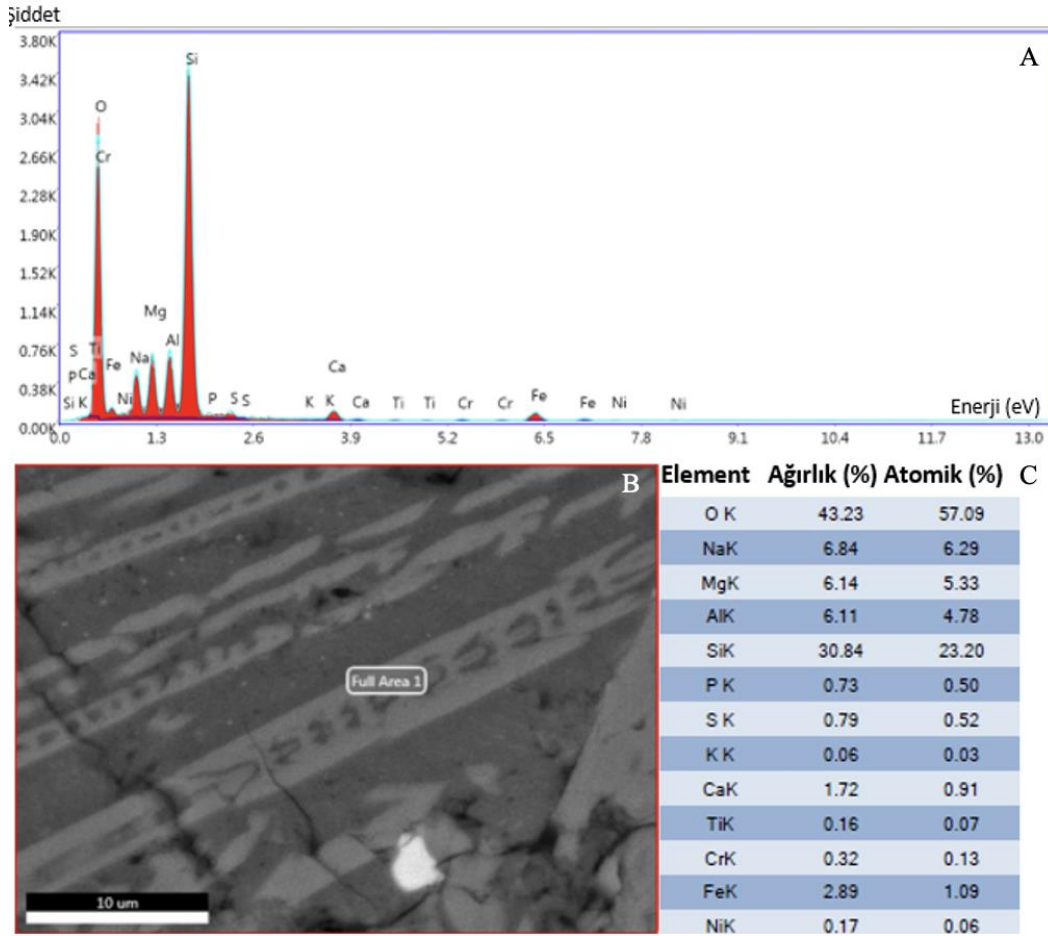


Şekil 4.16 İlk bölgenin EDS spektrumu(A), mikroskop görüntüsü (B) ve kütlece yüzdelik dağılımları (C).

Şekil 4.17’de gösterilen ve 10000x büyütmeyle incelenen ikinci bölgede ise öncelikle bütün alan incelenmiş ve bölgeye ait EDS spekturumu (Şekil 4.18A), bölgenin mikroskop görüntüsü (Şekil 4.18B) ve bulunan elementlerin kütlece ve atomik yüzdelik dağılımları (Şekil 4.18C) Şekil 4.18’de verilmiştir.

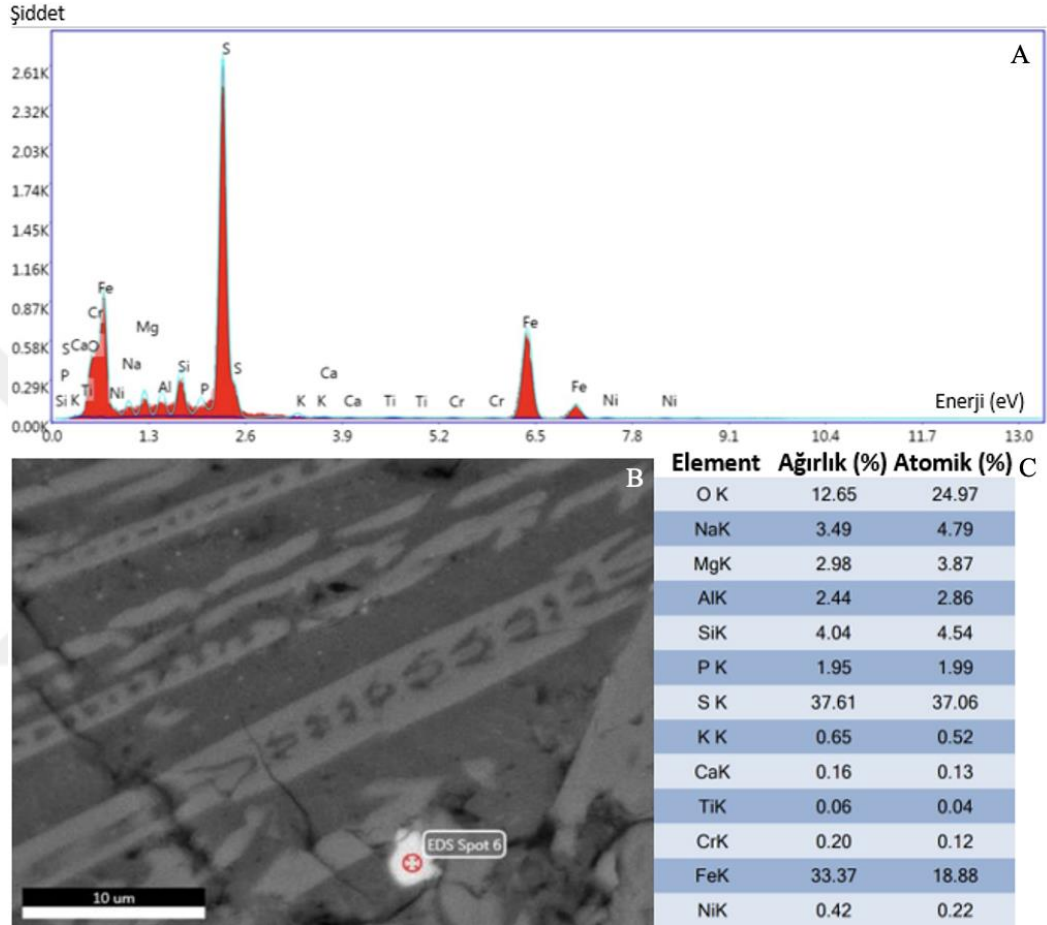


Şekil 4.17 İncelenen ikinci bölgenin SEM görüntüsü.



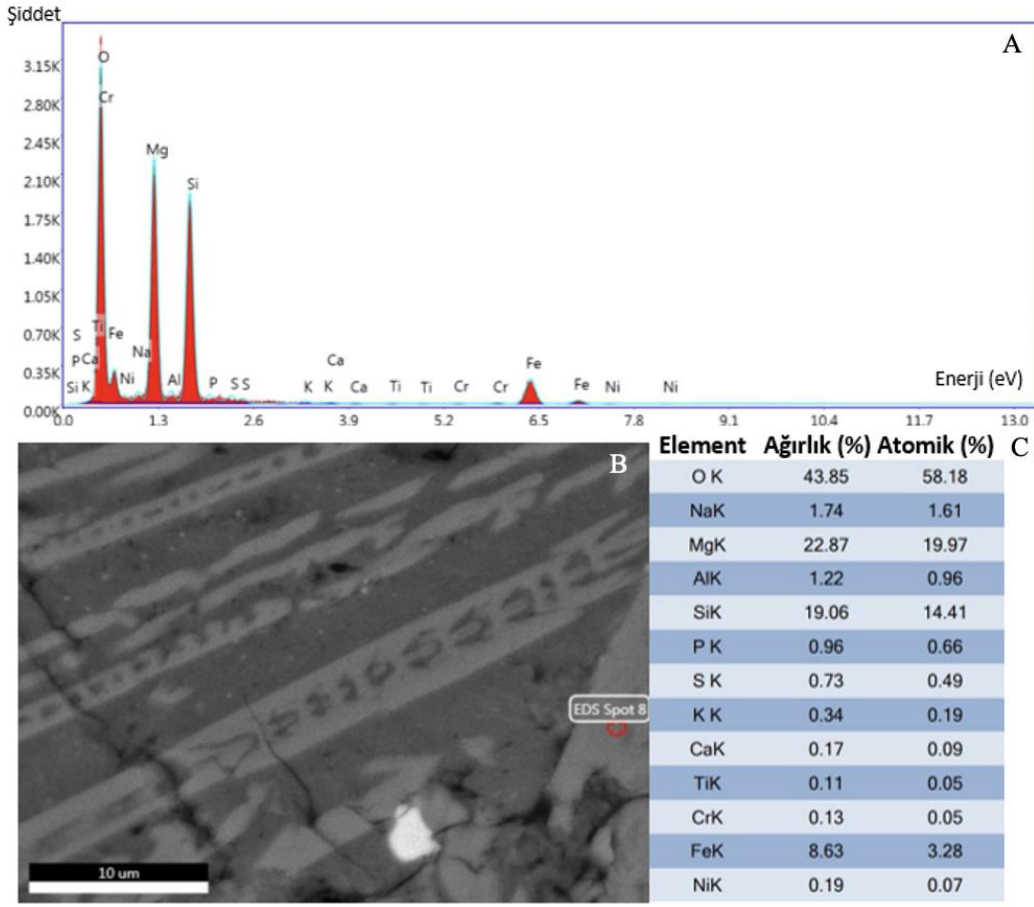
Şekil 4.18 İncelenen ikinci bölgenin EDS spektrumu (A), mikroskop altında görüntüsü (B) ve bulunan elementlerin kütlece yüzdeleri (C).

İkinci örnekte bulunan bölgenin (Şekil 4.17) bir diğer noktasının incelenmesi sonucunda ise analiz edilen noktanın spektrumu (Şekil 4.19A), mikroskop görüntüsü (Şekil 4.19B) ve elementlerin o noktada kütlece bulunma yüzdeleri (Şekil 4.19C) Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



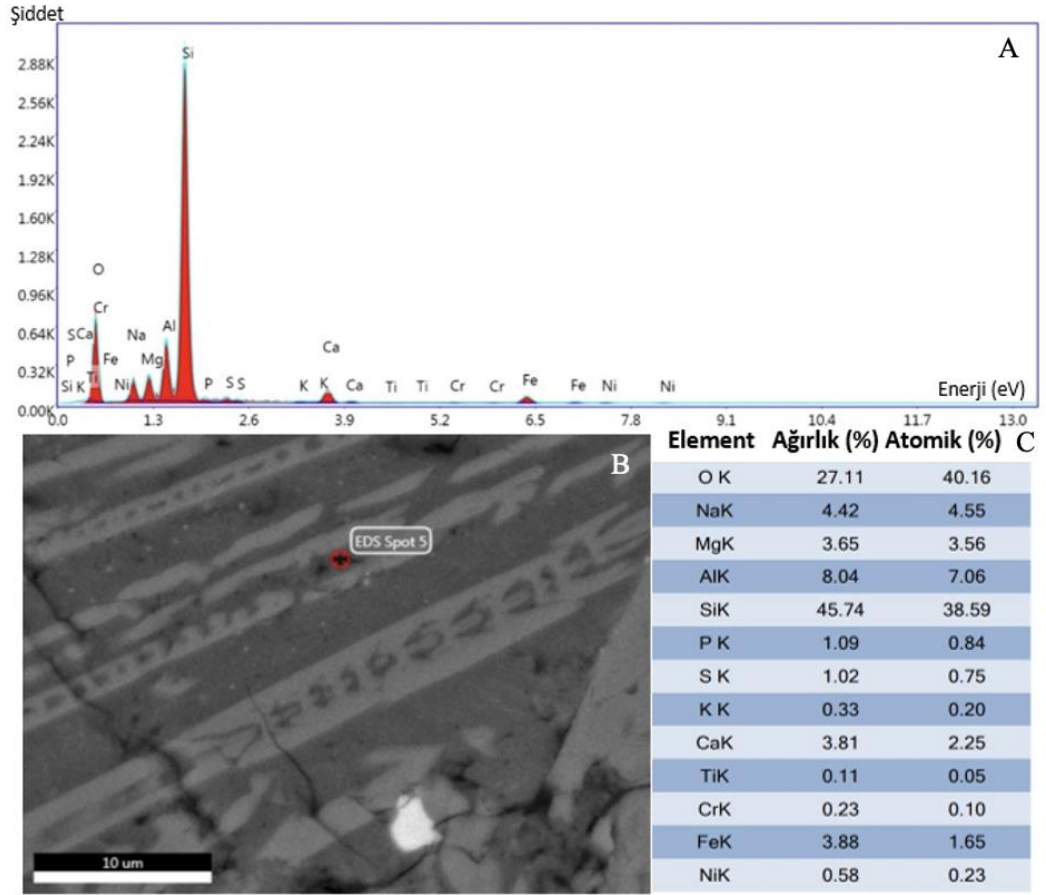
Şekil 4.19 İkinci bölgedeki incelenen farklı noktanın EDS spektrumu (A), görüntüsü (B) ve örnekte kütlece bulunma yüzdesi (C).

Aynı bölgede farklı bir noktanın incelenmesi sonucu Şekil 4.20’de gösterilmiştir. İncelenen noktaya ait spektrum (Şekil 4.20A), noktanın mikroskop görüntüsü (Şekil 4.20B) ve ek olarak o noktada bulunan elementlerin kütlece ve atomik dağılımları yine aynı şekil içerisinde (Şekil 4.20C) gösterilmiştir.



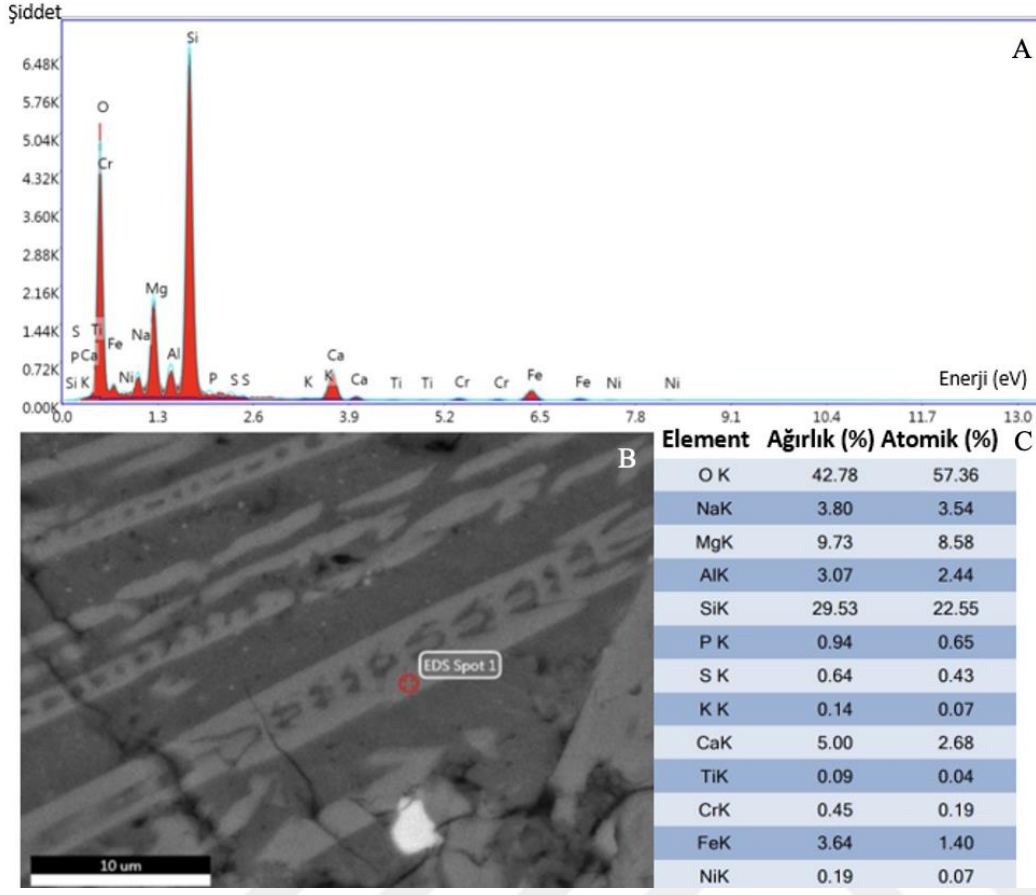
Şekil 4.20 İncelenen bir diğer farklı noktanın EDS spektrumu (A), görüntüsü (B) ve kütlece bulunma tablosu (C).

Şekil 4.21’de görüldüğü üzere, aynı bölgede farklı bir diğer nokta analiz edilmiş ve o noktaya ait çekilen spektrum Şekil 4.21A’da görülmektedir. Ayrıca noktanın görüntüsü de Şekil 4.21B’de verilmiştir. Aynı şekil içerisinde, bulunan elementlerin kütlece yüzdeleri gösterilmiştir (Şekil 4.21C).



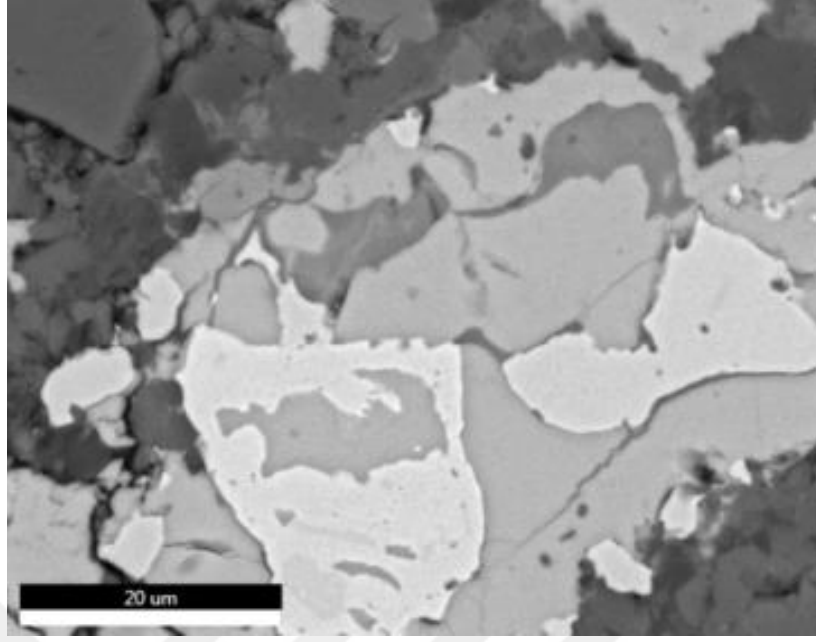
Şekil 4.21 İncelenen farklı bir noktanın EDS spektrumu (A), mikroskop görüntüsü (B) ve örneğin içinde elementlerin kütlece bulunma yüzdeleri (C).

Aynı bölgede bulunan bir diğer noktanın incelenmesiyle incelenen noktanın spektrumu (Şekil 4.22A), konumu (Şekil 4.22B) ve çıkan elementlerin o noktada kütlece bulunma yüzdesi (Şekil 4.22C) de Şekil 4.22’de görüldüğü gibidir.

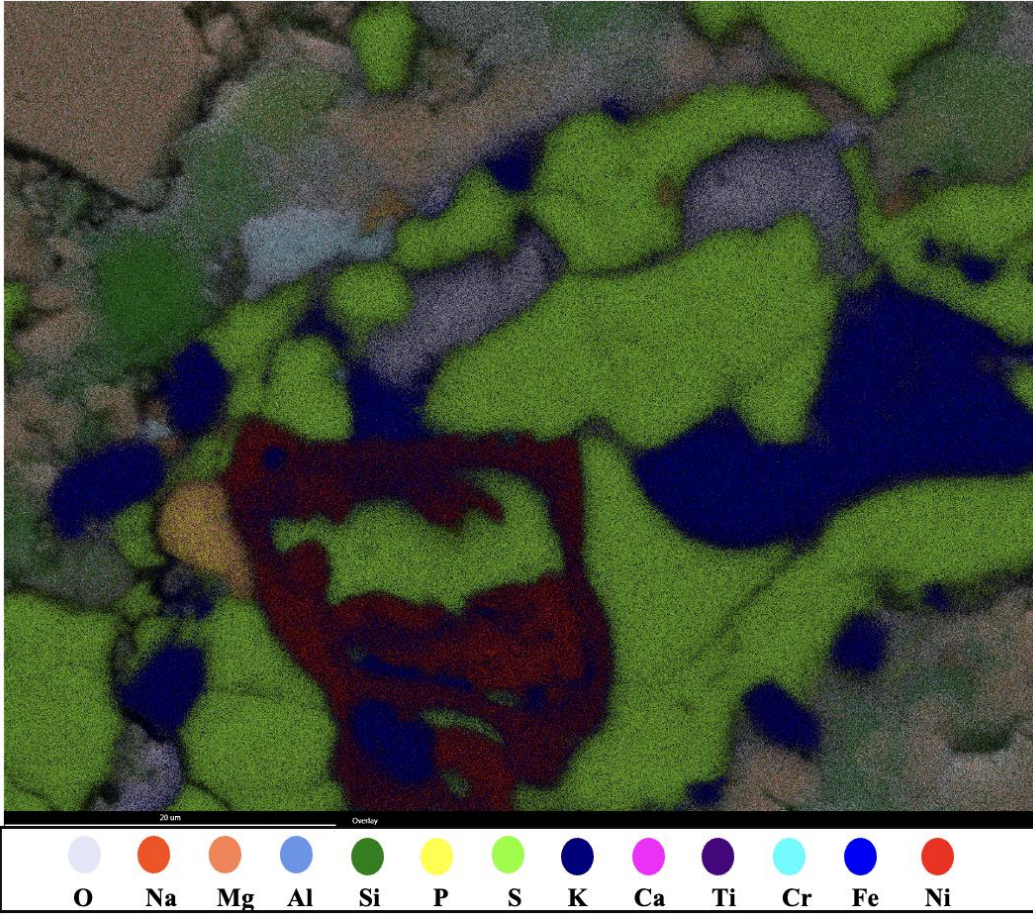


Şekil 4.22 İncelenen farklı noktanın EDS spektrumu (A), görüntüsü (B) ve o noktada bulunan elementlerin kütlece yüzdeleri (C).

Bu incelemelere ek olarak haritalama yoluyla farklı bir bölgenin analizi gerçekleştirilmiştir. Haritalama yöntemi yapılan bölge Şekil 4.23'de, bulunan elementlere göre renklendirilmiş görüntüsü Şekil 4.24'de gösterilmiştir.

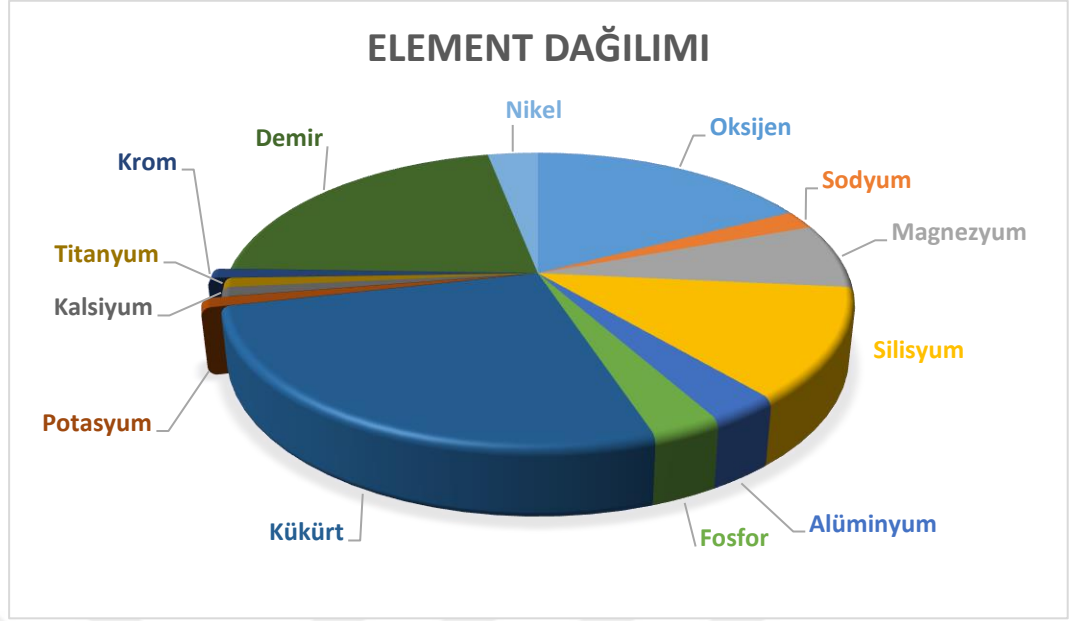


Şekil 4.23 Haritalama yöntemi ile incelenen bölgenin görüntüsü.

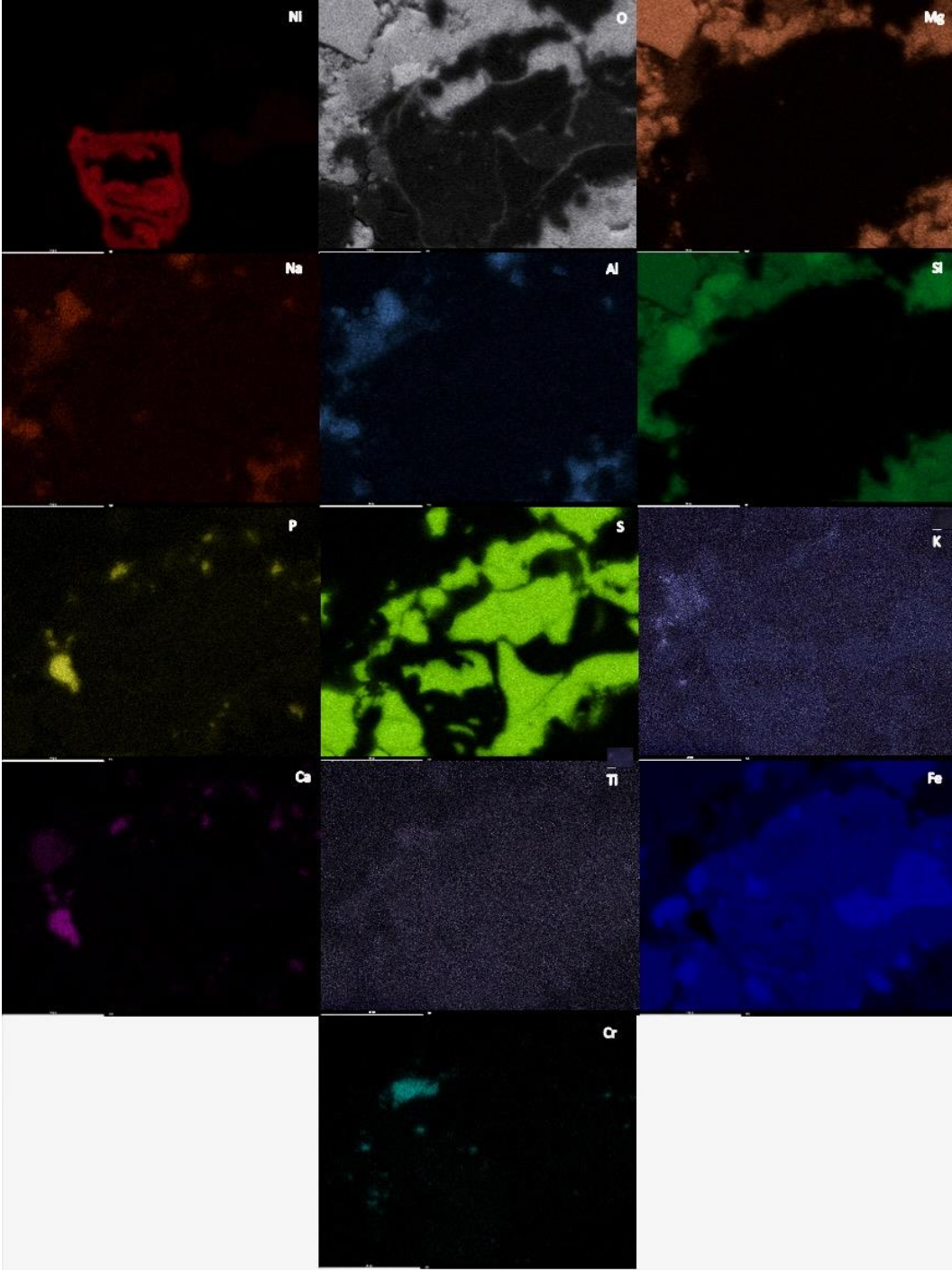


Şekil 4.24 Haritalama yöntemi sonucunda bulunan elementlere göre o bölgenin renklendirilmiş görüntüsü.

Analiz sonucunda elementlerin bulunma yüzdeleri Şekil 4.25’de gösterilmiştir. Elementlerin ayrı ayrı hangi noktalarda bulunduğu ise Şekil 4.26’da gösterilmiştir. Şekil 4.26, macOS Ventura 13.3.1 yazılımı ile, görüntü özelliklerinden parlama +1, gölgeler +0.18, parlaklık +1, kontrast +0.14, siyah nokta +0.05 ve doyma +0.13 ayarları kullanılarak düzenlenmiştir (Apple Destek, 2023).



Şekil 4.25 Haritalama yönteminde bulunan elementlerin yüzde dağılım grafiği.



Şekil 4.26 Haritalama yöntemiyle bulunan elementlerin buldukları noktalar.

4.4. X-Işını Kırınımı Sonuçları

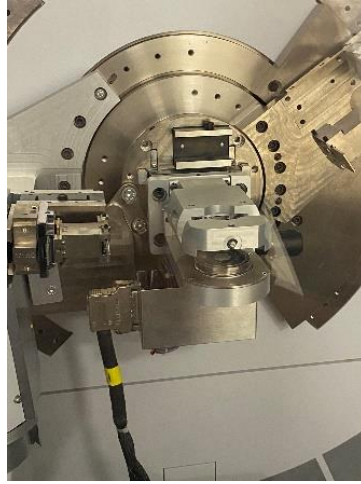
İzmir Katip Çelebi Üniversitesinde Merkez Laboratuvarlarında gerçekleştirilen X-Işını Kırınımı (XRD) deneyleri, Panalytical Empyrean XRD cihazı kullanılarak yapılmıştır. İlk olarak XRD, daha sonra da diğer deneylerde kullanılmış olan NWA 6212 meteoritine ait Şekil 4.27'deki örnek, agat havanda öğütülerek toz haline getirilmiştir. Deneyler 45 kV voltaj ve 40 mA akım ile gerçekleştirilmiş ve Cu X-ray anot kullanılmıştır. Toz haline getirilen örnek önce diske (Şekil 4.28) ardından Şekil 4.29'da görüldüğü gibi cihaza yerleştirilmiştir. Sonuçlar Crystal Impact Match! versiyon 3.15 programı ile analiz edilmiştir.



Şekil 4.27 XRD analizi için kullanılan NWA 6212 meteoritine ait örnek.

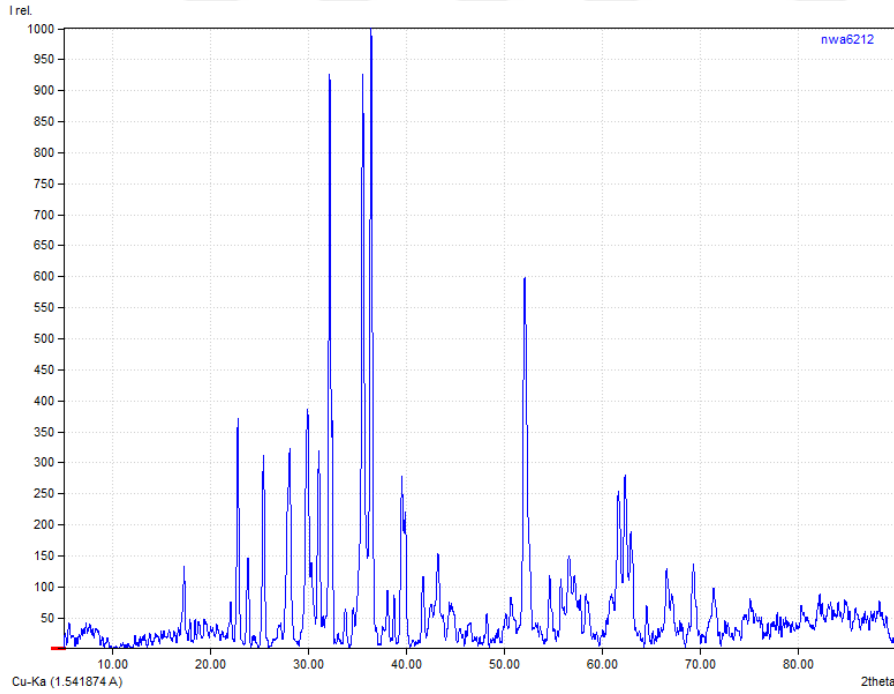


Şekil 4.28 Diske yerleştirilen toz numune.

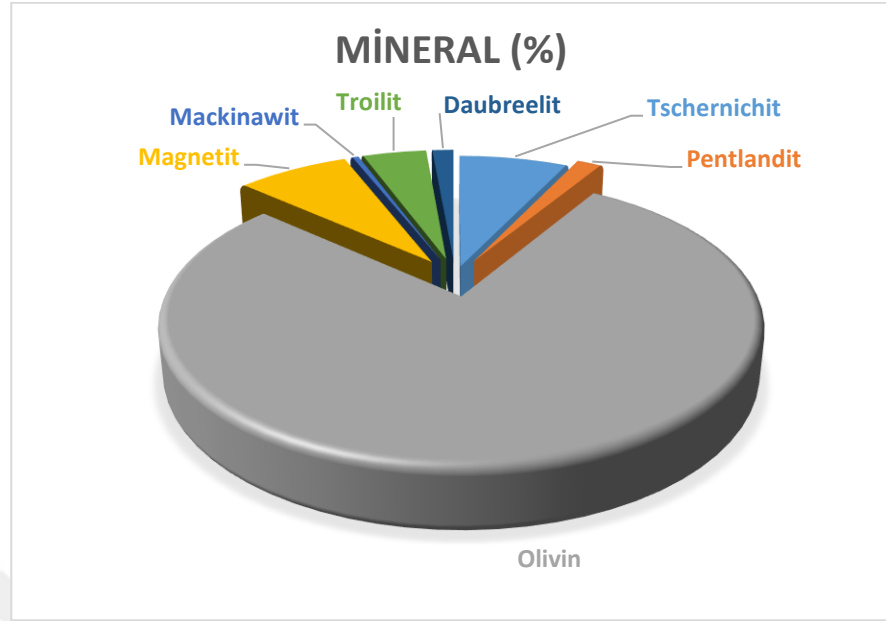


Şekil 4.29 Cihaza yerleştirilen toz örnek.

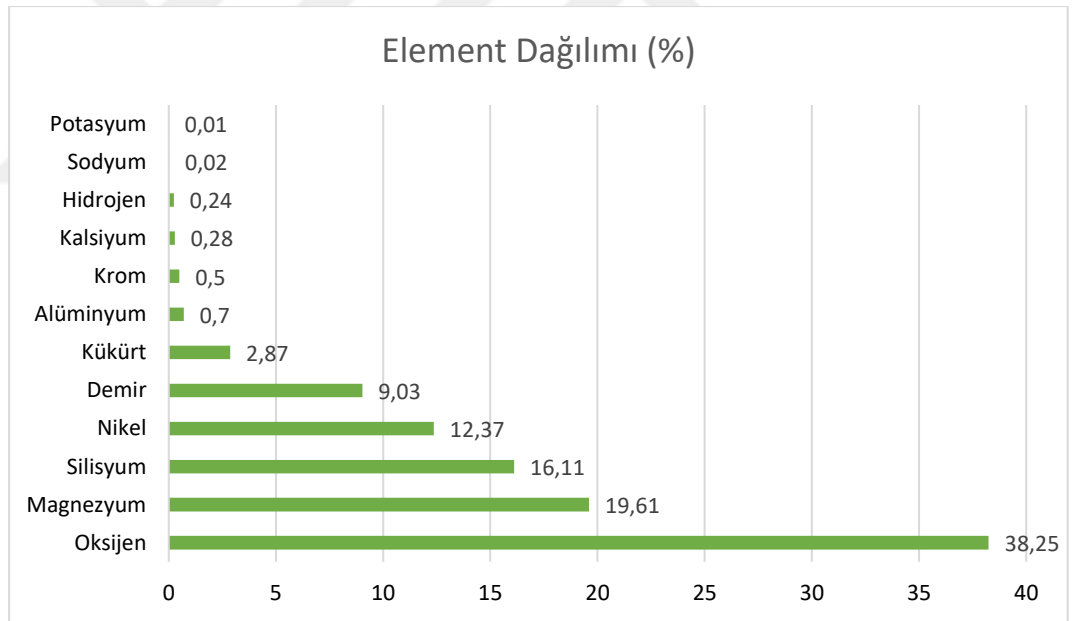
Şekil 4.30'daki XRD spektrumun analizi sonucunda programda bulunan ve minerallere ait olan referans spektrumların pikleriyle uygun pikler gösteren ve eşleşen mineraller ve bulunma yüzdeleri Şekil 4.31'de gösterilmiştir. Element dağılımı ise yüzdesel olarak belirlenmiş ve Şekil 4.32'de gösterilmiştir.



Şekil 4.30 NWA 6212 meteoritine ait spektrum.



Şekil 4.31 NWA 6212 meteoritinin yüzdece mineral dağılımı.



Şekil 4.32 NWA 6212 meteoritinin yüzdece element dağılımı.

4.5. Tartışma

NWA 6212 meteoritine ait örneğin FTIR sonuçları incelendiğinde Şekil 4.3'de görüldüğü üzere 969, 881, 835, 593 ve 493 cm^{-1} 'de literatürde de belirtildiği üzere olivin pikleri gözlemlenmiştir.. Daha önce Lane ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada bu piklerle uyuşan ve 972, 876, 832, 593 ve 498 cm^{-1} 'de pikler veren Fo_{70} kompozisyonuna sahip forsterit minerali (Lane et al., 2011) olduğu görülmüştür. Buna ek olarak, literatürde bulunan bir başka çalışmaya göre ise, 505-613 cm^{-1} arasında olan piklerin SiO_4 bükülme titreşimleriyle oluştuğu ve 842-1006 cm^{-1} arasında olan piklerin SiO_4 bağının gerilme titreşim modlarından dolayı gözlemlendiği belirtilmiştir (Choudhary et al., 2020).

NWA 6212 meteoritine ait Raman sonuçları incelendiğinde ise örneğin matriks kısmından elde edilen sonuçta 820 ve 852 cm^{-1} 'de oluşan pik çifti, Kuebler ve arkadaşlarının 815-825 cm^{-1} ve 838-857 cm^{-1} arasında ortaya çıkan pik çiftinin olivin kristaline ait olduğunu tespit ettiği çalışma sonucunda (Kuebler et al., 2006) olivin olarak belirlenmiştir. Böylelikle FTIR sonucu da desteklenmiştir. Yine aynı çalışmada yer alan ve örneğimizin verdiği olivin piklerinin yerine göre meteoritte bulunan olivin kompozisyonunun yaklaşık Fo_{70} olduğu görülmüştür. Buna ek olarak, 700-1100 cm^{-1} arasında piklere sahip olan olivinin, SiO_4 grubunun iç gerilme titreşim modlarından kaynaklandığı belirtilmiştir.

Pittarello ve arkadaşlarının çalışmasında ise LL grubuna ait meteoritlerin fayalit kompozisyonunun Fa_{27-32} arasında olduğunu belirtmiştir (Pittarello et al., 2015). IR ve Raman sonuçları ele alındığında ortalama forsterit kompozisyonunun Fo_{70} , fayalit kompozisyonunun Fa_{30} olduğu görülmektedir ve böylelikle sonuçlar literatür ile uyum sağlamıştır. Bu bilgilere dayanarak, NWA 6212 meteoritinde bulunan fayalit kompozisyonuna göre, NWA 6212 meteoritinin LL grubuna ait olduğu ilk defa titreşimsel spektroskopik ve mikroskopik yöntemlerle doğrulanmıştır.

Piroksen grubunda ise Minceva-Sukorava'nın araştırmasında ferrosilit mineralinin 1013, 667, 392 ve 325 cm^{-1} 'de piklere sahip olduğu (Minceva-Sukorava, 2009), dolayısıyla, NWA 6212 meteoritinde 1006, 677, 336 ve 233 cm^{-1} 'de bulunan piklerle uyuşması sebebiyle piroksen varlığı kanıtlanmıştır. Huang ve

arkadaşlarının yapmış olduğu ve raman spektrumunda ferrosilit piklerinin yerlerine göre, 1006, 678, 396, 335 ve 233 cm^{-1} 'de pikler veren (Huang et al., 2000) ferrosilit mineralinin kompozisyonunun Fs_{20-25} arasında olduğu görülmüştür. Pittarello ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada ise 1007.2, 680.3 ve 338.5 cm^{-1} 'de pikler veren ferrosilit mineralinin kompozisyonunun Fs_{16} olduğu belirlenmiştir. Bu verilerden yola çıkarak, NWA 6212 meteoritinde bulunan ferrosilit mineralinin yaklaşık olarak Fs_{22} olduğu söylenebilmektedir. Pittarello ve arkadaşları, çalışmalarında LL grubu meteoritlerde ferrosilit kompozisyonunun Fs_{22-26} arasında olduğunu belirtmiştir (Pittarello et al., 2015). 3 tane H4, 1 tane H5 ve 2 tane H6 olmak üzere toplam 6 tane H grubu, 3 tane L4, 1 tane L5 ve 5 tane L6 olmak üzere toplam 9 tane L grubu ve 2 tane LL4 ve 3 tane LL5 olmak üzere toplam 5 tane LL grubu meteoritlerle yapılan bir diğer çalışmada ise fayalit ve ferrosilit minerallerinin kompozisyonlarına bakılarak meteoritlerin hangi türe ait olduğu belirlenmiştir (Miao et al., 2003). NWA 6212 meteoritinin verileri ve bu çalışmadaki veriler karşılaştırıldığında, meteoritinin LL grubuna ait olduğu bir kez daha desteklenmiştir.

SEM-EDS sonuçlarının incelenmesinde, Şekil 4.15'te görülen ve alan taraması ile incelenen ilk bölgede Şekil 4.16A'da bulunan spektruma göre, baskın olarak oksijen, magnezyum, silisyum ve bunun yanında bir miktar demir, kükürt, sodyum ve alüminyum elementleri bulunduğu tespit edilmiştir. Bu elementlerden yola çıkarak bu bölgede olivin minerali varlığı görülmektedir.

Şekil 4.18'de görülen ikinci bölgenin incelenmesi sonucunda ise çoğunlukla silisyum ve oksijen elementlerinin bulunduğu, bunlara ek olarak ise sodyum, magnezyum alüminyum, ve az miktarda demir elementlerinin bulunduğu saptanmıştır. Nuktada bulunan sodyum varlığından dolayı Tschernichite mineralinin varlığı görülmektedir.

Şekil 4.19'da görülmekte olan, aynı bölgeden farklı bir nokta (Şekil 4.19B) ve o noktadan alınan spektrum (Şekil 4.19A) sonucuna göre ise demir ve kükürt elementi başta olmak üzere oksijen elementinin bulunduğu ve az miktarda sodyum, magnezyum, alüminyum ve silisyum elementleri tespit edilmiştir. Bölgede bulunan demir ve kükürt elementlerinin baskınlığı sonucu o bölgede troilit minerali varlığı görülmektedir.

Şekil 4.20 de görülen ve yine aynı bölgenin farklı bir noktasının (Şekil 4.20B) incelenmesi sonucunda elde edilen spektrumda (Şekil 4.20A) baskın olarak oksijen, magnezyum ve silisyum elementlerinin bulunduğu ve buna ek olarak demir elementinin varlığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre o noktada olivin varlığı görülmektedir.

Şekil 4.21 de görülen ve aynı bölgenin farklı bir noktasına (Şekil 4.21B) ait olan spektrumun (Şekil 4.21A) incelenmesiyle, o noktada özellikle silisyum ve oksijen elementleri olmak üzere alüminyum, magnezyum, kalsiyum ve sodyum elementlerinin bulunduğu tespit edilmiştir. Magnezyum, silisyum ve oksijen elementlerinin varlığından dolayı o noktada forsterit mineralinin bulunduğu, sodyum bulunmasından dolayı da tschernichite mineralinin varlığı görülmektedir.

Şekil 4.22’de görüldüğü üzere incelenen bir diğer farklı noktanın (Şekil 4.22B) spektrumuna (Şekil 4.22A) bakıldığında, oksijen, silisyum ve magnezyum elementleri dışında az miktarda da olsa sodyum, alüminyum, kalsiyum ve demir elementleri bulunduğu görülmüştür. Oksijen, silisyum ve magnezyum elementlerinin bulunmasıyla o noktada olivin varlığından bahsedilebilmektedir.

Noktasal incelemeler dışında haritalama yöntemi ile incelenen Şekil 4.23’de bulunan bölgenin analizinde ise o bölgede toplamda %26 kükürt, %21 demir, %17 oksijen, %12 silisyum, %7 magnezyum, %3 alüminyum, %3 nikel, %3 fosfor, %2 sodyum, %1 potasyum, %1 kalsiyum, %1 titanyum ve %1 krom elementlerinin bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.25).

XRD sonuçlarında ise, Şekil 4.31’de görüldüğü gibi, %77.9 olivin, %7.4 magnetit (Fe_3O_4), %7,1 tschernichit ($(Ca,Na_2)[Al_2Si_4O_{12}] \cdot 4-8H_2O$), %4.2 troilit (FeS), %1.6 pentlandit ($(Fe,Ni)_9S_8$), %1.4 daubreelit ($FeCr_2S_4$) ve %0.4 mackinawit ($FeNiS$) olarak çıkmıştır. Elementel dağılım yüzdeleri ise oksijen %35.25, magnezyum %19.61, silisyum %16.11, nikel %12.37, demir %9.03, kükürt %2.87, alüminyum %0.7, krom %0.5, kalsiyum %0.28, hidrojen %0.24, sodyum %0.02 ve potasyum %0.01 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4.32). Magnetit, (Hudson Institute of Mineralogy, 2023a) troilit (Hudson Institute of Mineralogy, 2023b) ve pentlandit (Khisina and Badyukov, 2022) mineralleri L grubu meteoritlerde bulunması beklenen minerallerdendir dolayısıyla NWA 6212 meteoritinin sınıflandırılmasına

uyan bir sonuçtur. Bununla birlikte daubreelit mineralinin, troilit ile bulunabilen bir tür olduğu hem Hudson Mineraloji Enstitüsü tarafından (Hudson Institute of Mineralogy, 2023c) hem de Maksimova ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada IIAB grubuna ait Sikhote-Alin meteoritinde daubreelit mineralinin troilit mineralinin içinde birlikte bulunduğu belirtilmiştir (Maksimova et al., 2019). Dolayısıyla NWA 6212 meteoritinde var olan daubreelit mineralinin troilit ile birlikte olması muhtemeldir. Mackinawite mineralinin Hudson Institute of Mineralogy tarafından (Hudson Institute of Mineralogy, 2023d) nadir de olsa kondritlerde bulunabileceği belirtilmiş, bu durum, mineralin bu meteoritte bulunmasının her ne kadar nadir olsa da anormal olmadığını göstergesidir. 2021'de Polonya'ya düşen ve L5 grubuna ait olan Antonin meteoriti, mackinawit mineraline sahip olan (The Meteoritical Society, 2023i) tek sıradan kondritik meteorittir (The Meteoritical Society, 2023i). Northwest Afrika 12328 meteoriti ise, CM1 grubuna ait ve mackinawit mineraline sahip olan (The Meteoritical Society, 2023j) tek karbonlu meteorittir (The Meteoritical Society, 2023k). Bu minerallerin aksine, tschernichit minerali zeolit grubuna ait bir mineraldir (Hudson Institute of Mineralogy, 2023e). Zeolitler, feldspar grubuyla benzer özelliklere sahiptir ancak genellikle düşük sıcaklıklarda ve yüksek pH koşulu sağlandığında volkanik camdan oluşurlar. Mars gezegeninin zeolit oluşumunu sağlayan koşullara sahip olma olasılığından dolayı, zeolit minerallerin Mars regolitlerinin bir parçası olduğu düşünülmektedir (Ruff, 2004).

Sonuç olarak, NWA 6212 meteoritinin spektroskopik, mikroskopik ve krristalografik yöntemlerle incelenmesini amaçlayan bu yüksek lisans tezinde, FTIR spektroskopisi, Raman spektroskopisi, SEM-EDS ve XRD teknikleri kullanılmıştır. FTIR ve SEM-EDS için örneğe ait toz numune, Raman ve XRD için ise örneğe ait bir parçadan belirli noktalar seçilerek incelemeler gerçekleştirilmiştir. İncelemeler sonucunda ise meteoritte bütün analizlerde forsterit ve fayalit yani olivin mineralleri tespit edilmesinin yanı sıra ek olarak Raman analizinde piroksen minerali olan ferrosilit de saptanmıştır. Ayrıca XRD analizinde yüzdece olivin minerallerine göre az da olsa, daubreelit, mackinawit, pentlandit, troilit, tschernichit ve magnetit gibi diğer gruplara ait olan minerallerin varlığı tespit edilmiştir. Bütün

bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, NWA 6212 meteoritinin LL grubuna ait bir meteorit olduğu bu yöntemlerle de desteklenmiştir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abd Mutalib, M., Rahman, M. A., Othman, M. H. D., Ismail, A. F., & Jaafar, J.** (2017). Scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive X-ray (EDX) spectroscopy. In *Membrane characterization* (pp. 161-179). Elsevier.
- American Meteor Society**, “Meteor Terminology”, <https://www.amsmeteors.org/resources/posters/> (Erişim tarihi: 18 Temmuz 2023)
- Apple Destek**, “macOS Ventura güncellemelerindeki yenilikler”, <https://support.apple.com/tr-tr/HT213268> (Erişim tarihi: 10 Temmuz 2023)
- Apple Support**, “About iOS 15 Uptades”, <https://support.apple.com/en-us/HT212788> (Erişim tarihi: 10 Nisan 2023)
- Asphaug, E.** (2009). Growth and evolution of asteroids. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 37, 413-448.
- Azo Materials**, “Unmasking Microabsorption: Why Fluorescence Suppression in Powder XRD Does More Harm Than Good”, <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=20003> (2021) (Erişim tarihi: 10 Mayıs 2023)
- Bardina, J., & Thirumalainambi, R.** (2005). Micro-flying robotics in space missions. *SAE transactions*, 1368-1374.
- Bottkejr, W., Durda, D., Nesvorny, D., Jedicke, R., Morbidelli, A., Vokrouhlicky, D., & Levison, H.** (2005). The fossilized size distribution of the main asteroid belt. *Icarus*, 175(1), 111-140.
- Bouvier, A., & Wadhwa, M.** (2010). The age of the Solar System redefined by the oldest Pb–Pb age of a meteoritic inclusion. *Nature Geoscience*, 3(9), 637-641.
- Bradbury, S., Ford, Brian J. and Joy, David C.** (2023, May 26). scanning electron microscope. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/technology/scanning-electron-microscope>

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Bunaciu, A. A., UdrișTioiu, E. G., & Aboul-Enein, H. Y.** (2015). X-ray diffraction: instrumentation and applications. *Critical reviews in analytical chemistry*, 45(4), 289-299.
- Byerly, G. R., Jarosewich, E., Mason, B., & Clarke Jr, R. S.** (1988). The Greenwell Springs LL4 chondrite: A new fall from Louisiana, USA. *Meteoritics*, 23(4), 359-360.
- Choudhary, R., Venkatraman, S. K., Bulygina, I., Chatterjee, A., Abraham, J., Senatov, F., ... & Swamiappan, S.** (2020). Impact of forsterite addition on mechanical and biological properties of composites. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 8(4), 1051-1065.
- Chrysostomou, A., & Lucas, P.** (2005). The formation of stars. *Contemporary Physics*, 46(1), 29-40.
- Cyburt, R. H., Fields, B. D., Olive, K. A., & Yeh, T.-H.** (2016). Big bang nucleosynthesis: Present status. *Reviews of Modern Physics*, 88(1), 015004. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.88.015004>
- Domagal-Goldman, S. D., Wright, K. E., Adamala, K., De La Rubia, L. A., Bond, J., Dartnell, L. R., ... & Wong, T.** (2016). The astrobiology primer v2.0. *Astrobiology*, 16(8), 561.
- Dufour, E.** (2009). Principles of infrared spectroscopy. *Infrared spectroscopy for food quality analysis and control*, 1-27.
- Friedrich, J. M., Perrotta, G. C., & Kimura, M.** (2014). Compositions, geochemistry, and shock histories of recrystallized LL chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 139, 83-97.
- Huang, E., Chen, C. H., Huang, T., Lin, E. H., & Xu, J. A.** (2000). Raman spectroscopic characteristics of Mg-Fe-Ca pyroxenes. *American Mineralogist*, 85(3-4), 473-479.
- Hudson Institute of Mineralogy**, “Magnetite” <https://www.mindat.org/min-2538.html> (Erişim tarihi: 18 Temmuz 2023a)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hudson Institute of Mineralogy**, “Troilite” <https://www.mindat.org/min-4029.html> (Erişim tarihi: 18 Temmuz 2023b)
- Hudson Institute of Mineralogy**, “Daubréelite” <https://www.mindat.org/min-1230.html> (Erişim tarihi: 18 Temmuz 2023c)
- Hudson Institute of Mineralogy**, “Mackinawite” <https://www.mindat.org/min-2512.html> (Erişim tarihi: 18 Temmuz 2023d)
- Hudson Institute of Mineralogy**, “Tschernichite” <https://www.mindat.org/min-4037.html> (Erişim tarihi: 18 Temmuz 2023e)
- Jones, Andrew Zimmerman**. “Stellar Nucleosynthesis: How Stars Make All of the Elements.” Retrieved from <https://www.thoughtco.com/stellar-nucleosynthesis-2699311> (2022) (Erişim tarihi: 05.07.2022)
- Khan, H., Yerramilli, A. S., D'Oliveira, A., Alford, T. L., Boffito, D. C., & Patience, G. S.** (2020). Experimental methods in chemical engineering: X-ray diffraction spectroscopy—XRD. *The Canadian journal of chemical engineering*, 98(6), 1255-1266.
- Khisina, N. R., & Badyukov, D. D.** (2022). Conditions of Formation of the Pentlandite (Fe, Ni_{1-x})₉S₈ and Heazlewoodite Ni₃S₂ in the Pallasite Seymchan and Dronino Iron Meteorite. *Geochemistry International*, 60(12), 1207-1220.
- Koten, P., Borovička, J., Spurný, P., Betlem, H., & Evans, S.** (2004). Atmospheric trajectories and light curves of shower meteors. *Astronomy & Astrophysics*, 428(2), 683-690. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20041485>
- Krot, A., Keil, K., Goodrich, C., Scott, E., Weisberg, M., & Davis, A. M.** (2005). Meteorites, Comets and Planets. *Treatise on Geochemistry*, 83-128.
- Krot, A. N., Keil, K., Scott, E. R. D., Goodrich, C. A., & Weisberg, M. K.** (2014). Classification of meteorites and their genetic relationships. *Meteorites and cosmochemical processes*, 1, 1-63.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kuebler, K. E., Jolliff, B. L., Wang, A., & Haskin, L. A.** (2006). Extracting olivine (Fo–Fa) compositions from Raman spectral peak positions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70(24), 6201-6222.
- Laetsch, T., & Downs, R.** (2006). Software for identification and refinement of cell parameters from powder diffraction data of minerals using the RRUFF Project and American Mineralogist Crystal Structure Databases. In *19th General Meeting of the International Mineralogical Association, Kobe, Japan* (Vol. 23, p. e28).
- Lane, M. D., Glotch, T. D., Dyar, M. D., Pieters, C. M., Klima, R., Hiroi, T., Bishop, J. L., and Sunshine, J.** (2011), Midinfrared spectroscopy of synthetic olivines: Thermal emission, specular and diffuse reflectance, and attenuated total reflectance studies of forsterite to fayalite, *J. Geophys. Res.*, 116, E08010
- Larkin, P.** (2017). *Infrared and Raman spectroscopy: principles and spectral interpretation*. Elsevier.
- Lehtovuori, A.** (2023). Petrography and olivine chemistry of chondrules in the Bjurböle L/LL4 meteorite.
- Lupoi, J. S., Gjersing, E., & Davis, M. F.** (2015). Evaluating lignocellulosic biomass, its derivatives, and downstream products with Raman spectroscopy. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*, 3, 50.
- Maksimova, A. A., Chukin, A. V., Felner, I., & Oshtrakh, M. I.** (2019). Spinel in meteorites: observation using Mössbauer spectroscopy. *Minerals*, 9(1), 42.
- Matsuo, T., Shibai, H., Ootsubo, T., & Tamura, M.** (2007). Planetary Formation Scenarios Revisited: Core-Accretion versus Disk Instability. *The Astrophysical Journal*, 662(2), 1282.
- McCreery, R. L.** (2005). Raman spectroscopy for chemical analysis. John Wiley & Sons.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- McSween Jr, H. Y.** (1979). Alteration in CM carbonaceous chondrites inferred from modal and chemical variations in matrix. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 43(11), 1761-1770.
- Miao, B., Lin, Y., & Zhou, X.** (2003). Type distribution pattern and pairing of ordinary chondrites from Grove Mountains, Antarctica. *Chinese Science Bulletin*, 48, 908-913.
- Michel, P.** (2014). *Formation and Physical Properties of Asteroids. Elements*, 10(1), 19-24.
- Minčeva-Šukarova, B.** (2009). Meteorite Struga—overview of previous chemical and recent spectroscopic analyses. *Macedonian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 28(1), 41-48.
- Mohammed, A., & Abdullah, A.** (2018, November). Scanning electron microscopy (SEM): A review. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Hydraulics and Pneumatics—HERVEX, Băile Govora, Romania* (Vol. 2018, pp. 7-9).
- NASA Planetary Science Communication Team,” Asteroids”**, <https://solarsystem.nasa.gov/asteroids-comets-and-meteors/asteroids/in-depth/> (2021)(Erişim tarihi: 29.06.2022)
- Ng, L. M., and Simmons, R.** (1999). Infrared spectroscopy. *Analytical chemistry*, 71(12), 343-350.
- Norton, O. R., & Chitwood, L. A.** (2008). *Field guide to meteors and meteorites* (p. 52). London: Springer.
- Ojeda, J. J., & Dittrich, M.** (2012). Fourier transform infrared spectroscopy for molecular analysis of microbial cells. *Microbial Systems Biology: Methods and Protocols*, 187-211.
- Pittarello, L., Baert, K., Debaille, V., & Claeys, P.** (2015). *Screening and classification of ordinary chondrites by Raman spectroscopy. Meteoritics & Planetary Science*, 50(10), 1718–1732. doi:10.1111/maps.12506

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Rawal, J. J.** (1986). Further considerations on contracting solar nebula. *Earth, Moon, and Planets*, 34(1), 93-100.
- Rogalski, A.** (2010). *Infrared detectors*. CRC press.
- Rubin, A. E., & Grossman, J. N.** (2010). Meteorite and meteoroid: New comprehensive definitions. *Meteoritics and Planetary Science*. <https://doi.org/10.1111/j.1945-5100.2009.01009>
- Ruff, S. W.** (2004). Spectral evidence for zeolite in the dust on Mars. *Icarus*, 168(1), 131-143.
- Scott, E., & Krot, A.** (2014). Chondrites and Their Components. *Treatise on Geochemistry (Second Edition)*, 65-137. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00104-2>
- Shindo, D. and Oikawa, T.** (2002). Energy dispersive x-ray spectroscopy. Analytical electron microscopy for materials science, 81-102.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R.** (2017). *Principles of instrumental analysis*. Cengage learning.
- Smith, E., & Dent, G.** (2005). Wiley Ed. *Modern Raman Spectroscopy: A Practical Approach*, 1, 224.
- Stanjek, H., & Häusler, W. J. H. I.** (2004). Basics of X-ray Diffraction. Hyperfine interactions, 154, 107-119.
- The Meteoritical Society**, “Northwest Africa 6212”, <https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?code=51801> (Erişim tarihi: 11 Temmuz 2023d)
- The Meteoritical Society**, “Recommended Classifications”, <https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbullclass.php?sea=LL3-4> (Erişim tarihi: 26 Ocak 2023a)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- The Meteoritical Society**, “Recommended Classifications”,
<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbullclass.php?sea=LL3.3> (Erişim tarihi: 13 Nisan 2023b)
- The Meteoritical Society**, “The Meteoritical Bulletin Database”
<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbullclass.php?sea=LL3-4> (Erişim tarihi: 13 Nisan 2023c)
- The Meteoritical Society**, “The Meteoritical Bulletin Database”
<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?code=33279> (Erişim tarihi: 11 Temmuz 2023e)
- The Meteoritical Society**, “The Meteoritical Bulletin Database”
<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?code=49437> (Erişim tarihi: 11 Temmuz 2023f)
- The Meteoritical Society**, “The Meteoritical Bulletin Database”
<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?code=74115> (Erişim tarihi: 11 Temmuz 2023g)
- The Meteoritical Society**, “The Meteoritical Bulletin Database”
<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?sea=LL3-4&sfor=types&ants=&nwas=&falls=&valids=&stype=exact&lrec=50&map=ge&browse=&country=All&srt=name&categ=All&mblist=All&rect=&phot=&strewn=&snew=0&pnt=Normal%20table&dr=&page=0> (Erişim tarihi: 11 Temmuz 2023h)
- The Meteoritical Society**, “Antonin”,
<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?code=77489> (Erişim tarihi: 11 Temmuz 2023i)

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

The Meteoritical Society, “Antonin”,
<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?sea=mackina&sfor=text&ants=&nwas=&falls=&valids=&styp=contains&lrec=50&map=ge&browse=&country=All&srt=name&categ=Ordinary+chondrites&mblst=All&rect=&phot=&strewn=&snew=0&pnt=Normal%20table&dr=&page=0> (Erişim tarihi: 11 Temmuz 2023i)

The Meteoritical Society, “Antonin”,
<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?code=68631> (Erişim tarihi: 11 Temmuz 2023j)

The Meteoritical Society, “Antonin”,
<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?sea=mackina&sfor=text&ants=&nwas=&falls=&valids=&styp=contains&lrec=50&map=ge&browse=&country=All&srt=name&categ=Carbonaceous+chondrites&mblst=All&rect=&phot=&strewn=&snew=0&pnt=Normal%20table&dr=&page=0> (Erişim tarihi: 11 Temmuz 2023k)

Theophile, T. (Ed.). (2012). Infrared spectroscopy: Materials science, engineering and technology. BoD–Books on Demand.

Thorne, K. S. (1967). Primordial element formation, primordial magnetic fields, and the isotropy of the universe. *The Astrophysical Journal*, 148, 51.

Uddin, M. G. (2018). Development of Simplified In Situ Processing Routes for Rear-Side Patterning of Silicon Heterojunction Interdigitated Back Contact (SHJ-IBC) Solar Cells (Master's thesis, Itä-Suomen yliopisto).

Van Schmus, W. R., & Wood, J. A. (1967). A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 31(5), 747-765.

Vernon-Parry, K. D. (2000). Scanning electron microscopy: an introduction. *III-Vs review*, 13(4), 40-44.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Weisberg, M. K., McCoy, T. J., & Krot, A. N.** (2006). Systematics and evaluation of meteorite classification. *Meteorites and the early solar system II*, 19, 19-52.
- Yıldız, A., Genç, Ö., & Bektaş, S.** (1997). Enstrümental analiz yöntemleri, 2. baskı. *Haccetepe Üniversitesi Yayınları A-64, Ankara.*
- Zeilik, M., & Gregory, S. A.** (1998). *Introductory Astronomy & Astrophysics.* Saunders College Pub.
- Zhou, W., Apkarian, R., Wang, Z. L., & Joy, D.** (2007). Fundamentals of scanning electron microscopy (SEM). *Scanning Microscopy for Nanotechnology: Techniques and Applications*, 1-40.



TEŐEKKÖR

Bu alıőma boyunca gerekli verilerin elde edilmesi ve deneylerin yapılması sűrecinde yardımlarıyla katkıda bulunan Dokuz Eylül Őniversitesi Jeoloji Műhendislięi Bűlűmű űęretim űyesi sayın Prof. Dr. Osman CANDAN ve Dokuz Eylül Őniversitesi Optik Mineraloji Laboratuvarları çalıőanlarına, baőtta sayın Dr. Çisem ALTUNAYAR ŐNSALAN olmak űzere bűtűn EGE MATAL ve İzmir Katip Çelebi Őniversitesi Merkez Laboratuvarları çalıőanlarına, meteorite ait űrneęi baęıőlayarak bu tez çalıőmalarının yapılmasına olanak saęlayan ve aynı zamanda tez sűresi boyunca yardımlarını esirgemeyen NASA Johnson Uzay Merkezi-ARES (Astromaterials Research and Exploration Science)'ten sayın Dr. Mike ZOLENSKY'ye, gerek tez gerekse yűksek lisansım sűrecinde kıymetli gűrűőlerinden yararlandıęım, yardımlarını ve yakın ilgisini esirgemeyen danıőmanım sayın Doç. Dr. Ozan ŐNSALAN'a ve çalıőmam sűresince manevi desteklerini esirgemeyen sevdiklerim ve arkadaőlarıma teőekkűrlerimi sunarım.

18/08/2023

Raziye Ceren ERTATIŞ



ÖZGEÇMİŞ**RAZİYE CEREN ERTATİŞ****Kişisel Bilgiler****Doğum Tarihi:****Adres:****Telefon:****Mail:****Eğitim Bilgileri**

Yüksek Lisans – Biyoteknoloji, Ege Üniversitesi

Lisans – Genetik ve Biyomühendislik, İzmir Ekonomi
Üniversitesi**Deneyimler**

Stajyer biyolog – Tepecik Eğitim Araştırma Hastanesi

Genetik Hastalıklar Tanı Merkezi

Bursiyer - TÜBİTAK 1002 “Ameliyat Sonrası Hastanın

Yoğun Bakım Gereksiniminin Belirlenmesinde

Karar Destek Sistemi Geliştirilmesi

Yayımlar

Micro-Raman and FTIR spectroscopic analysis of the

Berthoud eucrite (Araştırma Makalesi) - incelemede

O. Unsalan, I. Ayvaz, C. Ertatis, C. Altunayar-Unsalan,

M.E. Zolensky

Raman Spectroscopic Analysis of the Berthoud Eucrite

Ertatis C., Unsalan O., Zolensky M. (Poster Bildirisi)

Infrared Spectroscopic Analysis of the Berthoud Eucrite

Ertatis C., Unsalan O., Altunayar-Unsalan C., Zolensky M.

(Poster Bildirisi)