



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BAZI METEORİTLERİN PETROGRAFİK ve ELEMENTAL
ANALİZ YÖNTEMLERİ ile İNCELENMESİ**

Ersin KAYGISIZ

Fizik Anabilim Dalı

Atom ve Molekül Fiziği Programı

DANIŞMAN

Doç. Dr. Feyza GÜZELÇİMEN

II. DANIŞMAN

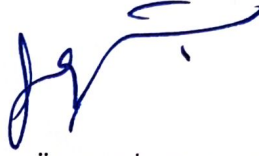
Doç. Dr. Namık AYSAL

Aralık, 2018

İSTANBUL

Bu çalışma, 12.12.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı, Atom ve Molekül Fiziği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

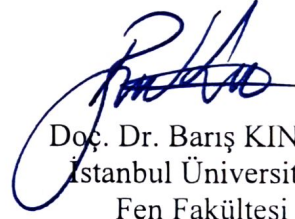
Tez Jürisi



Doç. Dr. Feyza GÜZELÇİMEN (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Sabah YILMAZ ŞAHİN
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Barış KINACI
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Atom ve Molekül Fiziği Programında “Bazı Meteoritlerin Petrografik ve Elemental Analiz Yöntemleri ile İncelenmesi” konulu yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Meteorit çalışmaları ile güneş sisteminin oluşumu sırasındaki kimyasal bileşimi ve element bolluklarını anlama şansı bulmaktayız. Bu çok disiplinli çalışma ile meteorit bilimine katkıda bulunabilmek amaçlı, Türkiye’ye düşmüş resmi kayıtlı üç örnek ve yurtdışından alınmış bir örneğin mineralojik-petrografik-kimyasal incelemesi yapılmış ve elde edilen veriler meteorit bilimini Türkiye adına daha anlaşılır kılarak en iyi şekilde katkı sağlamaya çalışılmıştır.

Çalışmamdaki desteğinden ve katkılarından dolayı değerli danışmanım Doç. Dr. Feyza GÜZELÇİMEN’e,

Tezin tamamındaki laboratuvar çalışmalarında ve elde edilen verilerin yorumlanmasında vermiş olduğu destek ve katkılarından dolayı değerli ikinci danışmanım Doç. Dr. Namık AYSAL’a,

Tez aşaması da dahil olmak üzere tüm yüksek lisans sürecimde desteğini ve ilgisini eksik etmeyen, merakı ve bilim tutkusu ile her daim yol gösterici olan, görüş ve önerilerinden faydalandığım değerli hocam Prof. Dr. Sinan ÖNGEN ve değerli eşi Prof. Dr. İzver ÖZKAR ÖNGEN’e,

Meteorit bilimine yaptığı katkılardan ve muhafaza ettiği resmi kayıtlı meteorit örneklerini benimle paylaşarak tez çalışmamı gerçekleştirmemi sağlayan desteklerinden dolayı değerli hocam Prof. Dr. Mehmet EMİN ÖZEL’e,

Mikroskop çalışmalarım sırasında görüşlerini aldığım ve her daim can-ı gönülden destek veren değerli hocalarım Prof. Dr. Sabah YILMAZ ŞAHİN, Prof. Dr. Hüseyin ÖZTÜRK ve Doç. Dr. Nurullah HANİLÇİ’ye,

Mineral kimyası ölçümlerimin yapılmasında destek olan ve yardımlarına başvurduğum değerli hocalarım Prof. Dr. Emin ÇİFTÇİ ve Kimya Müh. Nimet ALKAN ile sayın Hazal ÖZLEM ERSAN ERUŞ, sayın Mustafa ERUŞ ve sayın Hasan DİNÇER’e,

Hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen değerli bilim tutkunu arkadaşlarım Esra YILMAZ, Ahmet KARADAĞ, Zahide TERZİOĞLU ve Tuğba TEMEL’e,

Tüm hayatım boyunca desteğini esirgemeyen ve bilim tutkumu daha da yücelten canım aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Aralık 2018

Ersin KAYGISIZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	xiv
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xvi
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1 METEORİTLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ	3
2.1.1. Morfolojik Özellikler.....	3
2.1.2. Petrografik Özellikler	6
2.2. METEORİTLERİN GENEL SINIFLANDIRMASI.....	9
2.2.1. Kondritler	11
2.2.1.1. Sıradan (ordinary) Kondritler	12
2.2.1.2. Enstatit Kondritler	13
2.2.1.3. Karbonlu Kondritler	14
2.2.1.4. R tipi Kondritler.....	14
2.2.2. Akondritler	15
2.2.2.1. İlkel Akondritler	15
2.2.2.2. Asteroid Kökenli Akondritler	15
2.2.2.3. Ay ve Gezegen Kökenli Akondritler	15
2.2.3. Demirli Meteoritler.....	15
2.2.4. Taşlı-Demirli Meteoritler	16
2.2.4.1. Pallasitler	16
2.2.4.2. Mezosideritler	16
2.3. METEORİTLERİN KÖKENİ	17
2.4. METEORİTLERİN TANIMLANMASI	19
2.5. METEORİT ÇALIŞMALARININ ÖNEMİ	20
2.6. METEORİT İSTATİSTİKLERİ	21

3. MALZEME VE YÖNTEM.....	26
3.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN METEORİTLER	26
3.2. ANALİTİK YÖNTEMLER	29
3.2.1. Binoküler Mikroskop Çalışmaları	29
3.2.2. Polarizan Mikroskop Çalışmaları	29
3.2.3. Yansımali Mikroskop Çalışmaları.....	30
3.2.4. XRD Analizleri.....	30
3.2.5. Kimyasal Analiz Çalışmaları.....	32
3.2.6. Elektron Mikroprob Analizi (EPMA)	32
3.2.7. Elektron Mikroskobu Çalışmaları (SEM-EDX).....	33
3.3. BÜRO ÇALIŞMALARI	35
4. BULGULAR.....	36
4.1. MİNERALOGİ-PETROGRAFI.....	36
4.1.1. Bursa Meteoriti	38
4.1.1.1. Polarizan Mikroskop Çalışması	38
4.1.1.2. Yansımali Mikroskop Çalışması	43
4.1.1.3. XRD Çalışması.....	44
4.1.2. Fethiye (kemer) Meteoriti.....	47
4.1.2.1. Polarizan Mikroskop Çalışması	47
4.1.2.2. Yansımali Mikroskop Çalışması	52
4.1.2.3. XRD Çalışması.....	53
4.1.3. Didim Meteoriti	58
4.1.3.1. Polarizan Mikroskop Çalışması	58
4.1.3.2. Yansımali Mikroskop Çalışması	62
4.1.3.3. XRD Çalışması.....	63
4.1.4. Fas Meteoriti.....	68
4.1.4.1. Polarizan Mikroskop Çalışması	68
4.1.4.2. Yansımali Mikroskop Çalışması	73
4.1.4.3. XRD Çalışması.....	74
4.2. JEOKİMYA	79
4.3. MİNERAL KİMYASI	90
4.3.1 Bursa Meteoriti.....	90
4.3.1.1. SEM-EDX Analizi	90
4.3.1.2. EPMA Analizi	94

4.3.2. Fethiye (Kemer) Meteoriti.....	96
4.3.2.1. SEM-EDX Analizi	96
4.3.2.2. EPMA Analizi	98
4.3.3. Didim Meteoriti.....	103
4.3.3.1. SEM-EDX Analizi	103
4.3.3.2. EPMA Analizi	105
4.3.4. Fas Meteoriti.....	108
4.3.4.1. SEM-EDX Analizi	108
4.3.4.2. EPMA Analizi	112
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	116
KAYNAKLAR.....	119
EKLER	122
Ek 1. Meteorit Analiz İzin Belgesi	122
ÖZGEÇMİŞ.....	123

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: (A) İnce taneli, yeni düşmüş H5 sınıfı Chergach kondritik meteoritine ait erimiş kabuk, fusion-crust, (B) LL6 sınıfı kondritik “NWA 5882” meteoritinin kesitinden 0,3 mm kalınlığındaki erimiş kabuğu (Buhl, 2002).	4
Şekil 2.2: L5 sınıfı kondritik “Dhofar 1511” meteoritindeki geniş “regmaglypts” yapısı (Buhl, 2002).	4
Şekil 2.3: Chergach (H5 sınıfı kondrit) meteoriti tepesinden yayılan akış çizgileri (Buhl, 2002).	5
Şekil 2.4: Chelyabinsk (H5 sınıfı) meteoritinin kenarında yönlü, katılaşmış ve çoklu erimiş kabuk tabakası (Buhl, 2002).	5
Şekil 2.5: H4 sınıfı “Buzzard Coulee” kondritinin ön ve arka tarafındaki renk farkı (Buhl, 2002).	6
Şekil 2.6: Meteorit Sınıflandırması (Tez çalışması kapsamında kullanılan örneklerin ait oldukları sınıflar daire içine alınmıştır) (Spohn vd., 2014).	11
Şekil 2.7: Yaygın meteorit türlerinden örnekler: (a) Whitman, H5 (6 cm); (b) Allende; C3V (8 cm) –(Merkezde 1 cm kondrül), (c) Springwater pallasit (18 cm); (d) Sioux Co. eucrite (8 cm); (e) Sanderson IIIB orta oktahedrit (13 cm) –(büyük FeS kapanımlar) (Spohn vd., 2014).	17
Şekil 2.8: Nebuladan göktaşına kadar gelişen tüm süreçler ile bir asteroidin ana gövde oluşumundan sonra geçirdiği evreler (Spohn vd., 2014) ve yerde oluşturduğu kraterde şok metamorfizmasına bağlı oluşan yapılar.	18
Şekil 2.9: Dünya’da kara üzerine düşmüş toplam 56663 adet meteoritin sayılarına göre düştükleri yer dağılımı (Korotев, 2017).	21
Şekil 2.10: Dünya’da kara üzerine düşmüş toplam 56663 adet meteoritin kütlelerine göre düştükleri yer dağılımı (Korotев, 2017).	22
Şekil 2.11: Dünya’ya düşen 56663 adet meteoritin (A) ana türlere göre dağılımı (B) ana türlerin kütlelere bağlı oranları (Korotев, 2017).	22
Şekil 2.12: Taşlı meteorit türlerinin sayılarına göre dağılımı (Korotев, 2017).	23
Şekil 2.13: Taşlı meteorit türlerinin kütlelerine göre dağılımı (Korotев, 2017).	24
Şekil 2.14: Türkiye’ye düşen meteoritlerin konum haritası (tez kapsamında incelenen meteoritler yeşil pin ile işaretlenmiştir) (URL4).	25

Şekil 3.1: Bursa meteoritinin (A) yanık kabuk ve iç kısım görünümü (B) metalik mineraller ve oksitlenmiş kısımları.	26
Şekil 3.2: Fethiye meteoritinin (A) dış yanık kabuk görünümü, (B) iç kısımda kondrüller ve oksitlenme gösteren metalik mineraller.	27
Şekil 3.3: Didim meteoriti kesitinden (A) yanık kabuk ve iç kısım, (B) kondrüller ve oksitlenmiş metalik mineraller.	28
Şekil 3.4: Fas meteoriti (A) dış yanık kabuk, (B) kondrüllerin belirgin şekilde gözlendiği iç kısım.	29
Şekil 3.5: X-ışınlarının bir düzlemden yansıması	31
Şekil 3.6: XRD cihazı (A) dış görünümü, (B) gonyometre, x-ışını tüpü, dedektör ve numune tutucu.	32
Şekil 3.7: EPMA cihazı görünümü.	33
Şekil 3.8: SEM-EDX cihazı görünümü.	35
Şekil 4.1: İncelenen meteoritlere ait parlatılmış ince kesitler ve analiz için işaretlenen noktaların görüntüsü.	36
Şekil 4.2: Meteorit Kondrül Tipleri (URL5).	37
Şekil 4.3: Bursa meteoriti kondrül görüntüleri: A-B) Kriptokristalin enstatit kondrül tek ve çift nikol görüntüsü. C-D) Işınsal (radial) piroksen kondrül tek ve çift nikol görüntüsü. E-F) İlksel faz kuşaklı (barred) olivin kondrül tek ve çift nikol görüntüsü.	41
Şekil 4.4: Bursa meteoriti diğer kondrül görüntüleri: A-B) Porfirik olivin-piroksen kondrül tek ve çift nikol görüntüsü. C-D) Karakteristik kuşaklı olivin kondrül tek ve çift nikol görüntüsü. E-F) Oluşumunu tamamlamış bir başka kuşaklı olivin kondrül tek ve çift nikol görüntüsü.	42
Şekil 4.5: Bursa meteoriti silikat mineralleri ve kondrülleri arasında bulunan çeşitli opak (metalik) minerallerden yansımali mikroskop görüntüleri.	44
Şekil 4.6: Bursa meteoriti XRD kaydının $2\theta=10^{\circ}$ - 40° arasındaki bölümü.	45
Şekil 4.7: Bursa meteoriti XRD kaydının $2\theta=40^{\circ}$ - 70° arasındaki bölümü.	45
Şekil 4.8: Bursa meteoriti XRD kaydında ayrı ayrı mineral spektrumları.	46
Şekil 4.9: Fethiye (Kemer) meteoriti kondrül görüntüleri: A-B) Kuşaklı (barred) olivin kondrül ve porfirik olivin tipi kondrüllerin tek ve çift nikol görüntüsü. C-D) Granüler olivin kondrül tek nikol ve çift nikol görüntüsü. E-F) Işınsal (radial) kondrül, kriptokristalin enstatit kondrül, kuşaklı olivin, porfirik olivin-piroksen kondrül ve porfirik olivin kondrül tek ve çift nikol görüntüsü.	50

Şekil 4.10: Fethiye (Kemer) meteoriti diğer kondrül görüntüleri: A-B) Porfirik piroksen kondrül tek ve çift nikol görüntüsü. C-D) Kuşaklı (barred) olivin kondrül tek ve çift nikol görüntüsü. E-F) Porfirik poiklitik plajioklas piroksen kondrül tek ve çift nikol görüntüsü.	51
Şekil 4.11: Fethiye (Kemer) meteoriti silikat mineralleri ve kondrülleri arasında bulunan çeşitli opak (metalik) minerallerden yansımali mikroskop görüntüleri.	52
Şekil 4.12: Fethiye (Kemer) meteoriti FM1 parçası XRD kaydının $2\theta=10^{\circ}-40^{\circ}$ arasındaki bölümü.	54
Şekil 4.13: Fethiye (Kemer) meteoriti FM1 parçası XRD kaydının $2\theta=40^{\circ}-70^{\circ}$ arasındaki bölümü.	54
Şekil 4.14: Fethiye (Kemer) meteoriti FM1 parçası XRD kaydında ayrı ayrı mineral spektrumları.....	55
Şekil 4.15: Fethiye (Kemer) meteoriti FM2 parçası XRD kaydının $2\theta=10^{\circ}-40^{\circ}$ arasındaki bölümü.	56
Şekil 4.16: Fethiye (Kemer) meteoriti FM2 parçası XRD kaydının $2\theta=40^{\circ}-70^{\circ}$ arasındaki bölümü.	56
Şekil 4.17: Fethiye (Kemer) meteoriti FM2 parçası XRD kaydında ayrı ayrı mineral spektrumları.....	57
Şekil 4.18: Didim meteoriti kondrül görüntüleri: A-B) Kuşaklı (barred) olivin kondrül ve porfirik olivin kondrülün tek ve çift nikol görüntüsü. C-D) Granüler olivin-piroksen kondrülün tek nikol ve çift nikol görüntüsü. E-F) Işınsal (radial) piroksen kondrül ve porfirik olivin piroksen kondrül tek ve çift nikol görüntüsü.	60
Şekil 4.19: Didim meteoriti diğer kondrül görüntüleri: A-B) Polisomatik kuşaklı olivin kondrül ve porfirik olivin kondrül tek ve çift nikol görüntüsü. C-D) Granüler olivin-piroksen kondrül ve ona bitişik porfirik olivin kondrüllerin tek ve çift nikol görüntüsü. E-F) Işınsal (radial) piroksen enstatit kondrül tek ve çift nikol görüntüsü.	61
Şekil 4.20: Didim meteoriti silikat mineralleri ve kondrülleri arasında bulunan çeşitli opak (metalik) minerallerden yansımali mikroskop görüntüleri.	63
Şekil 4.21: Didim meteoriti DM1 parçası XRD kaydının $2\theta=10^{\circ}-40^{\circ}$ arasındaki bölümü.....	64
Şekil 4.22: Didim meteoriti DM1 parçası XRD kaydının $2\theta=40^{\circ}-70^{\circ}$ arasındaki bölümü.....	64
Şekil 4.23: Didim meteoriti DM1 parçası XRD kaydında ayrı ayrı mineral spektrumları.....	65
Şekil 4.24: Didim meteoriti DM2 parçası XRD kaydının $2\theta=10^{\circ}-40^{\circ}$ arasındaki bölümü.....	66

Şekil 4.25: Didim meteoriti DM2 parçası XRD kaydının $2\theta=40^\circ-70^\circ$ arasındaki bölümü.....	66
Şekil 4.26: Didim meteoriti DM2 parçası XRD kaydında ayrı ayrı mineral spektrumları	67
Şekil 4.27: Fas meteoriti kondrül görüntüleri: A-B) Porfirik olivin kondrül ve porfirik piroksen kondrülün tek ve çift nikol görüntüsü. C-D) Başka iki porfirik olivin kondrül ve porfirik piroksen kondrülün tek nikol ve çift nikol görüntüsü. E-F) Yassılaştırmış kuşaklı (barred) olivin kondrül tek ve çift nikol görüntüsü.....	70
Şekil 4.28: Fas meteoriti diğer kondrül görüntüleri: A-B) Granüler olivin-piroksen kondrülün tek ve çift nikol görüntüsü. C-D) Bir başka granüler olivin-piroksen kondrülün tek ve çift nikol görüntüsü. E-F) Polisomatik kondrül tek ve çift nikol görüntüsü.	71
Şekil 4.29: Fas meteoriti diğer kondrül görüntüleri: A-B) Kriptokristalin enstatit kondrülün tek ve çift nikol görüntüsü. C-D) Bir başka polisomatik kuşaklı olivin kondrülün tek ve çift nikol görüntüsü. E-F) Porfirik poiklitik plajiyoklas piroksen (ppplp) kondrülün tek nikol ve çift nikol görüntüsü.	72
Şekil 4.30: Fas meteoriti silikat mineralleri ve kondrülleri arasında bulunan çeşitli opak (metalik) minerallerden yansımali mikroskop görüntüleri.....	74
Şekil 4.31: Fas meteoriti FSM1 parçası XRD kaydının $2\theta=10^\circ-40^\circ$ arasındaki bölümü.	75
Şekil 4.32: Fas meteoriti FSM1 parçası XRD kaydının $2\theta=40^\circ-70^\circ$ arasındaki bölümü.	75
Şekil 4.33: Fas meteoriti FSM1 parçası XRD kaydında ayrı ayrı mineral spektrumları	76
Şekil 4.34: Fas meteoriti FSM2 parçası XRD kaydının $2\theta=10^\circ-40^\circ$ arasındaki bölümü.	77
Şekil 4.35: Fas meteoriti FSM2 parçası XRD kaydının $2\theta=40^\circ-70^\circ$ arasındaki bölümü.	77
Şekil 4.36: Fas meteoriti FSM2 parçası XRD kaydında ayrı ayrı mineral spektrumları.	78
Şekil 4.37: SiO_2 (%wt) ve $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T}) + \text{MgO}$ (%wt) konsantrasyonlarına göre dağılım (Jarosewich, 1990).....	80
Şekil 4.38: SiO_2 (%wt) ve $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T}) + \text{MgO}$ (%wt) konsantrasyonlarına göre dağılım (Korotey, 2017).	81
Şekil 4.39: $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (%wt) ve $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T}) + \text{MgO}$ (%wt) konsantrasyonlarına göre dağılım (Jarosewich, 1990).	81
Şekil 4.40: $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (%wt) ve $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T}) + \text{MgO}$ (%wt) konsantrasyonlarına göre dağılım (Korotey, 2017).	82
Şekil 4.41: MgO (%wt) ve $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T}) + \text{MgO}$ (%wt) konsantrasyonlarına göre dağılım (Jarosewich, 1990).....	83

Şekil 4.42: MgO (%wt) ve Fe ₂ O ₃ (T) + MgO (%wt) konsantrasyonlarına göre dağılım (Korotev, 2017).	83
Şekil 4.43: Cr(ppm) ve Fe ₂ O ₃ (T) + MgO (%wt) konsantrasyonlarına göre dağılım (Korotev, 2017).	84
Şekil 4.44: Meteorit örneklerinin MgO (%wt) ve SiO ₂ (%wt) değerlerinin (Jarosewich, 1990) ile iz düşüm grafiği.....	85
Şekil 4.45: Meteorit örneklerinin sıradan kondritlere (Jarosewich, 1990) iz düşüm üçgen diyagramı.	86
Şekil 4.46: İncelenen meteoritlerin kondrite normalize edilmiş nadir-toprak elementi değerleri (Kondrit normalize değerleri (Boynton, 1984)'ten alınmıştır).....	87
Şekil 4.47: İncelenen meteoritlerin kondrite normalize edilmiş nadir-toprak elementi değerleri ayrı ayrı gösterimi (Kondrit normalize değerleri (Boynton, 1984)'ten alınmıştır).	88
Şekil 4.48: İncelenen meteoritlerin ilksel mantoya normalize edilmiş çoklu element örümcek diyagramı (İlksel manto değerleri için (Sun ve McDonough, 1989) kullanılmıştır).	89
Şekil 4.49: Bursa meteoriti zon 5 bölgesinde analizi yapılan noktaların BSE görüntüsünde yerleri.	91
Şekil 4.50: Bursa meteoriti zon 2 bölgesinde analizi yapılan noktaların BSE görüntüsünde yerleri.	91
Şekil 4.51: Bursa meteoriti EPMA analiz noktaları: A-B) BM1 bölgesinde radial (ışınal) piroksen enstatit kondrül ölçüm noktası çift nikol ve BSE görüntüsü. C-D) BM5 bölgesinde olivin kristalleri ve opak mineral fazı ölçüm noktası çift nikol ve BSE görüntüsü. E-F) BM6 bölgesinde olivin kristali ölçüm noktası çift nikol ve BSE görüntüsü.....	94
Şekil 4.52: Bursa meteoriti EPMA ve SEM olivin analiz sonuçlarının izdüşüm üçgen diyagramı.	96
Şekil 4.53: Fethiye (Kemer) meteoriti zon 1 bölgesinde analizi yapılan noktaların BSE görüntüsünde yerleri.	96
Şekil 4.54: Fethiye (Kemer) meteoriti zon 3 bölgesinde analizi yapılan noktaların BSE görüntüsünde yerleri.	97
Şekil 4.55: Fethiye (Kemer) meteoriti EPMA analiz noktaları: A-B) FM1 bölgesinde kuşaklı (barred) olivin kondrül ve olivin kristali ölçüm noktaları çift nikol ve BSE görüntüsü. C-D) FM6 bölgesinde kuşaklı (barred) olivin kondrül ve olivin kristali ölçüm noktaları çift nikol ve BSE görüntüsü. E-F) FM7 bölgesinde radial (ışınal) enstatit piroksen kondrül ölçüm noktaları çift nikol ve BSE görüntüsü.	99

Şekil 4.56: Fethiye (Kemer) meteoriti EPMA analiz noktaları: A) FM4 bölgesinde ölçümü yapılan metalik (kırmızı çerçeve içinde) mineralin çift nikol görüntüsü. B) FM4 bölgesinde ölçümü yapılan metalik mineralin yansımali mikroskop görüntüsü ve analiz noktaları. C) FM4 bölgesinde ölçümü yapılan metalik mineralin BSE görüntüsü. D) FM4 bölgesinde ölçümü yapılan metalik mineralin faz görüntüsü.....	100
Şekil 4.57: Fethiye (Kemer) meteoriti EPMA ve SEM olivin analiz sonuçlarının izdüşüm üçgen diyagramı.....	102
Şekil 4.58: Didim meteoriti zon 1 bölgesinde analizi yapılan noktaların BSE görüntüsünde yerleri.....	103
Şekil 4.59: Didim meteoriti zon 3 bölgesinde analizi yapılan noktaların BSE görüntüsünde yerleri.....	104
Şekil 4.60: Didim meteoriti EPMA analiz noktaları: A-B) DM1 bölgesinde olivin minerali ölçüm noktası çift nikol ve BSE görüntüsü. C-D) DM2 bölgesinde PO kondrül ve BO kondrül ölçüm noktaları çift nikol ve BSE görüntüsü. E-F) DM4 bölgesinde RP enstatit kondrül ölçüm noktaları çift nikol ve BSE görüntüsü.....	106
Şekil 4.61: Didim meteoriti EPMA ve SEM olivin analiz sonuçlarının izdüşüm üçgen diyagramı.....	108
Şekil 4.62: Fas meteoriti zon 1 bölgesinde analizi yapılan noktaların BSE görüntüsünde yerleri.....	108
Şekil 4.63: Fas meteoriti zon 2 bölgesinde analizi yapılan noktaların BSE görüntüsünde yerleri.....	109
Şekil 4.64: Fas meteoriti EPMA analizi görüntüleri. A) FSM1 bölgesinde analizi yapılan olivin kristali BSE görüntüsü ve analiz noktası. B) FSM2 bölgesinde analiz yapılan GOP kondrül yansımali mikroskop görüntüsü. C) FSM2 bölgesinde analiz yapılan GOP kondrül tek nikol görüntüsü. D) FSM2 bölgesinde analiz yapılan GOP kondrül çift nikol görüntüsü. E) FSM2 bölgesinde analiz yapılan GOP kondrül BSE görüntüsü ve analiz yapılan noktalar. F) FSM2 bölgesinde analiz yapılan GOP kondrül mineral fazı görüntüsü.	112
Şekil 4.65: A-B) Fas meteoriti FSM2 bölgesinde sarı çerçeve içindeki metalik faz içeren bölgede yapılan analiz noktaları BSE ve faz görüntüleri. C-D) FSM3 bölgesi GOP kondrül çift nikol görüntüsü ve BSE görüntüsü içinde analiz yapılan noktalar. E-F) FSM3 bölgesi GOP kondrül sağındaki metalik fazdan analiz yapılan noktaların BSE ve faz görüntüleri.	113
Şekil 4.66: Fas meteoriti EPMA ve SEM olivin analiz sonuçlarının izdüşüm üçgen diyagramı.....	115

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Meteorit bülteni veri tabanında yer alan Türkiye'deki meteoritlerin listesi (tez kapsamında incelenen meteoritler işaretlenmiştir) (URL4).	25
Tablo 4.1: Meteorit örneklerinin tüm kayaç esas element (%ağ.) analiz sonuçları.....	79
Tablo 4.2: Meteorit örneklerinin tüm kayaç iz element (ppm olarak) analiz sonuçları.	86
Tablo 4.3: Meteoritlerin nadir-toprak element (ppm olarak) değerleri.	87
Tablo 4.4: Yapılan mineral kimyası analizlerinde yapılan ölçümler ile belirlenen mineral sayıları.	90
Tablo 4.5: Bursa meteoriti zon 2, zon 3 ve zon 5 bölgeleri analizi sonucu elde edilen mineral kimyası (%ağ.) sonuçları.....	93
Tablo 4.6: Bursa meteoriti EPMA analizi sonucu elde edilen mineral kimyası (%ağ.) sonuçları.	95
Tablo 4.7: Bursa meteoriti EPMA ve SEM analizi olivin minerali oluşum sıcaklığı hesaplama sonuçları.....	95
Tablo 4.8: Fethiye (Kemer) meteoriti zon 1, zon 3 ve zon 4 bölgeleri analizi sonucu elde edilen mineral kimyası (%ağ.) sonuçları.	98
Tablo 4.9: Fethiye (Kemer) meteoriti EPMA analizi sonucu elde edilen mineral kimyası (%ağ.) sonuçları.....	101
Tablo 4.10: Fethiye (Kemer) meteoriti EPMA ve SEM analizi olivin minerali oluşum sıcaklığı hesaplama sonuçları.	102
Tablo 4.11: Didim meteoriti zon 1 ve zon 3 bölgeleri analizi sonucu elde edilen mineral kimyası (%ağ.) sonuçları.	105
Tablo 4.12: Didim meteoriti EPMA analizi sonucu elde edilen mineral kimyası (%ağ.) sonuçları.	107
Tablo 4.13: Didim meteoriti EPMA ve SEM analizi olivin minerali oluşum sıcaklığı hesaplama sonuçları.....	107
Tablo 4.14: Fas meteoriti zon 1, zon 2 ve zon 4 bölgeleri analizi sonucu elde edilen mineral kimyası (%ağ.) sonuçları.....	111
Tablo 4.15: Fas meteoriti EPMA analizi sonucu elde edilen mineral kimyası (%ağ.) sonuçları.	114

Tablo 4.16: Fas meteoriti EPMA ve SEM analizi olivin minerali oluşum sıcaklığı hesaplama sonuçları.....	115
Tablo 4.17: Tez kapsamında yapılan inceleme ve analizler.....	115



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler / Açıklama

θ : teta

μ : mikro

λ : lamda

Kısaltmalar / Açıklama

Ab: Albit

An: Anortit

BM: Bursa meteoriti

BO: Kuşaklı (barred) olivin

BSE: Geri saçılım elektronları

C: Kriptokristalin

Ch: Kromit

Cpx: Klinopiroksen

DM: Didim meteoriti

EDX: Elektron dispersif X-ışını

En: Enstatit

EPMA: Elektron mikroprob analizi

Fa: Fayalit

FM: Fethiye meteoriti

Fs: Forsterit

FSM: Fas meteoriti

GOP: Granüler olivin piroksen

ICP-MS: İndüklenerek eşleşmiş plazma kaynaklı kütle spektrometresi

ICP-AES: İndüklenerek eşleşmiş plazma atomik emisyon spektrometresi

Ka: Kamasit

LOI: Kızdırma kaybı

Ol: Olivin

Opq: Opak

Opx: Ortopiroksen

PP: Porfirik piroksen

PPP: Porfirik poiklitik piroksen

PPPLP: Porfirik poiklitik plajioklas piroksen

Plag: Plajioklas

PO: Porfirik olivin

POP: Porfirik olivin piroksen

Pyx: Piroksen

REE: Nadir-toprak element

RP: Radial (ışınsal) piroksen

SEM: Taramalı elektron mikroskopi

Ta: Taenit

Tr: Troilit

Wo: Wollastonit

XRD: X-ışını kırınımı

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAZI METEORİTLERİN PETROGRAFİK ve ELEMENTAL ANALİZ YÖNTEMLERİ ile İNCELENMESİ

Ersin KAYGISIZ

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Feyza GÜZELÇİMEN

II. Danışman : Doç. Dr. Namık AYSAL

Bu çalışmanın amacı, Bursa, Fethiye ve Didim meteoritlerini (Türkiye'nin farklı bölgelerine düşmüş) ve Fas meteoritini (yurtdışından getirilmiş) farklı modern analitik yöntemler kullanılarak sınıflandırmak, bu meteoritlerin element-izotop bileşimlerini belirlemek, elde edilen sonuçları literatürdeki diğer meteoritler ile karşılaştırmak ve meteoritlerin kaynağını araştırmaktır.

İlk aşamada, meteoritlerin mineralojik bileşimleri belirlenmiştir ve petrografik ve dokusal incelemeleri yapılmıştır. Meteoritlerden alınan ince kesitler üzerinde yapılmış petrografik incelemelerden sonra, gözle ayırt edilemeyen minerallerin belirlenmesi amacıyla X-ışını Kırınımı (XRD) yöntemi analizleri gerçekleştirilmiştir. Meteorit örnekleri üzerinde tüm kayaç jeokimya analizleri yapılmıştır. İndüklenerek Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektrometresi (ICP-AES) yöntemi kullanılarak, meteoritlerin ana oksit element analizleri yapılmıştır.

Meteoritlerin nadir toprak element ve iz element konsantrasyonları İndüklenerek Eşleşmiş Plazma Kaynaklı Kütle Spektrometresi (ICP-MS) yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Benzer şekilde hazırlanmış olan ince kesitlerde, her bir mineralde belirlenen noktaların Elektron Prob Mikro Analiz (EPMA) ile ana oksit ve bazı iz element içerikleri belirlenmiştir. Ayrıca meteoritlerin iç yapıları, Taramalı Elektron Mikroskopi-Enerji Yayımlı X-ışını (SEM-EDX)

yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmada Türkiye’deki meteor araştırmaları için yeni veriler üretilerek, mevcut literatüre katkı sağlanmıştır.

Aralık 2018, 143 sayfa.

Anahtar kelimeler: Meteorit, Petrografik analiz, Elemental analiz



SUMMARY

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION of SOME METEORITES by PETROGRAPHIC and ELEMENTAL ANALYSIS TECHNIQUES

Ersin KAYGISIZ

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Sciences

Department of Physics

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Feyza GÜZELÇİMEN

Co-Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Namık AYSAI

The purpose of this study is to classify Bursa, Fethiye and Didim meteorites (fallen in different regions of Turkey) and Morocco meteorite (imported from abroad) by using different modern analytical methods, to determine the element-isotopic composition of these meteorites, to compare the results obtained with other meteorites in the literature and to investigate the source of meteorites.

In the first stage, the mineralogical composition of meteorites have been determined and petrographic and textural investigations have been made. After petrographic investigations on thin sections taken from meteorites, the analysis of X-Ray Diffraction (XRD) method has been performed to determine the indistinguishable minerals. All schist geochemical analysis have been done on meteorite samples. The major oxide elemental analysis of the meteorites have been done by using the Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES) method.

Rare earth element and trace element concentrations of meteorites have been measured by using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) method. In the thin sections prepared similarly, major oxide and some trace element concentrations of the points assigned

on each mineral have been determined by Electron Probe Micro Analysis (EPMA). Moreover, the inner structures of meteorites have been described by Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) method.

It has contributed to the current literature by producing new data on meteorite research in Turkey in this study.

December 2018, 143 pages.

Keywords: Meteorite, Petrographic analysis, Elemental analysis



1. GİRİŞ

Meteoritler güneş sisteminin oluşumundan arta kalan parçalardır. Dünya, oluşumu ve sonrasında iç ve dış kuvvetlerin etkisiyle birçok değişiklik geçirirken, meteoritler hiç değişikliğe uğramadan Mars ile Jüpiter arasındaki asteroid kuşağında yolculuklarına devam etmiştir. Bu nedenle güneş sisteminin oluşumu hakkındaki ilkel bilgileri içermeleri nedeniyle büyük bir öneme sahiptirler.

Meteorit çalışmaları ile güneş sisteminin oluşumu sırasındaki kimyasal bileşim hakkında bilgi edinebiliriz. Ay ve Mars gibi diğer gezegenlerden gelen meteoritleri incelediğimizde ise doğrudan o gezegenlerin jeolojileri ve atmosferleri hakkında bilgi sahibi olabiliriz. Ayrıca ilkel meteoritler, bir bütün olarak güneş sisteminde bulunan elementlerin oranları hakkında da ipuçları sağlayabilirler.

Meteoritler, yeryüzüne getirilmiş olabilecek, karboksilik asitler, kompleks aminoasitler, asetik asit ve formik asit gibi yaşamsal organik bileşikler için gerekli bileşenleri uzay kayaçlarında büyük mesafelere taşıyabilirler. Ayrıca geçmişte olduğu gibi büyük yok oluşlara yol açabilir ve gezegenimizde yaşamın seyrini etkileyebilirler.

Meteorit çalışmalarında öncelikle mineralojik ve petrografik incelemeler yapılır. Petrografik incelemeler gözle, binoküler mikroskop altında ve meteoritten alınan ince kesitlerin polarizan mikroskopla incelenmesi şeklinde yapılır. Ayrıca meteorit bünyesinde bulunan opak mineraller (kamasit, troilit vb.) üstten aydınlatmalı yansımali mikroskoplar yardımıyla tanımlanabilir. XRD (X-ışını kırınımı) yöntemi, tüm kayaç örneklerinde ve dolayısıyla meteoritlerde de mineral belirleyici olarak kullanılan yöntemlerin başında gelir (Mason, 1976b ve Ringwood, 1961). Tüm kayaç jeokimya analizleri modern spektroskopik yöntemler (XRF, ICP-OES, AES, MS vb.) kullanılarak yapılır. “ICP-AES (İndüklenerek Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi)” yöntemi kullanılarak meteoriti oluşturan ana oksitler ve bazı iz elementler analiz edilebilir. Hassas iz elementler (Hf, Sm, N vb.) ve nadir toprak elementlerinin analizleri ise “ICP-MS (İndüklenerek Eşleşmiş Plazma Kaynaklı Kütle Spektroskopisi)” yöntemi kullanılarak analiz edilebilir (Jarosewich, 1990; Evensen, 1978; Boynton, 1984).

Bu tez çalışması kapsamında, Türkiye’ye düşmüş olan Bursa, Didim, Fethiye meteoritleri ve Özel vd. (2008)’nin “Türkiye’nin Meteorit Çarpma Kraterleri Envanteri: Kraterlerin Morfolojik Özellikleri ve Uydu Görüntüleriyle Bulunması” başlıklı proje kapsamında meteorit değişimi ile elde edilen Fas meteoritlerinin mineralojik bileşimleri, doku ve yapıları incelenmiş, örneklerden ince kesitler hazırlanmış ve kesilen parçalardan belli miktarda öğütme işlemi yapılmıştır. Petrografik inceleme sonucunda ayırt edilemeyen minerallerin belirlenmesi amacıyla, hazırlanan toz örneklerden XRD analizleri ve mineralojik bileşimin belirlenmesinden sonra tüm kayaç jeokimya analizleri yapılmıştır. Meteoritlere ait ana oksitler, iz ve nadir toprak element konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca hazırlanan ince kesitlerde belirlenen minerallerin kimyasal bileşimleri, parlatılmış ince kesitlerden EPMA ve SEM-EDX yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen mineral kimyası verileri kullanılarak minerallerin oluştukları basınç ve sıcaklık koşulları belirlenmiştir. Son olarak SEM-EDX (Taramalı Elektron Mikroskopi-Enerji Yayılımlı X-ışını) yöntemi ile meteoritlerin iç yapıları belirlenmeye çalışılmış ve numune topografyası ortaya çıkarılmıştır.

Bu çalışma ile, daha önce Bursa ve Didim meteoritleri (Özel vd., 2008) ve Fethiye ile Fas meteoriti üzerine yapılmış incelemelerden (Ünsalan vd., 2015) farklı olarak meteoritlerin kökenine ilişkin yorumlamalar getirilmiş, yeni analiz yöntemleri kullanılarak önceki çalışmalara oranla daha detaylı ve hassas analizler yapılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar yeryuvarı manto örnekleri ile karşılaştırılarak benzerlik ve farklılıkların ortaya konması ile Türkiye’deki meteorit araştırmalarına ve dünya literatürüne katkıda bulunacak yeni veriler üretilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1 METEORİTLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

2.1.1. Morfolojik Özellikler

Bir meteoroidin Dünya'nın atmosferine giriş başlangıç hızı minimum 11.2 km/s'dir. Maksimum hız 70 km/s'ye ulaşabilirken, gözlenen ortalama değer ise 17 km/s'dir. Atmosferik geçiş sırasında meteoroidin yüzeyi sürtünmeden dolayı ısınarak ablasyona uğrar ve erir. Isı üretimi ve ablasyon çok hızlı gerçekleşir ve gerçekleşme oranları neredeyse eşittir. Bu yüzden, tespit edilebilir ısı etkisi yüzeyin sadece birkaç milimetre altına etki edebilir. İç kısmı ise yeryüzüne ulaşana dek korunmuş olur. Ablasyon ve parçalanma önemli miktarda kütle kaybına ve yavaşlamaya neden olurken, son hızında kahverengiden koyu kahverengi ve siyaha doğru fusion-crust adı verilen bir ergime kabuğu oluşur. Bu da dünyadaki bir meteoritin teşhisinde önemli rol oynar. Aslında fusion-crust, zaman içinde soğumuş bir meteorun morfolojik formasyonunun belirli bir anının görüntüsüdür (Buhl, 2002) (Şekil 2.1).

Eğer atmosferik geçiş sırasında ablasyon ile yeterince şekillenmişse, meteoroid yarı dengeli halde yönünü de belirlemiş olur. Bu durumda meteorun ön kısmındaki aktif olarak en fazla ısınan kısımdan arkaya doğru ergiyik malzeme taşınması olabilir. Ergimiş kabuk veya ergimiş dış yüzey, bir meteoritin bileşenlerinin termal olarak dönüşmüş olduğu ergimiş ince bir yüzey tabakasıdır. Bu tabaka taşı göktaşlarında esas olarak manyetit serilerinden olivin, cam, vüstit ve diğer demir oksitlerden oluşan ve nadiren 1 mm kalınlığı geçen çok ince bir tabakadır. Bu, demir meteoritlerde neredeyse tamamen manyetitten oluşur ve kalınlığı 0,2 mm'den azdır. Atmosfer yoğunluğunun deniz seviyesine göre yaklaşık %1'in altında olduğu ortalama 70 km'lik bir irtifada, atmosfer meteoriti yavaşlatmaya başlar. Bu aşamada, meteorun önünde zaten bir hava dalgası sıkışmış olur. Göktaşı gittikçe yoğunlaşan atmosfere ne kadar derin etki ederse, yolundaki hava dalgası o derece sıkışır ve sıcaklık da o kadar fazla artar. Böylelikle sıcak hava, meteorun dış kısmının ergimesine neden olur. Yaklaşık 1400°C'lik sıcaklıklarda, asteroidal litolojiler çok az direnç gösterebilirler. Eriyik akışkanlaşmaya başladığında, gaz ve plazma jet akımında anında yer değiştirir ve altında ortaya çıkan yeni malzeme ergimeye başlar. Bu ablasyon sürecinde meteor, atmosfere giriş açısına, giriş hızına ve mineral bileşimine bağlı olarak orijinal kütlelerinin yaklaşık %90'ını kaybeder. Yaygın inancın aksine meteorun iç kısmı, ablasyon işlemi sırasında dıştaki ergimiş akışkan kısmın sıcaklığından etkilenmez (Buhl, 2002).



Şekil 2.1: (A) İnce taneli, yeni düşmüş H5 sınıfı Chergach kondritik meteoritine ait erimiş kabuk, fusion-crust, (B) LL6 sınıfı kondritik “NWA 5882” meteoritinin kesitinden 0,3 mm kalınlığındaki erimiş kabuğu (Buhl, 2002).

Sıcak ablasyon aşamasında, meteor yeniden şekillenmiş olur. Düzensiz şekilleri nedeniyle meteorların çoğu, uçuşları sırasında kontrolsüz olarak dönmekte veya takla atmaktadırlar. Bu durumda, tüm yüzeye az ya da çok ancak eşit şekilde ablasyon etkimiş olur. Göktaşı aerodinamik bir şekle bürünmedikçe ve durağan bir uçuş geliştirmedikçe, sadece mineral bileşimindeki homojensizlikler ablasyon sürecinde bölgesel farklılıklara neden olurlar. Troilit gibi nispeten daha düşük bir erime noktasına sahip olan mineraller, örneğin demirce fakir olivinden (forsteritik olivin (Mg_2SiO_4)) çok daha hızlı ergimeye eğilimlidirler. Kalsiyumca zengin yapılarda daha hızlı ergimektedirler. Ablatif süreç, daha düşük bir erime noktasına sahip olan agregalara ulaştığında, küçük çukurlar oluşur ve bu da çukurları daha da büyüten mikro türbülanslara neden olmaktadır. Bundan dolayı oluşan oluklara “regmaglypts” adı verilmektedir (Buhl, 2002).



Şekil 2.2: L5 sınıfı kondritik “Dhofar 1511” meteoritindeki geniş “regmaglypts” yapısı (Buhl, 2002).

Bazı durumlarda ergimiş kabuklar, katılaşmış ergiyikte ince çizgiler geliştirir. Bunlar akış çizgileri olarak adlandırılır ve bu çizgiler genellikle kabuk soğuduğu anda uçuş yönüne uzak olan yüzeye doğru yönlenmişlerdir. Diğer kısımlarda, özellikle arka tarafta, yanlarda ve hava akışından korunan kısımlarda, ergimiş madde, daha kalın kabuklu yerel bölgeler veya çıkıntılar oluşturur. Bunlar çoğunlukla, uçuş yönünden uzaklaşan yüzeylerin kenarları boyunca bulunur (Şekil 2.3) (Buhl, 2002).



Şekil 2.3: Chergach (H5 sınıfı kondrit) meteoriti tepesinden yayılan akış çizgileri (Buhl, 2002).

Eğer sıvı malzeme tutulursa ve gaz akışı ile kaçması engellenirse, kalın sırtlar oluşturur veya boşlukları doldurur. Belli koşullar altında ergimiş materyal, meteorun ilerleme yolunu takip eden taraflarında durağan uçuş ile birikir ve birbirinin üstüne birkaç katman oluşturur (Şekil 2.4) (Buhl, 2002).



Şekil 2.4: Chelyabinsk (H5 sınıfı) meteoritinin kenarında yönlü, katılaşmış ve çoklu erimiş kabuk tabakası (Buhl, 2002).

Genellikle, yeni (taze) düşmüş kondritlerde bir tarafta oldukça siyah ergimiş kabuk mevcuttur ve karşıt tarafta kabuk daha kahverengi bir renk gösterir (Şekil 2.5). Bu bir hava etkisi değildir. Renk farklılıkları, karşıt kenarların kabuklarındaki manyetit içeriğindeki değişikliklere bağlıdır. Bunlar, sırasıyla, atmosferik oksijen kaynağı ve oksidasyon işleminin sıcaklığı ile kontrol edilir.



Şekil 2.5: H4 sınıfı “Buzzard Coulee” kondritinin ön ve arka tarafındaki renk farkı (Buhl, 2002).

2.1.2. Petrografik Özellikler

Mineraller, dünyamızın ve Güneş sisteminin sert kısımlarını oluşturur. Tüm kayaların ve tüm meteorların yapı taşlarıdır. Şimdiye kadar yaklaşık 4000 mineral tespit edilmiş ve bunlardan yaklaşık 280 tanesi meteorlarda bulunmuştur. Yeni analitik araçlar ve teknikler sayesinde keşif oranı büyük oranda artmıştır. Ayrıca, yeni minerallerle birlikte çok sayıda farklı meteor keşfedilmiştir (Norton ve Chitwood, 2008).

Uluslararası Mineraloji Derneği (IMA), bir minerali doğada kendiliğinden kristalli yapıda olan ve jeolojik süreç sonucunda oluşan kimyasal element veya kimyasal bileşik olarak tanımlar. Dünya, doğal olarak oluşan tüm kimyasal elementlerin mineral yapımına katılmasına izin veren muazzam genişlikte jeolojik süreçlere sahiptir.

Erken güneş sistemindeki kimyasal elementlerin bolluğu genel bir şekli takip eder; daha hafif elementler en bol olanıdır ve daha ağır elementler en az miktardadır. Bu elementlerden yapılan mineraller kabaca aynı kalıbı takip eder; en bol mineraller hafif elementlerden oluşur. Meteoritlerde oksijen (O), silisyum (Si), magnezyum (Mg), demir (Fe), alüminyum (Al), kalsiyum (Ca), sodyum (Na) ve potasyum (K) ağırlıklı olarak bulunur. Ayrıca daha az miktarda

da kükürt (S), krom (Cr), fosfor (P), karbon (C) ve titanyum (Ti) bulunmaktadır (Norton ve Chitwood, 2008).

Meteorlarda en bol bulunan mineraller piroksen, olivin, plajiyoklas feldspat, kamasit, taenit (demir-nikel karışımı) ve az miktarda troilit, şraybersit ve kohenittir.

Silikat mineralleri -piroksenler, olivinler ve feldspatlar- taşlı meteoritleri domine eder. Metaller -kamasit ve taenit- küçük miktarlarda şraybersit ve kohenit baskın demir meteorları temsil eder. Bu tez kapsamında incelenen meteoritlerde bulunan mineralleri kategorilere ayırırsak şu şekilde sıralayabiliriz (Norton ve Chitwood, 2008):

Silikatlar

Klinopiroksen ((Ca,Mg,Fe)SiO₃): Klinoenstatit, pijonit, ojit, diopsit ve hedenberjit içeren monoklinik kristal sisteminde oluşan piroksen mineralleridir.

Enstatit (MgSiO₃): Enstatit, ortopiroksenlerin enstatit-ferrosilit katı çözelti serisinin magnezyum açısından zengin uç üyesidir. Tüm sıradan, karbonlu ve R kondritlerin yanı sıra bazaltik akondritlerin başlıca mineralidir.

Fayalit (Fe₂SiO₄): Fayalit içeriği, sıradan kondritlerin petrografik tipleri için çok belirleyicidir. E chondrites dışındaki tüm kondritlerde önemli bir mineraldir. Fe'ce zengin olivin mineralidir

Forsterit (Mg₂SiO₄): MgO ve SiO₂'nin uygun sıcaklıkta ve sürede, Mg₂SiO₄ şeklinde kristallenerek oluşturduğu yüksek sıcaklık mineralidir. Magnezyumca zengin olivin mineralidir.

Plajiyoklas ((Na,Ca)(Si,Al)₃O₈): Albit (NaAlSi₃O₈(Na'lu)) ile anortit (CaAl₂Si₂O₈(Ca'lu)) uç üyeleri arasında değişen devamlı bir izomorf çözelti seriden oluşan, triklinik sistemde kristalleşen, genellikle ak-gri, bazen mavimsi, pembe, yeşilimsi veya kahverengimsi renkli, camsı parlaklıkta, çizgi izi ak, belirgin dilinimli, sodikten kalsike doğru değişen kimyasal formülüne göre, albit, oligoklas, andezin, labradorit, bitovnit ve anortit adlarını alan, alkali feldspatlardan polisentetik ikizlenmesiyle ayrılan, yerkabuğunun bileşiminde önemli bir oranda yer alan, önemli bir kayaç yapıcı mineral grubudur.

Olivin ((Mg, Fe)₂SiO₄): Magnezyumca zengin forsteritten. demirce zengin fayalite kadar tam bir katı ergiyik serisidir. Olivin bileşimi genellikle fayalitin moleküler yüzdesi olarak ifade edilir; kalan yüzde forsterit kabul edilir. Magnezyum açısından zengin olivinler, meteorlarda demir açısından zengin olivinlerden çok daha yaygındır. Olivin tüm kondritlerde, pallasitlerde ve bazı akondritlerde önemli bir mineraldir, ancak E tipi kondritlerde nadirdir.

Ortopiroksen ((Mg, Fe)₂Si₂O₆): Enstatit, ferrosilit, bronzit ve hipersten içeren ortorombik kristal sisteminde oluşan piroksen mineralidir. Genellikle düşük kalsiyumlu piroksen olarak adlandırılmaktadır.

Piroksen: Ortopiroksenleri (ör. enstatit) ve klinopiroksenleri (ör. ojit, diyopsit ve pijonit) içeren bir grup mineralidir. Bir piroksen bileşimi, piroksen kompozisyon sistemi CaSiO₃ – MgSiO₃ – FeSiO₃ şeklinde olan son üyelerle daha kesin olarak ifade edilir.

Oksitler

Kromit (FeCr₂O₄): Birçok meteorit grubunda bulunmuştur. Sıradan kondritlerde baskın oksittir. Genellikle kondrüllerdeki küçük, siyah ve opak kristaller ya da yarı-kristal taneler olarak bulunur.

Magnetit (Fe₃O₄): Opak, siyah, güçlü manyetik demir oksittir. Yaygın olarak karbonlu kondritlerin matriksinde, sıradan kondritlerde ve bazı akondritlerde az miktarda bulunur. Taşlı meteoritlerin dış yanık kabuklarında yaygın bir mineral ve yersel olarak bozunmuş demir meteoritlerde siyah bir kaplama oluşturur.

Sülfitler

Troilit (FeS): Hemen hemen tüm meteoritlerde bulunan, bir bronz renkli demir sülfürdür. Demirli meteoritlerde nodüller olarak bulunur ve sıklıkla grafit nodülleri ile ilişkilidir. Kondritik meteoritlerde ise genellikle hem kondrüllerde hem de matriks kısmında ortalama ağırlıkça yaklaşık %6 olan küçük kabarcıklar veya taneler şeklinde bulunur.

Fosfürler ve Fosfatlar

Şraybersit (FeNi)₃P): Demirli ve taşlı-demirli meteoritlerde bir aksesuar minerali olarak bulunan yaygın bir demir-nikel fosfürdür. Genellikle kamasit plakalarında “Neumann”

izgilerine paralel olarak yönlenir. Sıklıkla troilit nodüllerin çevresinde bulunur. Göktaşları dışında yeryüzünde bulunmayan gerçek bir dünya dışı mineraldir.

Doğal elementler ve metalller

Bakır (Cu): Sıradan kondritlerde ve demirli meteoritlerde eser miktarda bulunur. İz miktarları bazı CV kondritlerinde de bulunmuştur. Genellikle FeNi ve Troilit'deki küçük kapanımlarda bulunur.

Kamasit (α -(Fe,Ni)): %4-%7.5 arasında nikel içeren bir alfa-fazı (düşük sıcaklık) demir-nikel metal alaşımıdır. Kamasit, demirli ve taşlı-demirli meteoritlerdeki ana metal, sıradan kondritlerde bir aksesuar metali ve bazı akondritlerde ikinci derece metali olarak bulunur.

Taenit (γ -(Fe,Ni)): Demir meteoritlerde ağırlıkça %27-%65 arasında değişken nikel içeren bir gama fazı (yüksek sıcaklık) demir-nikel alaşımıdır. Kamasit sınırlarını çevreleyen ince lameller şeklinde bulunur veya kamasit ile birlikte plessit oluşturmak için bir araya gelir.

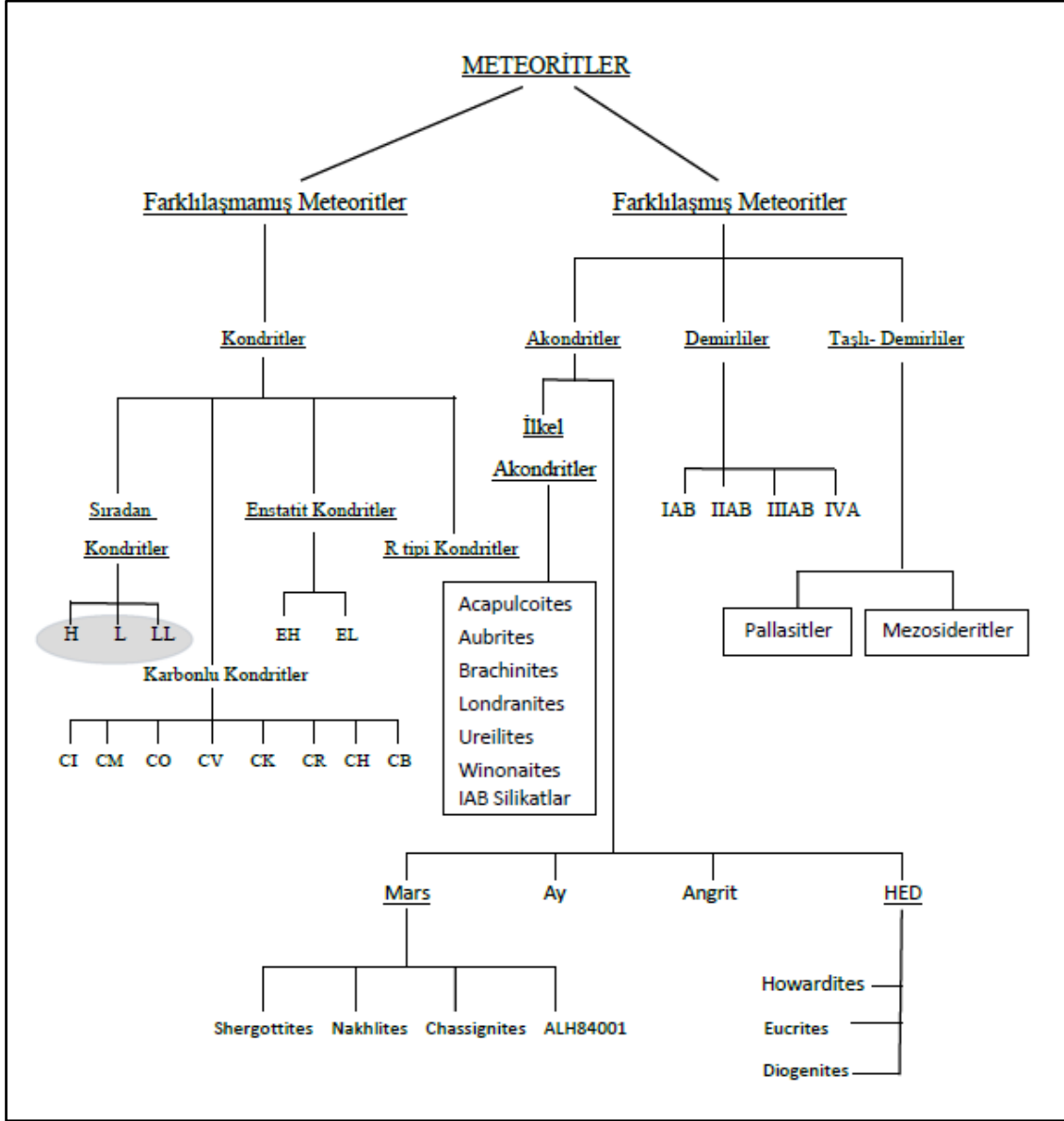
2.2. METEORİTLERİN GENEL SINIFLANDIRMASI

Meteoritler kütle bileşimlerine ve dokularına dayanarak, iki büyük gruba ayrılmıştır: Kondritik ve kondritik olmayan meteoritler. Kondritik olmayan grup ise kendi içinde ilkel akondritler ve sıcaklık etkisiyle farklılaşmış meteoritler olarak ayrılabilir. Bunlar ayrıca oksijen izotopları, kimyası, mineralojisi ve petrografisine dayanan bir sınıflandırma şeması ile de gruplara ayrılırlar. Bu sınıflandırma şemasının amaçları, aynı asteroidal veya gezegensel cisimden elde edilebilen benzer kökenleri veya oluşum geçmişlerine sahip meteor sınıfları için açıklayıcı etiketler sağlamak ve çeşitli sınıflar arasındaki olası genetik bağları ortaya çıkarmaktır (Spohn vd., 2014).

Öncelikle kondritler dört ana bileşenden oluşur: Kondrüller, Fe-Ni metal alaşımı, dayanıklı kapanımlar (Ca-Al zengini kapanımlar ve amipsi olivin kümeleri) ve ince taneli matriks materyalleri. Kondrüller, FeNi-metal alaşımı ve dayanıklı kapanımlar, güneş nebulası içinde yoğunlaşma ve buharlaşma içeren yüksek sıcaklıklı süreçler içerisinde oluşmaktadır. Birçok Ca-Al kapanımı, çoğu kondrül ve Fe-Ni metal alaşımı sıcaklığın yükseldiği sreleerimiştir. Matriks, bazı Ca-Al kapanımlar ve bazı kondritlerdeki metal (rneğin CH ve CB), yüksek

sıcaklıktaki bu nebula sürecinden kurtulmuş görünmektedir. Çoğu kondrit kaynak asteroidi üzerinde metasomatizma (akışkan transferi ile), termal ve şok metamorfizması gibi ısı işleme maruz kalmasına rağmen, erime ve ısıyla farklılaşma gibi durumları deneyimlememişlerdir. Bu nedenle güneş nebulasındaki fiziksel ve kimyasal kayıtlar büyük ölçüde korunmuştur. Bu kayıtların deşifre edilmesi, kondrit çalışmalarının birincil amacıdır. Kondritik olmayan meteoritler kondritik dokulardan yoksundur ve kısmi ya da tam erimiş ve kondritik öncü asteroidlerin gezegensel farklılaşması ile ya da daha geniş gezegensel kaynakların (mars, ay gibi) farklılaşması ile oluşurlar. Bazı kondritik olmayan meteorit grupları sadece düşük derecelerde erime yaşamış ve kondritik kütle bileşimlerini büyük oranda muhafaza etmişlerdir (Spohn vd., 2014).





Şekil 2.6: Meteorit Sınıflandırması (Tez çalışması kapsamında kullanılan örneklerin ait oldukları sınıflar daire içine alınmıştır) (Spohn vd., 2014).

2.2.1. Kondritler

Kütle kimyası, oksijen izotopik kütle bileşimleri, mineraloji, petroloji ve çeşitli kondritik bileşenlerin oranlarına dayanarak 14 kondrit grubu tanımlanmıştır. Birkaç diğer kondrit mineralojik ve/veya kimyasal özgünlük olarak mevcut kondrit grubunda yer alır ve bunlar; “*gruplanmamış kondritler*” olarak adlandırılırlar. Bilimsel olarak bir kondrit topluluğu “grup” olarak tanımlanması için benzer mineraloji, petrografi, kütle izotopik özellikleri, kütle kimyasal

özelliklerinden oluşan minimum 5 adet kondrite sahip olmalıdır. 14 kondrit grubundan 13'ü üç ana sınıftan oluşmaktadır: Her biri farklı gruplar içeren, karbonlu (C), sıradan (O) ve enstatit (E). Karbonlu terimi biraz yanlış bir isimlendirmedir, çünkü sadece CI, CM ve CR kondritler, karbonlu olmayan kondritlere göre karbon açısından önemli ölçüde zenginleşmişlerdir. CI kondritler, kondrül içermezler ve iyi belirlenmiş 8 grubu vardır; CI, CM, CR, CH, CB, CV, CK ve CO. Grupları belirten harfler, gruptaki tipik bir kondrite işaret eder. (CI (Ivuna), CM (Mighei), CO (Ornans), CR (Renazzo), CH (ALH85085), CB (Bencubbin), CV (Vigarano) ve CK (Karoonda)). Bu kuralın istisnası, H'nin yüksek metal bolluğunu ve yüksek demir konsantrasyonunu temsil ettiği CH grubudur (Bischoff vd., 1993b).

2.2.1.1. Sıradan (ordinary) Kondritler

Bu tip kondritlerin “sıradan (ordinary)” adını almasının sebebi, tüm onaylanmış meteorit düşüşlerindeki örneklerin %85'inden fazlasını oluşturan çok yaygın bir grup olmasıdır. Sıradan kondritler ilksel malzemenin en orijinal örnekleridir. Bazı araştırmacılar, dünya yakınında seyreden asteroidlerin yörüngeleri ile sıradan kondritlerin yörüngelerinin kesişerek, dünya üzerine düştüklerini ve dolayısıyla yüzdelerinin diğer kondritlere göre yüksek olduğunu düşünmektedirler. Mineraloji açısından ise sıradan kondritler, öncelikle olivin, ortopiroksen ve belli yüzdede oksitlenmiş demir-nikel alaşımından oluşurlar. Farklı metal içeriği ve farklı mineralojik bileşime dayanarak sıradan kondritler H, L ve LL diye adlandırılan 3 gruba ayrılırlar (Norton ve Chitwood, 2008).

H grubu: 7000'den fazla üyesi olan bu grup, yüksek oranda demir-nikel içerir. İsmindeki “H” harfi de yüksek demiri temsil etmektedir. H kondritler ağırlıkça %25-%31 arasında toplam demir içerirken, serbest, indirgenmiş formda sadece %15-%19 oranında serbest nikel-demir bulundurulur. Bu sebeple H tipi kondritler, mıknatısa güçlü tepki verirler.

Bu tip kondritler 3-7 arası petrolojik tipe (dereceye) sahip olup, tip 5 en karakteristik olanıdır. Bu grubun 3400'den fazla üyesi H5 şeklinde sınıflandırılmıştır. 1800 tanesi H6 ve yaklaşık 1400'ü de H4 tipidir. H3 tipi kondrit sayısı ise 200'dür. İçerdikleri birincil mineraller olivin ve ortopiroksen bronzittir. Yapılan çalışmalarda, yansıma spektroskopisi ile alınan spektrumlar karşılaştırıldığında H tipi kondritlerin ana kaynağının 6 Hebe adlı asteroid olabileceği ifade edilmiştir (Gaffey ve Gilbert, 1998).

L grubu: Yaklaşık 6500 üyesi ile L grubu, ikinci en büyük sıradan kondrit grubudur. “L” harfi düşük demiri temsil etmektedir. L kondritler ağırlıkça % 20-% 25 toplam demir içerir, ancak sadece % 4-%10 oranında nikel-demir serbest metal olarak bulunur. L tipi sıradan kondritler H tipi sıradan kondritlere göre mıknatısa daha az tepki verir. L tipi kondritler 3-7 arasında petrolojik derecelere sahip olmakla birlikte 6’ncı derece karakteristiktir. 4000’den fazla L6, yaklaşık 1300 kadar L5, 400 civarı L4 ve 300 tane de L3 tipi kondrit bulunmaktadır.

Magnetit ve demir-nikel’in yanı sıra L kondritlerde olivinle birlikte ortopiroksen hipersten de oluşmaktadır. L tipi kondritlerin orijini olarak, “shoemaker” uzay aracı tarafından yapılan dünya yakını asteroidler incelemesi sonucu elde edilen verilere göre 433 Eros adlı asteroid gösterilmektedir (Gaffey ve Gilbert, 1998).

LL Grubu: Yaklaşık 1100 üyesi ile sıradan kondritlerin en seyrek topluluğunu temsil etmektedir. “LL” gösterimi, düşük demir ve düşük metali temsil etmektedir. LL kondritleri genellikle %19-%22 arasında toplam demir ağırlığına sahiptir ve bu da %1-%3 arası serbest demire işaret etmektedir. Böylece mıknatısa da çok az tepki verirler. LL kondritler de diğer sıradan kondritler gibi petrolojik dereceler gösterirler (1-7 arası) ancak üyelerinin dağılımına bakıldığında karakteristik olarak yoğunlaşan belirgin bir derece yoktur. En yaygın LL kondrit tipleri, herbiri 400 civarı üyeye sahip olan LL6 ve LL5 tipleridir. Her biri yaklaşık 70 üyeye sahip LL4 ve LL3 tipleri çok daha nadirdir.

LL kondritlerdeki olivinler, diğer sıradan kondritlere göre daha fazla demir içerir ve bu da bu grubun, H ve L tiplerine oranla daha fazla oksitleyici koşullar altında oluştuğuna işaret etmektedir. Yapılan çalışmalar sonucu henüz LL tipi kondritler için bir orijin bulunamamıştır. Küçük bir ana kuşak asteroidi olan 3628 Boznemcova, her ne kadar LL tipi kondritlerle benzer yansıma spektrumu veriyor olsa da, 7 km’lik küçük çapı LL kondrit üyelerinin ana gövdesi (orijini) olamayacak kadar küçüktür (Gaffey ve Gilbert, 1998).

2.2.1.2. Enstatit Kondritler

Enstatit kondritler, meteorit koleksiyonları içinde oldukça yaygındır ve taşlı meteoritlerin yaklaşık %1,5’lik kısmını temsil eder. Günümüzde bilinen yaklaşık 200 üyesi vardır ve bunların çoğunlukla EH3, EH4 ve EL6 tipi üyeler olduğu belirlenmiştir. Apollo 15 Astronotları tarafından Ay’daki Hadley Rille bölgesi yakınlarından alınan toprak örneğinin içinde 3 mg kütleli çok çok küçük ancak kayda değer bir öneme sahip olan E tipi kondrit kitlesi

keşfedilmiştir. Bu kitle halen tüm Enstatit kondritlerle birlikte meteorit kataloglarında listelenmektedir. E tipi kondritler ve enstatit kondritler, oksijenin tükenmiş olduğu ortamlarda oluşmuşlardır. İçerdiği demirin çoğu metal ya da demir sülfid olarak ortaya çıkmaktadır. Piroksenleri hemen hemen hiç demir içermez ve %1 mol'den daha az demir içeren saf magnezyum silikat (enstatit) içerirler. Bu nedenle enstatit kondritler olarak adlandırılırlar. Sıradan kondritler gibi enstatit kondritler de toplam demir içeriğine göre H ve L gruplarına ayrılırlar. EH kondritlerin toplam demir oranı %30 civarında olurken, EL kondritler yaklaşık %25 demir ve daha az metal içermektedirler. Bu iki grubu mikroskop altında ince kesitleri ile gözle bile birbirinden ayırmak mümkündür. Örneğin EL3 tipi kondrit yaklaşık 550 mikron boyutlu belirgin kondrüller içerirken, EH3 tipi kondritler ortalama 220 mikron boyutunda ve daha az belirgin halde kondrüller içerirler (Norton ve Chitwood, 2008). Ayrıca, LEW87223 isimli gruplanmamış bir E kondrit de vardır (Grossman vd., 1993).

2.2.1.3. Karbonlu Kondritler

Karbonlu kondritler veya diğer adı ile C tipi kondritler bilinen en bozunmamış maddeyi temsil ederler ve kimyasal bileşimleri Güneş'in kimyası ile diğer kondrit sınıflarından daha yakındır. Karbonlu kondritler, ilkel güneş sisteminin oksijen bakımından zengin bölgelerinde oluşan ilkel ve farklılaşmamış meteoritlerdir, bu nedenle içerdikleri metalin çoğu serbest formda değil silikatlar, oksitler veya sülfürler olarak bulunmaktadır. Çoğu üyesi su varlığında değişmiş mineraller içerir ve bunların bazıları daha yüksek miktarlarda karbonun yanı sıra organik bileşikler de içermektedir. İlkel güneş nebulasının farklı bölgelerinde oluştuklarından, 8 farklı karbonlu kondrit grubu vardır (Norton ve Chitwood, 2008).

2.2.1.4. R tipi Kondritler

1934'te Afrika'da (Kenya) düşmüş olan Rumuruti türü örneği temsilen adlandırılmışlardır. Rumuruti, bu meteoritin düşüşüne tanıklık etmiş tek kişidir ve örnekler 1938'den beri Berlin'de Humbolt Müzesi koleksiyonunda sergilenmektedir. 1993'te yeniden sınıflandırılana ve R tipi kondrit adını alana dek, anormal bir kondrit olarak kayıtlarda yer almıştır. Toplamda 25 üyeye sahip bir gruptur (Norton ve Chitwood, 2008).

2.2.2. Akondritler

Akondritler, farklılaşmış meteoritlerin en büyük sınıfıdır ve asteroit kuşağından, Ay'dan ve Mars gezegeninden gelen meteoritleri içerir (Norton ve Chitwood, 2008).

2.2.2.1. İlkel Akondritler

Bu sınıfa ait 3 grubun ikisi Akapulkoit'ler ve Lodranit'lerdir. Bu iki grup benzer kimyasal ve fiziksel özellikleri taşıyan ilkel akondritlerdir. İki ilkel kondrit grubu arasındaki temel ayırım, tane büyüklüğünün karşılaştırılmasıyla oluşur (Norton ve Chitwood, 2008).

2.2.2.2. Asteroid Kökenli Akondritler

Bu akondritler, bazaltik akondritler (Ökrit-Diojenit-Howardit), "Ureilit"ler, "Angrit"ler, "Aubrit"ler ve "Brakinit"lerden oluşmaktadır. Bu meteoritler, yapılan detaylı incelemeler ve araştırmalar sonucu ayrı bir grup oluşturulmasını gerektiren üyeler barındırmaktadır. Özellikle uzay araçları ile asteroidlerden elde edilen yansıma spektrumlarının dünyada bulunan örneklerle karşılaştırılması, grupların belirlenmesinde etken rol oynamıştır. Benzer şekilde ana orijin belirleme yöntemi kondritlerde de mevcuttur (Norton ve Chitwood, 2008).

2.2.2.3. Ay ve Gezegen Kökenli Akondritler

Bu grup meteoritlerin kaynağı Mars ve Ay'dır. Mars meteoritleri aynı zamanda SNC (Shergotty, Nakhla, Chassigny) grubu olarak da adlandırılırlar. Bu meteorit tipleri, her birinin ana kayası (mars) ortak olmakla birlikte, ayrı bir kaya tipini temsil etmektedirler. SNC meteoritleri en olağandışı özelliklere sahip ve oldukça evrimleşmiş akondritlerden oluşan bir gruptur. Ayrıca 1984'ün sonlarında Antarktika meteoriti Allan Hills 8400 bulundu. Ay'ın parçalarını temsil eden ay grubu (LUN) meteoritler de en ilgi çekici akondrit sınıfıdır. Bu sınıfın toplam 8,5 kg ağırlığa sahip 25 üyesi bulunmaktadır (Norton ve Chitwood, 2008).

2.2.3. Demirli Meteoritler

Bu tip meteoritler yüksek oranda demir içermektedirler. Demir meteoritlerin çoğu yersel hava koşullarına karşı oldukça dayanıklıdır ve diğer türdeki meteoritlere oranla uzun süre korunabilirler. Demirli meteoritler genellikle, taşlı ve demirli-taşlı meteoritlere göre daha büyüktürler. Diğer meteoritlere göre atmosfere giriş sırasında nadiren parçalanırlar ve atmosferi

geçişindeki etkilerden daha az etkilenirler. Bilinen tüm demirli meteoritlerin ağırlığı 500 tondan fazladır. Demir göktaşları büyük ölçüde nikel-demir metalden oluşur ve çoğu sadece küçük aksesuar mineralleri içermektedir (Norton ve Chitwood, 2008).

2.2.4. Taşlı-Demirli Meteoritler

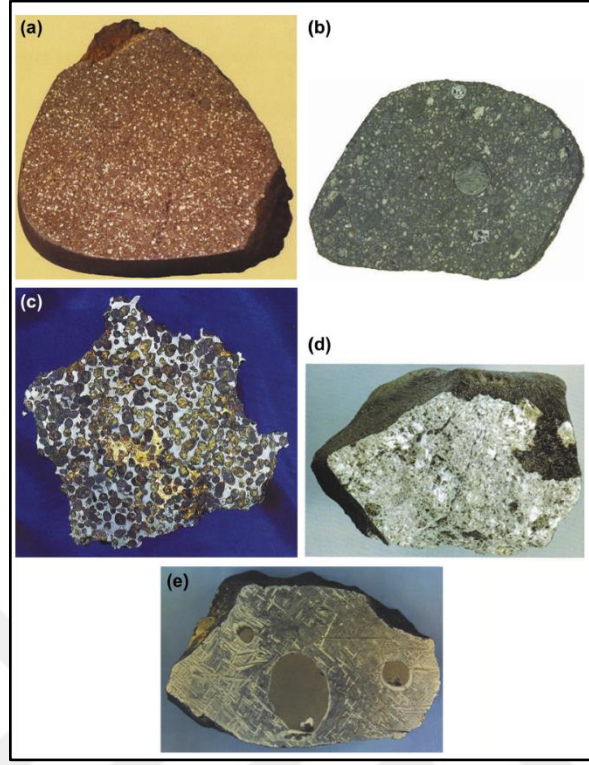
Kimyasal ve genetik olarak birbiri ile ilgisi olmayan birkaç meteorit sınıfından oluşurlar. Tek ortak noktaları, demir-nikel metali ve farklı tipteki taşlı bileşenlerinin yaklaşık olarak eşit parçalar oluşturmasıdır. Modern meteor biliminde bu meteorit sınıfı “pallasitler” ve “mezosideritler” şeklinde iki gruba ayrılır (Norton ve Chitwood, 2008).

2.2.4.1. Pallasitler

Bu grubun üyeleri Alman doğa bilimci Peter Simon Pallas tarafından isimlendirilmiştir. Pallas, seyahatlerinden birinde (1772) Sibirya’daki Krasnojarsk bölgesi yakınındaki dağlarda daha önce bulunmuş büyük bir demir kütlesi üzerinde çalışmıştır. Bu olağandışı kütle, büyük bir demir matriks içine dağılmış büyük olivin kristalleri içermektedir (Norton ve Chitwood, 2008).

2.2.4.2. Mezosideritler

Bu tip meteoritler aslında eşit miktarda demir-nikel metali ve silikat içeren tipik taşlı-demirli meteoritlerdir. 7 tanesinin düşüşüne şahitlik edilmiş, toplam 50 üyeden oluşan bir gruptur. Petrografik olarak mezosideritler, piroksen ve plajioкластан oluşan ağır breşik silikat kısım ve demir-nikel içerikli metal kısımdan oluşan bir karışımdır (Norton ve Chitwood, 2008). Yaygın meteorit türlerine ait örnekler şekil 2-7’de gösterilmiştir (Spohn vd., 2014).



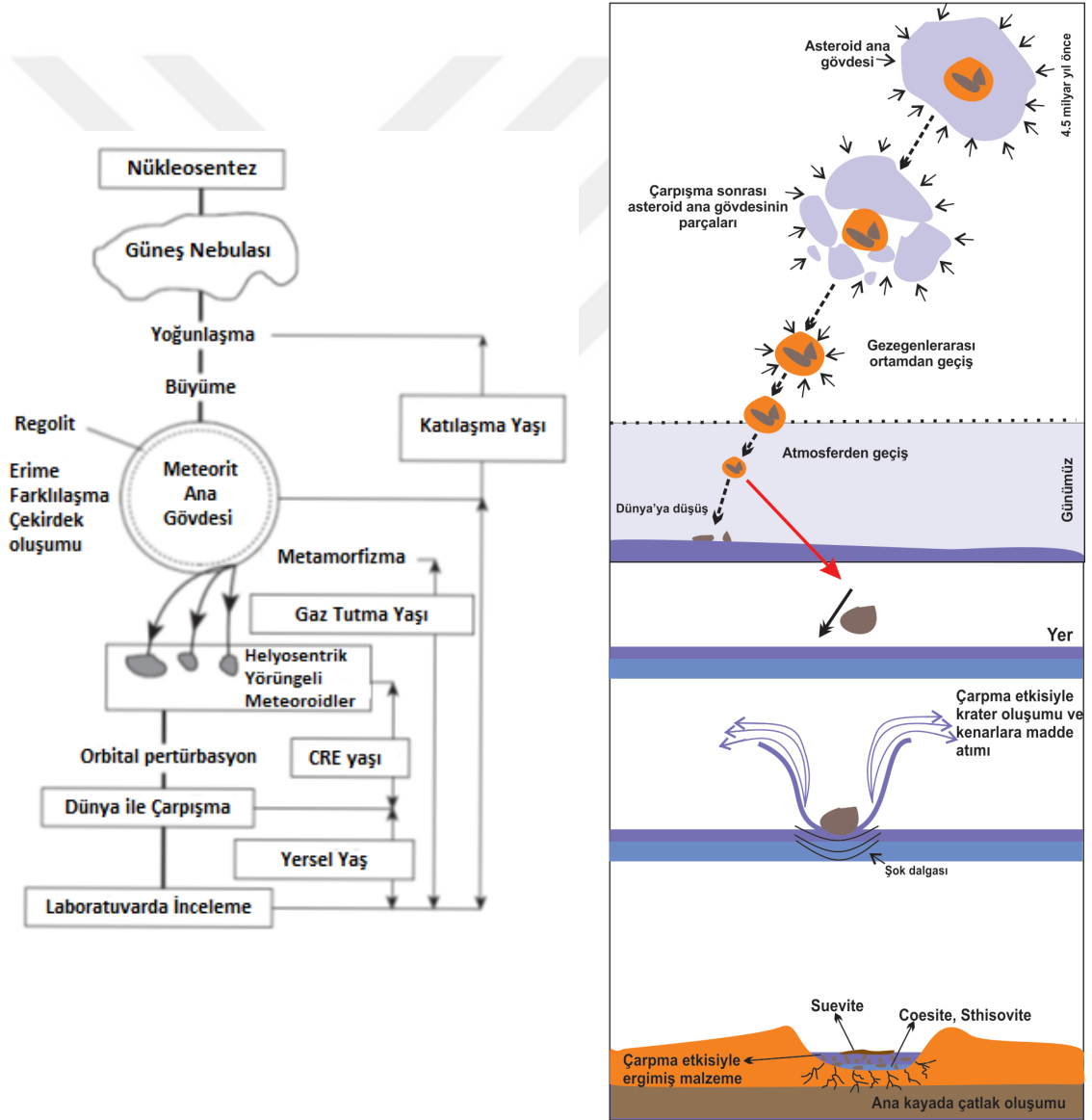
Şekil 2.7: Yaygın meteorit türlerinden örnekler: (a) Whitman, H5 (6 cm); (b) Allende, C3V (8 cm) – (Merkezde 1 cm kondrül), (c) Springwater pallasit (18 cm); (d) Sioux Co. eucrite (8 cm); (e) Sanderson IIIB orta oktahedrit (13 cm) –(büyük FeS kapanımlar) (Spohn vd., 2014).

2.3. METEORİTLERİN KÖKENİ

Meteoritler insanlı veya insansız uzay görevleriyle henüz elde edemediğimiz gezegensel cisimlerin (çoğunlukla asteroidler) örneklerini temsil ederler. Dolayısıyla, bilimsel bir kaynak olarak, meteorlar bize iç güneş sistemi boyunca dağılmış olan çeşitli gezegensel malzemelerin oluşum zamanı ve bileşimleri hakkında bilgi edinmemizi sağlar. Meteorlar, 4.6 milyar yıl önce güneş sistemimizde meydana gelen jeolojik evrim süreçlerinin kalıntılarıdır.

Güneş sistemi oluşurken öncelikle yıldızlararası toz ve gaz bulutu çökmüştür. Yıldızlararası bulut yavaş yavaş çöktüğünden, güneş nebulası olarak adlandırdığımız bu nesne neredeyse düz dönen bir disk halini almıştır (URL1). Diskteki toz ve gazın çoğu, nihayetinde güneşimiz haline gelen ve büyüyen bir nebulanın merkezinde yer almıştır. Nebulada geri kalan toz ve gaz ilkel gezegensel malzemeye dahil olmuştur. Başlangıçta, nebula tozları küçük ve gevşek bir haldeyken, zamanla birleşerek, güneş nebulasının bazı bölgelerinde toz topları şeklinde şiddetli, yüksek sıcaklıklı süreçlere maruz kalmış ve erimiş halde, silikat ve metal damlacıkları (lav gibi)

oluşturmuştur. Yüksek sıcaklıktaki olaylar kısa olduğundan, erimiş damlacıklar nebula (bulutsu) hızla soğumuş ve milimetre boyutlarındaki “kondrül” olarak adlandırılan kaya kürelerini oluşturmuştur (URL1). Bu kondrülleri içeren meteorlara “kondritler” adı verilir. En ilkel meteorit numuneleri, bu karmaşık ama ilkel, nebula (ön-gezegen) malzemenin karışımlarıdır. Birçok durumda, bu meteorlar çok ilkel ve güneş nebulasında termal işleminden kurtulan yıldızlararası toz izleri içerirler. Nebuladan göktaşına kadar gelişen tüm süreçler ile bir asteroidin ana gövde oluşumundan sonra geçirdiği evreler (Spohn vd., 2014) ve yerde oluşturduğu kraterde şok metamorfizmasına bağlı oluşan yapılar şematik olarak Şekil 2-8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8: Nebuladan göktaşına kadar gelişen tüm süreçler ile bir asteroidin ana gövde oluşumundan sonra geçirdiği evreler (Spohn vd., 2014) ve yerde oluşturduğu kraterde şok metamorfizmasına bağlı oluşan yapılar.

Neredeyse tüm elementlerin çekirdekleri, büyük yıldızların içlerindeki nükleer reaksiyonlar tarafından oluşturulmuş ve daha sonra çok enerjik süpernova patlamalarıyla uzaya fırlatılmıştır. Fırlatılan gaz bulutu (nebular gaz) ve toz çekirdekleri büyüyüp yoğunlaşarak ilkel yapılara katılmıştır. Çoğu göktaşına kaynaklık eden bu yapılar ısıtılmış, katı hal metamorfizması ya da yüksek sıcaklıkla katı, sıvı ve gazların ayrışmasını da içeren farklılaşmalara maruz kalmıştır. Ana gövde, eğer atmosferi yoksa evrimleşmesi sırasında küçük tanelerin darbelerine maruz kalmış, güneş ve galaktik ışınların saçılmasıyla nükleer reaksiyonlara sebep olan küçük parçacıklar yüzeyine nüfuz etmiştir. Daha büyük etkiler, fırlatılan parçaları Güneş'in yörüngesine sokmuştur. Daha sonra, büyük parçaların kütle çekim etkisi ile yörünge değişikliğine maruz kalan meteoroidler, Dünya'ya düşmesine ve meteorit şeklinde bir bulgu olarak elde edilmesine imkan tanıyacak yörüngelere oturmuşlardır. Her bir aşamada elemental ve izotopik içerikler değişebilir: etkilenmiş ya da belli süreçler sonunda kendine ait parametreleri tanımlanmış belli bir meteorit, zamanın akışı içerisinde tamamıyla tanımlanabilir hale gelmiştir (Spohn vd., 2014).

2.4. METEORİTLERİN TANIMLANMASI

Astronomide meteor bilimine ait bazı temel tanımlar bulunmaktadır. Bunlar: “meteoroid, meteor, meteorit, gezegenler arası partiküller, kuyruklu yıldız, asteroid, ateş topu (fireball ve bolide), meteor yağmuru” gibi tanımlamalardır.

Gezegenler-arası partiküller: Mikrometeoroid, mikrometeorit veya kozmik toz partikülü olarak adlandırılan ve genellikle birkaç yüz mikrometreden daha ufak silikat mineralleri ve camsı nodüllerden oluşan, bazen de sülfür, metal ve diğer mineralleri içeren, güneş etrafında dolanan malzemelerdir. **Kuyruklu yıldız;** Donmuş gaz, toz ve buzdan oluşan ve ana gövdeden hariç binlerce kilometrelik bir kuyruk kısmı bulunan gök cisimidir. **Asteroid;** Kaya, demir ve buz parçalarından oluşan ve 1m ile yüzlerce kilometre arası değişebilen boyutlardaki gök cisimidir. Mars ve Jüpiter arasındaki bölge “asteroid kuşağı” olarak bilinir. **Ateş Topu (Fireball);** Venüs'ten daha parlak meteorlardır. **Bolide;** Meteoroid veya asteroid büyüklüğünde olup, atmosfere girişte patlayan göktaşlarıdır. **Meteoroid;** Aslında asteroidin küçüğü olarak düşünülebilecek büyüklükteki gök taşıdır ve uzaydaki yörüngelerinde dolanırken göktaşlarının aldığı isimdir. **Meteor;** Göktaşı atmosfere girdiğinde sürtünmeden dolayı bir alev topuna

dönüştüğünde ve biz bunu gözlemleyebildiğimizde “meteor” adını alır. Örneğin meteor yağmurları, belli dönemlerde gözlenen meteor geçişleridir. **Meteorit**: Atmosfere girdikten sonraki yol aldığı süre boyunca kütesini yanmadan dolayı tüketen ve sonrasında yere ulaşan göktaşlarına verilen isimdir. **Meteor Yağmuru**: Yılın belirli zamanlarında, dünyanın yörüngesi yüksek yoğunluklu kozmik toz ve diğer parçacıkların bulunduğu bir banttı geçeri ve birçok meteor gözlenir. Bu geçiş atmosferde parlak izler şeklinde belirir ve meteor yağmuru adını alır (URL2, URL3).

Düşüşü gözlemlendikten sonra geri kazanılan meteoritler “düşen” olarak adlandırılırken, düşüşü kesin olarak gözlemlenmeyen meteoritler ise “bulunan” olarak ifade edilir. Meteoritlere, geri kazanıldıkları yere dayalı isimler verilir (örneğin, Allende meteoriti; Allende, Meksika'da düştü). Antarktika, Avustralya'nın çölleri ve Kuzey Afrika'daki meteoritlere isim ve numara verilmiştir, bunun nedeni numaralı örneklerin benzer bölgelere düşmüş olmasıdır. Antarktika ya da sıcak çöllerde bulunan ve aynı meteorit düşüşüne ait olduğu düşünülen parçalara farklı numaralar ya da çift isimler verilebilir ve bu parçalar “çiftlenmiş” olarak adlandırılır. Günümüzde bilinen 17000 meteorit var ve bu sayı, soğuk ve sıcak çöllerdeki büyük konsantrasyona sahip meteoritlerin keşfiyle daha da artmaktadır (Krot vd., 2005).

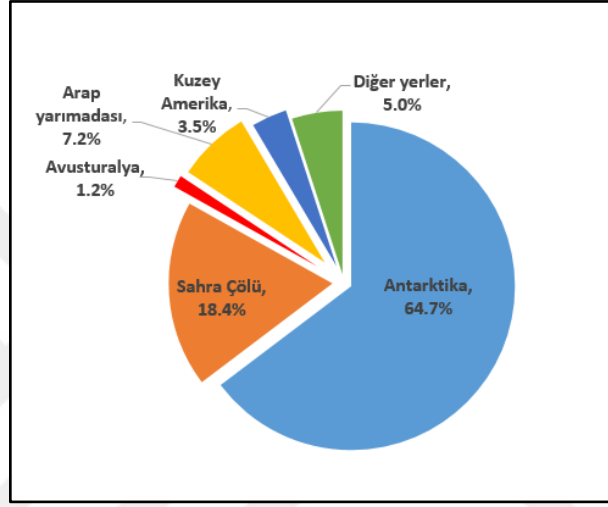
2.5. METEORİT ÇALIŞMALARININ ÖNEMİ

Öncelikle bazı meteoritler Güneş sistemimizin oluşumundan önce yıldızlarca üretilen toz tanelerini içerir. Bu güneş öncesi granüller yıldızların oluşumu ve evrimleri hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar. Meteoritlerdeki çoklu element ve element izotoplarının konsantrasyonlarının analizi sonucu güneş sisteminin yaşı ve birincil kimyasal bileşimi ile meteorlardaki farklı bileşenlerinin ana cisimlerinin içeriğine ve sonuçta güneş sisteminin oluşumuna dair bilgi edinmemizi sağlar.

Ayrıca büyük göktaşı etkileri, gezegenimizin yüzeyini ve Ay'ı zaman içinde şekillendirmiştir. Birçok bilim adamı Ay'ın oluşumundan çok büyük bir etkinin sorumlu olduğuna inanmaktadır. Dolayısıyla meteoritler üzerinde yapılan tüm çalışmalar gezegenimizin içinde bulunduğu güneş sisteminin geçmişini ve geleceğimizi daha iyi yorumlayabilmek adına oldukça önemlidir.

2.6. METEORİT İSTATİSTİKLERİ

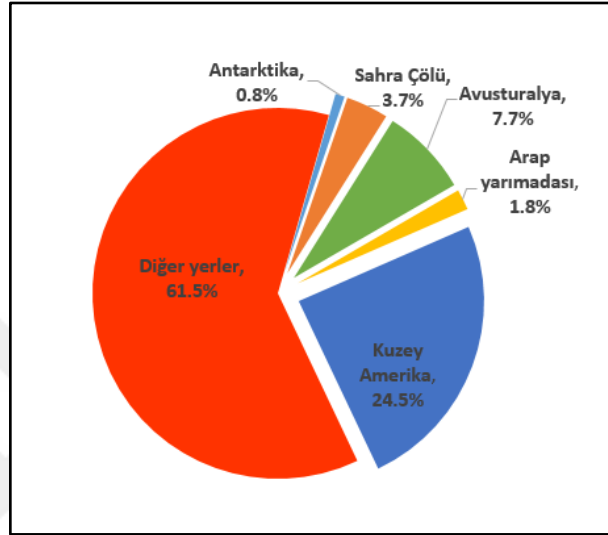
Dünya üzerine düşen meteoritlerin önemli kısmı çöllerde bulunmuştur (Antarktika da çöl sayılmaktadır, çünkü yıllık yağış oranı çok düşüktür). Çöller, binlerce yıl boyunca meteoritleri barındıran ve meteoritlerin en az fiziksel etkiye maruz kaldıkları alanlardır. Ayrıca meteoritleri çöllerde bulabilmek, bitki örtüsünün veya diğer kayaların yoğunlukta olduğu yerlerde bulmaktan daha kolaydır (Korotev, 2017b)



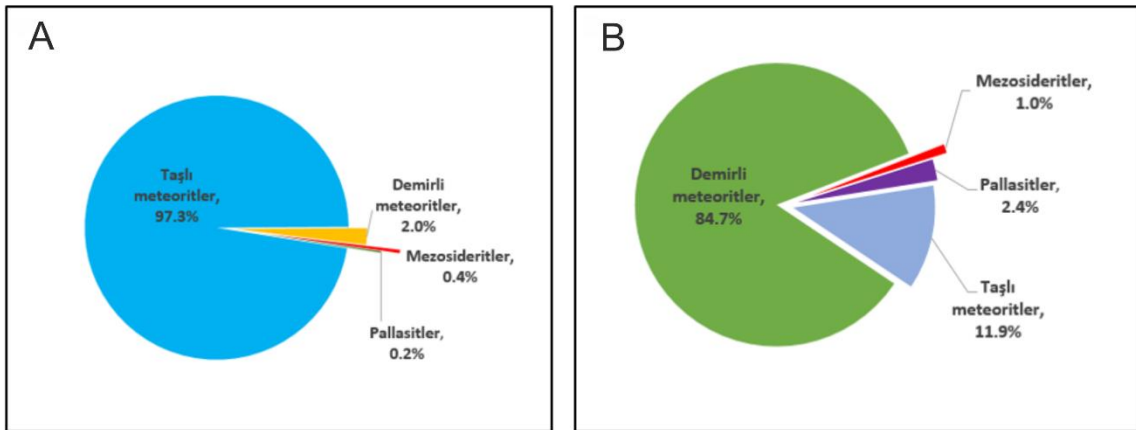
Şekil 2.9: Dünya’da kara üzerine düşmüş toplam 56663 adet meteoritin sayılarına göre düştükleri yer dağılımı (Korotev, 2017b).

Antarktika'daki yaklaşık 37000 meteor, Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya başta olmak üzere hükümet tarafından finanse edilen keşif seferleri sırasında bulunmuştur. Bulunan meteoritlerin neredeyse tamamı 1976'dan beri kayıt altına alınanlardır. Kuzey Afrika'nın Sahra Çölü'nde, 1995'den beri çoğunlukla göçebeler ve özel koleksiyoncular tarafından yaklaşık 10000 civarı meteorit bulunmuştur. Arap Yarımadası'nda ise 4000 civarında meteorit çoğunlukla Umman sınırları içerisinde bulunmuştur. Şekil 2-9'daki dağılım meteoritlerin toplam sayısı üzerinden verilmiştir. Bu meteoritleri kütle dağılımına göre çizdiğimizde şu sonuçlar elde edilir (Şekil 2.10). Antarktika kütleye göre sıralamada önemli ölçüde küçük bir yüzdeye karşılık gelir. Antarktika’da toplanan meteoritler boyutlarından bağımsız şekilde toplanır ve ortalama kütle 154 g’dır. “Kuzey Amerika” ve “Diğer yerler” dilimleri, Namibya (Hoba, 60 ton ve Gibeon, 26 ton), Grönland (Cape York, 58 ton), Çin (Aletai, 50 ton), Arjantin (Campo del Cielo, 50 ton), ABD (Canyon Diablo, 30 ton), Meksika (Chupaderos, 24 ton ve

Bacubirito, 22 ton), Avustralya (Mundrabilla, 24 ton) ve Rusya (Sikhote-Alin, 23 ton) meteoritleri sayesinde oldukça büyük bir yüzdeye sahiptir. Bununla birlikte bu 10 meteorit, bilinen tüm meteoritlerin toplam kütlelerinin % 54'ünü oluşturmaktadır (Korotev, 2017b).



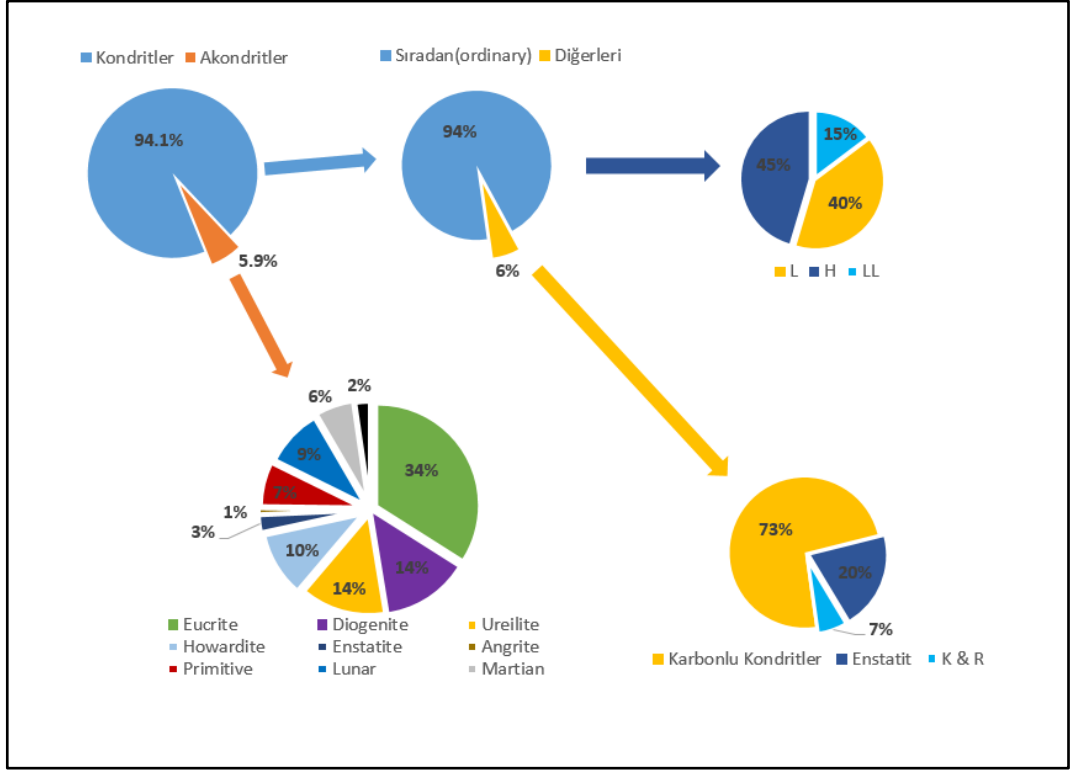
Şekil 2.10: Dünya'da kara üzerine düşmüş toplam 56663 adet meteoritin kütlelerine göre düştükleri yer dağılımı (Korotev, 2017b).



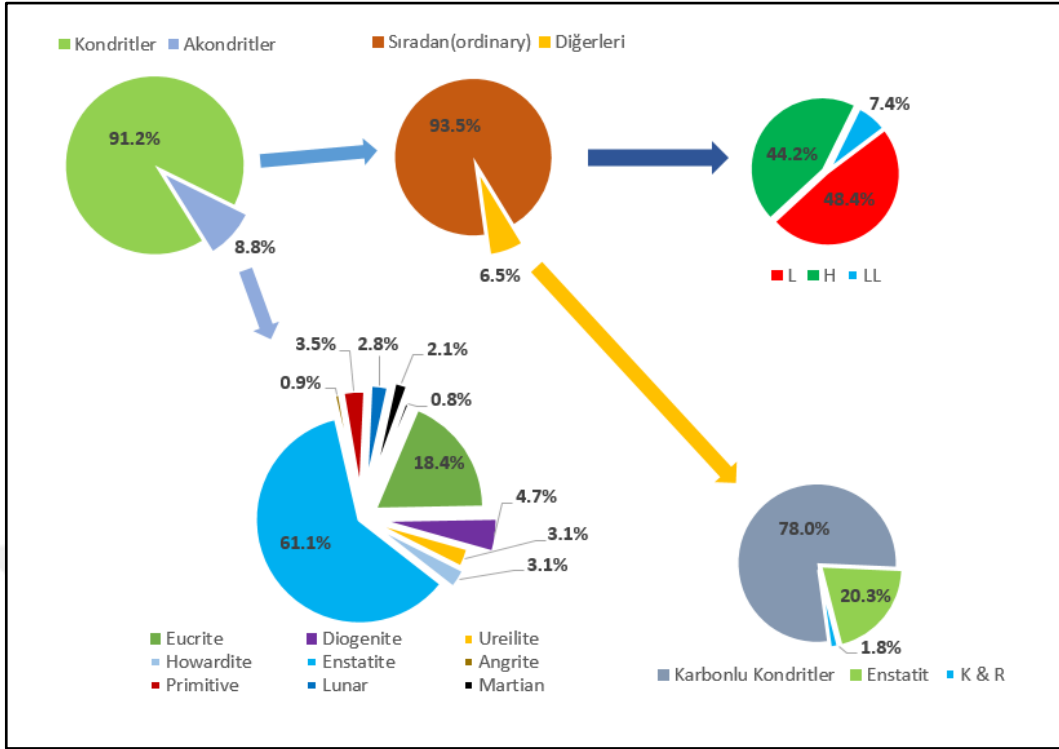
Şekil 2.11: Dünya'ya düşen 56663 adet meteoritin (A) ana türlere göre dağılımı (B) ana türlerin kütlelere bağlı oranları (Korotev, 2017b).

Meteoritlerin tamamı düşünüldüğünde, çoğu meteorit taşlı meteorittir. Küçük bir yüzde demirli meteoritlerden ve kalan az bir yüzde de mezosideritler ve pallasitler olarak bilinen hem metal hem de taş içerikli nadir olan meteoritlerden oluşmaktadır (Şekil 2.12).

Taşlı meteoritlerin %94.1'i kondrittir ve kondritlerin %94'ü sıradan kondritlerdir. Yani bir başka deyişle taşlı meteoritlerin %88.4'ü sıradan kondrittir. Kondritler Fe-Ni metali içerirler ve bu onları mıknatısa karşı duyarlı hale getirir. Diğer çoğu taşlı meteorit tipi çok az metal içerir. Taşlı meteorit türlerinin sayılarına ve kütlelerine göre dağılımları sırasıyla Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'te verilmiştir.



Şekil 2.12: Taşlı meteorit türlerinin sayılarına göre dağılımı (Korotev, 2017b).



Şekil 2.13: Taşlı meteorit türlerinin kütlelerine göre dağılımı (Korotev, 2017b).

Ayrıca Türkiye'ye düşmüş ve resmi kayıtlara geçmiş, dört tanesi şüpheli olmak üzere toplam 20 meteorit kaydı Tablo 2.1 'de verilmiştir.

Tablo 2.1: Meteorit bülteni veri tabanında yer alan Türkiye'deki meteoritlerin listesi (tez kapsamında incelenen meteoritler işaretlenmiştir) (URL4).

No	Ad	Durum	Yıl	Yer	Tip	Kütle
1	Adalia	Onaylı	1883	Antalya	Eucrite-mmctit	1 g
2	Aidin	Şüpheli	1340	Aydın	Şüpheli meteorit	
3	Akyumak	Onaylı	1981	Ağrı	Iron, IVA	50 kg
4	Birgi	Şüpheli	1332	İzmir	Şüpheli demir	50.8 kg
5	Bursa	Onaylı	1946	Bursa	L6	25 kg
6	Çanakkale	Onaylı	1964	Çanakkale	L6	4 kg
7	Caratash	Onaylı	1902	İzmir	LL6	8 g
8	Constantinople	Şüpheli	1805	İstanbul	Şüpheli Eucrite	
9	Didim	Onaylı	2007	Aydın	H3-5	3.4 kg
10	Domanitch	Onaylı	1907	Bursa	L5	438 g
11	Ephesus	Şüpheli	-	İzmir	Şüpheli meteorit	
12	Ibrsim	Onaylı	1949	Niğde	OC	
13	Kayakent	Onaylı	1961	Eskişehir	Iron IIIAB	85 kg
14	Kemer	Onaylı	2008	Muğla	L4	5.76 kg
15	Magnesia	Onaylı	1899	Aydın	Iron, IAB-sHL	5 kg
16	Mahmutlar	Onaylı	2014	Antalya	H5	223 g
17	Sarıçiçek	Onaylı	2015	Bingöl	Howardite	15.24 kg
18	Sediköy	Onaylı	1917	İzmir	L6	240 g
19	Sivas	Onaylı	1989	Yozgat	H6	40 kg
20	Turgut	Onaylı	1999	Konya	Iron, gruplanmamış	152 kg



Şekil 2.14: Türkiye'ye düşen meteoritlerin konum haritası (tez kapsamında incelenen meteoritler yeşil pin ile işaretlenmiştir) (URL4).

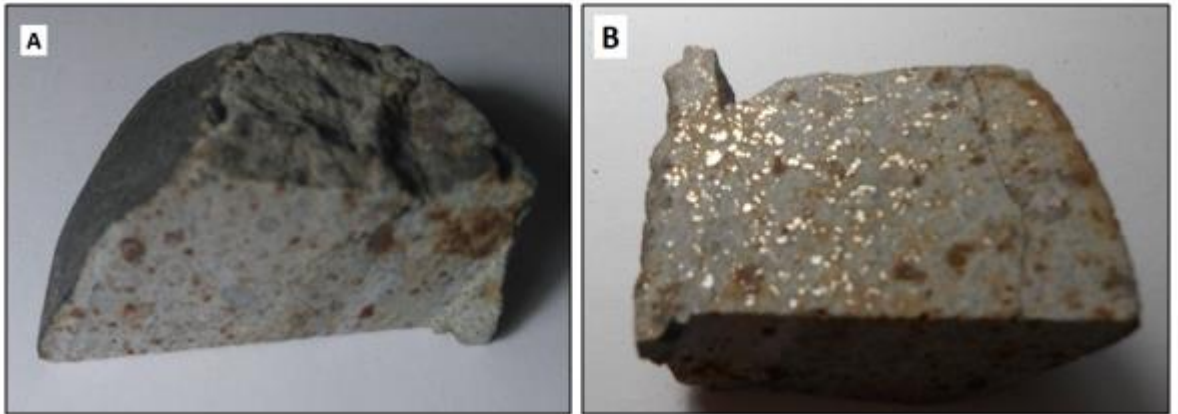
3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN METEORİTLER

Bu tez çalışması kapsamında, Türkiye’ye düşmüş ve resmi kayıtlı meteoritlerden 3 tanesi ile meteorit değişimi ile Fransa’dan gelen bir meteorit incelenmiştir. Türkiye’ye düşmüş meteoritler: Bursa, Fethiye ve Didim meteoritidir. Diğer incelenen meteorit ise Fas meteoritidir. Bu meteoritler, emekli Prof. Dr. Mehmet Emin Özel tarafından bu yüksek lisans tezi kapsamında kullanılmak üzere bağışlanmıştır. Tez kapsamında kullanılmak üzere alınan örnekler ve kütleleri: Fethiye meteoriti (2 parça, FM1: 17,53 g ve FM2: 155,87 g), Bursa meteoriti (89,93 g), Didim meteoriti (3 parça, DM1: 6,72 g, DM2: 83,92 g, DM3: 94,42 g) ve Fas meteoriti (40,48 g).

Prof. Dr. Mehmet Emin Özel tarafından verilen örneklerle ait muvaffakatname Ek1.’de verilmiştir.

Bursa meteoriti: 1946 yılında Bursa ili sınırları içinde “40°12’N, 29°14’E” koordinatlı noktaya düşmüştür. 25 kg’lık kütle, D. Heymann tarafından 1966 yılında Ege Üniversitesi’nde koruma altına alınmıştır. Bu meteorit üzerinde yapılan çalışmalar şu şekildedir: Elektron mikroskobu ile X-ışınları dağılımı (Dağcı, 1997), kimyasal analiz (Özel vd., 2008), Bursa meteoritlerinin termoluminesans özellikleri ve yaş analizi (Göksu vd., 1975). Bu meteorit, “Meteorit bülteninin 39 no’lu sayısında yayınlanmıştır ve grubu L6 olarak belirlenmiştir (Krinov, 1970).



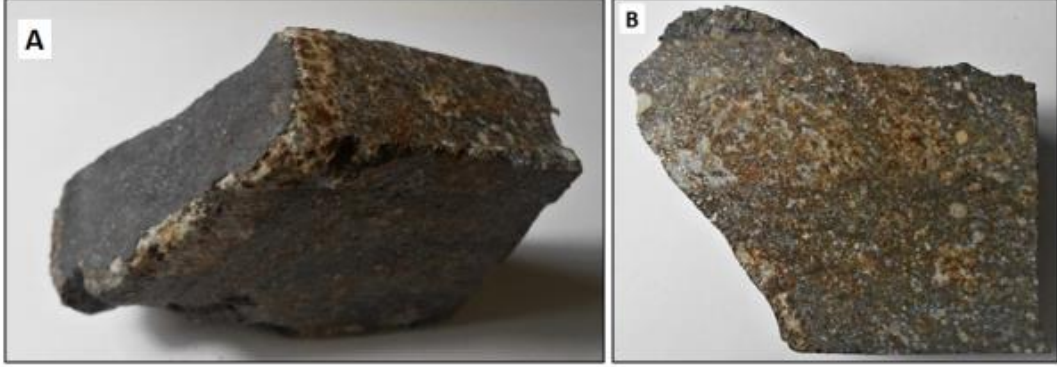
Şekil 3.1: Bursa meteoritinin (A) yanık kabuk ve iç kısım görünümü (B) metalik mineraller ve oksitlenmiş kısımları.

Fethiye (Kemer) meteoriti: 3 Mart 2008 tarihinde Muğla'nın Fethiye ilçesine bağlı Kemer kasabasında “37° 21.231 N, 27° 19.539' E” koordinatlı noktaya düşmüştür. Düştüğü yerde 3 parça şeklinde bulunmuştur ve toplam kütle 5,76 kg'dır. (1): 2,56 kg; (2): 1,7 kg; (3): 1,5 kg. Bu meteorit üzerinde Paris Doğa Tarihi Müzesi'nde elektron mikroprob analizi yapılmış ve Dr. Catherine Caillet Komorowski tarafından sıradan kondrit grubunun L4 sınıfına ait olduğu ifade edilmiştir (Özel vd., 2008). Daha sonra bir proje kapsamında bu örnek üzerinde petrografik inceleme yapılmış ve ardından XRD ve SEM-EDX analizi yapılmıştır (Ünsalan vd., 2015). Bu meteorit, meteorit bülteninin 99 no'lu sayısında yılında yayınlanmıştır ve grubu L4 olarak belirlenmiştir (Garviem, 2011).



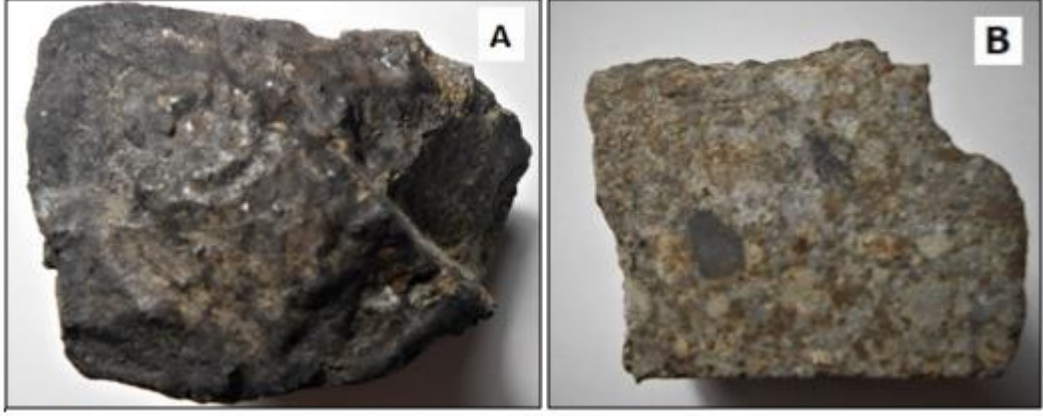
Şekil 3.2: Fethiye meteoritinin (A) dış yanık kabuk görünümü, (B) iç kısımda kondrüller ve oksitlenme gösteren metalik mineraller.

Didim meteoriti: 1 Şubat 2007 tarihinde Aydın'ın Didim ilçesine düşmüştür. Toplam kütlesi 3,4 kg olup 3 parça şeklinde bulunmuştur. Tez çalışması öncesi eldeki mevcut kütleler: (1): 94,86 g, (2): 1009,58 g, (3): 1597,22 g. Bu meteorit öncelikle XRD analizi yapılarak (Özel vd., 2008) ve sonrasında meteoritlerden D1'den 30,5 g ve D2'den 83,50 g kütleli örnekler Fransa'da çalışan Sn. Alime Darılmaz ve Mesut Kaşıkçı tarafından 2007 yılı içinde Paris Doğa Tarihi Müzesine ulaştırılmış ve Yer Tarihi Bölümü - Yerötesi Malzeme Laboratuvarı (Laboratoire d'Étude de la Matière Extraterrestre) olanakları ile Dr. Catherine Caillet Komorowski tarafından elektron mikroprob analizi yapılarak literatüre H3-5 sınıfı üyesi olduğu ifade edilmiştir (Özel vd.,). Yapılan analizlerin sonucu 2008 yılında meteor bülteninin 94 no'lu sayısında yayınlanmıştır (Weisberg vd., 2008).



Şekil 3.3: Didim meteoriti kesitinden (A) yanık kabuk ve iç kısım, (B) kondrüller ve oksitlenmiş metalik mineraller.

Fas meteoriti: Fethiye meteoriti analizleri sırasında Paris Doğa Tarihi Müzesi'nden Mesut Kaşıkçı ile yapılan anlaşma ile karşılıklı olarak Fethiye meteoritinin 2 no'lu parçası ile değişim yapılarak elde edilmiş taşlı bir meteorittir. Koordinat ve grup bilgisi olmayan ve yalnızca Fas'a düşmüş olduğu bilgisi mevcut olan meteoritin, bu tez çalışması kapsamında kullanılmak üzere alınan parçası 40,48 g'dır. Tez çalışması kapsamında kullanılan bu 4 meteorit örneği üzerinde daha önce yapılmış analizler ve değerlendirmeler mevcut olsa da, bu analizler çok daha hassas yöntemlerle yeniden yapılmış ve bazı analiz yöntemleri ilk kez uygulanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Daha önce yapılan analizlerde, literatüre tam sonuçlar detaylı şekilde aktarılmamış ve yetersiz kalmıştır. Bu tez çalışması kapsamında yapılan analizlerle eksiklikler giderilerek tüm analiz sonuçları detaylı şekilde literatüre kazandırılmıştır.



Şekil 3.4: Fas meteoriti (A) dış yanık kabuk, (B) kondrüllerin belirgin şekilde gözlendiği iç kısım.

3.2. ANALİTİK YÖNTEMLER

3.2.1. Binoküler Mikroskop Çalışmaları

İncelemeye konu olan 4 meteorit parçası üzerinde, öncelikle mikroskop altında mineralojik bileşim, doku ve yapı incelemeleri yapılmıştır. Örneklerin dış yanık kabukları, varsa “regmaglypt” yapıları ve kırık yüzeylerde görülen az miktardaki metalik parçalar gözlenmiş ve fotoğraflanmıştır. Bu görüntü analizleri stereo-binoküler mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada metal parçalar, ufak kristallerden oluşan maktrijs ve bu maktrijs içinde tam küresel ya da yarı küresel kondrüller gözlenmiştir. Bu gözlemlere ilaveten örneklerdeki homojen dağılıma göre, impakt yapısının yani breşik yapının bulunmadığına da dikkat çekilmiştir.

Binoküler mikroskop çalışmaları İstanbul Üniversitesi–Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mineraloji–Petrografi Anabilim Dalı Optik Mineraloji Laboratuvarı’nda bulunan Leica S8APO binoküler mikroskop ve Leica görüntü analiz sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. Polarizan Mikroskop Çalışmaları

İnce kesitler, mevcut meteorit örneklerinden mümkün olan en az miktarda örnek kesilerek Pamukkale Üniversitesi ve İstanbul Teknik Üniversitesi ince kesit hazırlama laboratuvarlarında hazırlanmıştır. İnce kesitler İstanbul Üniversitesi–Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mineraloji–Petrografi Anabilim Dalı Optik Mineraloji Laboratuvarı’nda

bulunan Leitz Ortoplan polarizan mikroskop altında incelenerek mineral bileşimleri, dokuları ve yapıları tanımlanmıştır. Örneklerdeki belirgin dokular, mineraller (opak olmayanlar), kondrüllerin çeşitleri ve tipleri incelenmiş gerekli görülen alanlardan Leica görüntü analiz sistemi kullanılarak fotoğraflandırılmıştır.

3.2.3. Yansımali Mikroskop Çalışmaları

Opak mineraller için ince kesitler, Struers marka RotoPol-35 model parlatma cihazı ile parlatılmış ve aletli analiz öncesi bir ön tanımlama yapmak adına İstanbul Üniversitesi–Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maden Yatakları ve Jeokimya Anabilim Dalı Cevher Mikroskobisi Laboratuvarında bulunan Leica marka cevher mikroskobunda yağlı objektifler kullanılarak inceleme gerçekleştirilmiştir. Bu inceleme sonucunda metal içerikli opak mineraller: kamasit, taenit, kromit ve troilit mineralleri olarak belirlenmiştir.

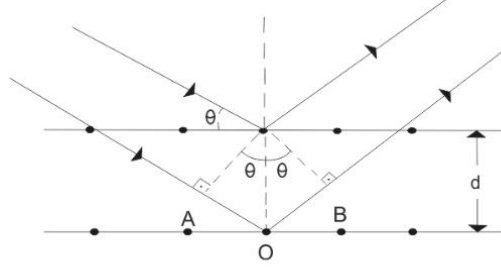
3.2.4. XRD Analizleri

XRD yönteminde, X-ışını tüpünde ısıtılan katottan salınan elektronlar, katot-anot arasındaki yüksek elektrik alanında ivmelendirilirler ve anota ulaşan elektronlar frenlenirler ve bu sırada enerjilerini X-ışını şeklinde salarlar. Elektronlar anota çarpınca enerjilerinin %99 kadarı ısı enerjisine, %1 kadarı da X-ışınlarına dönüşür. Elektronlar enerjilerini anot-katot arasına uygulanan yüksek voltaj ile kazanırlar. Üretilen X-ışınlarının şiddet ve dalga boyları, anot-katot arasına uygulanan voltajın büyüklüğü ile orantılıdır.

X-ışınlarının bir kristalden kırınımı ilk olarak Max Von Laue tarafından bulunmuştur. Bir X-ışını demeti bir kristal ağ içerisinde geçirilirse, atomlardan her biri ayrı bir kırınım merkezi gibi davranır ve sonuçta kristal yapıya özgü olan, X-ışınlarının dalga boylarına bağlı karakteristik bir kırınım deseni oluşur. Kırınıma uğrayan dalgaların hangi doğrultularda yapıcı girişim yapacakları Bragg yasası (Denklem 3.1) ile belirlenir. Çünkü belli doğrultular dışında kırınıma uğrayan dalgalar yıkıcı girişim yapmaktadırlar ve bu dalgalar gözlenemezler.

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (3.1)$$

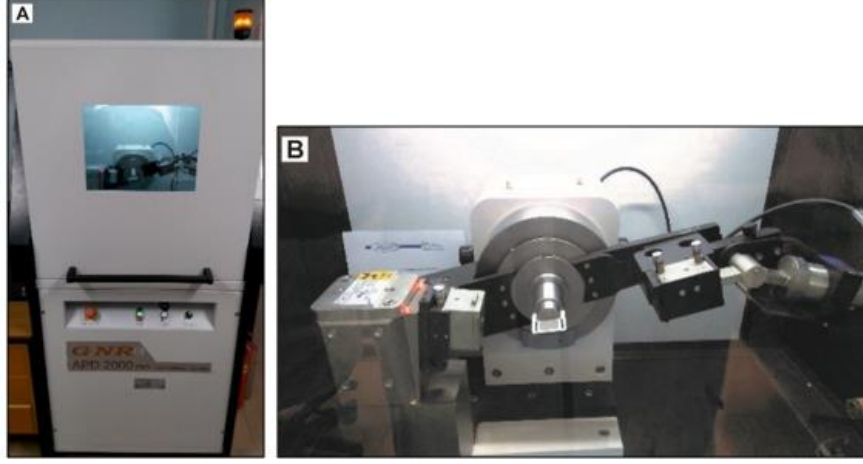
Bragg yasasında d : düzlemler arası mesafe, n : kırınım mertebesi ($n: 1,2,3,\dots$) ve λ : X-ışınının dalgaboyunu ifade etmektedir (Kittel, 2014).



Şekil 3.5: X-ışınlarının bir düzlemden yansıması.

XRD yönteminde, Bragg yasasının gerçekleşmesi için kullanılan dalgaboyunun $2d$ 'den küçük olması gerekir. Bu yöntemde görünen ışık kullanılamamasının nedeni de budur. Dalgaboyu belli x-ışınları örnek üzerine düşürüldüğü zaman kırınım koşulunu gerçekleyen ışınlar kırınımına uğrar. Kırınımına uğrayan ışınları belirleyebilmek ve de şiddetlerini ölçebilmek için örnek θ kadar döndürüldüğünde dedektör 2θ kadar döndürülmelidir. Dedektöre ulaşan X-ışınları dedektör içindeki gazları iyonlaştırır ve devreden akım geçmesini sağlar. X-ışın şiddetine bağlı olarak devreden geçen akım da değişmektedir. Dedektör sabit bir hızla döndürülerek X-ışını demetinin şiddeti ölçülür ve 2θ 'ya bağlı bir X-ışını spektrumu elde edilir. Spektrumdaki piklerin hangi açı değerlerine karşılık geldiği bulunur. λ dalgaboyu değerleri bilindiği için de, bu açı değerlerine karşılık gelen d mesafeleri bulunabilir. Uygun katalog yardımıyla bu d mesafelerinin hangi mineral ya da minerallere ait olduğu saptanır. Böylece incelenilen malzemenin yapısı analiz edilmiş olur (Kittel, 2014).

XRD analizleri, özellikle ince kesit çalışmalarında tanımlanamayan mineral fazlarını belirlemek için yapılmıştır. XRD ölçümü için gerekli olan miktar kadar örnek kesilerek yaklaşık 150 mesh boyutuna kadar agat havan yardımıyla öğütülmüştür. XRD analizleri, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi, Mineraloji-Petrografi Anabilim Dalı X-Işınları laboratuvarındaki GNR marka APD 2000 Pro model cihazda Cu-K α radyasyonu ile 40 kV gerilim ve 30 mA akım altında $2\theta=1^\circ/\text{dk}$ gonyometre hızı ile yapılmıştır. Ölçüm $10^\circ-70^\circ$ arasında alınmıştır ve alınan XRD kayıtları Philips X'pert Highscore yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir.



Şekil 3.6: XRD cihazı (A) dış görünümü, (B) gonyometre, x-ışını tüpü, dedektör ve numune tutucu.

3.2.5. Kimyasal Analiz Çalışmaları

İnce kesit tayinleri sonucu kimyasal analiz yapılması kararlaştırılan örneklerden 250 gram numune hazırlanmıştır. 2 mm boyutuna kadar kırılan numune laboratuvarda agat havanlı öğütücü değirmende 15 dakika boyunca öğütülmüştür. Her numune öğütüldükten sonra havan kuvars kumu ile temizlenmiştir. Numunelerin öğütme işlemleri tamamlandıktan sonra her bir numunenin nem oranları ve kızdırma kayıpları 900°C'ye kadar numunelerin ısıtılması ile belirlenmiştir. Kimyasal analizler Kanada ACME laboratuvarında yapılmıştır. Tüm kayaç esas element analizleri analizleri ICP-AES yöntemi kullanılarak iz ve nadir toprak elementlerinin analizleri ise ICP-MS yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Çözelti olarak LiBO_2 kullanılmıştır. Ayrıca örneklerin analizi yapılırken 1 adet uluslararası jeolojik standart kullanılmıştır.

3.2.6. Elektron Mikroprob Analizi (EPMA)

Bu yöntemle katı numunelerin ve minerallerin ana ve minör element miktarları kantitatif olarak belirlenebilmektedir. Elektron demetinin hızlandırıldığı bir kolon, ikincil elektron dedektörü, geri dağılımlı elektron dedektörü ve bir ila dört adet arasında takılabilen, değişen dalga boyu yayılımı spektrometreleri ve bir enerji yayılımı spektrometresinden oluşan bu cihazda elektron ışın kaynağı olarak genellikle tungsten veya LaB_6 flamanları kullanılmaktadır.

Vakum altındaki ortamda oluşturulan 0.6 μm çaplı elektron ışın demeti 15 kV voltaj ve 100 nA akım altında mercek ve kolimatörlerden geçerek hızlanmakta ve örnek üzerine düşürülmektedir. Elektron demetinin çarpması sonucu örnekteki atomların iç yörüngesinden elektron koparılır ve dış yörüngedeki daha yüksek enerjili elektron tarafından bu boşluğun doldurulması sırasında fazla enerji elektromanyetik radyasyon şeklinde salınır. X-ışını olarak ortaya çıkan bu radyasyon enerji yayılımı ve dalga boyu yayılımı spektrometrelerce saptanarak analizi gerçekleştirilmektedir.

Elektron mikroprob cihazları genellikle 3 veya 4 tane dalga boyu yayılımı spektrometresi içerdiğinden aynı anda 3 veya 4 element için analiz yapılabilmektedir. Bu spektrometrelerin içerisindeki kristallerin pozisyonları değiştirilerek aynı noktadan arka arkaya analiz imkanı da mevcuttur (Ayda, 2015). Tez kapsamında incelenen meteorit kesitlerinin elektron mikroprob analizleri İstanbul Teknik Üniversitesi Prof. Dr. Adnan Tekin Malzeme Bilimleri ve Üretim Teknolojileri UYG-AR Merkezi'nde bulunan Cameca SX100 marka cihaz ile yapılmıştır.



Şekil 3.7: EPMA cihazı görünümü.

3.2.7. Elektron Mikroskobu Çalışmaları (SEM-EDX)

Bir elektron mikroskobu temel olarak, bir elektron kaynağından salınan elektronların incelenmek istenen numune ile etkileşimleri sonucu elde edilen verinin dedektör tarafından işlenerek görüntü elde etmesi şeklinde işlev görür. Elektron kaynağı olarak, içerisinde volfram ya da tungsten bir flaman tel yer alan bir elektron tabancası kullanılır. Flamanaya uygulanan yüksek voltaj sonucu tel yaklaşık 2700 K sıcaklığa kadar ısınır ve elektron salınımı gerçekleşir.

Bu salınımın gerçekleşmesi için tele uygulanan voltajın yanında akımın da artırılması gerekmektedir ve kullanılacak flamanın kalınlığının da ortalama 0.125 mm olması gerektiği belirlenmiştir. Salınan elektronlar anot plaka ile yönlendirilen elektronlar, elektromanyetik özellik gösteren merceklerden geçerek numune üzerine düşürülür. Bu ortam 10^{-4} Pa vakum altındadır.

Böylece ivmelendirilen elektron demeti, numune ile etkileşime girer ve numune atomları ile elastik çarpışma sonucu yönü değişen elektronlar geri saçılırlar. Elektron demeti elektronlarının numune atomlarındaki dış yörünge elektronları ile elastik olmayan çarpışmaları neticesinde de daha düşük enerjili Auger elektronları oluşur ve bu elektronlar numune yüzeyi hakkında bilgi edinmemizi sağlar. Tüm bu çarpışmalar sonucunda yörüngelerinden kopmuş ve enerji kaybetmiş elektronlar ikincil elektronları oluşturmaktadır. Numune yüzeyinin 10 nm altından gelen bu ikincil elektronlar sayesinde numuneden yüksek çözünürlüklü topografik görüntü elde edilmiş olur (Erdin, 1987).

EDX yöntemi de, taramalı elektron mikroskobu ile kullanılan ve numune üzerinde elemental kompozisyonu belirleyen bir yöntemdir. Bu yöntemde numune yüzeyine yüksek enerjili elektronlar çarptırılarak yüzeyden elektron koparılmaktadır. Eğer iç yörüngelerden elektron kopmuş ise atomda kararlılığın sağlanması için dış yörüngelerden bu yörüngeye elektron sıçraması olur. Ancak dış yörünge elektronları daha yüksek enerjili olduklarından, barındırdıkları fazla enerjiyi ışıma yolu ile kaybetmektedirler. Bu ışıma X-ışını olarak gerçekleşmektedir ve bu ışın karakteristik olduğundan yapıda hangi element atomu olduğunu anlamamızı sağlamaktadır. Açığa çıkan karakteristik X-ışınları dedektörle toplanarak bilgisayara aktarılır ve element varlığı belirli pikler şeklinde karşımıza çıkmış olur (Hafner, 2017).

Tez kapsamında incelenen meteorit kesitlerinin SEM-EDX analizleri İBB-KUDEB (İstanbul Büyükşehir Belediyesi – Koruma Uygulama ve Denetim Büroları) SEM-EDX laboratuvarında, Carl Zeiss marka EVO LS 10 model SEM cihazı ve Bruker marka Quantax 200 model EDX dedektörü ile yapılmıştır.



Şekil 3.8: SEM-EDX cihazı görünümü.

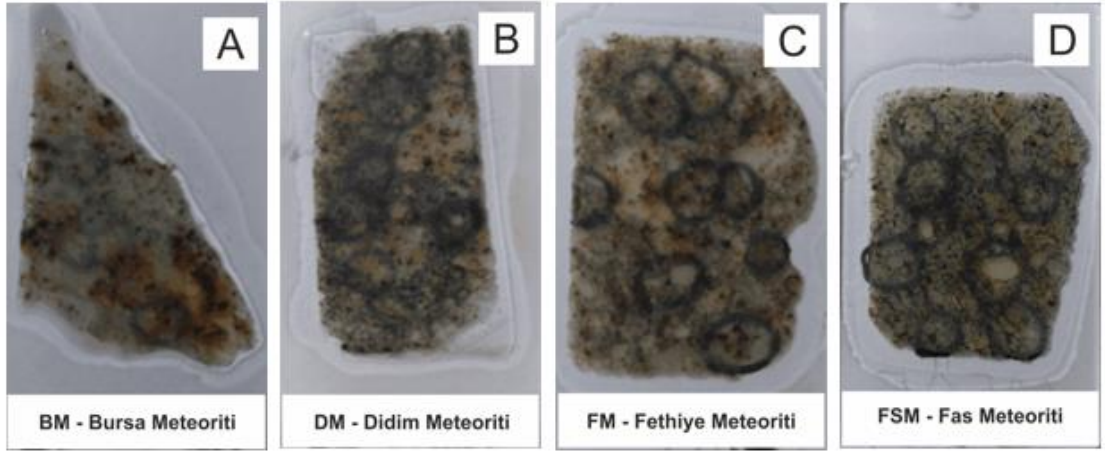
3.3. BÜRO ÇALIŞMALARI

Tez kapsamında kullanılan meteoritler çok değerli olduğundan, hassas şekilde yürütülen bütün laboratuvar çalışmaları sonucu elde edilen veriler uzun bir büro çalışması ile derlenmiştir. Öncelikle petrografik inceleme sonucu elde edilen görüntüler derlenmiş ve detaylı değerlendirilmiştir. Yapılan kimyasal analizler sonucu elde edilen verilere dair grafikler için Origin 2016 programı kullanılmıştır. Eldeki kimyasal analiz sonuçları, kondrit meteorit değerleri ile ve ayrıca yer mantosu örneklerinin sonuçları ile karşılaştırılarak örümcek diyagramlar çizilmiştir. Petrografik sınıflandırılmalar başta olmak üzere, tüm doku ve mineral içerikleri ayrıntılı değerlendirilmiş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Örneklerin tüm analiz sonuçlarından ziyade, benzer tipteki meteorit istatistikleri de ayrıca ifade edilmiştir.

4. BULGULAR

4.1. MINERALOJİ-PETROGRAFİ

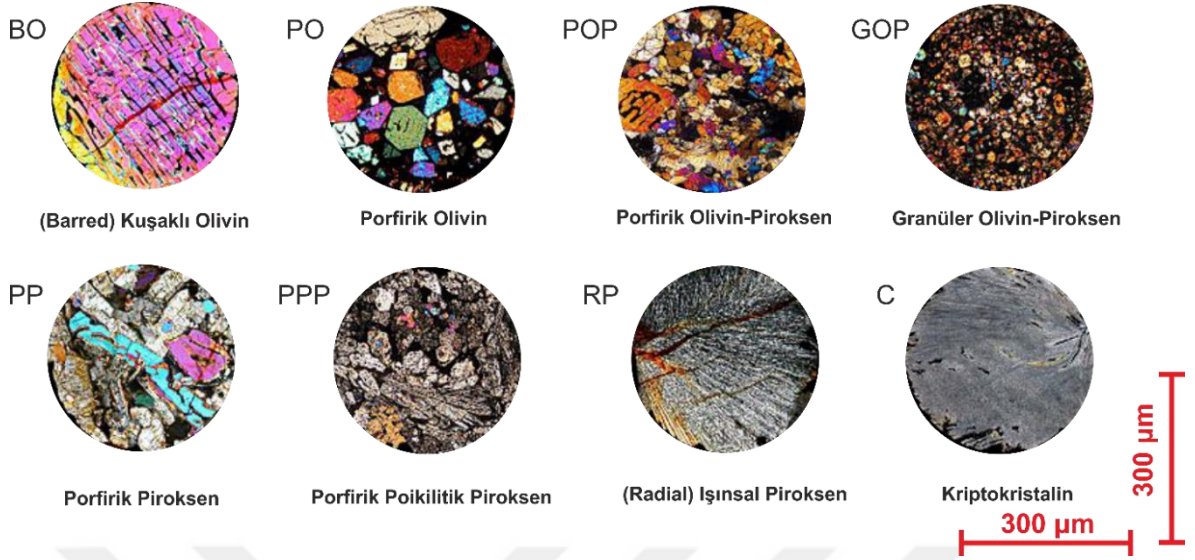
Tez kapsamında incelenen 4 meteorit için, İstanbul Teknik Üniversitesi ince kesit hazırlama laboratuvarında toplam 5 adet parlatılmış ince kesit hazırlanmıştır. Kesitlerin kalınlığı yaklaşık olarak 40 mikron civarındadır.



Şekil 4.1: İncelenen meteoritlere ait parlatılmış ince kesitler ve analiz için işaretlenen noktaların görüntüsü.

Hazırlanan parlatılmış ince kesitler polarizan ve yansımali mikroskop altında incelenerek tüm kesit yüzeyi detaylı olarak taranmış, meteoritin mineral bileşimi, kondrülleri, metalik (opak) mineralleri, dokusu ve yapısal özellikleri tanımlanmıştır. Ayrıca her bir örnekte XRD analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar polarizan mikroskop çalışmalarıyla birlikte değerlendirilmiştir. Polarizan ve yansımali mikroskop çalışmaları sonrasında, EPMA ve SEM analizleri için analiz edilecek noktalar mikroskop altında işaretlenmiştir.

İncelenen meteoritlerin detaylı mineralojik – petrografik tanımlamaları aşağıda sunulmuştur. Petrografik tanımlamalara geçmeden önce kondritik meteoritlerde gözlenen başlıca kondrit doku tipleri için H, L ve LL gruplarına ait 12 farklı kesit üzerinde 1600’den fazla kondrül ile yapılan çalışmada elde edilen sonuçlara göre belirlenen kondrül tipi tanımları aşağıda verilmiştir (Gooding ve Keil, 1981).



Şekil 4.2: Meteorit Kondrül Tipleri (URL5).

Kondrül tiplerinin isimleri, içerdiği kristal tanelerinin baskınlığına göre belirlenir.

Kuşaklı olivin (Barred Olivine: BO) kondrüller: Bu kondrüller tekli ya da grup şeklinde olivin kristallerinden oluşan birbirine paralel uzamış çubuksu kristallerden meydana gelmektedir. Her gruptaki olivin kristalleri diğer gruptaki olivin kristallerine paralel olmak zorunda değildir ancak aynı grubun kristalleri kendi içlerinde paralellik gösterirler. Kristalleri kesişik ya da birbirine dik olan kuşaklı olivin türüne “polisomatik kuşaklı olivin” adı verilir. Kuşaklı olivin kondrüllerde, ortadaki çubuksu olivin kristal gruplarının etrafı porfirik olivin kristalleri ile çevrilidir. Kuşaklı olivinler, granüler olivin kondrüllerin daha yüksek sıcaklıklarda dönüştüğü kondrül tipidir.

Porfirik olivin (PO: Porphyritic Olivine) kondrüller: Porfirik olivin kondrüllerde, olivin kristallerin herbiri hemen hemen benzer uzunlukta kenarlara sahiptirler. Küçük tane boyutlu piroksen kristalleri de içerebilir.

Porfirik olivin – Piroksen (POP: Porphyritic Olivine Pyroxene) kondrüller: Bu kondrül tipinde de yine benzer uzunlukta boyutlara sahip olivin ve piroksen kristalleri mevcuttur. Olivin ve piroksen kristallerinin kondrül içindeki yüzdesi hemen hemen eşittir.

Taneli olivin – Piroksen (GOP: Granular Olivine Pyroxene) kondrüller: Taneli olivin-piroksen kondrüllerde olivin kristalleri baskın olmakla birlikte tane boyları, diğer kondrül tiplerindeki tane boylarına nazaran daha küçüktür.

Porfirik piroksen (PP: Porphyritic Pyroxene) kondrüller: İrili ufaklı piroksen kristallerinden oluşan kondrül tipidir. Olivin tane içeriği oldukça düşüktür. Piroksen kristallerinin kondrül içindeki uzanımları ve boyutları çeşitlilik gösterebilir.

Porfirik poiklitik piroksen (PPP: Porphyritic Poiklitic Pyroxene) kondrüller: Bu kondrül tipinde piroksen mineralleri üzerinde oldukça küçük olivin kristalleri mevcuttur. Kristal kapanımı andıran bu üst üste iki mineralden piroksen her zaman daha baskın ve büyük kristallidir.

İşinsal piroksen (RP: Radial Pyroxene) kondrüller: İşinsal piroksen çubuklarından oluşan ve bu çubukların arası bazen olivin kristalleri ile dolu olan kondrül tipidir. Meteoritin oluşumu veya sonrasında geçirdiği metamorfizmanın etkisi bu kondrüllerde daha iyi gözlenebilmektedir. Kuşaklı olivin kondrüllerin silisyumca zenginleşmesi sonucu meydana gelirler.

Kriptokristalin (C: Cryptocrystalline) kondrüller: Bu kondrüller, piroksen kristallerince zengin ve yalnızca birkaç mikrometre büyüklüğündeki tanelerden oluşan kondrüllerdir.

4.1.1. Bursa Meteoriti

4.1.1.1. Polarizan Mikroskop Çalışması

Bursa meteoriti kondritik bir meteorit olup sıradan (ordinary) kondrit olarak adlandırılan meteorit grubuna aittir ve grubu L6'dır (Krinov, 1970). Polarizan mikroskop ve XRD analizleri Bursa meteoritinin ana silikat mineral fazını olivin, ortopiroksen ve plajiyoklas minerallerinin oluşturduğunu, opak mineral fazında ise kamasit, troilit, taenit, kromit ve nadiren nabit bakır minerallerinin bulunduğunu göstermiştir. Minerallerin genellikle kondrüller içerisinde yer aldığı örnekte, olivin kondrül, ortopiroksen (enstatit) kondrül ve kriptokristalin kondrüller gözlenmiştir. Opak (Opq) mineraller ise daha çok kondrüller arası boşluklarda gelişmiş güzel olarak dağılmışlardır.

Olivin: Yüksek rölyefli, iri çatlaklı ve genellikle öz şekilsizdir. Yersel olarak özşekilli ve yarı özşekilli formlarına rastlanmasına karşılık yaygın olarak hemen hemen eş boy taneli özşekilsiz kristalleri yaygındır. Genellikle renksiz olup pleokroizma gözlenmez. Kısmen alterasyona uğramış ve bulutsu bir görünüm kazanmışlardır. Bazı olivinlerde dilinimler zayıf olarak izlenmesine karşılık çoğunlukla iri çatlaklar karakteristiktir. Çift kırması yüksek olup ikinci dizinin üst sıralarında girişim renkleri karakteristiktir. Paralel sönme ve bazı olivin tanelerinde ise dalgalı sönme gözlenir. Olivinler hem kondrüller içerisinde hem de kondrüller arası boşluklarda saçılmış halde gözlenir. XRD kayıtlarında demirli forsterit türünde oldukları belirlenmiştir. Kesitlerde “Ol” şeklinde gösterilmiştir.

Ortopiroksen: Genellikle enstatit / hipersten türünde olup piroksen kondrül ve kriptokristalli kondrüllerin yapısında yer alır. Yüksek rölyefli olup, renk ve pleokroizma göstermez. Çift kırma değerleri düşük olup birinci dizinin alt sıralarında gri tonlarında girişim renkleri karakteristiktir. Fe içeriğine bağlı olarak bazı enstatitler ikinci dizinin alt sıralarında girişim renkleri gösterir. Paralel sönme gözlenir. Dilinimleri karakteristiktir. Radyal kondrüller içerisinde bir noktadan çıkan ve ışınsal dizilmiş iğnemsî kristaller halinde bulunur. XRD kayıtlarında demirli enstatit türünde oldukları belirlenmiştir. Kesitlerde “Opx” şeklinde gösterilmiştir.

Plajioklas: Genellikle andezin türü olup ince kesitlerde tanınması oldukça zordur. Kısmen alterasyondan etkilendikleri için tek nikolde bulutsu bir görünüm egemendir. XRD kayıtlarında anortit türü oldukları belirlenmiştir. Kesitlerde “Plag” şeklinde gösterilmiştir.

Troilit: Kahverengi tonlarında gri renkli demir sülfür mineralidir. Manyetik değildir. Genellikle kamasit, taenit ve kromit mineralleri ile birlikte girift bir yapıdadır. Tane boyu değişkenlik gösterebilir. Belirgin yansımali mikroskop pleokrozması gösterir. Pleokroizma renkleri açık sarıdan koyu kahverengiye kadar değişkenlik gösterir. Dünya’da nadiren rastlanır. Yansımali mikroskop ile Bursa meteoritinde matriks kısımda ve kondrül içlerinde gözlenmiştir. Kesitlerde “Tr” şeklinde gösterilmiştir.

Taenit: Açıktan koyuya değişen gri renkli, demir-nikel gama fazlı doğal alaşımdır. Opak olduğundan yansımali mikroskopta incelenebilir. Metalik parlak kristaller geliştirebilir. Troilit, kamasit ve kromit minerallerinin yanı sıra şraybersit minerali ile birlikte bulunur. Kamasit mineraline oranla daha yüksek nikel içerir. Manyetik özellik gösterir. Başlangıçta demir-nikel

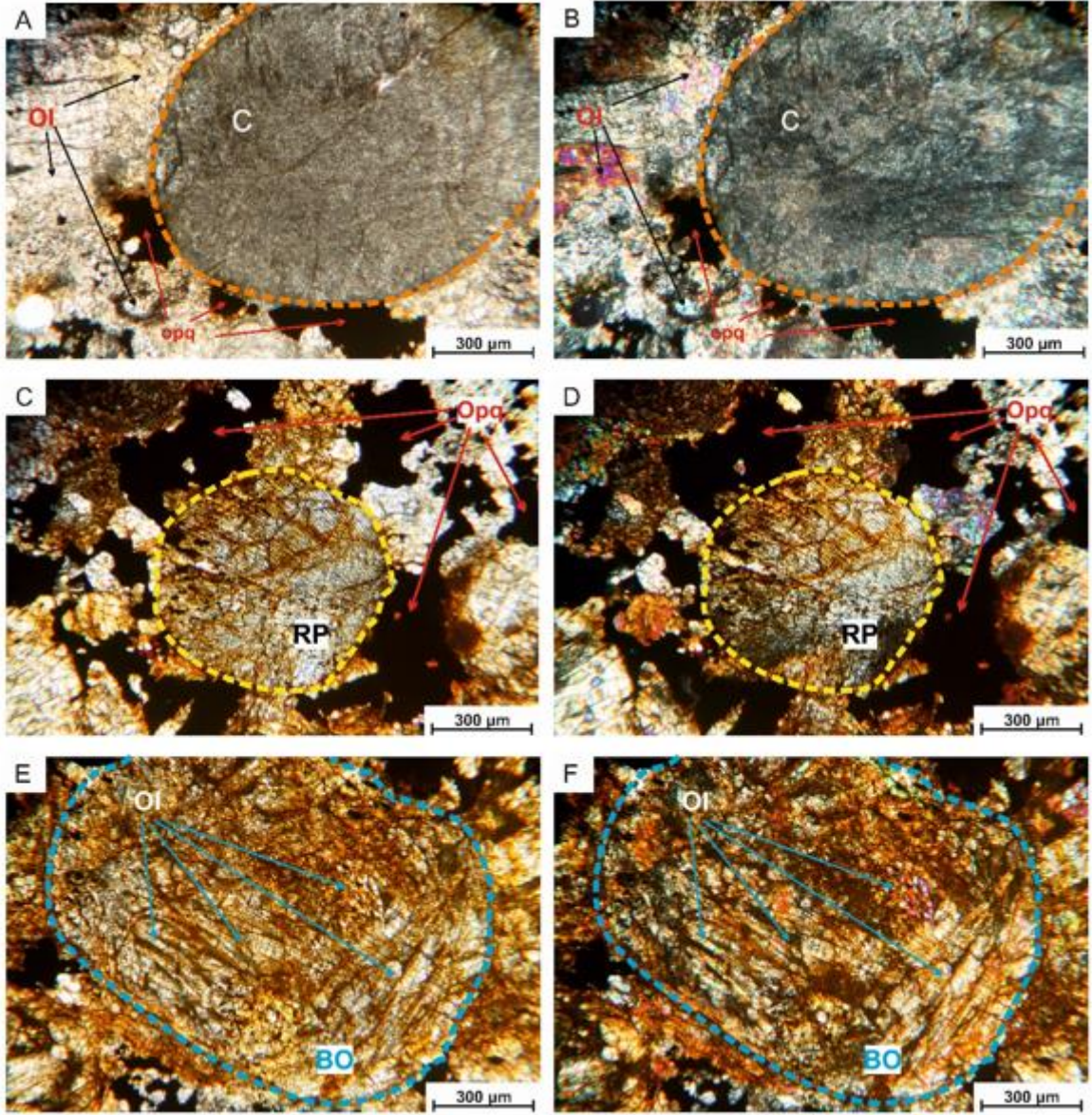
karışımli eriyik 900°C ile 1400°C arasındayken tek fazlı bir alaşımdır. Soğumayla birlikte alaşım içinde nikelce fakir kamasit katı fazı oluşur ve soğuma devam ederken geriye kalan yüksek nikelli katı demir-nikel fazı da taeniti oluşturur. İki faz girift halde bulunur. Bursa meteoritinde yansımali mikroskop ile belirlenmiştir. Kesitlerde “Ta” şeklinde gösterilmiştir.

Kamasit: Parlak metalik gri renkli, taenite göre nikel oranı daha düşük demir-nikel alfa fazı alaşımdır. Yeryüzünde sadece meteoritlerde bulunur. Demirli meteoritlerde “widmanstatten” isimli bantsı çizgiler gösterir. Çoğu zaman taenit ile girift halde bulunur. Ayrıca etrafında troilit, kromit ve şraybersit de gözlemlenebilir. 723°C civarında oluşmaya başlar. Galyum, germanyum, kobalt, bakır ve krom elementlerini eser miktarda barındırabilir. Bursa meteoritinde taenit ve troilit ile birlikte girift halde gözlemlenmiştir. Kesitlerde “Ka” şeklinde gösterilmiştir.

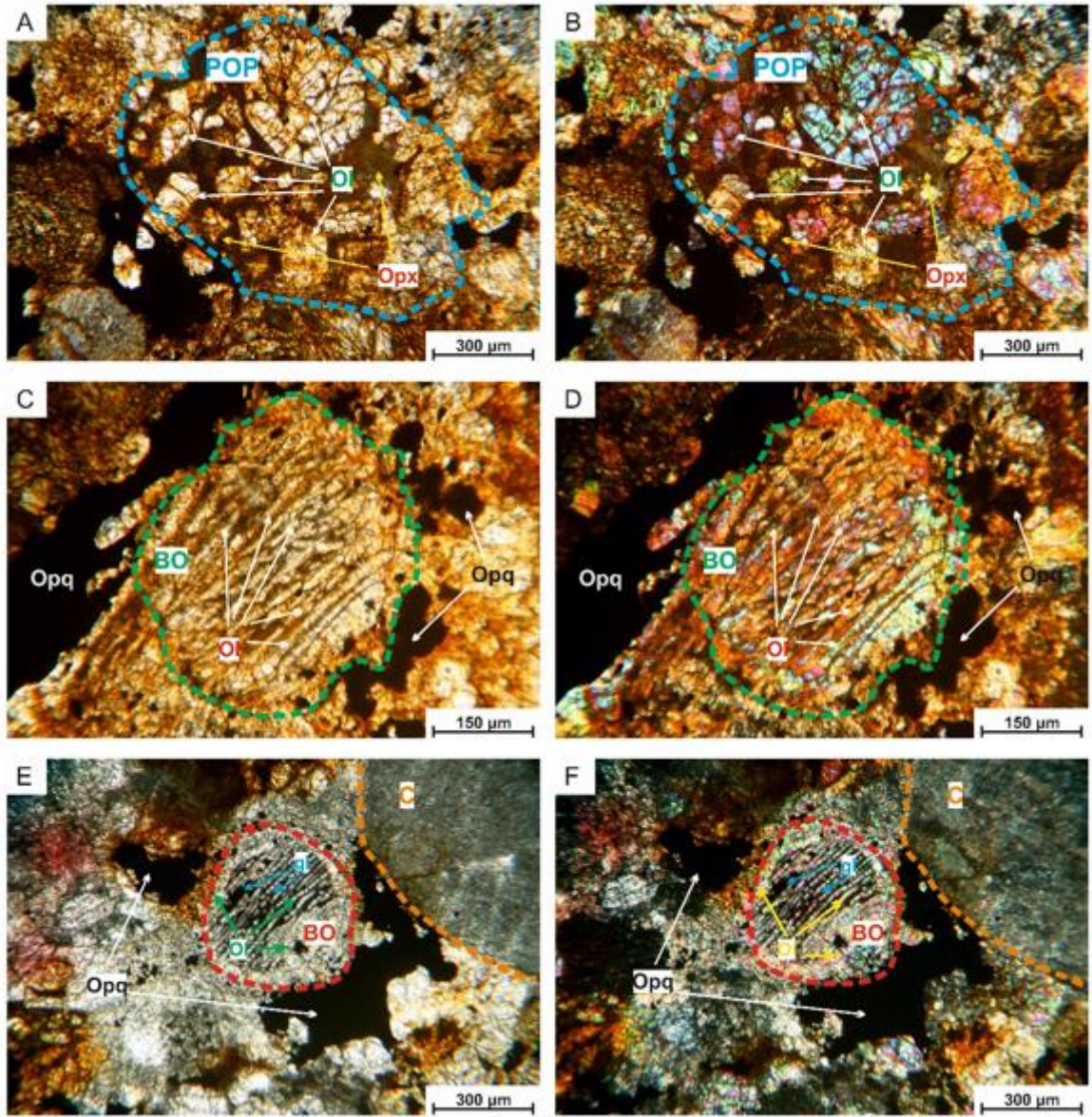
Kromit: Koyu gri ve parlak siyah renkte metalik faz olan kromit spinel grubuna aittir. Manyetik özellik taşımaz. Özellikle sıradan kondritlerde baskın oksittir. Kesitlerde “Ch” şeklinde gösterilmiştir.

Bursa meteoritinde belirlenen kondrüller Şekil 4.3’te verilmiştir. Şekil 4.3, A’da kriptokristalin enstatit kondrül çevresinde, matriks içinde silikat mineralleri ve yer yer opak fazlar görülmektedir.

Olivin ve piroksen mineralleri çok küçük taneler şeklinde matriks içinde düzensiz dağılmışlardır. C’de görülen RP tipi enstatit kondrülün uç kısmı parçalanmış ve kondrül dokusu alterasyona uğramıştır. Kondrül çevresinde yoğun ve düzensiz şekilde dağılmış opak fazlar ile granüler halde silikat mineralleri görülmektedir. E’de kuşaklı ilksel faz olivin kondrül içerisindeki olivin kristallerinin tam olarak belirgin şekilde kuşaklı olivin yapısına ulaşamamış olduğu görülmektedir. Olivin kristalleri çoğunlukla porfirik hamur şeklinde yoğunlaşmıştır. Kuşaklı olivin kondrüllerde karakteristik olarak görülen, olivin kristal çubukları arasında oluşan camsı hamur kısmın bu kondrülde oluşmadığı gözlenmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3: Bursa meteoriti kondrül görüntüleri: A-B) Kriptokristalin enstatit kondrül tek ve çift nikol görüntüsü. C-D) Işınsal (radial) piroksen kondrül tek ve çift nikol görüntüsü. E-F) İlksel faz kuşaklı (barred) olivin kondrül tek ve çift nikol görüntüsü.



Şekil 4.4: Bursa meteoriti diğer kondrül görüntüleri: A-B) Porfirik olivin-piroksen kondrül tek ve çift nikol görüntüsü. C-D) Karakteristik kuşaklı olivin kondrül tek ve çift nikol görüntüsü. E-F) Oluşumunu tamamlamış bir başka kuşaklı olivin kondrül tek ve çift nikol görüntüsü.

Şekil 4.4, A’da porfirik olivin-piroksen kondrül içerisinde, öz şekilli ve yarı-öz şekilli olivin mineralleri ile iri taneli ortopiroksen kristalleri görülmektedir. Ayrıca kondrül etrafında da iri taneli olivin ve piroksen kristalleri mevcut olup opak fazlar da görülmektedir.

C’de görülen bir diğer kuşaklı olivin kondrül tam olarak türünün karakteristik yapısına sahip olsa da, meteoritin oluşumu sırasındaki termal süreçte bu kondrülün tam olarak oluşumu tamamlanmamıştır. Olivin kristallerinin yüksek girişim renkleri, kondrülün kuşaklı yapısında

net bir şekilde gözlenmektedir. Kenarı muhtemel şok etkisi ile parçalanmış olan kondrülün civarında da iri opak kristal oluşumları görülmektedir. E’de karakteristik kuşaklı olivin ve yanında kriptokristalin enstatit kondrül görülmektedir. Kondrüller arasına da nüfuz etmiş opak mineral fazı iri taneli bir kristal şeklinde gözlenmektedir (Şekil 4.4).

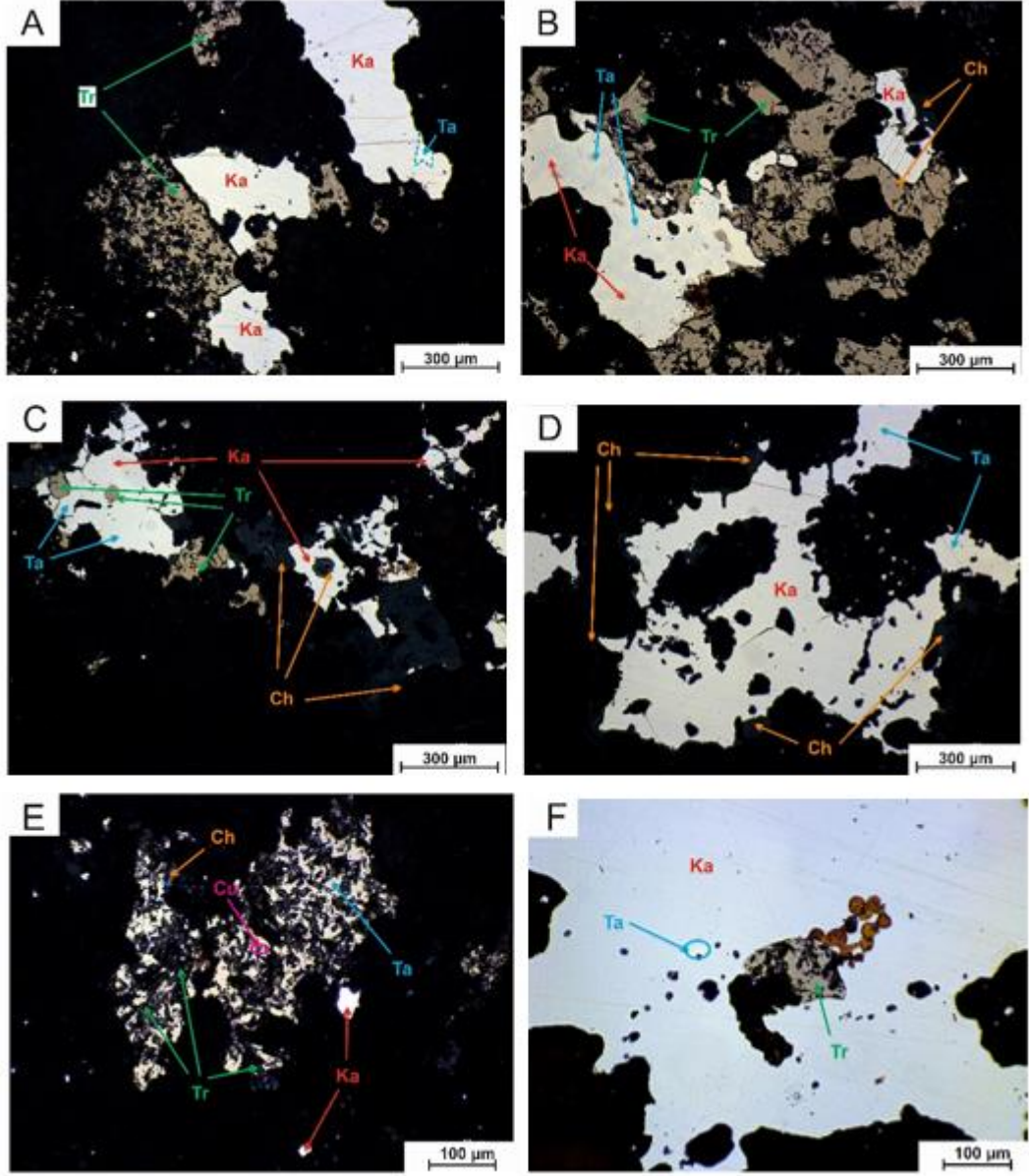
4.1.1.2. Yansımali Mikroskop Çalışması

Şekil 4.5’te, A görüntüsünde, kamasit minerali içerisinde girift halde taenit minerali parçası ve kamasit minerali ile bitişik oluşmuş troilit minerali görülmektedir. Troilit minerali içerisinde çok ince taneli olivin mineralleri belirlenmiştir.

Aynı şekilde B görüntüsünde de, kamasit, troilit ve kamasit ile girift halde oluşmuş taenit minerali görülmektedir. Sağ tarafta kamasit minerali kenarında oluşmuş kromit minerali belirlenmiştir. Soldaki kamasit minerali alt kenarında, girift haldeki taenit minerali üzerinde oksitlenme gözlenmiştir.

C görüntüsünde, biraz daha farklı olarak taenit minerali içinde kapanım şeklinde oluşmuş kamasit taneleri görülmektedir. Sağ kısımda kamasit minerali kenarında oluşmuş oldukça büyük kromit minerali mevcuttur. D görüntüsünde ise kamasit minerali içine kapanımlanmış silikat mineralleri görülmektedir. Kamasit minerali çevresinde ince uzanımlar şeklinde kromit minerali oluşmuştur.

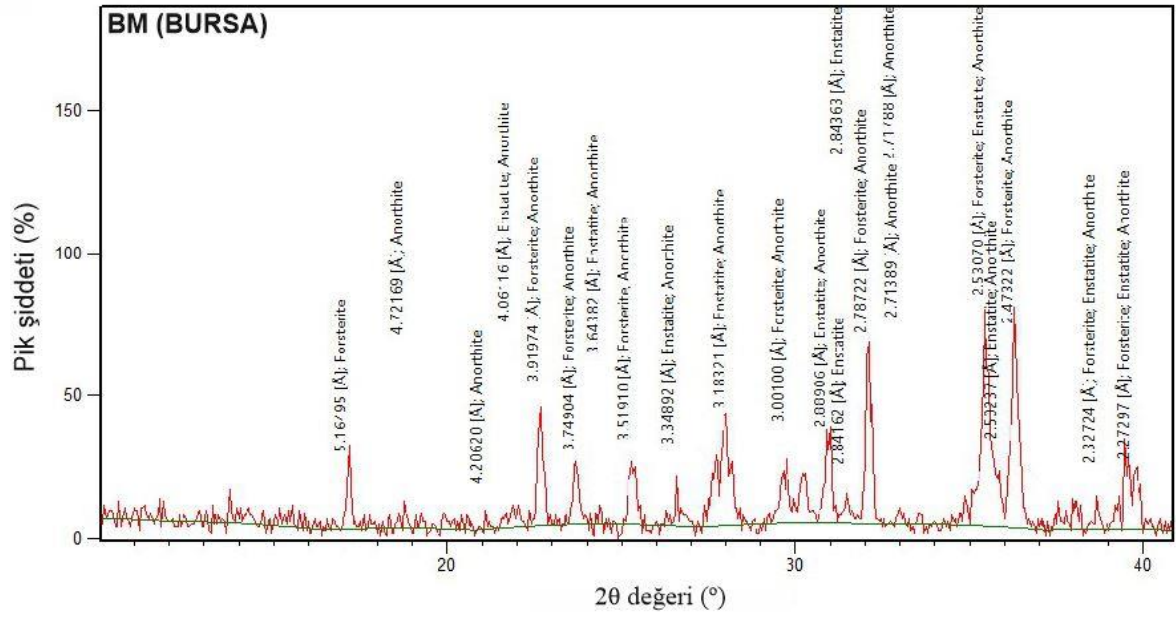
E görüntüsünde troilit minerali ile silikat mineralleri çok ince taneli olarak içiçe bir şekilde görülmektedir. İçerisinde çok az da taenit minerali yanında nabit bakır minerali de görülmektedir. F görüntüsünde büyük bir kamasit minerali içerisinde oluşmuş silikat minerali ile girift halde troilit minerali ve kenarında oksitlenme gözlenmiştir (Şekil 4.5).



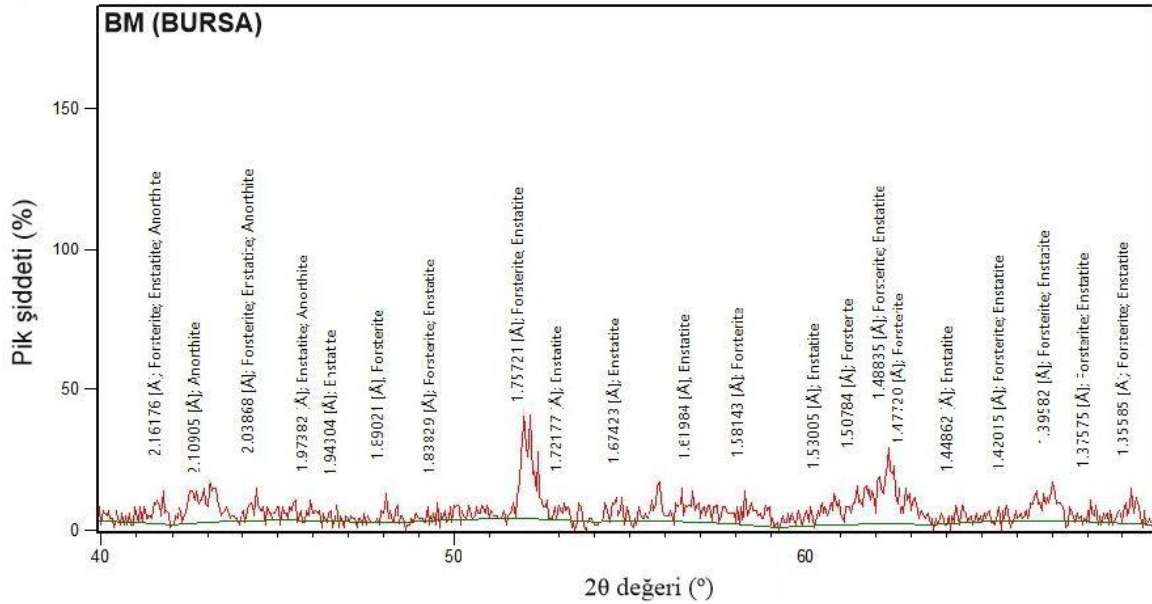
Şekil 4.5: Bursa meteoriti silikat mineralleri ve kondrülleri arasında bulunan çeşitli opak (metalik) minerallerden yansımalı mikroskop görüntüleri.

4.1.1.3. XRD Çalışması

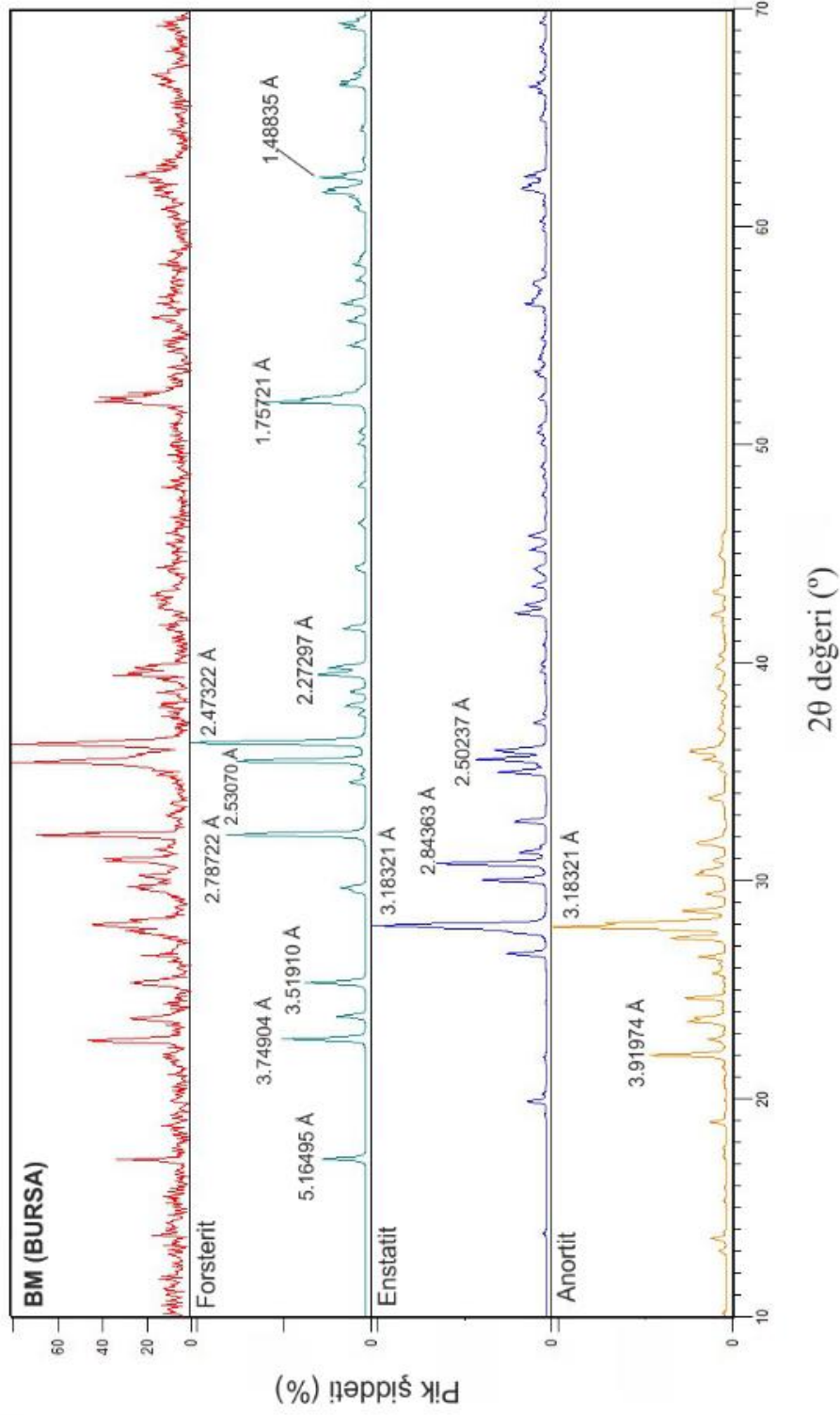
Bursa meteoriti XRD analizi sonucu forsterit, enstatit ve anortit mineralleri tespit edilmiştir. Bursa meteoritine ait XRD spektrumu Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de verilmiştir. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de verilen XRD kaydının içerdiği minerallere ait spektrumlar ayrı ayrı şekilde, piklerine karşılık gelen “d” değerleri ile birlikte Şekil 4.8’de verilmiştir. Belirlenen minerallerin özellikle en yüksek şiddetli pikleri tespit edilmiş olduğundan analiz sonucu güvenilirdir.



Şekil 4.6: Bursa meteoriti XRD kaydının $2\theta=10^{\circ}$ - 40° arasındaki bölümü.



Şekil 4.7: Bursa meteoriti XRD kaydının $2\theta=40^{\circ}$ - 70° arasındaki bölümü.



Şekil 4.8: Bursa meteoriti XRD kaydında ayrı ayrı mineral spektrumları.

4.1.2. Fethiye (kemer) Meteoriti

4.1.2.1. Polarizan Mikroskop Çalışması

Fethiye (Kemer) meteoriti, kondritik bir meteorit olup L4 grubuna aittir (Garviem, 2011). Polarizan mikroskop ve XRD analizleri Kemer meteoritinin ana silikat minerallerinin olivin, ortopiroksen ve plajiolklas olduğunu ve ayrıca opak mineral fazında kamasit, troilit, taenit, kromit ve nadir olarak da nabit bakır minerallerinin bulunduğunu göstermiştir. Kondrüller içerisinde yer alan minerallerin oluşturduğu kondrül tipleri; porfirik olivin kondrül, kuşaklı olivin kondrül, granüler olivin kondrül, ışınal piroksen kondrül, porfirik olivin-piroksen kondrül, kriptokristalin kondrül ve literatüre ek olarak porfirik poiklitik plajiolklas piroksen kondrül (PPPLP) olarak belirlenmiştir. Opak mineraller ise kondrüller içerisinde ve bazen kondrülü çevreleyen halka olarak yer almakla birlikte çoğunlukla kondrüller arası matriks kısmında düzensiz şekilde dağılmışlardır.

Olivin: Yüksek rölyefli, iri çatlaklı ve genellikle öz şekilsizdir. Yersel olarak özşekilli ve yarı özşekilli formlarına rastlanmasına karşılık yaygın olarak hemen hemen eş boy taneli özşekilsiz kristalleri yaygındır. Genellikle renksiz olup pleokroizma gözlenmez. Kısmen alterasyona uğramış ve bulutsu bir görünüm kazanmışlardır. Bazı olivinlerde dilinimler zayıf olarak izlenmesine karşılık çoğunlukla iri çatlaklar karakteristiktir. Çift kırması yüksek olup ikinci dizinin üst sıralarında girişim renkleri karakteristiktir. Paralel sönme ve bazı olivin tanelerinde ise dalgalı sönme gözlenir. Olivinler hem kondrüller içerisinde hem de kondrüller arası boşluklarda saçılmış halde gözlenir. XRD kayıtlarında demirli forsterit türünde oldukları belirlenmiştir. Kesitlerde “Ol” şeklinde gösterilmiştir. Kesitlerde “Ol” şeklinde gösterilmiştir.

Ortopiroksen: Genellikle enstatit / hipersten türünde olup piroksen kondrül ve kriptokristalli kondrüllerin yapısında yer alır. Yüksek rölyefli olup, renk ve pleokrozima göstermez. Çift kırma değerleri düşük olup birinci dizinin alt sıralarında gri tonlarında girişim renkleri karakteristiktir. Fe içeriğine bağlı olarak bazı enstatitler ikinci dizinin alt sıralarında girişim renkleri gösterir. Paralel sönme gözlenir. Dilinimleri karakteristiktir. Radyal kondrüller içerisinde bir noktadan çıkan ve ışınal dizilmiş iğnemi kristaller halinde bulunur. XRD kayıtlarında demirli enstatit türünde oldukları belirlenmiştir. Kesitlerde “Opx” şeklinde gösterilmiştir. Kesitlerde “Opx” şeklinde gösterilmiştir.

Plajioloklas: Genellikle andezin türü olup ince kesitlerde tanınması oldukça zordur. Kısmen alterasyondan etkilendikleri için tek nikolde bulutsu bir görünüm hakimdir. XRD kayıtlarında andezin ve anortit türü oldukları belirlenmiştir. Kesitlerde “Plag” şeklinde gösterilmiştir. Kesitlerde “Plag” şeklinde gösterilmiştir.

Troilit: Kahverengi tonlarında gri renkli demir sülfür mineralidir. Manyetik değildir. Genellikle kamasit, taenit ve kromit mineralleri ile birlikte girift bir yapıdadır. Tane boyu değişkenlik gösterebilir. Belirgin yansımali mikroskop pleokrozması gösterir. Pleokrozma renkleri açık sarıdan koyu kahverengiye kadar değişkenlik gösterir. Dünya’da nadiren rastlanır. Yansımali mikroskop ile kemer meteoritinde de oldukça fazla gözlemlenmiştir. Kesitlerde “Tr” şeklinde gösterilmiştir. Kesitlerde “Tr” şeklinde gösterilmiştir.

Taenit: Açıktan koyuya değişen gri renkli, demir-nikel gama fazlı doğal alaşımdır. Opak olduğundan yansımali mikroskopta incelenebilir. Metalik parlak kristaller geliştirebilir. Troilit, kamasit ve kromit minerallerinin yanı sıra şraybersit minerali ile birlikte bulunur. Kamasit ile girift halde plessit mineralini oluşturur. Kamasit mineraline oranla daha yüksek nikel içerir. Manyetik özellik gösterir. Başlangıçta demir-nikel karışimli eriyik 900°C ile 1400°C arasındayken tek fazlı bir alaşımdır. Soğumayla birlikte alaşım içinde nikelce fakir kamasit katı fazı oluşur ve soğuma devam ederken geriye kalan yüksek nikelli katı demir-nikel fazı da taeniti oluşturur. İki faz girift halde bulunur. Kemer meteoritinde kondrüller arasında ve kondrül içi bazı kısımlarda gözlenmiştir. Kesitlerde “Ta” şeklinde gösterilmiştir.

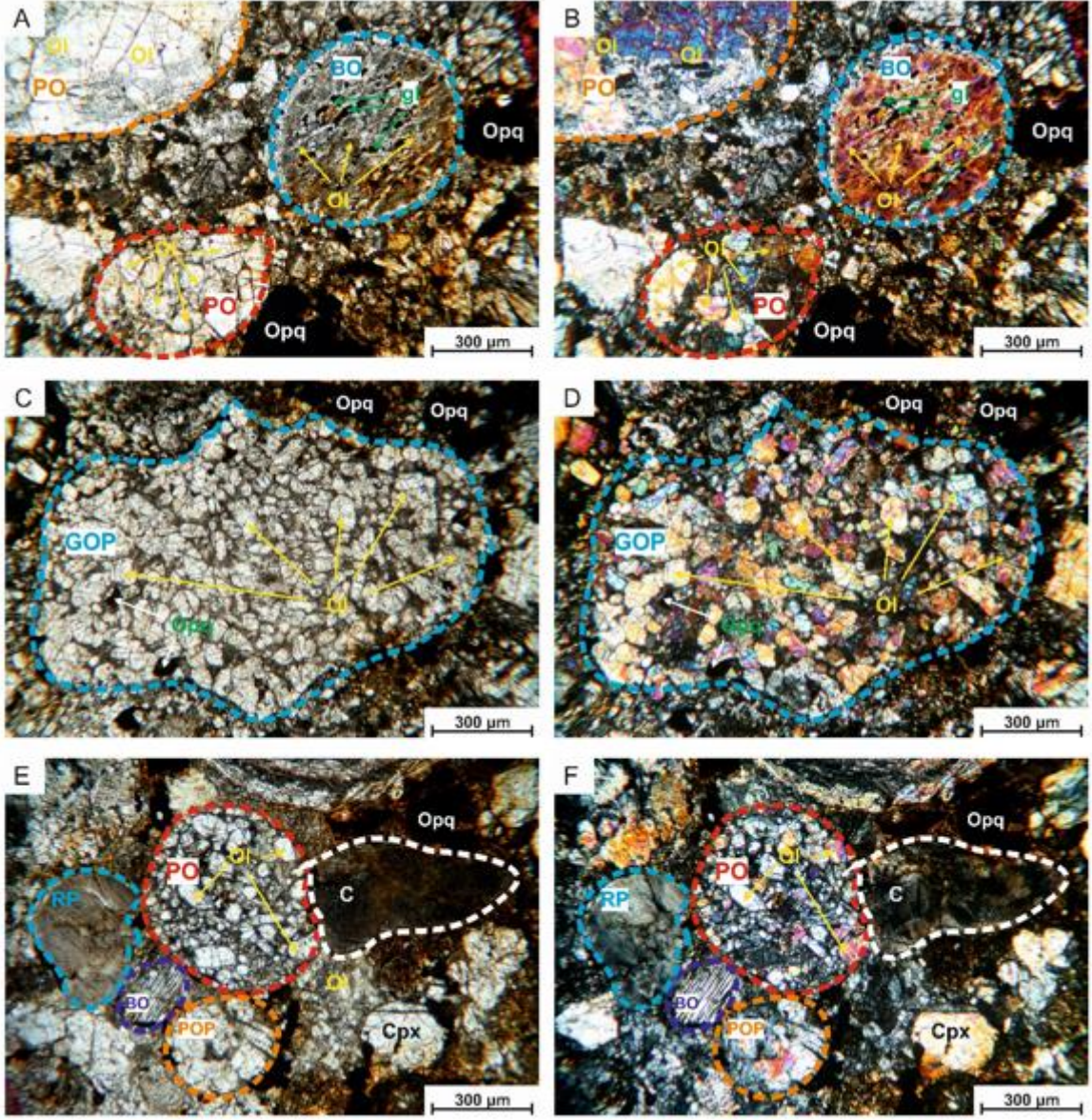
Kamasit: Parlak metalik gri renkli, taenite göre nikel oranı daha düşük demir-nikel alfa fazı alaşımdır. Yeryüzünde sadece meteoritlerde bulunur. Demirli meteoritlerde “widmanstatten” isimli bantsı çizgiler gösterir. Çoğu zaman taenit ile girift halde bulunur. Ayrıca etrafında troilit, kromit ve şraybersit de gözlemlenebilir. Kemer meteoritinde taenit ve troilit ile birlikte girift halde oldukça sık gözlemlenmiştir. Kesitlerde “Ka” şeklinde gösterilmiştir.

Kromit: Koyu gri ve parlak siyah renkte metalik faz olan kromit spinel grubuna aittir. Manyetik özellik taşımaz. Özellikle sıradan kondritlerde baskın oksittir. Kesitlerde “Ch” şeklinde gösterilmiştir.

Fethiye (Kemer) meteoritinde belirlenen kondrüller Şekil 4.9 ve 4.10’da verilmiştir. Şekil 4.9, A’da porfirik olivin kondrüller ve ilksel fazda bir kuşaklı (barred) olivin görülmektedir. Porfirik olivinlerde şok metamorfizmasının etkisi belirgin olarak görülmektedir. Kondrüller hemen

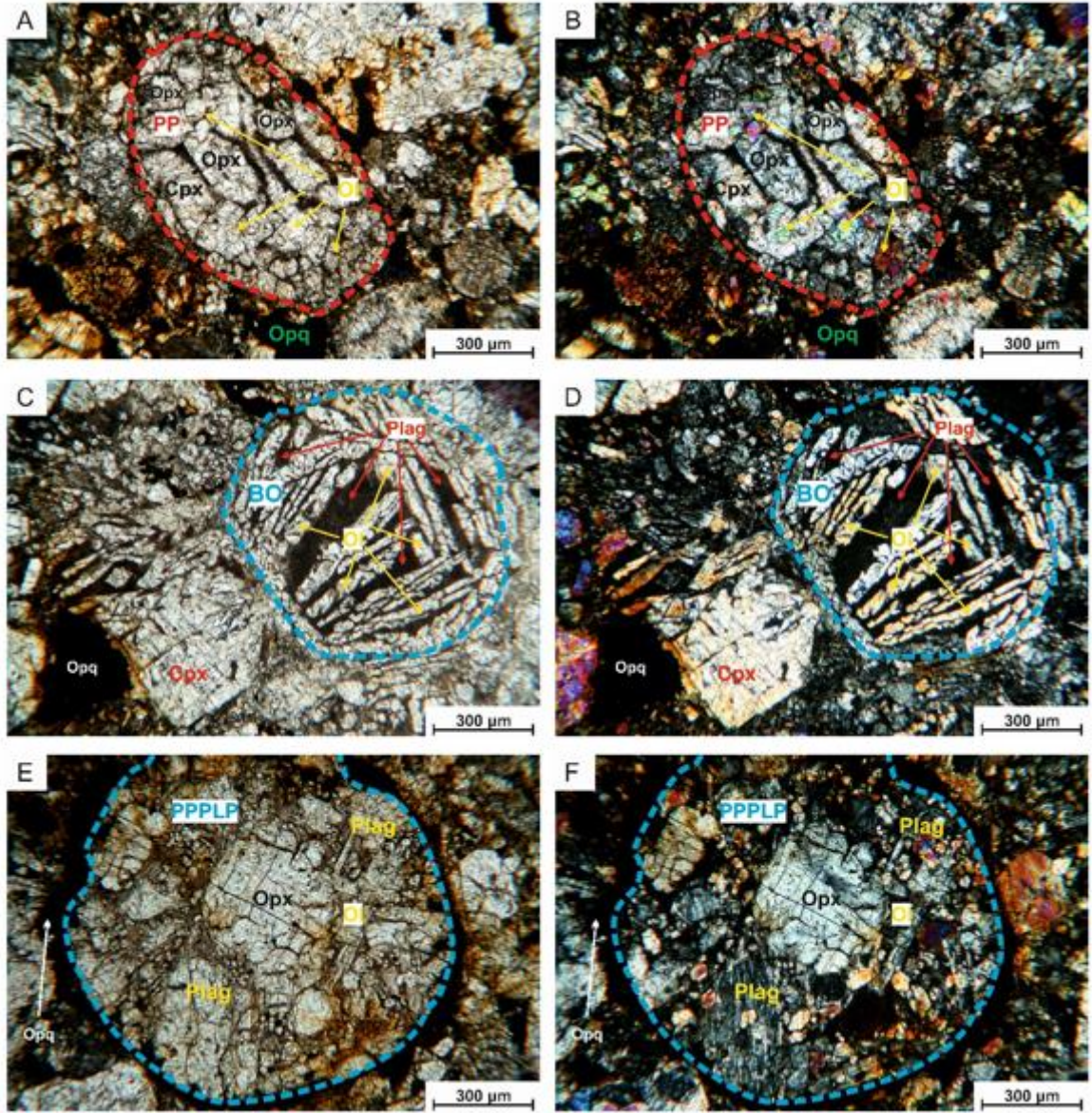
hemen küreselliklerini kaybetmişlerdir. Kondrüller arası küçük ve orta boy taneli düzensiz kristallerden oluşmaktadır. Ayrıca kondrüllerin kenarında metalik (opak) faz mineral kristalleri de görülmektedir. Kuşaklı olivin merkezindeki uzun çubuksal olivinler oluşamamıştır ve olivinler arası camsı hamur ile doludur. Kondrülün tam olarak oluşamamış olması hızlı soğumaya işaret etmektedir. Olivinler yüksek girişim renkleri vermektedir.

C'de, granüler olivin-piroksen kondrül görülmektedir. Olivin ve piroksen kristallerinin birbirine yakın boyutları açıkça görülmektedir. GOP kondrül çevresine oranla içerisinde çok daha az opak mineral barındırmaktadır. E'de ise çok farklı kondrül tipleri bir arada görülmektedir. Yine metamorfizma etkisiyle özellikle radial (ışınsal) kondrül ve kriptokristalin kondrül, kondrül formlarını kaybetmişlerdir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9: Fethiye (Kemer) meteoriti kondrül görüntüleri: A-B) Kuşaklı (barred) olivin kondrül ve porfirik olivin tipi kondrüllerin tek ve çift nikol görüntüsü. C-D) Granüler olivin kondrül tek nikol ve çift nikol görüntüsü. E-F) Işınsal (radial) kondrül, kriptokristalin enstatit kondrül, kuşaklı olivin, porfirik olivin-piroksen kondrül ve porfirik olivin kondrül tek ve çift nikol görüntüsü.

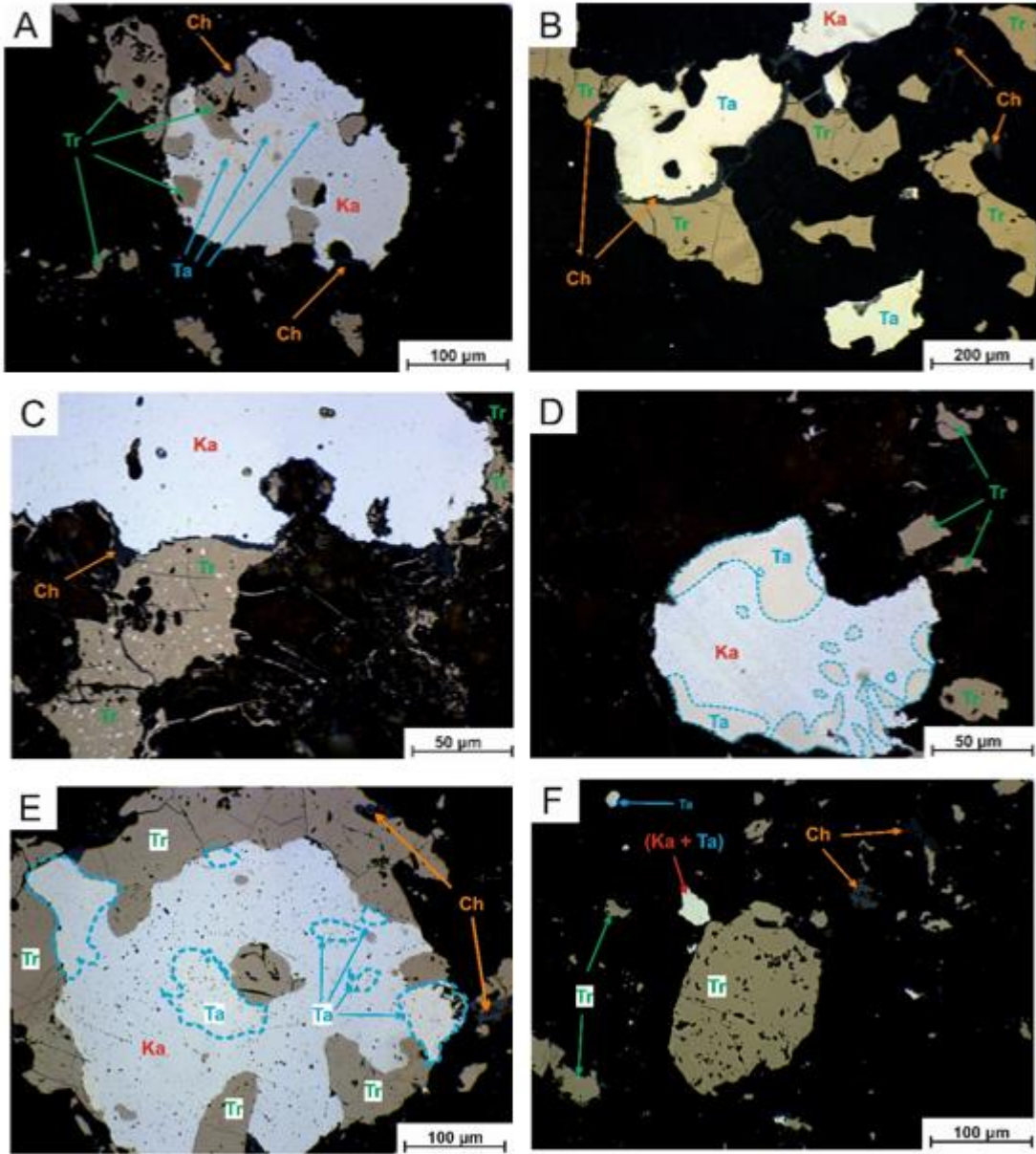
Şekil 4.10, A'da porfirik piroksen kondrül ve etrafında düzensizce dağılmış küçük taneli matriks kısım görülmektedir. C'de karakteristik kuşaklı olivin kondrülün bir başka türü olan polisomatik kuşaklı olivin görülmektedir. Olivin çubuklar arası plajiyoklas minerali ile dolmuştur. E'de ise porfirik poiklitik plajiyoklas piroksen kondrül görülmektedir. Bu kondrül tipi çok yaygın görülmemektedir ve Şekil 4.2'deki literatürde yaygın kondrül tipleri arasında verilmemiştir. Kondrül çevresi ince bir opak mineral fazı ile çevrelenmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10: Fethiye (Kemer) meteoriti diğer kondrül görüntüleri: A-B) Porfirik piroksen kondrül tek ve çift nikol görüntüsü. C-D) Kuşaklı (barred) olivin kondrül tek ve çift nikol görüntüsü. E-F) Porfirik poiklitik plagioklas piroksen kondrül tek ve çift nikol görüntüsü.

4.1.2.2. Yansımali Mikroskop Çalışması

Fethiye (Kemer) meteoriti yansımali mikroskop görüntüleri Şekil 4.11’de verilmiştir. A’da büyük bir kamasit kristali ile girift halde oluşmuş taenit kristalleri görülmektedir. Ayrıca kamasit minerali çevresinde ve içerisinde troilit mineralleri de görülmektedir.

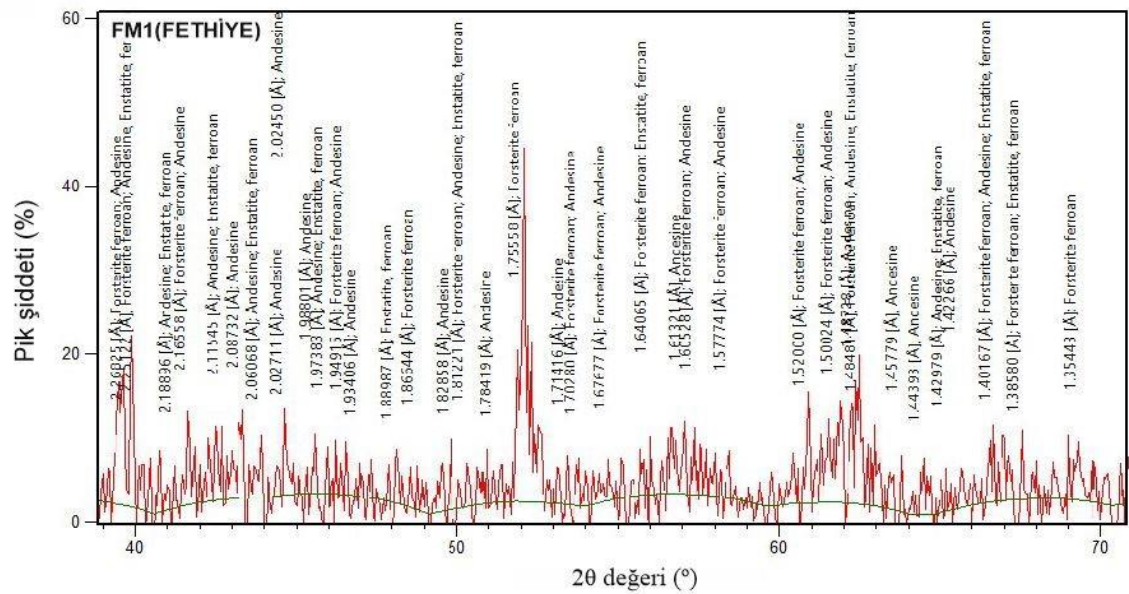


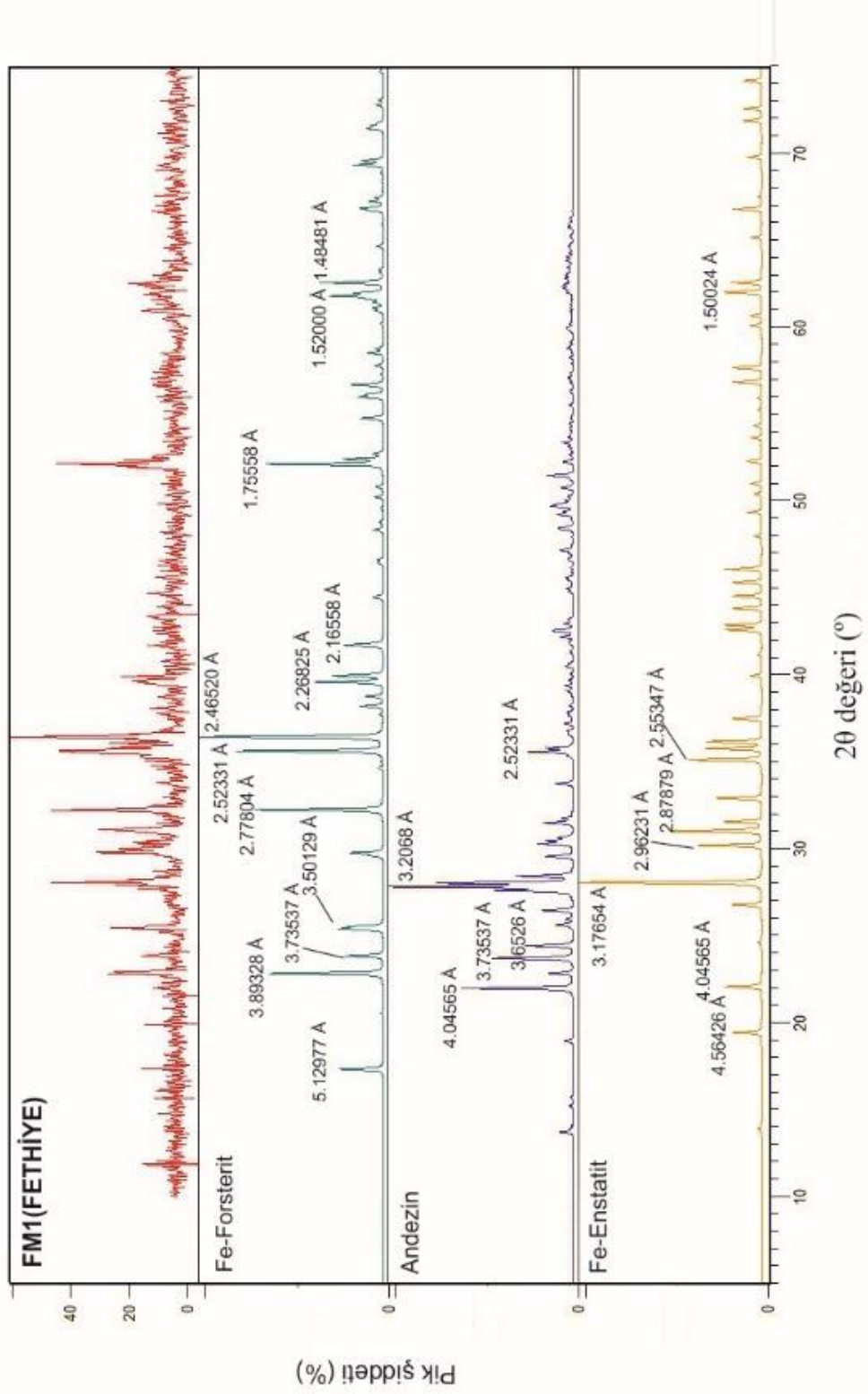
Şekil 4.11: Fethiye (Kemer) meteoriti silikat mineralleri ve kondrülleri arasında bulunan çeşitli opak (metalik) minerallerden yansımali mikroskop görüntüleri.

Demir sülfür minerali olan troilite göre genelde kamasit ve taenit mineralleri daha fazla girift haldedir. Demir-nikel karışımı soğuma esnasında az miktar nikelin soğuması sonucu, düşük miktar nikel içeren ($\sim 10\%$) kamasit minerali ve sonrasında arta kalan yüksek nikel ile taenit minerali oluşmaktadır. Böylelikle demir-nikel alaşımı bu “ α ” ve “ γ ” fazları girift halde bulunmaktadır. Ayrıca kondrül kenarında bir başka metalik faz olan, spinel grubu kromit minerali bulunmaktadır. B’de, taenit, troilit ve kamasit mineralleri arasında ince kromit minerali adeta birleştirici gibi yerleşmiştir. Aynı şekilde C’de, kromitin birleştirici ara form şeklinde bulunuşu gözlenmektedir. D’de iri bir kamasit minerali ile girift galde oluşmuş sarımsı renkte taenit mineralleri görülmektedir. Benzer şekilde E’de, neredeyse tamamen troilit minerali ile çevrelenmiş, taenit içeren kamasit kondrül gözlenmektedir. F’de de küçük taneli ve düzensiz dağılmış opak fazlar görülmektedir (Şekil 4.11).

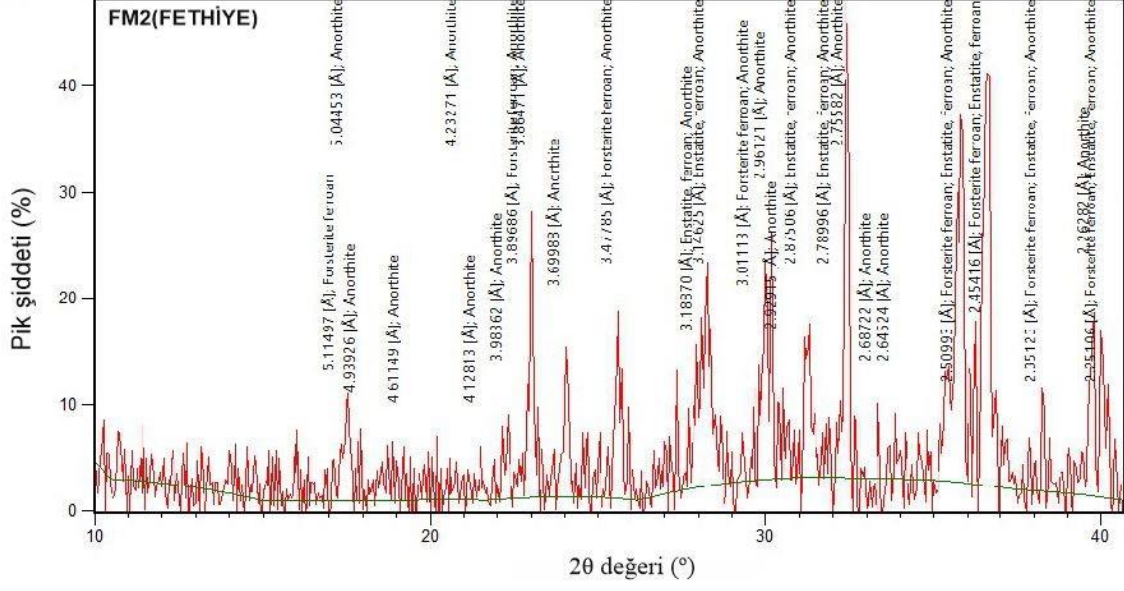
4.1.2.3. XRD Çalışması

Fethiye (Kemer) meteoritinde iki ayrı parça çalışılmış ve XRD analizi sonucu, FM1 parçasında forsterit, enstatit ve andezin mineralleri tespit edilmiştir. FM2 parçasında ise forsterit, enstatit ve anortit mineralleri tespit edilmiştir. Fethiye (Kemer) meteoritine ait FM1 ve FM2 parçalarının XRD spektrumları Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.15 ve 4.16’da verilmiştir.

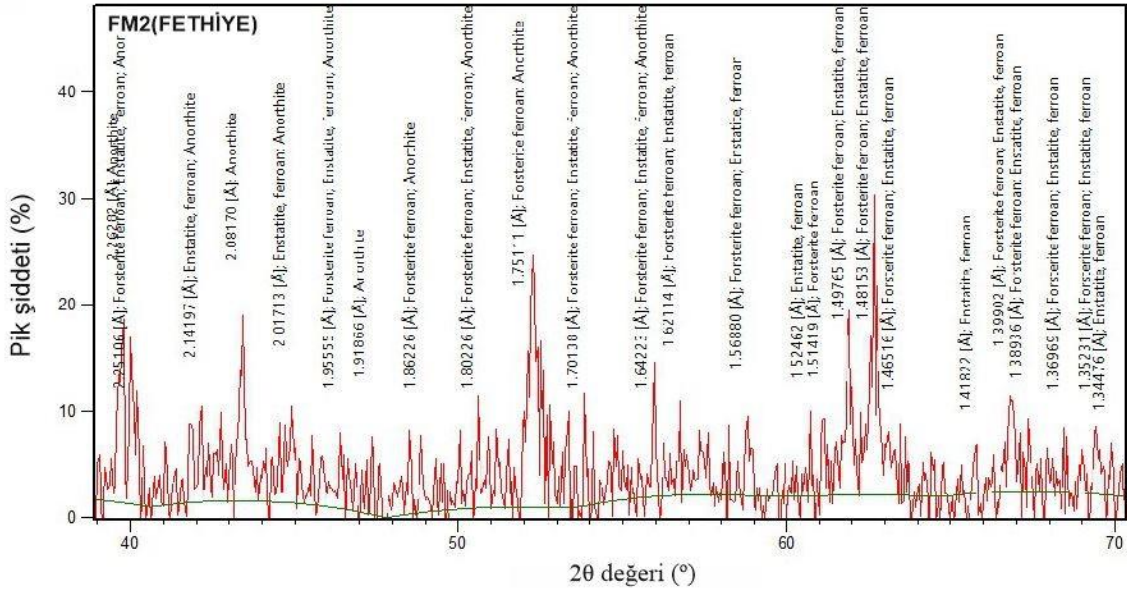




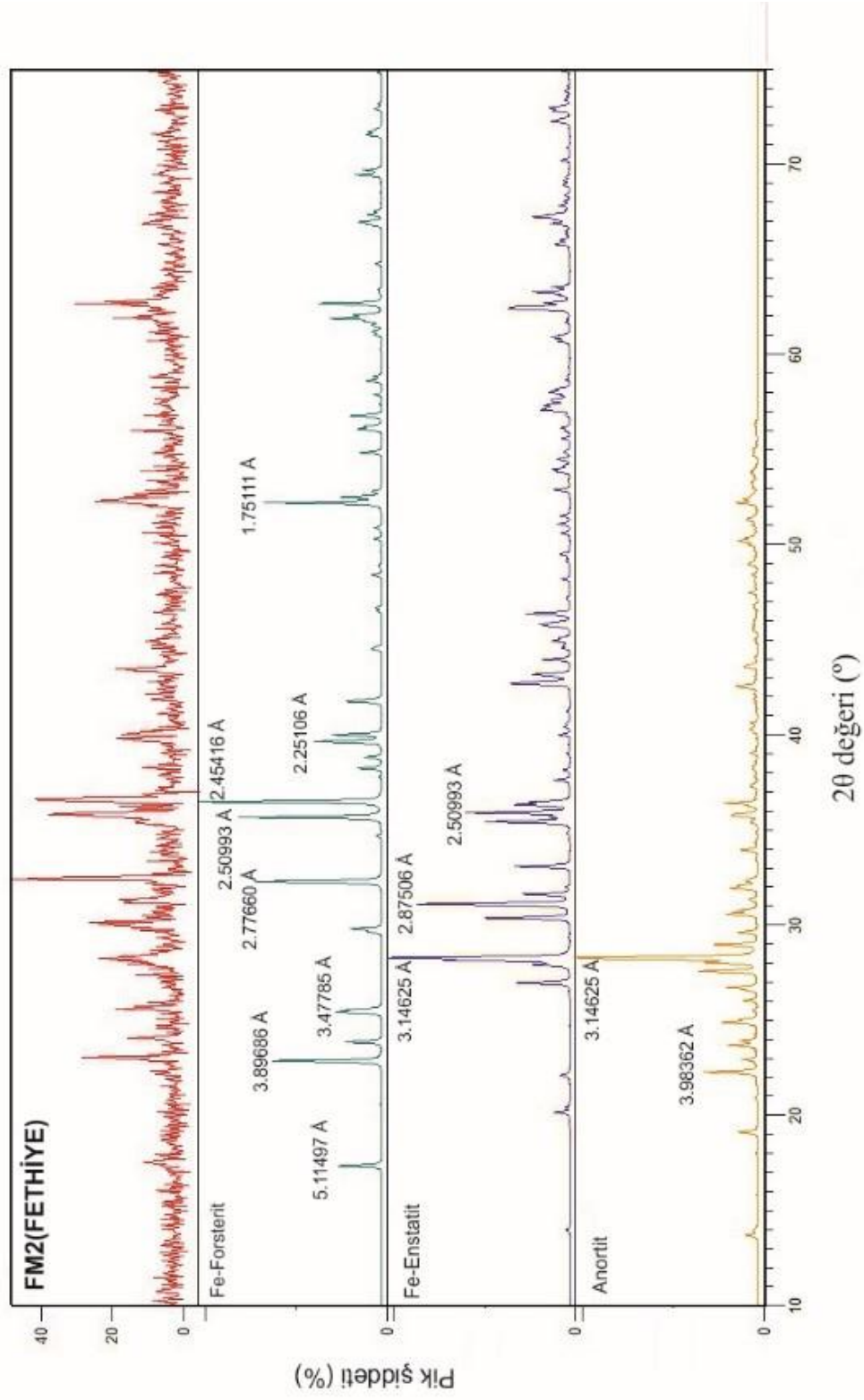
Şekil 4.14: Fethiye (Kemer) meteoriti FM1 parçası XRD kaydında ayrı ayrı mineral spektrumları.



Şekil 4.15: Fethiye (Kemer) meteoriti FM2 parçası XRD kaydının $2\theta=10^{\circ}$ - 40° arasındaki bölümü.



Şekil 4.16: Fethiye (Kemer) meteoriti FM2 parçası XRD kaydının $2\theta=40^{\circ}$ - 70° arasındaki bölümü.



Şekil 4.17: Fethiye (Kemer) meteoriti FM2 parçası XRD kaydında ayrı ayrı mineral spektrumları.

4.1.3. Didim Meteoriti

4.1.3.1. Polarizan Mikroskop Çalışması

Didim meteoriti, kondritik bir meteorit olup H3-5 grubuna aittir (Weisberg vd., 2008). Polarizan mikroskop ve XRD analizleri Didim meteoritinin ana silikat minerallerinin olivin, ortopiroksen, klinopiroksen olduğunu ve ayrıca opak mineral fazında kamasit, troilit, taenit, kromit minerallerinin bulunduğunu göstermiştir. Kondrüller içerisinde yer alan minerallerin oluşturduğu kondrül tipleri; porfirik olivin kondrül, kuşaklı olivin kondrül, granüler olivin-piroksen kondrül, ışınal piroksen kondrül, porfirik olivin-piroksen kondrül, kriptokristalin kondrül olarak belirlenmiştir. Opak mineraller ise kondrüller içerisinde ve bazen kondrülü çevreleyen halka olarak yer almakla birlikte çoğunlukla kondrüller arası matriks kısımda düzensiz şekilde dağılmışlardır.

Olivin: Yüksek rölyefli, iri çatlaklı ve genellikle öz şekilsizdir. Yersel olarak özşekilli ve yarı özşekilli formlarına rastlanmasına karşılık yaygın olarak hemen hemen eş boy taneli özşekilsiz kristalleri yaygındır. Genellikle renksiz olup pleokroizma gözlenmez. Kısmen alterasyona uğramış ve bulutsu bir görünüm kazanmışlardır. Bazı olivinlerde dilinimler zayıf olarak izlenmesine karşılık çoğunlukla iri çatlaklar karakteristiktir. Çift kırması yüksek olup ikinci dizinin üst sıralarında girişim renkleri karakteristiktir. Paralel sönme ve bazı olivin tanelerinde ise dalgalı sönme gözlenir. Olivinler hem kondrüller içerisinde hem de kondrüller arası boşluklarda saçılmış halde gözlenir. XRD kayıtlarında demirli forsterit türünde oldukları belirlenmiştir. Kesitlerde “Ol” şeklinde gösterilmiştir.

Ortopiroksen: Genellikle enstatit / hipersten türünde olup piroksen kondrül ve kriptokristalli kondrüllerin yapısında yer alır. Yüksek rölyefli olup, renk ve pleokroizma göstermez. Çift kırma değerleri düşük olup birinci dizinin alt sıralarında gri tonlarında girişim renkleri karakteristiktir. Fe içeriğine bağlı olarak bazı enstatitler ikinci dizinin alt sıralarında girişim renkleri gösterir. Paralel sönme gözlenir. Dilinimleri karakteristiktir. Radyal kondrüller içerisinde bir noktadan çıkan ve ışınal dizilmiş iğnemsî kristaller halinde bulunur. XRD kayıtlarında hem demirli enstatit hem de enstatit türünde oldukları belirlenmiştir. Kesitlerde “Opx” şeklinde gösterilmiştir.

Klinopiroksen: Genellikle ojit / diyopsit türünde olan ve piroksen kondrüllerin yapısında yer alan mineraldir. Yüksek pozitif rölyefli olup, genellikle pleokroizma göstermez. Çift kırma

değerleri düşük olup birinci dizinin altlarında sarımsı veya kırmızımsıdır ve ikinci sıraya kadar genişim mümkündür. Paralel sönme gösterir. XRD kayıtlarında hem demirli diyopsit hem de diyopsit türünde oldukları belirlenmiştir. Kesitlerde “Cpx” şeklinde gösterilmiştir.

Troilit: Kahverengi tonlarında gri renkli demir sülfür mineralidir. Manyetik değildir. Genellikle kamasit, taenit ve kromit mineralleri ile birlikte girift bir yapıdadır. Tane boyu değişkenlik gösterebilir. Belirgin yansımali mikroskop pleokrozması gösterir. Pleokrozma renkleri açık sarıdan koyu kahverengiye kadar değişkenlik gösterir. Dünya’da nadiren rastlanır. Yansımali mikroskop ile Didim meteoritinde de yaygın olarak gözlemlenmiştir. Kesitlerde “Tr” şeklinde gösterilmiştir.

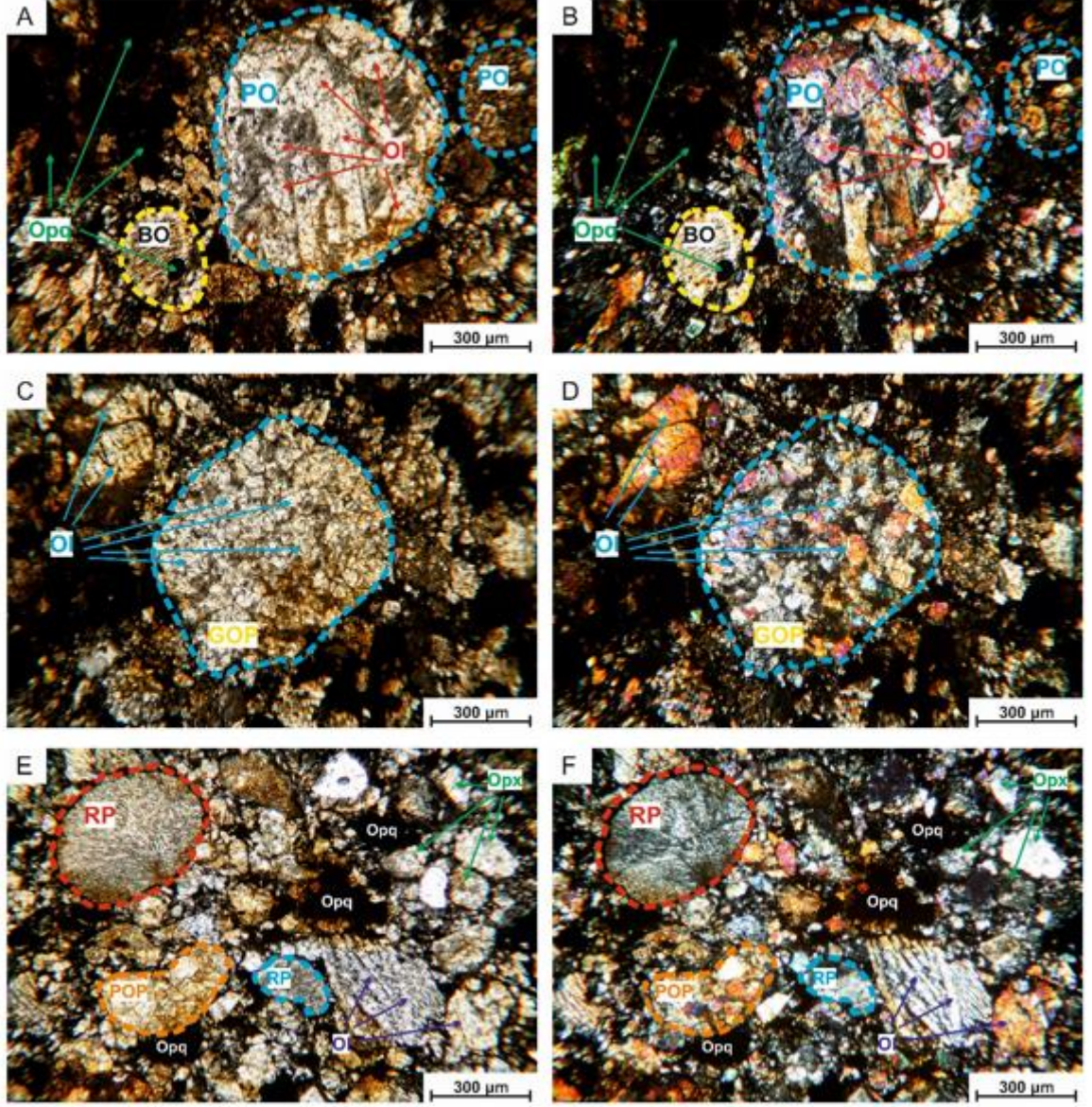
Taenit: Açıktan koyuya değişen gri renkli, demir-nikel gama fazlı doğal alaşımdır. Opak olduğundan yansımali mikroskopta incelenebilir. Metalik parlak kristaller geliştirebilir. Troilit, kamasit ve kromit minerallerinin yanı sıra şraybersit minerali ile birlikte bulunur. Kamasit ile girift halde plessit mineralini oluşturur. Kamasit mineraline oranla daha yüksek nikel içerir. Manyetik özellik gösterir. Başlangıçta demir-nikel karışimli eriyik 900°C ile 1400°C arasındayken tek fazlı bir alaşımdır. Soğumayla birlikte alaşım içinde nikelce fakir kamasit katı fazı oluşur ve soğuma devam ederken geriye kalan yüksek nikelli katı demir-nikel fazı da taeniti oluşturur. İki faz girift halde bulunur. Didim meteoritinde kondrüller arasında ve kondrül içi bazı kısımlarda gözlenmiştir. Kesitlerde “Ta” şeklinde gösterilmiştir.

Kamasit: Parlak metalik gri renkli, taenite göre nikel oranı daha düşük demir-nikel alfa fazı alaşımdır. Yeryüzünde sadece meteoritlerde bulunur. Demirli meteoritlerde “widmanstätten” isimli bantlı çizgiler gösterir. Çoğu zaman taenit ile girift halde bulunur. Ayrıca etrafında troilit, kromit ve şraybersit de gözlemlenebilir. Didim meteoritinde taenit ve troilit ile birlikte girift halde oldukça sık gözlemlenmiştir. Kesitlerde “Ka” şeklinde gösterilmiştir.

Kromit: Koyu gri ve parlak siyah renkte metalik faz olan kromit spinel grubuna aittir. Manyetik özellik taşımaz. Özellikle sıradan kondritlerde baskın oksittir. Kesitlerde “Ch” şeklinde gösterilmiştir.

Didim meteoritinde belirlenen kondrüller Şekil 4.18’de verilmiştir. Şekil 4.18, A’da porfirik olivin kondrül ve yanında küçük bir kuşaklı (barred) olivin kondrül görülmektedir. Kondrüller arası matriks kısım oldukça düzensiz dağılmış irili ufaklı kristal tanelerden oluşmaktadır. C’de, küreselliğini hemen hemen kaybetmiş bir granüler olivin kondrül gözlenmektedir. Kondrüller

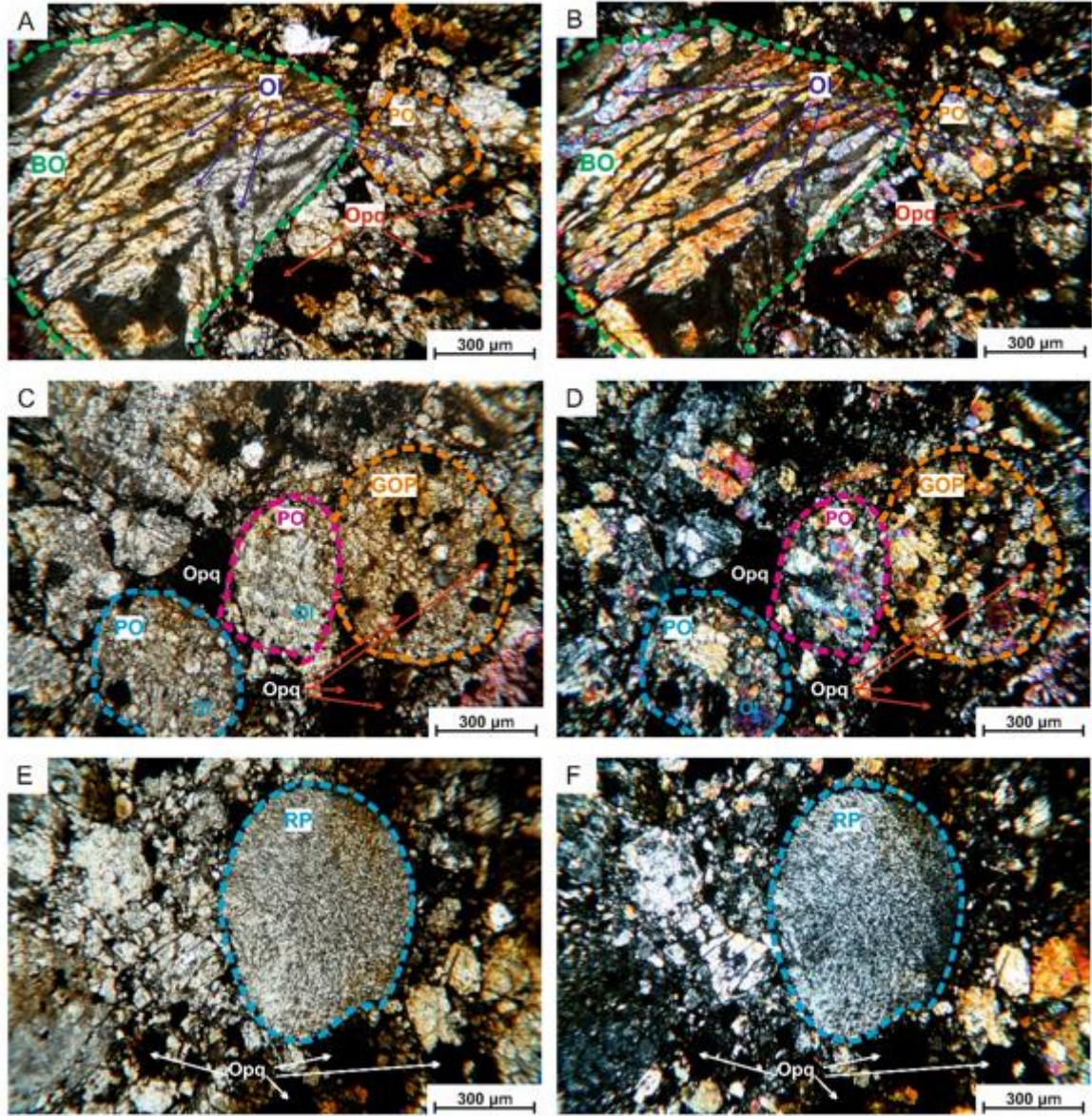
arası yer yer opak mineraller görülmektedir. E’de karakteristik bir radial (ışınsal) kondrül ile parçalanmış halde daha küçük bir başka ışınsal kondrül gözlenmektedir. Ayrıca formunu kaybetmiş bir porfirik olivin-piroksen de görülmektedir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18: Didim meteoriti kondrül görüntüleri: A-B) Kuşaklı (barred) olivin kondrül ve porfirik olivin kondrülün tek ve çift nikol görüntüsü. C-D) Granüler olivin-piroksen kondrülün tek nikol ve çift nikol görüntüsü. E-F) Işınsal (radial) piroksen kondrül ve porfirik olivin piroksen kondrül tek ve çift nikol görüntüsü.

Şekil 4.19, A’da polisomatik kuşaklı olivin kondrül ve yanında porfirik olivin kondrül ile birkaç opak mineral görülmektedir. Olivin kuşakları arasında gri renkli silikat minerali dolmuş

durumdadır. C’de iki porfirik olivin kondrül ve granüler olivin kondrül gözlenmektedir. Soldaki PO kondrül içerisinde bir ve sağdaki GOP kondrülün içerisinde çok sayıda opak mineral görülmektedir. E’de karakteristik radial (ışınsal) piroksen enstatit kondrül gözlenmiştir. Didim meteoriti genelinde çok sayıda metalik (opak) mineral gözlemlenmiştir (Şekil 4.19).

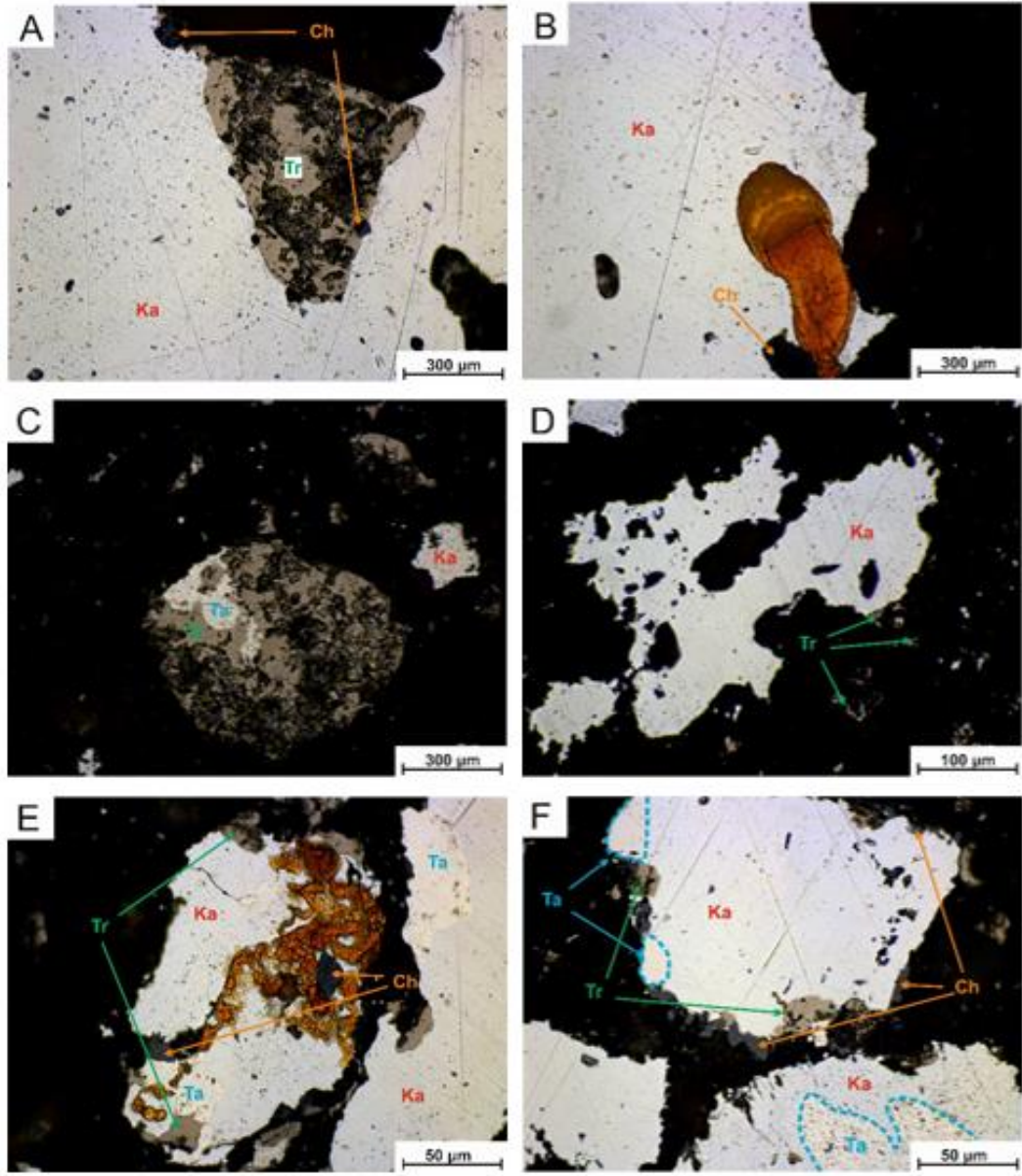


Şekil 4.19: Didim meteoriti diğer kondrül görüntüleri: A-B) Polisomatik kuşaklı olivin kondrül ve porfirik olivin kondrül tek ve çift nikol görüntüsü. C-D) Granüler olivin-piroksen kondrül ve ona bitişik porfirik olivin kondrüllerin tek ve çift nikol görüntüsü. E-F) Işınsal (radial) piroksen enstatit kondrül tek ve çift nikol görüntüsü.

4.1.3.2. Yansımali Mikroskop Çalışması

Didim meteoriti yansımali mikroskop görüntüleri Şekil 4.20’de verilmiştir. Şekil 4.20, A’da büyük bir kamasit minerali içine sokulmuş troilit minerali ile karışık silikat hamur form görülmektedir. Bu karışık form, kenarında kromit minerali barındırmaktadır. B’de kamasit minerali kenarında meydana gelmiş oksitlenme gözlenmiştir. C’de troilit minerali içine sokulmuş taenit minerali ve silikat mineralleri görülmektedir. D’de kamasit minerali yapısındaki boşluklu kısımlara silikat mineralleri dolduğu görülmektedir. E’de girift haldeki kamasit ve taenit kristali üzerinde oksitlenme gözükmemektedir.

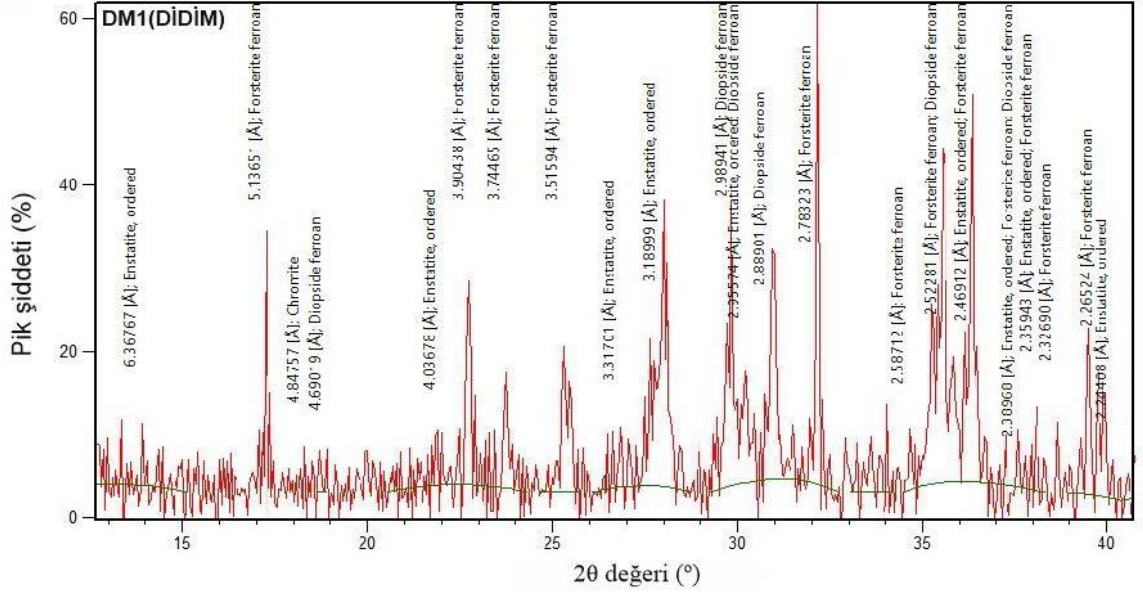
F başta olmak üzere diğer görüntülerde de belirgin şekilde görülen kamasit minerali üzerindeki çizikler, meteoritten hazırlanan ince kesitin parlatılması sırasında aşındırıcı tozun, kendisine göre sertliği daha düşük olan kamasit mineralini çizmesi ile oluşmuş çiziklerdir. Özellikle demirli meteoritlerdeki kamasit mineralleri içerisinde görülen “widmanstatten” çizgileri bu çizikler ile karıştırılmamalıdır (Şekil 4.20).



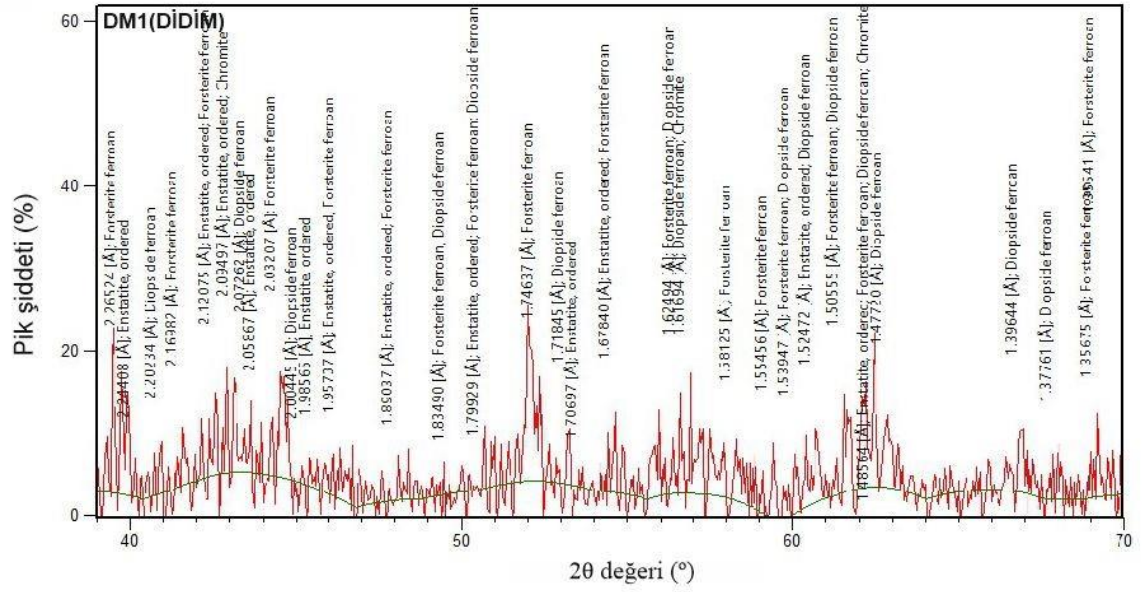
Şekil 4.20: Didim meteoriti silikat mineralleri ve kondrülleri arasında bulunan çeşitli opak (metalik) minerallerden yansımali mikroskop görüntüleri.

4.1.3.3. XRD Çalışması

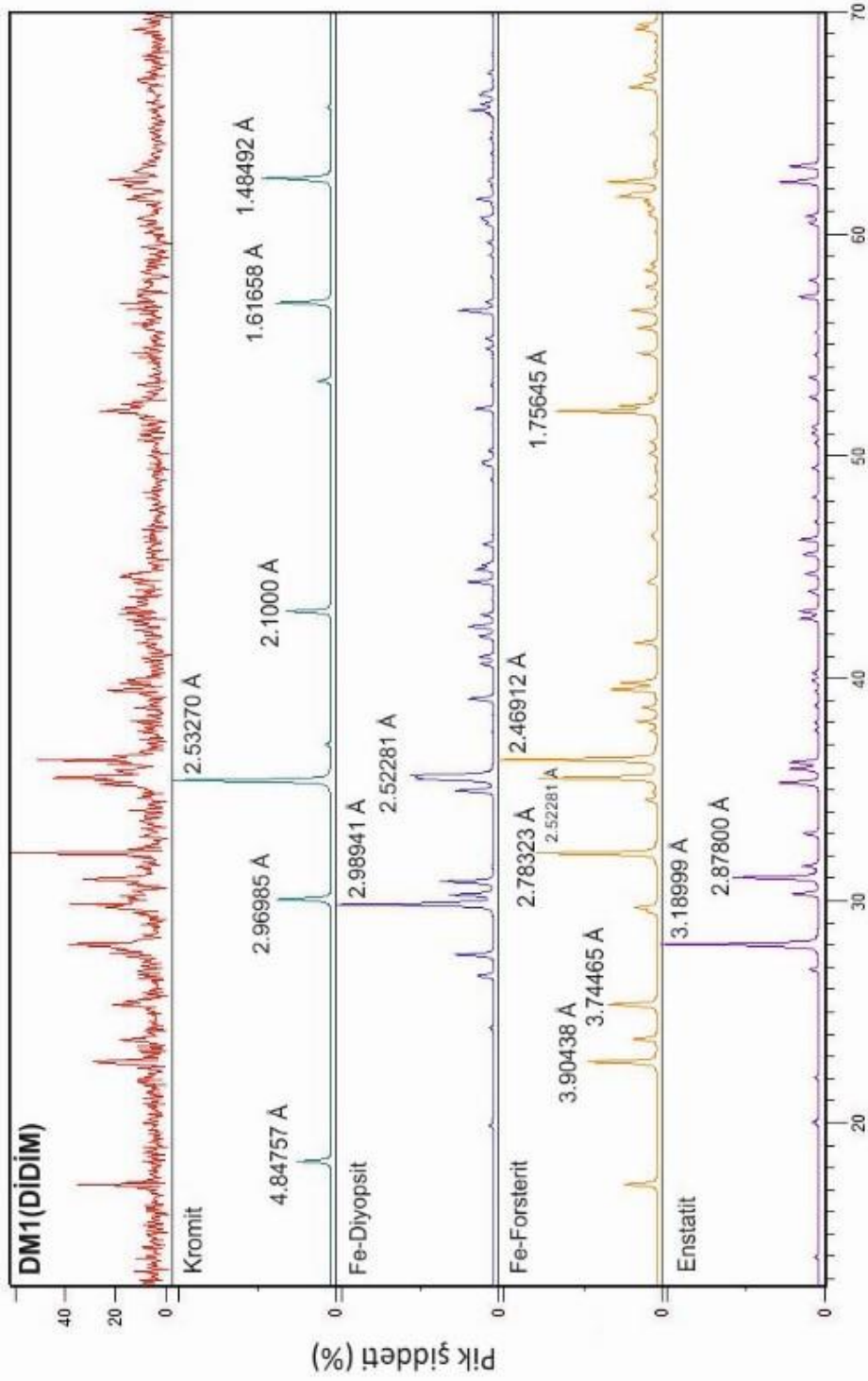
Didim meteoritinde iki ayrı parça çalışılmış ve XRD analizi sonucu, DM1 parçasında forsterit, enstatit, diyopsit ve kromit mineralleri tespit edilmiştir. DM2 parçasında da forsterit, enstatit, diyopsit ve kromit mineralleri tespit edilmiştir. Didim meteoritine ait DM1 ve DM2 parçalarının XRD spektrumları Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te verilmiştir.



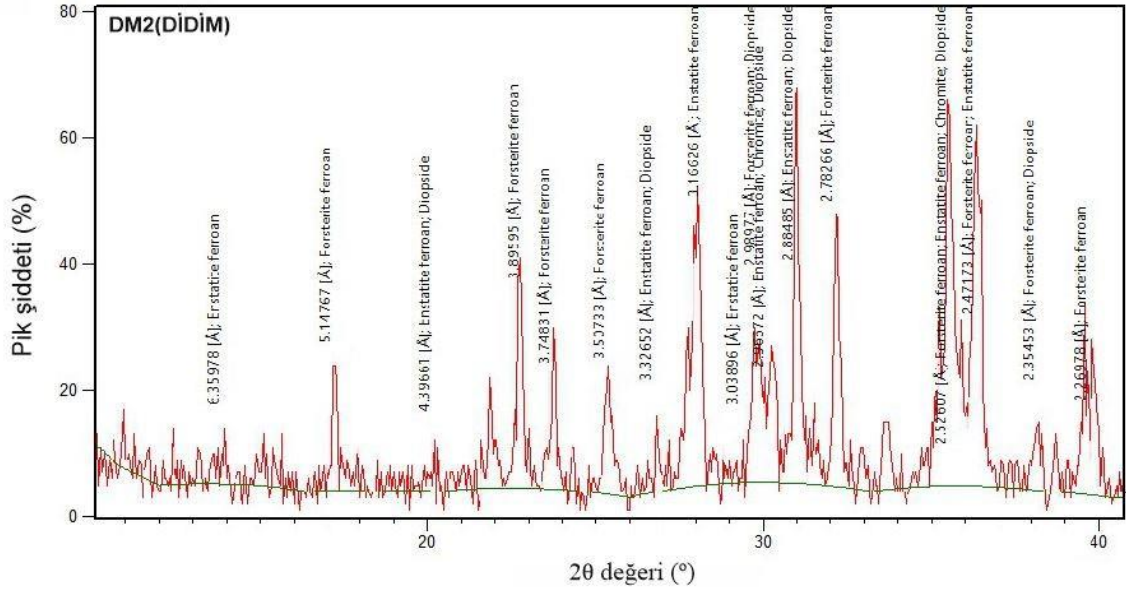
Şekil 4.21: Didim meteoriti DM1 parçası XRD kaydının $2\theta=10^{\circ}$ - 40° arasındaki bölümü.



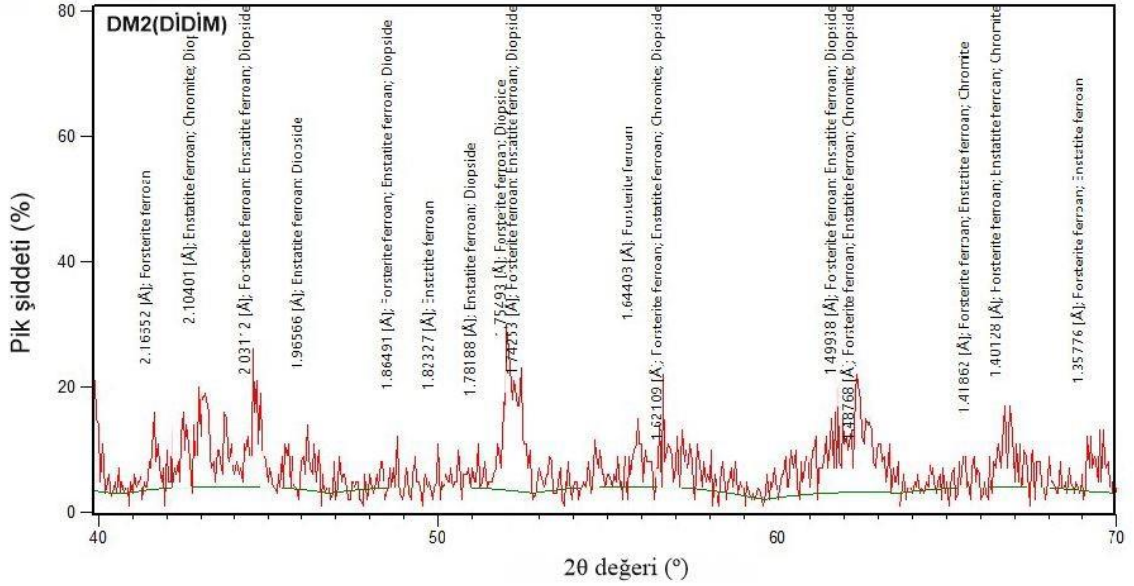
Şekil 4.22: Didim meteoriti DM1 parçası XRD kaydının $2\theta=40^{\circ}$ - 70° arasındaki bölümü.



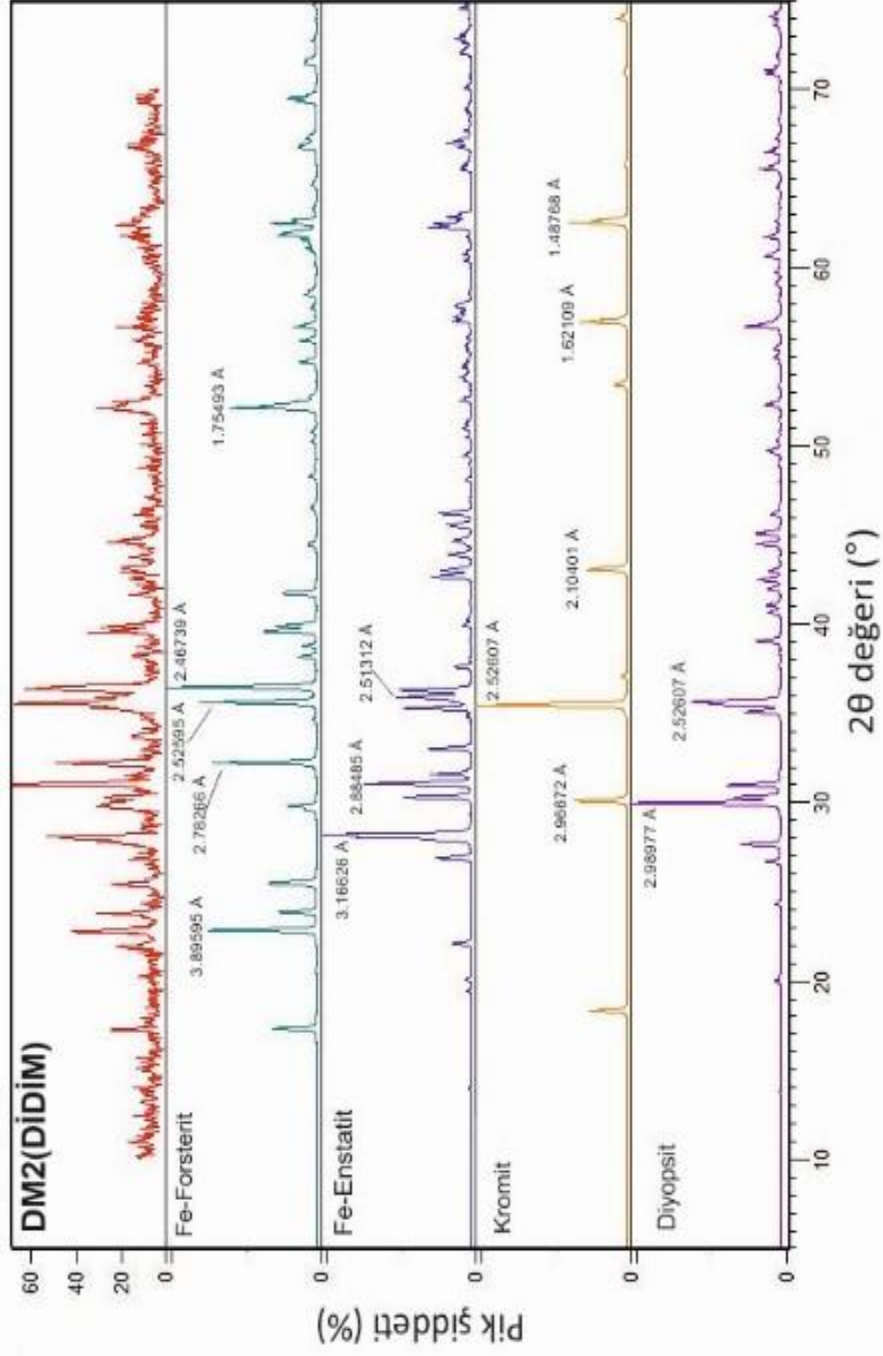
Şekil 4.23: Didim meteoriti DM1 parçası XRD kaydında ayrı ayrı mineral spektrumları.



Şekil 4.24: Didim meteoriti DM2 parçası XRD kaydının $2\theta=10^{\circ}$ - 40° arasındaki bölümü.



Şekil 4.25: Didim meteoriti DM2 parçası XRD kaydının $2\theta=40^{\circ}$ - 70° arasındaki bölümü.



Şekil 4.26: Didim meteoriti DM2 parçası XRD kaydında ayrı ayrı mineral spektrumları.

4.1.4. Fas Meteoriti

4.1.4.1. Polarizan Mikroskop Çalışması

Fas meteoriti, kondritik bir meteorit olup L grubuna aittir. Polarizan mikroskop ve XRD analizleri Fas meteoritinin ana silikat minerallerinin olivin, ortopiroksen, klinopiroksen ve plajiyoklas olduğunu ve ayrıca opak mineral fazında kamasit, troilit, taenit, kromit minerallerinin bulunduğunu göstermiştir. Kondrüller içerisinde yer alan minerallerin oluşturduğu kondrül tipleri; porfirik olivin kondrül, kuşaklı olivin kondrül, granüler olivin-piroksen kondrül, ışınal piroksen kondrül, kriptokristalin kondrül ve literatüre ek olarak porfirik poiklitik plajiyoklas piroksen kondrül (PPPLP) belirlenmiştir. Opak mineraller ise kondrüller içerisinde ve bazen kondrülü çevreleyen halka olarak yer almakla birlikte çoğunlukla kondrüller arası matriks kısımda düzensiz şekilde dağılmışlardır.

Olivin: Yüksek rölyefli, iri çatlaklı ve genellikle öz şekilsizdir. Yersel olarak özşekilli ve yarı özşekilli formlarına rastlanmasına karşılık yaygın olarak hemen hemen eş boy taneli özşekilsiz kristalleri yaygındır. Genellikle renksiz olup pleokroizma gözlenmez. Kısmen alterasyona uğramış ve bulutsu bir görünüm kazanmışlardır. Bazı olivinlerde dilinimler zayıf olarak izlenmesine karşılık çoğunlukla iri çatlaklar karakteristiktir. Çift kırması yüksek olup ikinci dizinin üst sıralarında girişim renkleri karakteristiktir. Paralel sönme ve bazı olivin tanelerinde ise dalgalı sönme gözlenir. Olivinler hem kondrüller içerisinde hem de kondrüller arası boşluklarda saçılmış halde gözlenir. XRD kayıtlarında hem forsterit hem de demirli forsterit türünde oldukları belirlenmiştir. Kesitlerde “Ol” şeklinde gösterilmiştir.

Ortopiroksen: Genellikle enstatit / hipersten türünde olup piroksen kondrül ve kriptokristalli kondrüllerin yapısında yer alır. Yüksek rölyefli olup, renk ve pleokroizma göstermez. Çift kırma değerleri düşük olup birinci dizinin alt sıralarında gri tonlarında girişim renkleri karakteristiktir. Fe içeriğine bağlı olarak bazı enstatitler ikinci dizinin alt sıralarında girişim renkleri gösterir. Paralel sönme gözlenir. Dilinimleri karakteristiktir. Radyal kondrüller içerisinde bir noktadan çıkan ve ışınal dizilmiş iğnemsî kristaller halinde bulunur. XRD kayıtlarında hem demirli enstatit hem de enstatit türünde oldukları belirlenmiştir. Kesitlerde “Opx” şeklinde gösterilmiştir.

Klinopiroksen: Genellikle ojit / diyopsit türünde olan ve piroksen kondrüllerin yapısında yer alan mineraldir. Yüksek pozitif rölyefli olup, genellikle pleokroizma göstermez. Çift kırma

değerleri düşük olup birinci dizinin altlarında sarımsı veya kırmızımsıdır ve ikinci sıraya kadar girişim mümkündür. Paralel sönme gösterir. XRD kayıtlarında demirli diyopsit türünde oldukları belirlenmiştir. Kesitlerde “Cpx” şeklinde gösterilmiştir.

Plajiolklas: Genellikle andezin türü olup ince kesitlerde tanınması oldukça zordur. Kısmen alterasyondan etkilendikleri için tek nikolde bulutsu bir görünüm hakimdir. XRD kayıtlarında anortit türü oldukları belirlenmiştir. Kesitlerde “Plag” şeklinde gösterilmiştir.

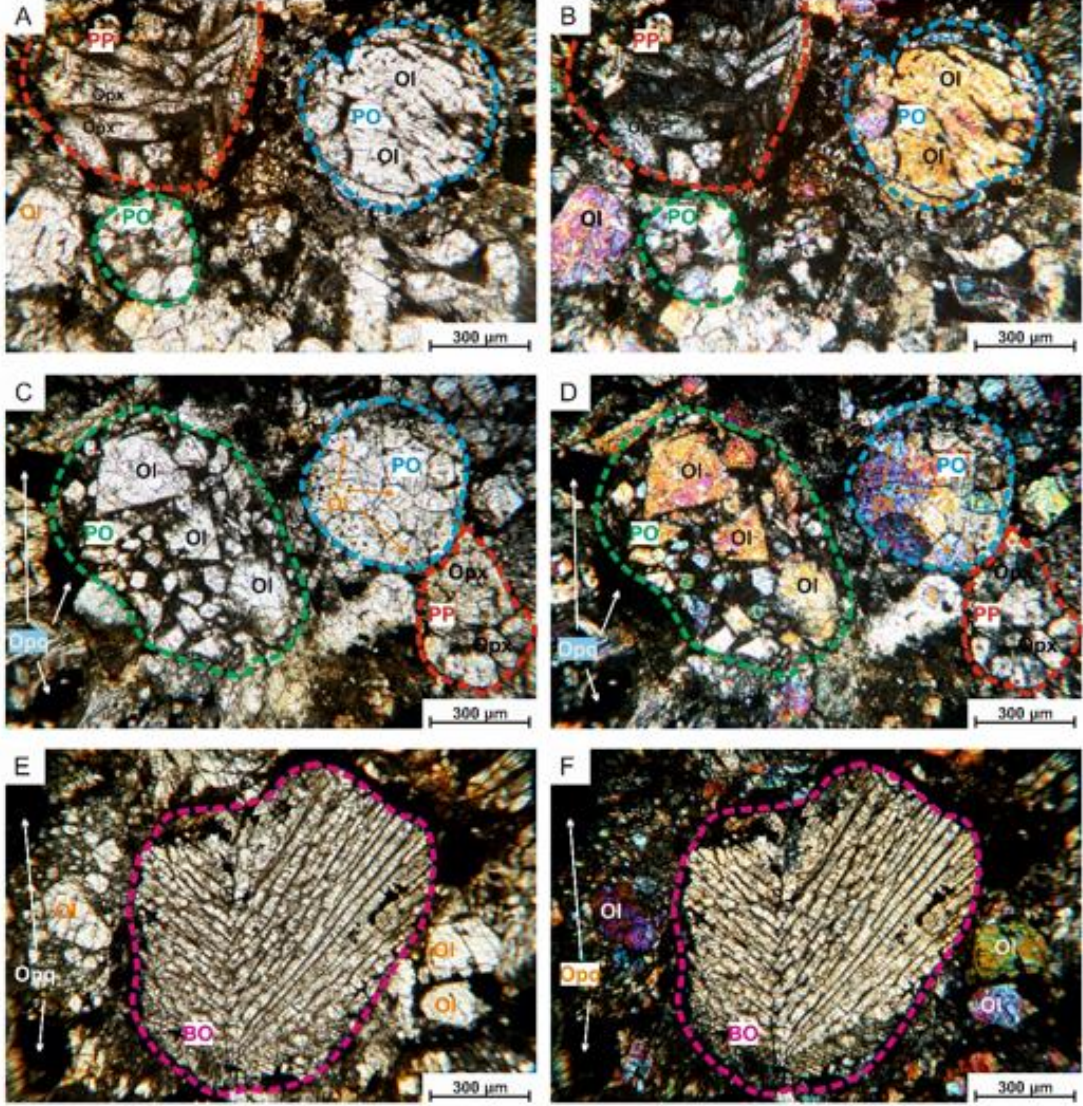
Troilit: Kahverengi tonlarında gri renkli demir sülfür mineralidir. Manyetik değildir. Genellikle kamasit, taenit ve kromit mineralleri ile birlikte girift bir yapıdadır. Tane boyu değişkenlik gösterebilir. Belirgin yansımali mikroskop pleokrozizması gösterir. Pleokrozizma renkleri açık sarıdan koyu kahverengiye kadar değişkenlik gösterir. Dünya’da nadiren rastlanır. Yansımali mikroskop ile Fas meteoritinde de yaygın olarak gözlemlenmiştir. Kesitlerde “Tr” şeklinde gösterilmiştir.

Taenit: Açıktan koyuya değişen gri renkli, demir-nikel gama fazlı doğal alaşımdır. Opak olduğundan yansımali mikroskopta incelenebilir. Metalik parlak kristaller geliştirebilir. Troilit, kamasit ve kromit minerallerinin yanı sıra şraybersit minerali ile birlikte bulunur. Kamasit ile girift halde plessit mineralini oluşturur. Kamasit mineraline oranla daha yüksek nikel içerir. Manyetik özellik gösterir. Başlangıçta demir-nikel karışimli eriyik 900°C ile 1400°C arasındayken tek fazlı bir alaşımdır. Soğumayla birlikte alaşım içinde nikelce fakir kamasit katı fazı oluşur ve soğuma devam ederken geriye kalan yüksek nikelli katı demir-nikel fazı da taeniti oluşturur. İki faz girift halde bulunur. Fas meteoritinde kondrüller arasında ve kondrül içi bazı kısımlarda gözlenmiştir. Kesitlerde “Ta” şeklinde gösterilmiştir.

Kamasit: Parlak metalik gri renkli, taenite göre nikel oranı daha düşük demir-nikel alfa fazı alaşımdır. Yeryüzünde sadece meteoritlerde bulunur. Demirli meteoritlerde “widmanstätten” isimli bantlı çizgiler gösterir. Çoğu zaman taenit ile girift halde bulunur. Ayrıca etrafında troilit, kromit ve şraybersit de gözlemlenebilir. Fas meteoritinde taenit ve troilit ile birlikte girift halde oldukça sık gözlemlenmiştir. Kesitlerde “Ka” şeklinde gösterilmiştir.

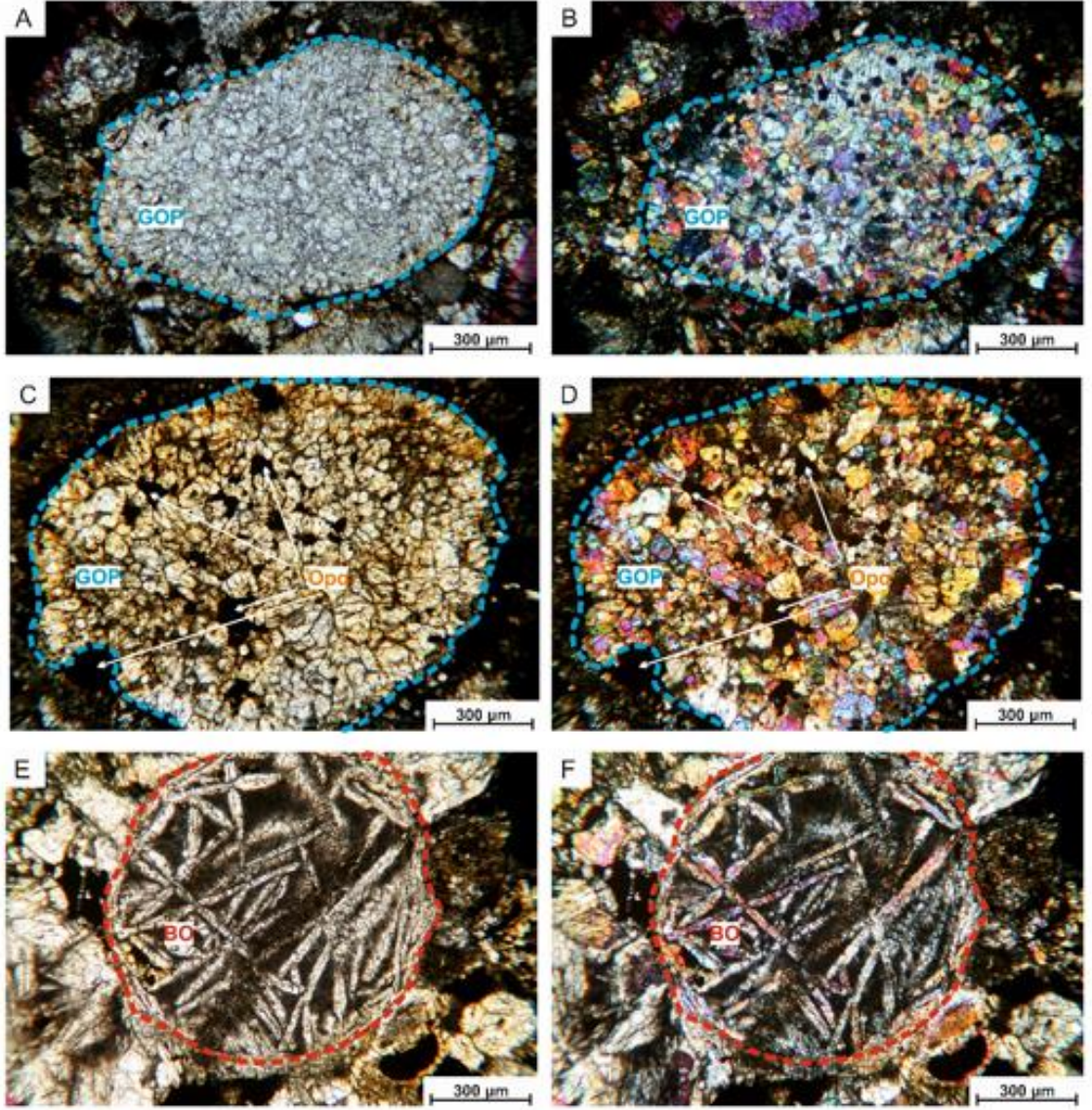
Kromit: Koyu gri ve parlak siyah renkte metalik faz olan kromit spinel grubuna aittir. Manyetik özellik taşımaz. Özellikle sıradan kondritlerde baskın oksittir. Kesitlerde “Ch” şeklinde gösterilmiştir.

Fas meteoritinde belirlenen kondrüller Şekil 4.27’de verilmiştir. Şekil 4.27, A’da porfirik piroksen kondrül ve porfirik olivin kondrüller görülmektedir. Olivin mineralleri yüksek girişim renkleri ile dikkat çekmektedir. Yine C’de aynı tip kondrüller görülmektedir. Kondrüller arası opak mineraller de yer almaktadır. E’de metamorfizma sonucu yassılaştırmış kuşaklı (barred) olivin görülmektedir. Çubuksal uzanımlar olivin kristalleridir (Şekil 4.27).



Şekil 4.27: Fas meteoriti kondrül görüntüleri: A-B) Porfirik olivin kondrül ve porfirik piroksen kondrülün tek ve çift nikol görüntüsü. C-D) Başka iki porfirik olivin kondrül ve porfirik piroksen kondrülün tek nikol ve çift nikol görüntüsü. E-F) Yassılaştırmış kuşaklı (barred) olivin kondrül tek ve çift nikol görüntüsü.

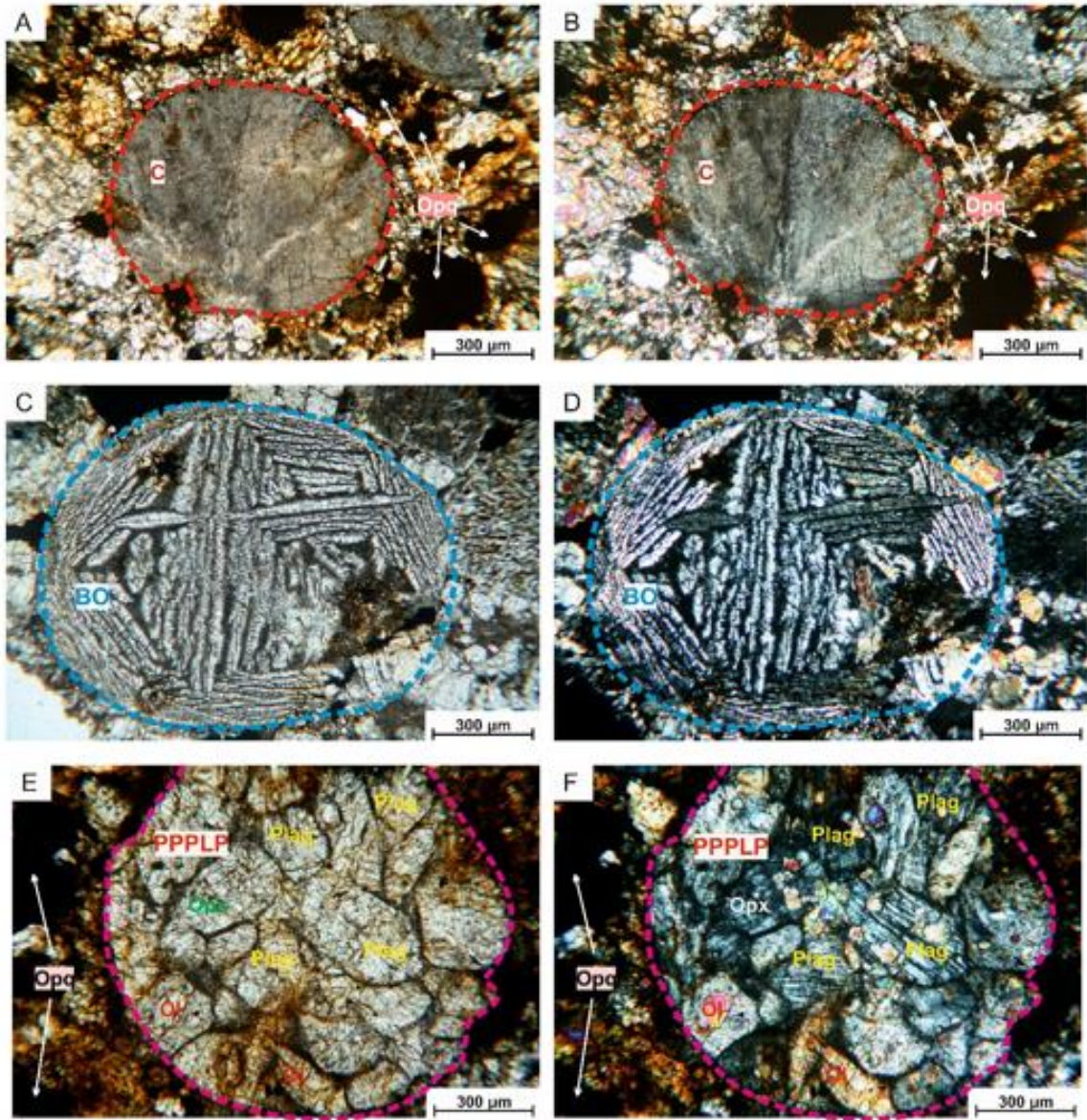
Şekil 4.28, A’da küresel formu bozulmuş bir granüler olivin-piroksen kondrül görülmektedir. C’de bir başka taneli olivin-piroksen kondrül gözlenmektedir. Kondrül içerisinde opak mineraller de dikkat çekmektedir. E’de karakteristik polisomatik kuşaklı olivin kondrül görülmektedir. Çubuksal olivin kristalleri birbirleri ile kesişmektedir (Şekil 4.28).



Şekil 4.28: Fas meteoriti diğer kondrül görüntüleri: A-B) Granüler olivin-piroksen kondrülün tek ve çift nikol görüntüsü. C-D) Bir başka granüler olivin-piroksen kondrülün tek ve çift nikol görüntüsü. E-F) Polisomatik kondrül tek ve çift nikol görüntüsü.

Şekil 4.29, A’da kriptokristalin kondrül ve civarında opak mineraller gözlenmektedir. C’de bir başka polisomatik kuşaklı olivin kondrül görülmektedir. Paralel yönlendirilerek gruplanmış olivin

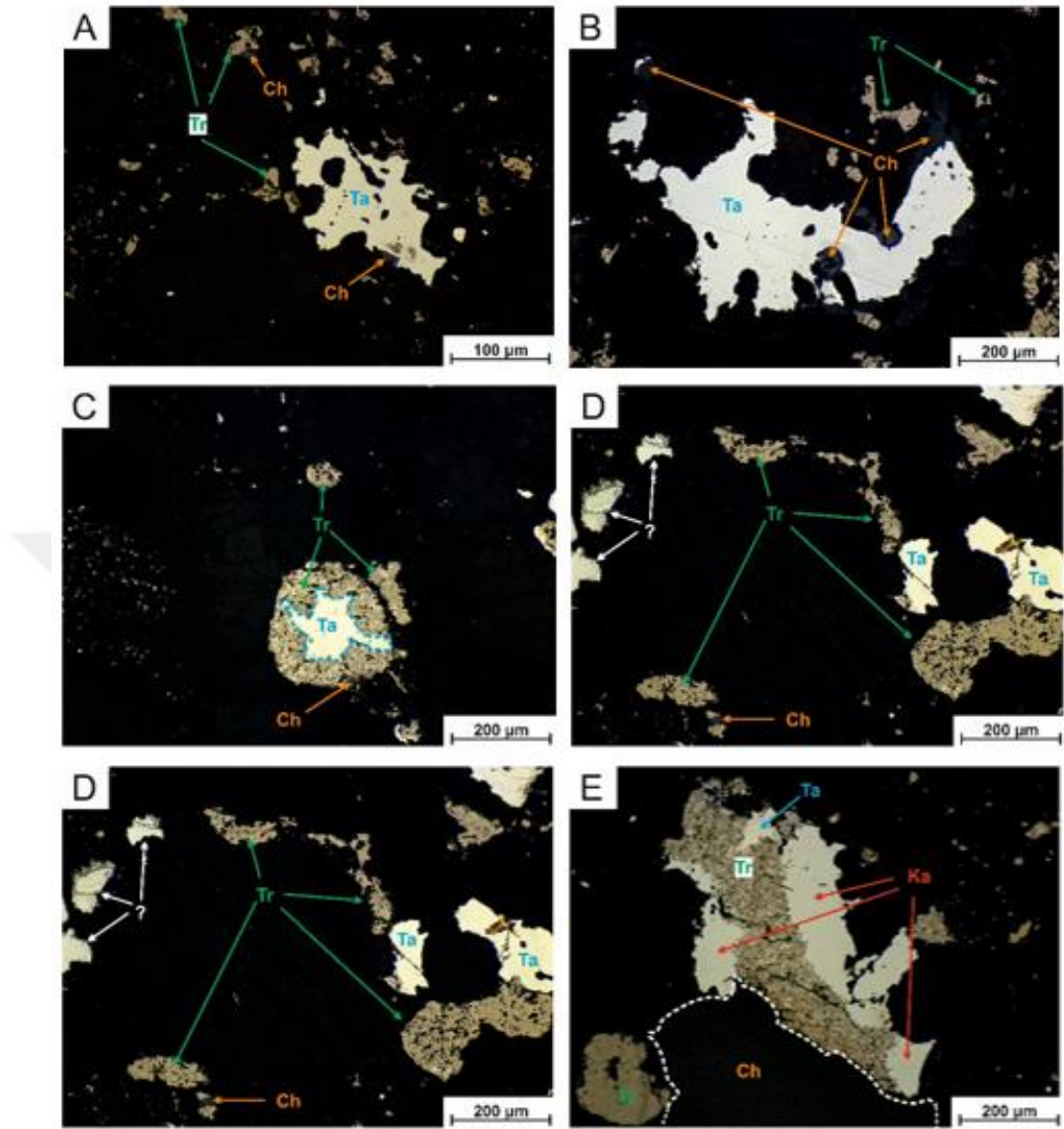
kristal çubuklarının kesiştiği kondrül merkezinin etrafı, yine ayrıca gruplanmış olivin kristal çubuklarınca çevrelenmiştir. E’de literatürde çok gözlenmeyen, porfirik poiklitik piroksen-plajiyoklas kondrül görülmektedir. Kondrülde plajiyoklas ve piroksen mineralleri üzerinde, çok daha küçük taneli olivin kristallerinin yer aldığı görülmektedir.



Şekil 4.29: Fas meteoriti diğer kondrül görüntüleri: A-B) Kriptokristalin enstatit kondrülün tek ve çift nikol görüntüsü. C-D) Bir başka polisomatik kuşaklı olivin kondrülün tek ve çift nikol görüntüsü. E-F) Porfirik poiklitik plajiyoklas piroksen (ppplp) kondrülün tek nikol ve çift nikol görüntüsü.

4.1.4.2. Yansımali Mikroskop Çalışması

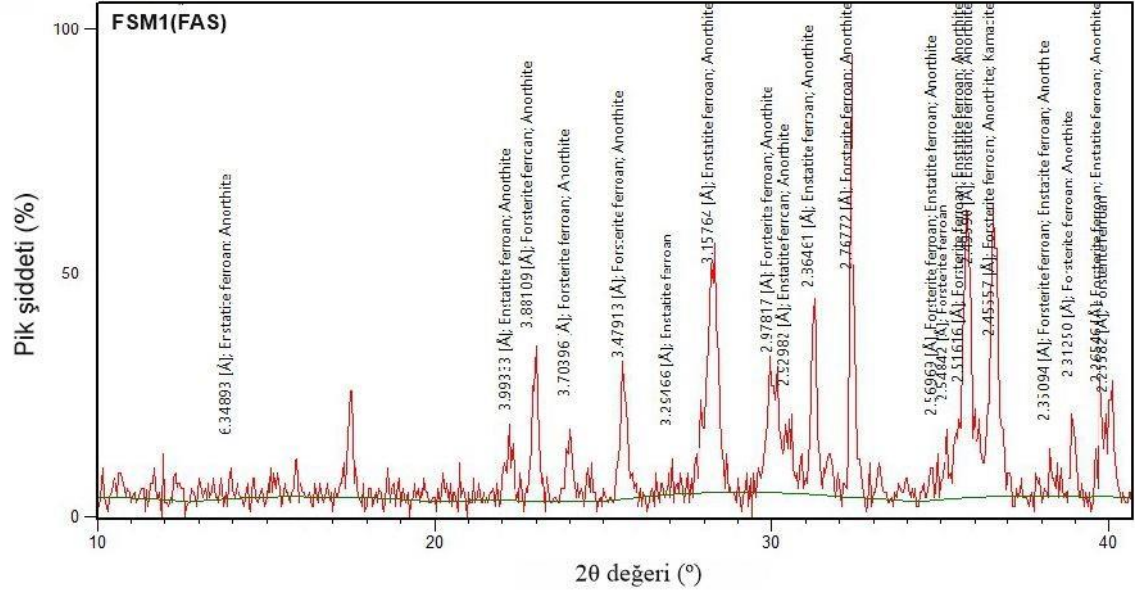
Fas meteoritinde gözlemlenen metalik (opak) minerallerin yansımali mikroskop görüntüleri Şekil 4.30'da verilmiştir. A'da düzensiz dağılmış troilit mineralleri ve kenarında kromit bulunan silikat kapanımlı taenit minerali görülmektedir. B'de yine taenit mineral fazını çevreleyen spinel grubu kromit minerali görülmektedir. C'de, troilit minerali içerisinde gelişmiş taenit minerali görülmektedir. D'de sol kısımda gözlenen metalik faz, bu tez çalışması kapsamında yapılan yansımali mikroskop çalışmasında belirlenemediği gibi elektron mikroprob analizlerinde de o minerale denk gelinememiştir. O fazın belirlenebilmesi için detaylı mikroprob çalışması gerekmektedir. E'de, kamasit ve taenit minerali ile çevrelenmiş troilit mineralinin görüntüsü ve iri bir kromit mineral oluşumu gözlenmektedir (Şekil 4.30).



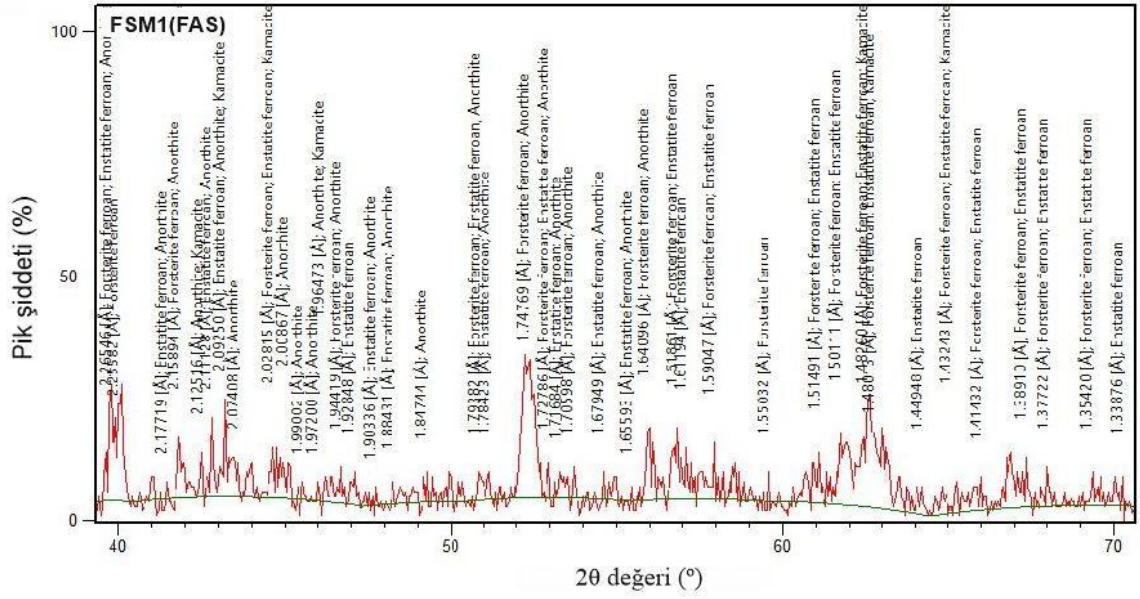
Şekil 4.30: Fas meteoriti silikat mineralleri ve kondrülleri arasında bulunan çeşitli opak (metalik) minerallerden yansımali mikroskop görüntüleri.

4.1.4.3. XRD Çalışması

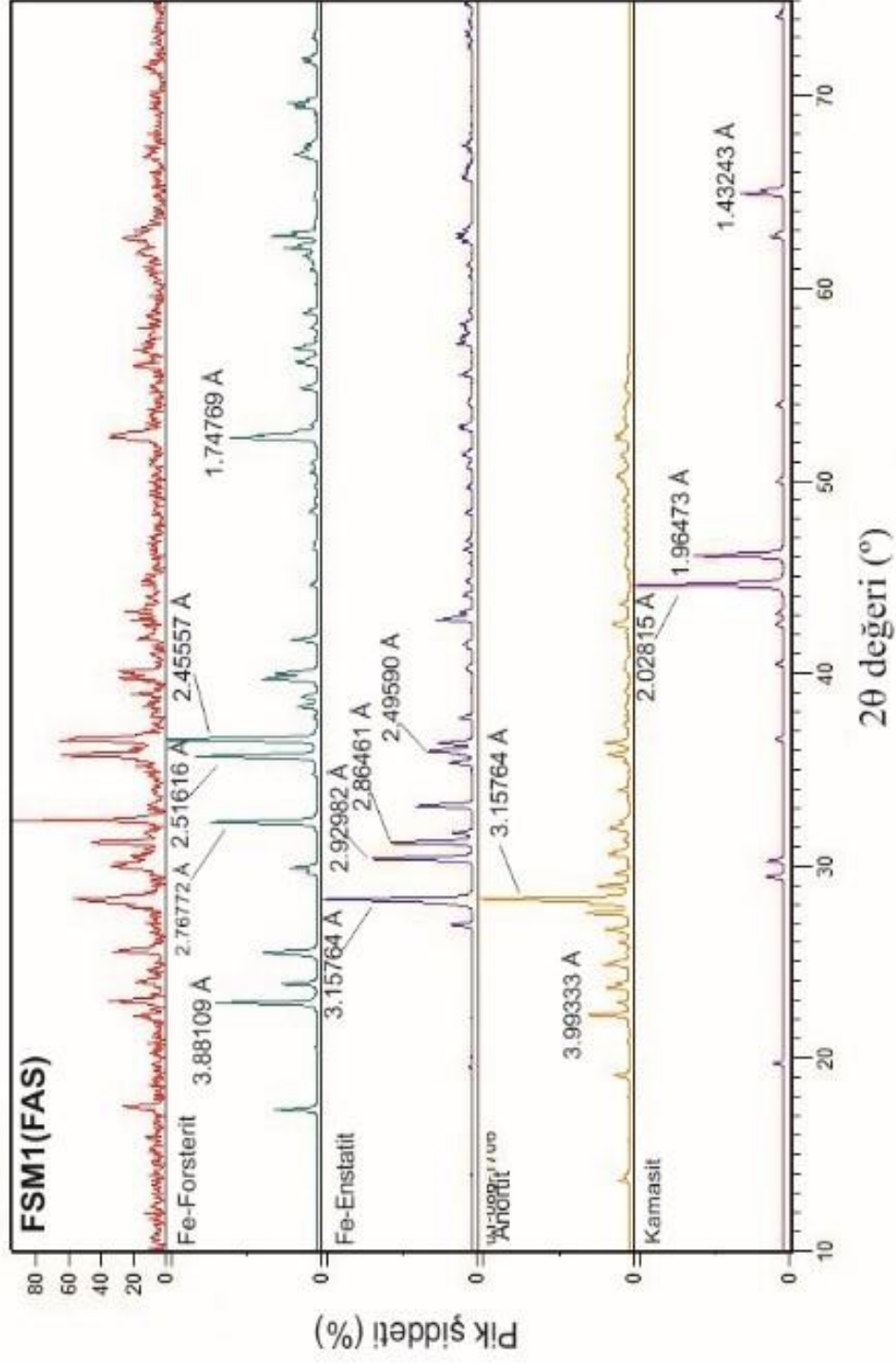
Fas meteoritinde iki ayrı parça çalışılmış ve XRD analizi sonucu, FSM1 parçasında forsterit, enstatit, anortit ve kamasit mineralleri tespit edilmiştir. FSM2 parçasında da forsterit, enstatit, diyopsit, taenit ve kamasit mineralleri tespit edilmiştir. Fas meteoritine ait FSM1 ve FSM2 parçalarının XRD spektrumları Şekil 4.31, Şekil 4.32, Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te verilmiştir.



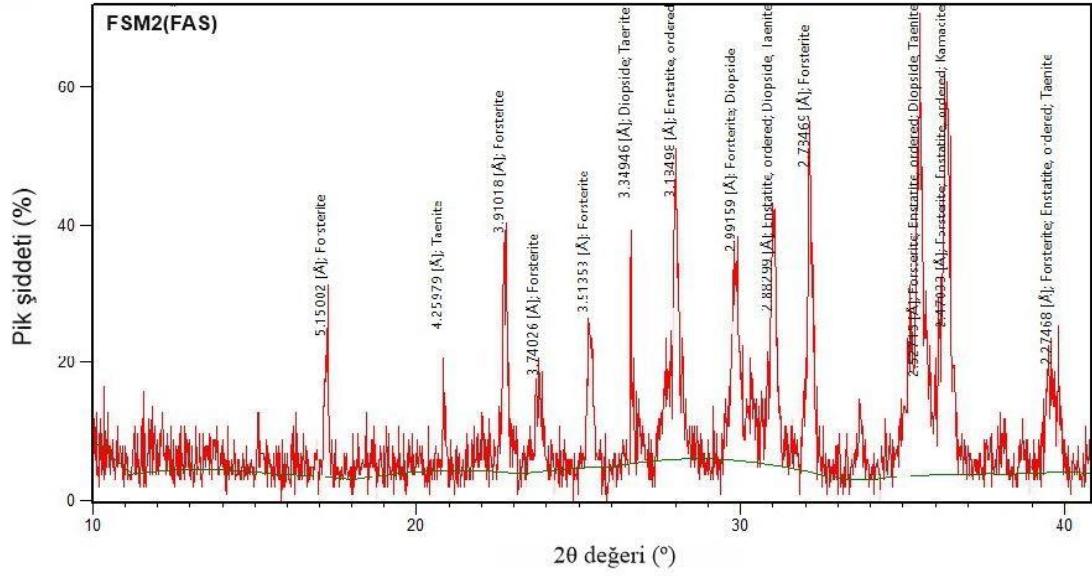
Şekil 4.31: Fas meteoriti FSM1 parçası XRD kaydının $2\theta=10^{\circ}$ - 40° arasındaki bölümü.



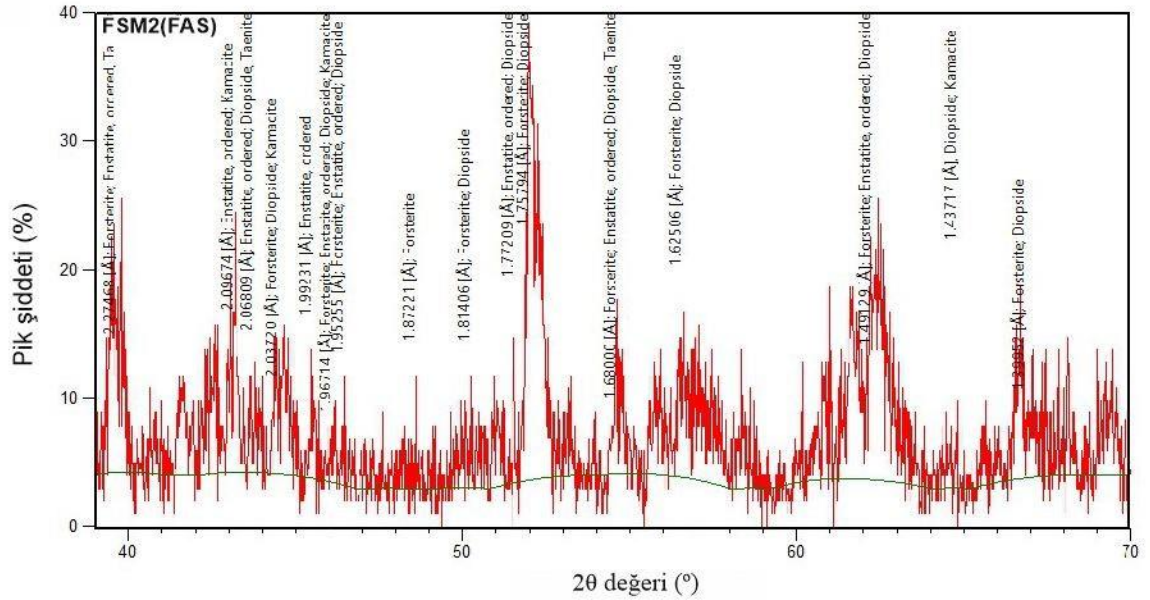
Şekil 4.32: Fas meteoriti FSM1 parçası XRD kaydının $2\theta=40^{\circ}$ - 70° arasındaki bölümü.



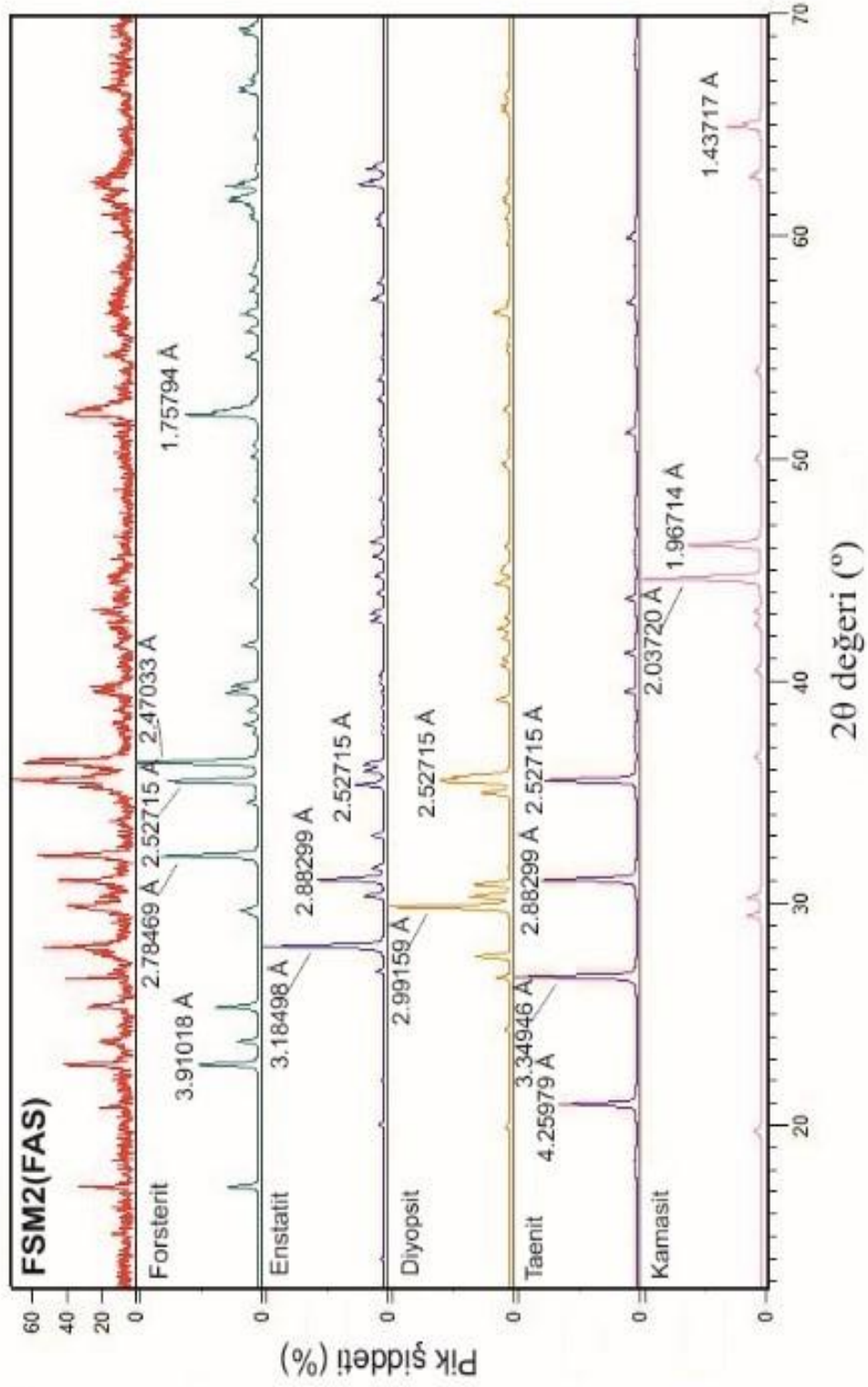
Şekil 4.33: Fas meteoriti FSM1 parçası XRD kaydında ayrı ayrı mineral spektrumları.



Şekil 4.34: Fas meteoriti FSM2 parçası XRD kaydının $2\theta=10^{\circ}$ - 40° arasındaki bölümü.



Şekil 4.35: Fas meteoriti FSM2 parçası XRD kaydının $2\theta=40^{\circ}$ - 70° arasındaki bölümü.



Şekil 4.36: Fas meteoriti FSM2 parçası XRD kaydında ayrı ayrı mineral spektrumları.

4.2. JEOKİMYA

Tez kapsamında incelenen 4 meteorit örneği için 3'er gram örnek kırılarak 150 mesh tane boyutuna kadar öğütülmüş ve Kanada ACME laboratuvarına jeokimya analizi için 1 parça BM, 2 parça DM, 2 parça FM ve 1 parça FSM örneği gönderilmiştir. Örneklerin ICP-MS ve ICP-AES yöntemleri ile tüm kayaç analizleri yapılmış esas element ve iz element değerleri bulunmuştur (Tablo 4.1).

Tablo 4.1: Meteorit örneklerinin tüm kayaç esas element (%ağ.) analiz sonuçları.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	LOI	Toplam
BM	39.57	2.23	29.94	23.9	1.92	0.97	0.13	0.11	0.23	0.33	0.543	-2.7	99.87
DM1	33.63	1.93	39.77	20.79	1.62	0.82	0.09	0.09	0.27	0.28	0.506	<-5.1	99.81
DM2	35.4	1.99	37.11	21.57	1.66	0.83	0.09	0.09	0.27	0.29	0.512	<-5.1	99.83
FM1	37.47	2.13	33.92	22.36	1.76	0.93	0.1	0.1	0.23	0.31	0.521	-4.6	99.84
FM2	37.5	2.09	33.5	22.8	1.75	0.93	0.1	0.1	0.24	0.32	0.532	-4.6	99.85
FSM	38.14	2.13	32.36	22.88	2.15	0.83	0.13	0.1	0.26	0.32	0.535	-3.5	99.84

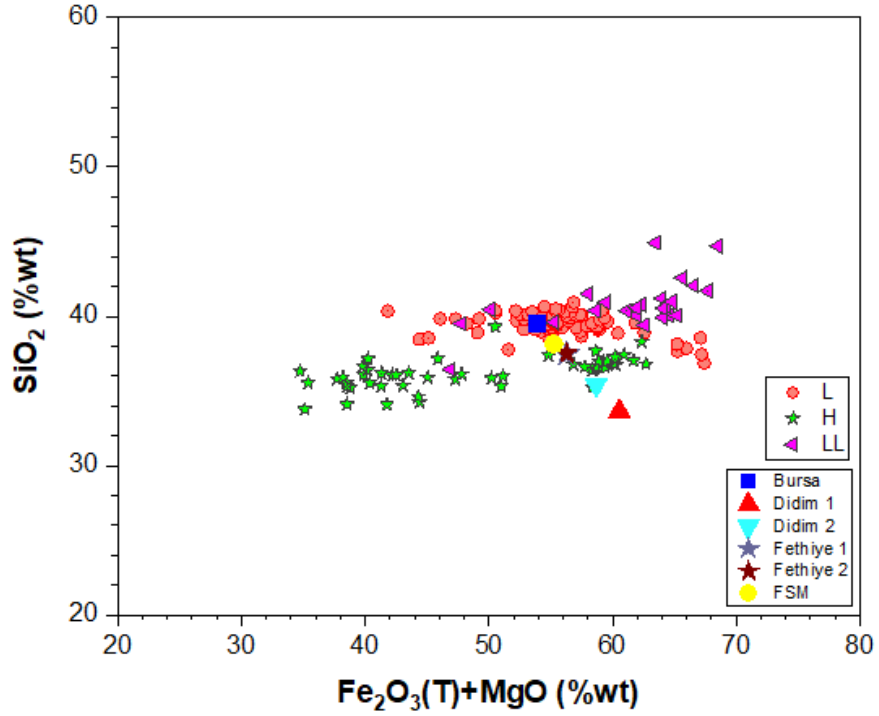
Tablo 4.1'de görüldüğü gibi analiz sonuçlarında LOI (kızdırma kaybı) değerleri negatif çıkmıştır. Bunun sebebi, örneklerin demir içeriklerinden dolayı oksitlenmiş olmalarıdır. Kızdırma kaybı değeri hesaplanırken, (ilk kütle-son kütle) / ilk kütle ifadesindeki pay kısmı oksitlenmeden ötürü meydana gelen kütle artışı sebebiyle negatif çıkmaktadır ve böylece LOI değeri negatif hesaplanmaktadır. Bu durum “Fe₂O₃” değerinin oksitlenmeden kaynaklı değişimi nedeniyle gözlenen bir durumdur (Daheron vd., 2015).

Bir kayaç örneğinin meteorit olup olmadığını anlamak için ilk etapta analiz yapılmaması gerekse de, meteorit olduğu düşünülen ya da meteorit özellikleri barındıran örneklerden kimyasal analiz sonucu elde edilen veriler, yersel kayaçlarla karşılaştırılarak aralarında belirli oranlar olduğu saptanmıştır (Jarosewich, 1990; Korotev, 1996).

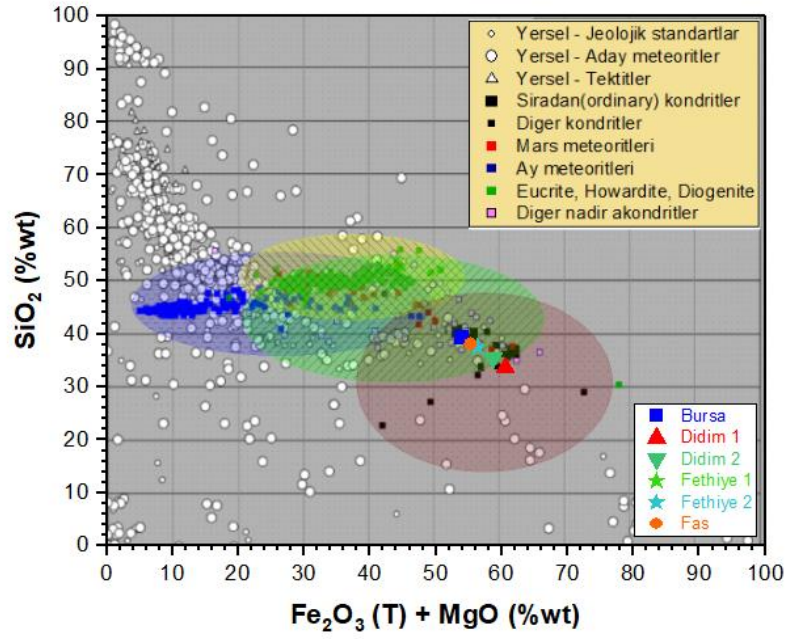
Bu sonuçlardan hareketle, meteoritlerle karşılaştırılmak üzere “Actlabs”a gönderilen ve laboratuvar tarafından analizi yapılmış örneklerin ve de meteoritlerin kimyasal element bileşimlerine dair grafikler referans alınmıştır (Korotev, 2017a). Grafiklerden “L,H,LL” tipi meteorit değerleri ile karşılaştırma yapılanlar daha önce analizi yapılmış ve değerleri yayınlanmış örneklerle karşılaştırılmış olanlardır (Jarosewich, 1990). Tez kapsamında

incelenen örnekler her iki referans çalışma için de karşılaştırma amaçlı grafiklerde işaretlenmiştir. Grafiklerde tüm yatay eksenler kolaylık olması açısından " $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T}) + \text{MgO}$ (%wt)" olarak verilmiştir. Kayaç analizi yapan "Actlabs" ve çoğu laboratuvar, toplam demiri Fe_2O_3 olarak raporlandırırlar çünkü yer kayaçlarında demirin büyük bir kısmı Fe^{3+} değerindedir. Yeryüzüne düşen meteoritlerde ise Fe^{3+} yoktur. Neredeyse tamamı Fe^{2+} veya metalik demir (Fe) içerir.

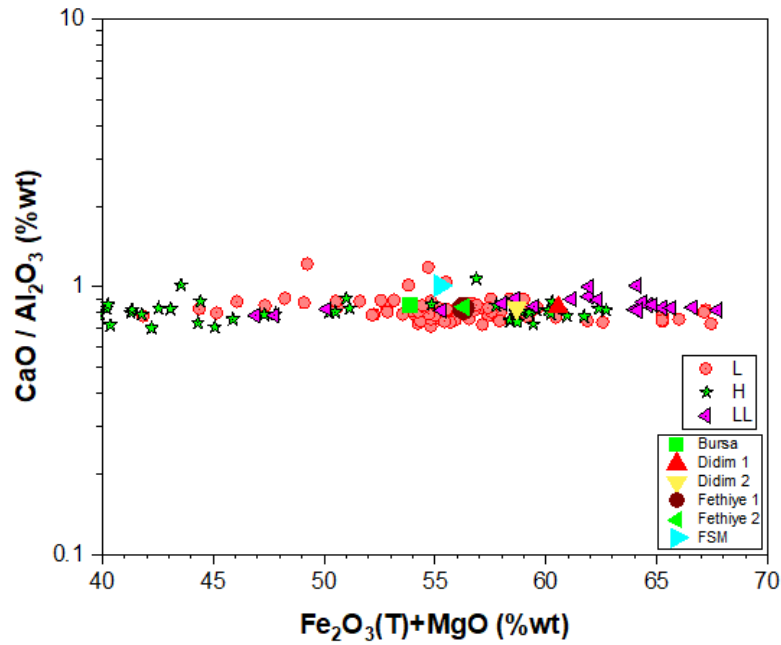
İncelenen meteoritlerin SiO_2 (%wt) ve $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T}) + \text{MgO}$ (%wt) oksit konsantrasyonları (Jarosewich, 1990) ve (Korotev, 2017a) ile iz düşürüldüğünde sonuçların sıradan kondrit dağılımına uygun bölgede yer aldığı görülmektedir.



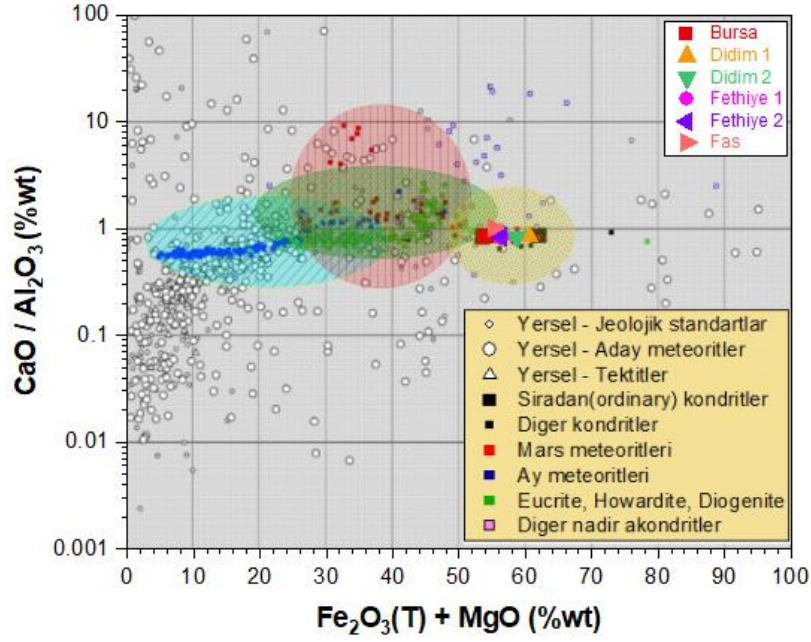
Şekil 4.37: SiO_2 (%wt) ve $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T}) + \text{MgO}$ (%wt) konsantrasyonlarına göre dağılım (Jarosewich, 1990).



Şekil 4.38: SiO₂ (%wt) ve Fe₂O₃(T) + MgO (%wt) konsantrasyonlarına göre dağılım (Korotev, 2017a).



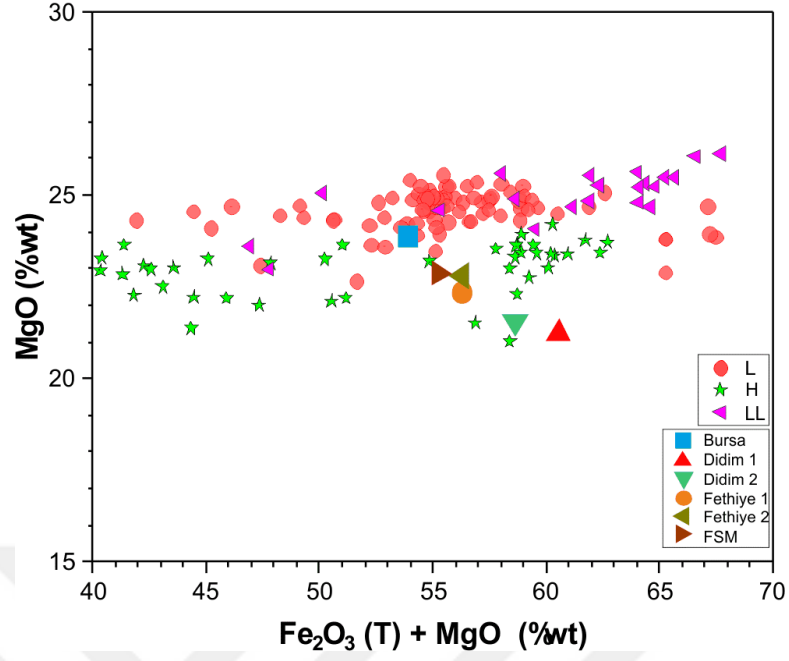
Şekil 4.39: CaO/Al₂O₃ (%wt) ve Fe₂O₃(T) + MgO (%wt) konsantrasyonlarına göre dağılım (Jarosewich, 1990).



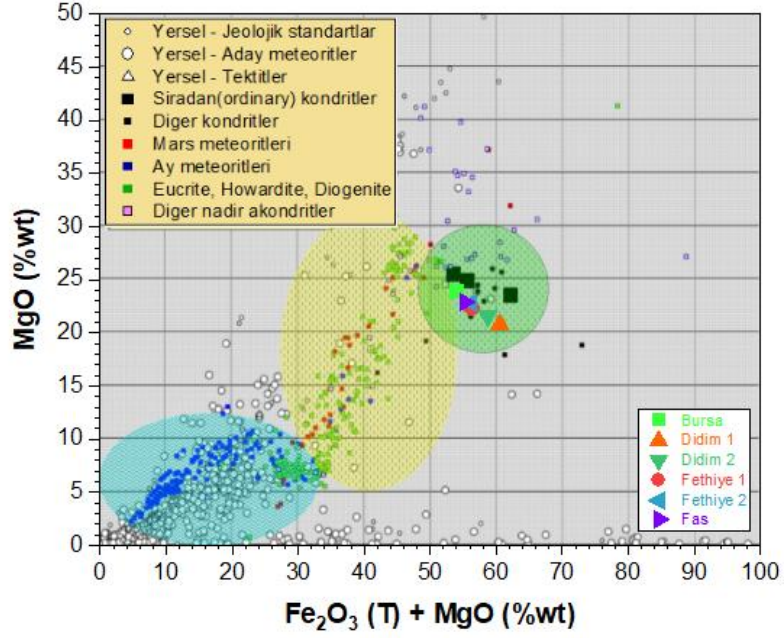
Şekil 4.40: $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (%wt) ve $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T}) + \text{MgO}$ (%wt) konsantrasyonlarına göre dağılım (Korotey, 2017a).

Aynı şekilde $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (%wt) ve $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T}) + \text{MgO}$ (%wt) oksit konsantrasyonlarına göre çizilen dağılım grafiğinde, elde edilen sonuçların tam olarak sıradan kondrit değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Meteoritlerin çoğunda, hemen hemen bütün Al_2O_3 ve CaO değeri feldspat bünyesinde barındırılır ve dolayısıyla $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (%wt) değerinde çok az fark meydana gelir. Yersel kayaçlar meteoritlerden daha düşük $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (%wt) değerine sahip olma eğilimindedir. Tez kapsamında incelenen örneklerde CaO ve Al_2O_3 taşıyıcısı feldspat minerali anortittir.

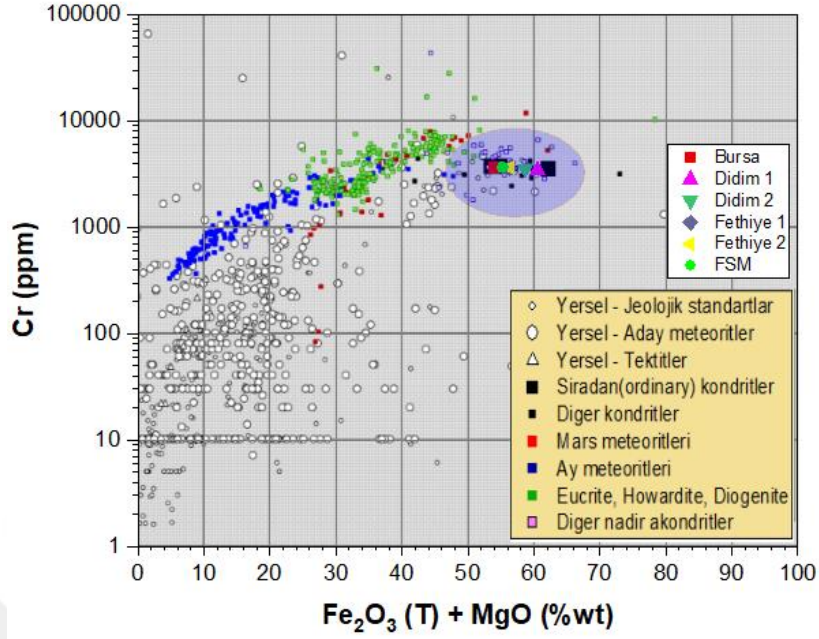
Meteoritler arasında MgO artışı doğal olarak $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T}) + \text{MgO}$ (%wt) değerini de artırır. Yüksek MgO değerine sahip yersel kayaçlar esas olarak dunitler ve serpantinitler gibi ultramafik kayaçlardır.



Şekil 4.41: MgO (%wt) ve Fe₂O₃(T) + MgO (%wt) konsantrasyonlarına göre dağılım (Jarosewich, 1990).

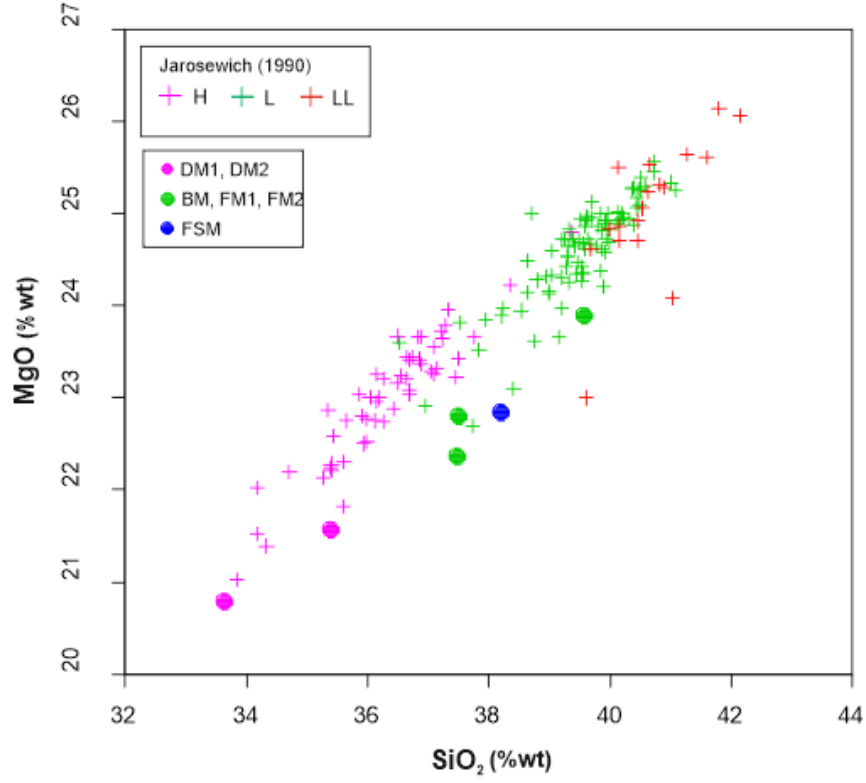


Şekil 4.42: MgO (%wt) ve Fe₂O₃(T) + MgO (%wt) konsantrasyonlarına göre dağılım (Korotev, 2017a).



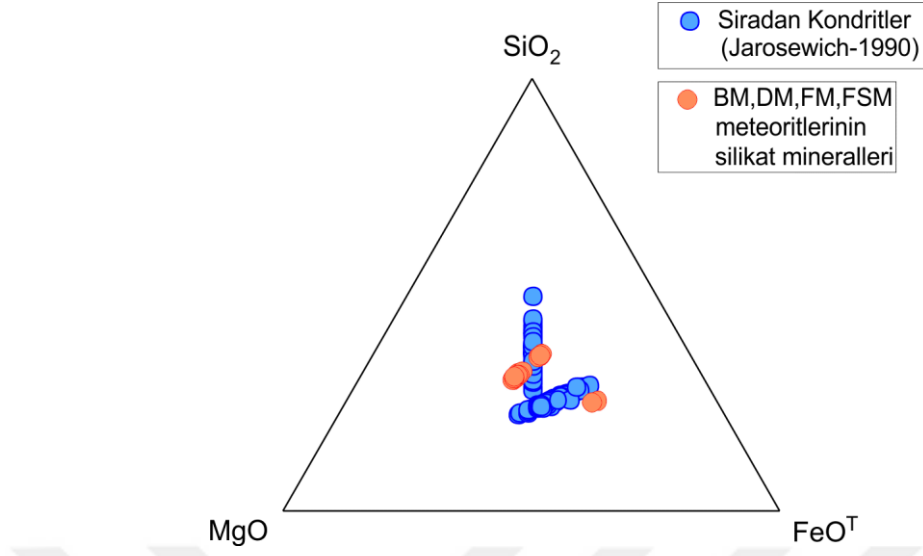
Şekil 4.43: Cr(ppm) ve $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T}) + \text{MgO} (\% \text{wt})$ konsantrasyonlarına göre dağılım (Korotey, 2017a).

Meteoritleri yeryüzü kayalarından ayırmak için Cr konsantrasyonu çok önemlidir. Neredeyse tüm taşlı meteoritler, çoğu dünya kayacına kıyasla yüksek Cr konsantrasyonuna sahiptir. Çoğu Cr konsantrasyonu düşük meteorit, yüksek konsantrasyonlarda Al_2O_3 ve CaO içeren feldspatik ay meteoritleridir. Cr bakımından zengin yersel kayalar ise dunitler, peridotitler, piroksenitler ve serpantinitletler gibi ultramafik kayalardır.



Şekil 4.44: Meteorit örneklerinin MgO (%wt) ve SiO₂ (%wt) değerlerinin (Jarosewich, 1990) ile iz düşüm grafiği.

Şekil 4.44'te görüldüğü üzere (Jarosewich, 1990) çalışmasında değerlendirilen meteoritlerin gruplarına göre ayrıldığı ve bu tez çalışması kapsamında kullanılan örneklerden BM örneğinin “L” grubuna, DM örneğinin “H” grubuna, FM örneğinin “L” grubuna ve de FSM örneğinin de “L” grubuna (“H” grubu yakını) denk geldiği görülmektedir. Bu sonuçtan hareketle, meteorit örneklerinden ilk üçünün kendi gruplarına ait kısımda iz düştükleri, FSM örneğinin de L grubu uç kısmına düştüğü ve dolayısıyla yüksek metamorfizma geçirmiş olduğu gözlenmektedir.



Şekil 4.45: Meteorit örneklerinin sıradan kondritlere (Jarosewich, 1990) iz düşüm üçgen diyagramı.

Tablo 4.2: Meteorit örneklerinin tüm kayaç iz element (ppm olarak) analiz sonuçları.

Örnek	Ba	Ni	Sc	Be	Co	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W
BM	4	4512	14	1	424	0.2	6.2	0.2	0.2	3.3	<1	13.2	<0.1	<0.2	<0.1	71	1.5
DM1	4	7419	15	1	875	0.1	5.8	0.1	0.2	3.6	<1	8.4	<0.1	<0.2	<0.1	67	<0.5
DM2	2	9662	15	1	767	0.3	6.7	0.2	0.6	3.3	<1	10.5	<0.1	<0.2	<0.1	73	<0.5
FM1	4	10000	14	1	687	0.1	5.3	0.2	0.5	3.8	<1	22.4	<0.1	<0.2	<0.1	70	<0.5
FM2	4	4904	15	1	667	0.3	5.9	0.1	0.3	4	<1	10.1	<0.1	<0.2	<0.1	71	<0.5
FSM	30	6683	14	1	656	0.1	6.1	0.2	0.4	3.4	<1	38.9	<0.1	<0.2	<0.1	74	1.7

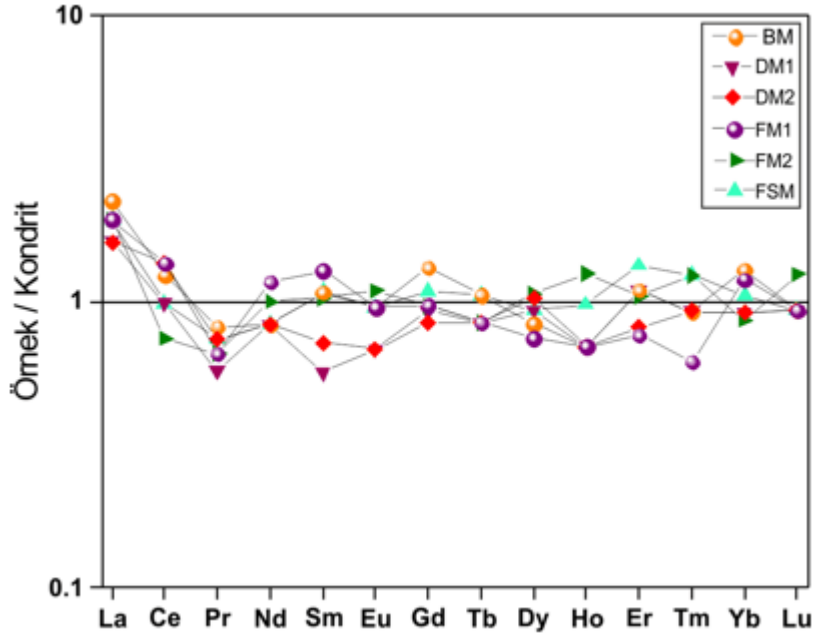
Örnek	Zr	Y	Mo	Cu	Pb	Zn	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Au	Hg	Tl	Se
BM	5.5	1.8	0.8	93	0.7	17	1.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	178	0.04	<0.1	8
DM1	4.6	1.3	1.1	90	3.1	21	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	79.3	<0.01	<0.1	7.7
DM2	5.3	2	1.2	97	0.8	20	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	154	<0.01	<0.1	7.4
FM1	5.6	1.8	1	77	0.4	19	<0.1	<0.1	3.6	<0.1	<0.1	135	0.02	<0.1	7.2
FM2	6.4	1.4	1.1	82	0.6	19	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	139	0.02	<0.1	7
FSM	6.3	2.1	0.6	75	0.6	22	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	132	<0.01	<0.1	8.2

ICP-MS yöntemi ile yapılan analiz sonucu elde edilen nadir-toprak elementi konsantrasyonları Tablo 4.3'te verilmiştir.

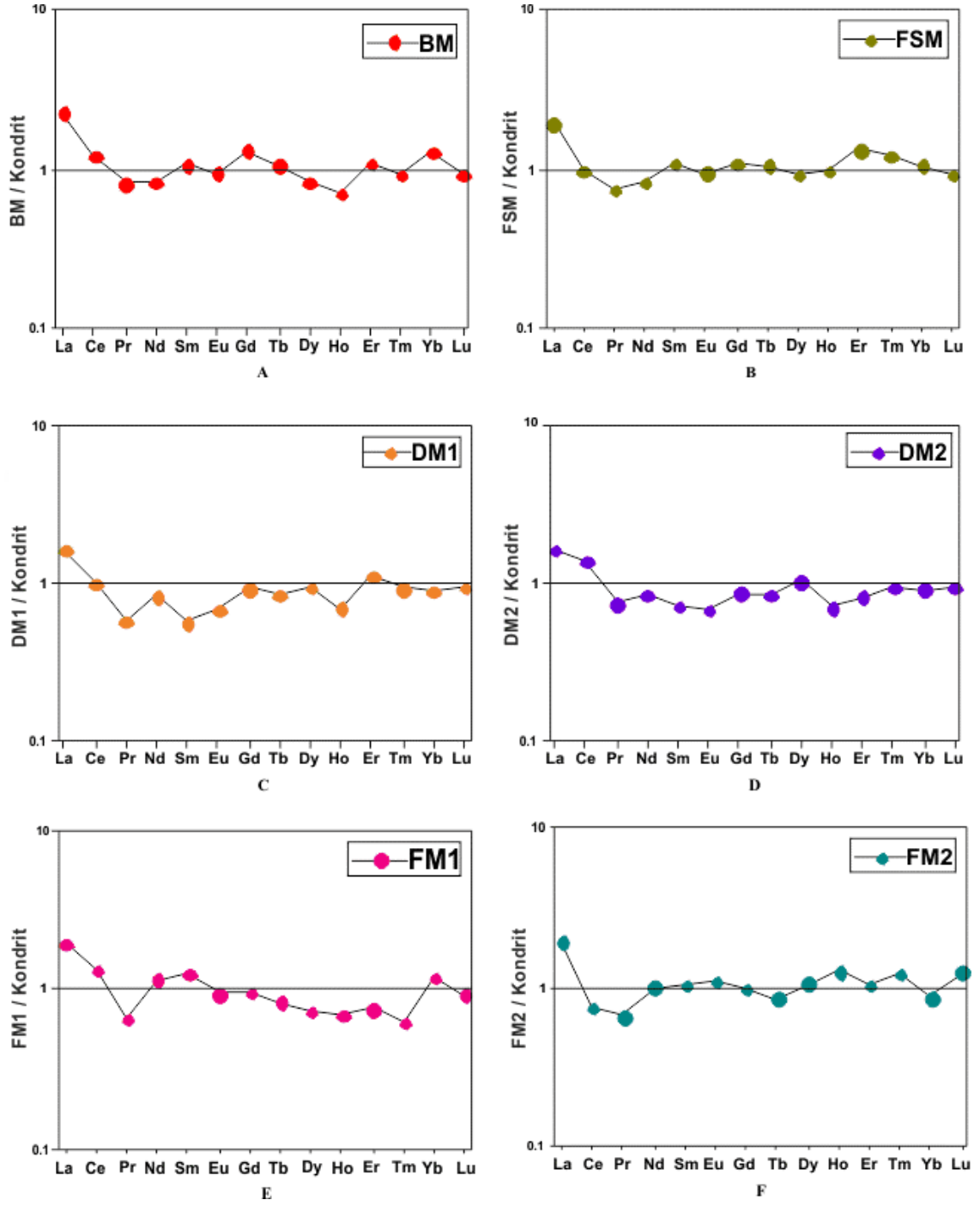
Tablo 4.3: Meteoritlerin nadir-toprak element (ppm olarak) değerleri.

Örnek	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
BM	0.7	1	0.1	0.5	0.2	0.1	0.3	0.05	0.27	0.1	0.2	0.03	0.27	0.03
DM1	0.5	0.8	0.1	0.5	0.1	0.1	0.2	0.04	0.3	0.1	0.2	0.03	0.19	0.03
DM2	0.5	1.1	0.1	0.5	0.1	0.1	0.2	0.04	0.33	0.1	0.2	0.03	0.19	0.03
FM1	0.6	1.1	0.1	0.7	0.3	0.1	0.3	0.04	0.24	0.1	0.2	0.02	0.25	0.03
FM2	0.6	0.6	0.1	0.6	0.2	0.1	0.3	0.04	0.34	0.1	0.2	0.04	0.18	0.04
FSM	0.6	0.8	0.1	0.5	0.2	0.1	0.3	0.05	0.3	0.1	0.3	0.04	0.22	0.03

Tablo 4.3'te verilen nadir toprak elementi değerlerini (Boynton, 1984) çalışmasındaki kondrit değerlerine normalize ettiğimizde elde edilen örümcek diyagramı aşağıda verilmiştir (Şekil 4.46).



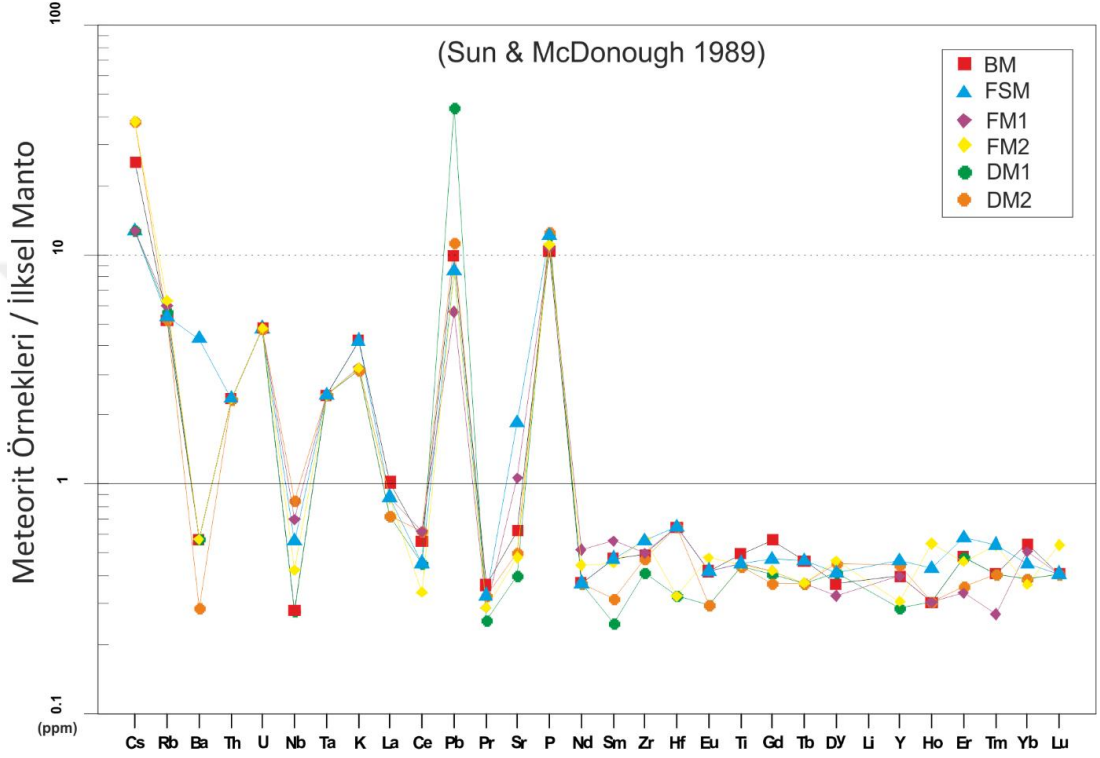
Şekil 4.46: İncelenen meteoritlerin kondrite normalize edilmiş nadir-toprak elementi değerleri (Kondrit normalize değerleri (Boynton, 1984)'ten alınmıştır).



Şekil 4.47: İncelenen meteoritlerin kondrite normalize edilmiş nadir-toprak elementi değerleri ayrı ayrı gösterimi (Kondrit normalize değerleri (Boynton, 1984)’ten alınmıştır).

Şekil 4.47’de görüldüğü gibi tüm meteoritler aynı meteorit grubuna ait olmalarına rağmen nadir-toprak element içerikleri farklılık göstermektedir. Aynı meteoritin iki ayrı parçası da farklı element değerleri barındırmaktadır. La elementi değeri tüm meteorit örneklerinde

normalize kondrit değerine göre yaklaşık 3 kat fazladır. Diğer element içerikleri oldukça değişkendir. Özellikle Fethiye meteoriti için bakıldığında Eu-Yb arası neredeyse tüm elementler FM1 için kondritlere oranla az iken, FM2 için kondritlere oranla daha fazladır.



Şekil 4.48: İncelenen meteoritlerin ilksel mantoya normalize edilmiş çoklu element örümcek diyagramı (İlksel manto değerleri için (Sun ve McDonough, 1989) kullanılmıştır).

İncelenen meteorit örneklerinin jeokimya analizi sonucu elde edilen çoklu element değerleri ilksel manto element değerlerine (Sun ve McDonough, 1989) normalize edilmiş ve Şekil 4.48 ile verilmiştir. Görüldüğü üzere meteorit örneklerinde Cs, Rb, Th, U, Ta, K, Pb ve P element değerleri ilksel manto değerlerine göre oldukça yüksektir. Aynı şekilde Ba, Nb, La, Ce, Pr, Sr değerleri de ilksel mantoya göre daha düşüktür. Ayrıca Nd, Sm, Zr, Hf, Eu, Ti, Gd, Tb, Dy, Li, Y, Ho, Er, Tm, Yb ve Lu elementleri meteoritlerin kendi aralarında yakın değerlere sahipken, ilksel mantoya göre düşüktür.

İlksel manto Cs, Rb, Th, U, Ta, K, Pb ve P elementlerince fakirleşmiş, Ba, Nb, La, Ce, Pr, Sr elementlerince zenginleşmiştir.

4.3. MİNERAL KİMYASI

Bu tez çalışması kapsamında incelenen meteoritlerin parlatılmış 4 ince kesiti üzerinde yapılan 17 saatlik EPMA analizinde 44 nokta ve 10 saatlik SEM analizinde de 150 nokta olmak üzere toplam 194 nokta ölçülmüştür. Ölçümler sonucu yapılan değerlendirme ile belirlenen minerallerin türü ve sayıları Tablo 4.4'te verilmiştir.

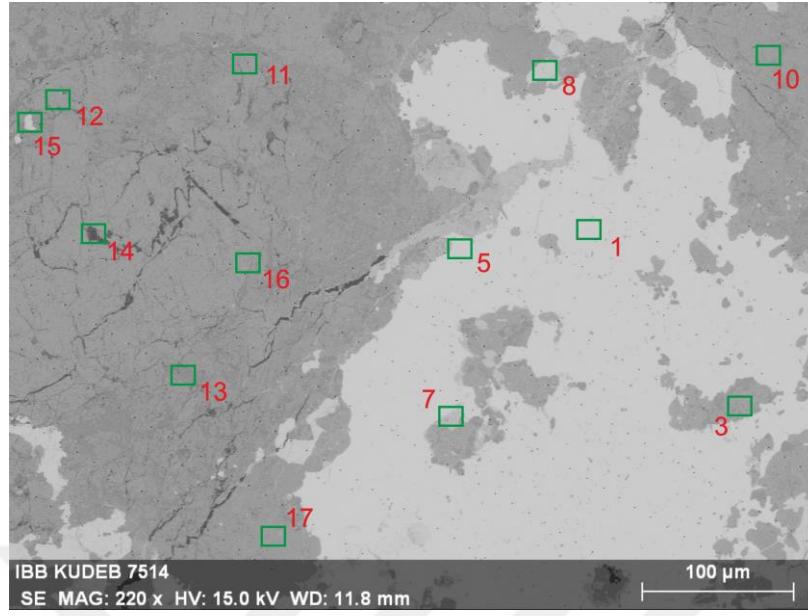
Tablo 4.4: Yapılan mineral kimyası analizlerinde yapılan ölçümler ile belirlenen mineral sayıları.

Örnek	SEM				EPMA			
	Olivin	Piroksen	Feldspat	Metalik	Olivin	Piroksen	Feldspat	Metalik
BM	19	1	4	16	6	1	-	-
DM	22	-	-	13	6	-	-	3
FM	27	-	-	8	5	1	1	4
FSM	18	4	4	14	6	-	3	8
Toplam	150				44			

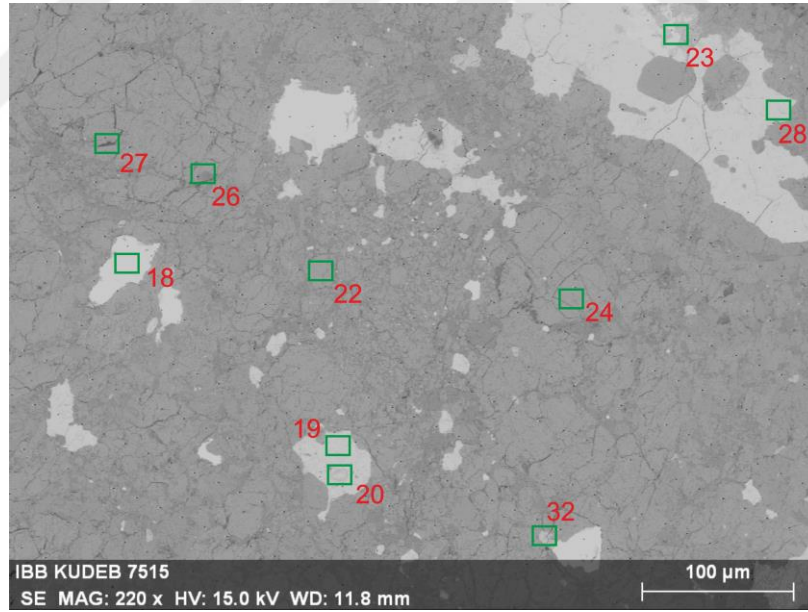
4.3.1 Bursa Meteoriti

4.3.1.1. SEM-EDX Analizi

Bursa meteoriti parlatılmış ince kesiti üzerinde zon 2, zon 3 ve zon 5 olarak belirlenen üç bölgede analiz yapılmıştır. Zon 5 ve zon 2'de analizi yapılan noktalar Şekil 4.49 ve Şekil 4.50'de verilmiştir.



Şekil 4.49: Bursa meteoriti zon 5 bölgesinde analizi yapılan noktaların BSE görüntüsünde yerleri.



Şekil 4.50: Bursa meteoriti zon 2 bölgesinde analizi yapılan noktaların BSE görüntüsünde yerleri.

Zon 5 ve zon 2 bölgelerinde yapılan analizde olivin, piroksen, feldspat mineralleri ile metalik mineraller tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar ayrı ayrı tablo şeklinde verilmiştir (Tablo 4.5). Ölçüm numaralarında görülen “Zx” kısmı analiz yapılan zonu, “Ny” kısmı ise analiz yapılan noktanın numarasını belirtmektedir (x: bölge no, y: analiz noktası no).

Olivin mineralinin üç türü olan forsterit, fayalit ve tefroit içerdikleri Mg, Fe ve Ca oranına göre belirlenmektedir. Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’da verilen olivin değerlerinden yapılan hesaplamalar sonucu Bursa meteoriti olivin minerallerinin forsterit türünde oldukları tespit edilmiştir. Bursa meteoriti için forsterit değerleri maksimum %77 ve minimum %70 arasındadır. Bu durumda meteoritin forsterit uç üye ifadesi “Fs₇₀₋₇₇Fa₂₃₋₃₀” şeklinde gösterilmektedir.

Piroksen mineralinin üç türü olan wollastonit, enstatit ve ferrosilit içerdikleri Mg, Fe ve Ca oranına göre belirlenmektedir. Tablo 4.5’te verilen SEM analizi piroksen değerinden yapılan hesaplama sonucu Bursa meteoriti piroksen mineralinin enstatit türünde olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Tablo 4.6’da verilen EPMA analizi piroksen değerinden yapılan hesaplama sonucu da piroksenin enstatit türü olduğu belirlenmiştir. Bursa meteoriti için piroksen değeri maksimum %73 ve minimum %45 arasındadır. Bu durumda meteoritin forsterit uç üye ifadesi “Wo₄₋₁₃En₄₄₋₇₂Fs₂₀₋₃₅” şeklinde gösterilmektedir.

Feldspat mineralinin üç türü olan anortit, albit ve ortoklas için Tablo 4.5’te verilen feldspat değerlerinden yapılan hesaplama sonucu feldspatların albit türünde oldukları tespit edilmiştir. Bursa meteoriti için feldspat değeri maksimum %89 ve minimum %76 arasında olup bu durum için feldspat uç üye gösterimi “Ab₈₉₋₇₆An₁₁₋₂₄” şeklindedir.

Şekil 4.8’de Bursa meteoriti için verilen XRD analizi sonucunda anortit minerali tespit edildiği ifade edilmişti ancak mineral kimyası analizleri sonucunda feldspatların albit türünde olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda albitleşme olayı söz konusudur. Bursa meteoriti feldspat mineralleri albitleşmiştir.

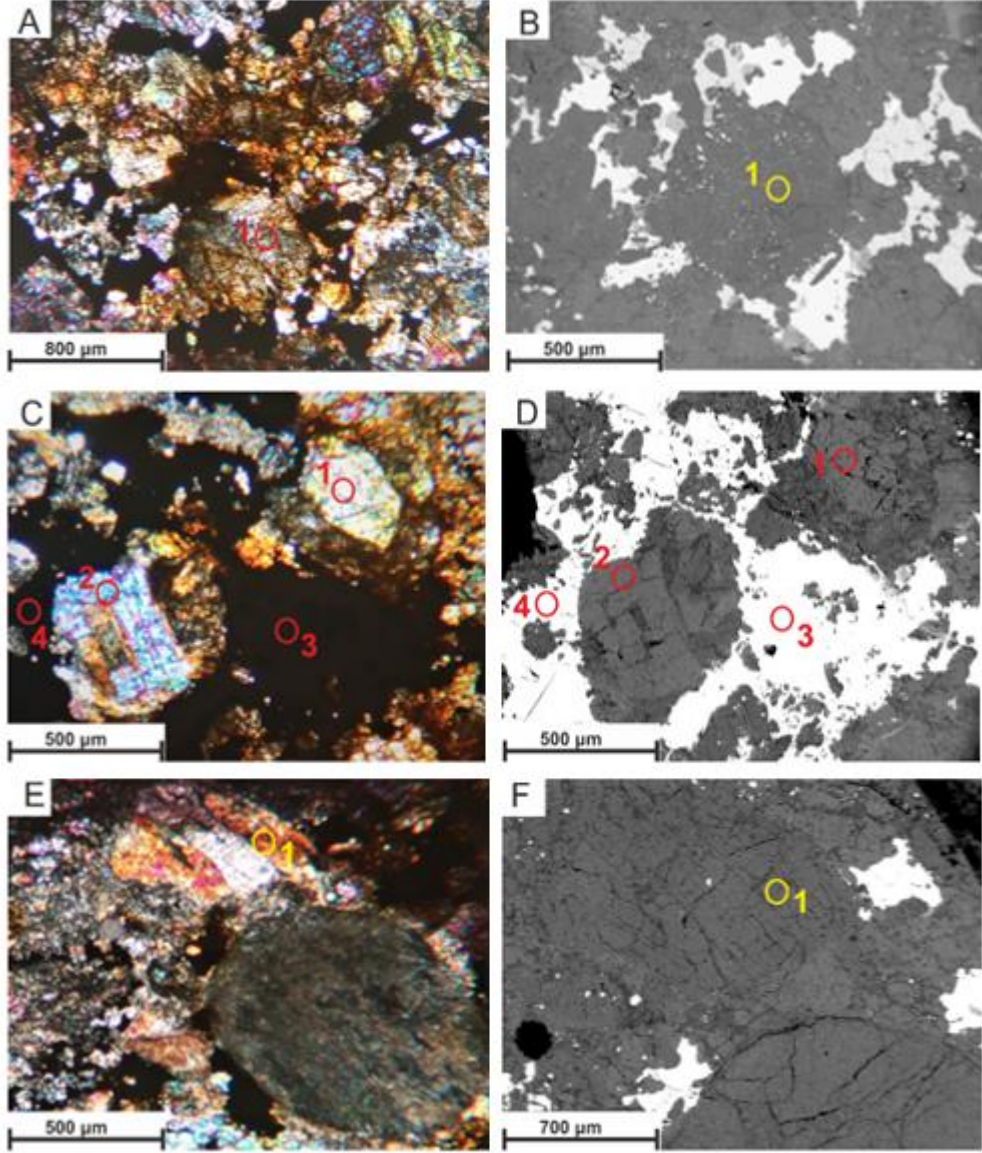
Tablo 4.5: Bursa meteoriti zon 2, zon 3 ve zon 5 bölgeleri analizi sonucu elde edilen mineral kimyası (%ağ.) sonuçları.

BM - SEM - Olivin Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	SO ₃	Total
Z5_N10	34.68	0.00	0.54	0.04	26.35	0.23	35.83	0.47	0.26	0.00	98.40
Z5_N11	38.95	0.04	1.03	0.51	21.26	0.30	35.97	0.10	0.65	0.00	98.81
Z5_N12	37.43	0.00	0.79	0.05	22.56	0.13	37.58	0.10	0.35	0.00	98.99
Z5_N14	37.94	0.00	1.56	0.00	22.58	0.00	36.96	0.01	0.71	0.00	99.76
Z5_N17	48.76	0.00	0.76	0.08	20.36	0.34	27.55	0.47	0.97	0.00	99.29
Z2_N22	37.11	0.00	0.97	0.00	22.51	0.26	37.43	0.00	0.30	0.00	98.58
Z2_N24	37.31	0.00	0.84	0.00	22.93	0.32	37.39	0.17	0.23	0.00	99.19
Z2_N26	37.60	0.00	1.03	0.11	21.92	0.23	37.26	0.27	0.24	0.00	98.66
Z2_N27	41.55	0.03	1.50	0.01	19.38	0.14	36.72	0.14	0.45	0.00	99.92
Z2_N29	48.86	0.11	0.68	0.13	18.60	0.28	28.11	0.75	0.87	0.00	98.39
BM - SEM - Piroksen Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	Na ₂ O	Total
Z5_N3	44.19	0.20	4.09	0.21	24.55	0.00	16.53	0.64	7.11	2.12	99.64
BM - SEM - Feldspat Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	Na ₂ O	Total
Z3_N6	60.16	0.00	19.11	0.00	3.42	0.00	4.20	0.15	2.26	9.87	99.17
Z3_N7	58.64	0.03	13.63	0.60	7.08	0.00	11.44	0.00	1.52	6.72	99.66
Z5_N13	56.93	0.04	15.89	0.06	7.05	0.01	6.39	0.15	4.52	8.15	99.19
Z5_N16	56.11	0.00	16.09	0.03	7.78	0.00	5.83	0.07	4.62	8.31	98.84
BM - SEM - Opak Mineral Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	SO ₃	Total
Z5_N1	1.77	0.00	0.20	0.13	90.51	0.00	1.28	5.79	0.06	0.08	99.82
Z5_N5	6.44	0.00	1.11	0.00	82.40	0.00	5.60	3.31	0.66	0.67	100.19
Z5_N7	4.41	0.00	0.57	0.08	82.41	0.00	3.97	6.00	0.28	0.99	98.71
Z5_N8	2.43	0.04	0.16	0.10	57.19	0.00	2.17	0.62	0.05	36.80	99.56
Z5_N15	5.05	0.00	0.64	0.06	50.97	0.00	3.35	0.07	0.30	39.87	100.31
Z2_N18	4.39	0.00	0.39	0.12	55.41	0.00	4.23	34.11	0.14	0.12	98.91
Z2_N19	3.79	0.00	0.34	0.00	51.70	0.00	2.94	0.20	0.12	40.86	99.95
Z2_N20	4.55	0.00	0.46	0.11	51.76	0.00	3.41	0.25	0.10	39.29	99.93
Z2_N23	5.88	0.00	0.61	0.08	68.50	0.00	5.09	15.41	0.10	3.95	99.62
Z2_N28	3.41	0.00	0.40	0.00	48.87	0.00	2.85	0.18	0.06	43.67	99.44
Z2_N32	7.11	1.54	5.11	46.69	29.92	0.00	8.12	0.44	0.22	0.29	99.44

Tablo 4.5'te olivin ve metalik mineral değerleri sadece zon 2 ve zon 5 için verilmiştir. Piroksen ve feldspat mineralleri için üç zonun hepsine ait değerler verilmiştir.

4.3.1.2. EPMA Analizi

Bursa meteoriti Epma analizi için BM1, BM3, BM5 ve BM6 no'lu bölgeler seçilmiştir. Bu bölgelerden üç tanesine ait çift nikol ve BSE görüntüleri ile analiz yapılan noktalar Şekil 4.51'de verilmiştir.



Şekil 4.51: Bursa meteoriti EPMA analiz noktaları: A-B) BM1 bölgesinde radial (ışınsal) piroksen enstatit kondrül ölçüm noktası çift nikol ve BSE görüntüsü. C-D) BM5 bölgesinde olivin kristalleri ve opak mineral fazı ölçüm noktası çift nikol ve BSE görüntüsü. E-F) BM6 bölgesinde olivin kristali ölçüm noktası çift nikol ve BSE görüntüsü.

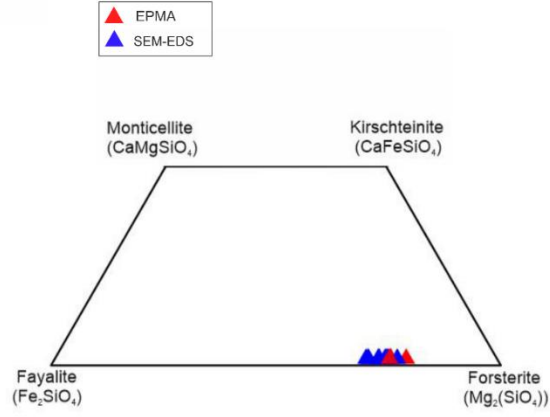
Tablo 4.6: Bursa meteoriti EPMA analizi sonucu elde edilen mineral kimyası (%ağ.) sonuçları.

BM - EPMA - Olivin Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	SO ₃	Total
BM3-1	38.44	0.01	0.02	0.01	22.56	0.00	38.89	0.02	0.03	0.00	99.98
BM3-2	38.60	0.01	0.08	0.02	22.35	0.00	38.87	0.01	0.04	0.00	99.98
BM3-3	36.55	0.02	0.21	1.56	21.81	0.00	37.98	0.01	0.04	0.00	98.18
BM5-1	38.69	0.01	0.10	0.00	22.30	0.00	38.83	0.03	0.02	0.00	99.98
BM5-2	38.49	0.00	0.03	0.01	22.38	0.00	38.98	0.06	0.03	0.00	99.98
BM6	55.52	0.02	0.12	0.07	13.24	0.00	28.32	0.03	0.91	0.00	98.23
BM - EPMA - Piroksen Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	Na ₂ O	Total
BM1	55.06	0.11	2.40	0.59	12.80	0.00	25.54	0.13	2.02	0.68	99.33

Bursa meteoritinde yapılan mineral kimyası analizleri sonucu belirlenen olivin mineralleri için oluşum sıcaklığı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamada kaynak olarak (Kinzler, R.J. ve Grove, T.L., 1992) çalışması ve sonuçlar için ise (Putirka vd., 2007) çalışması baz alınmıştır. Yapılan hesaplama sonuçları SEM-EDX ve EPMA olivin ölçümleri için Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7: Bursa meteoriti EPMA ve SEM analizi olivin minerali oluşum sıcaklığı hesaplama sonuçları.

BM		BM	
Analiz Kodu	T (°C)	Analiz Kodu	T (°C)
SEM_Z3_N2	1404	Epma_BM3-1	1337
SEM_Z3_N5	1453	Epma_BM3-2	1337
SEM_Z3_N9	1465	Epma_BM3-3	1334
SEM_Z5_N10	1402	Epma_BM5-1	1337
SEM_Z5_N11	1393	Epma_BM5-2	1336
SEM_Z5_N12	1385	Epma_BM6	1420
SEM_Z5_N14	1406	Ort	1350
SEM_Z5_N17	1473	SS	34.14
SEM_Z2_N22	1385	Kinzler, R.J., Grove, T.L. (1992) "Putirka vd. 2007 Eqn. 4 Eqn 22 in RiMG T(C)"	
SEM_Z2_N24	1387		
SEM_Z2_N26	1385		
SEM_Z2_N27	1389		
SEM_Z2_N29	1460		
Ort	1414		
SS	34.55		

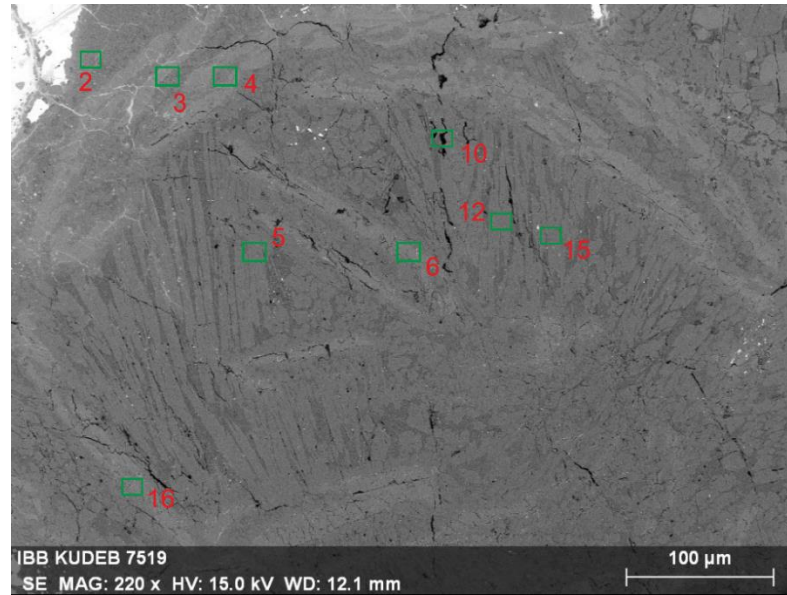


Şekil 4.52: Bursa meteoriti EPMA ve SEM olivin analiz sonuçlarının izdüşüm üçgen diyagramı.

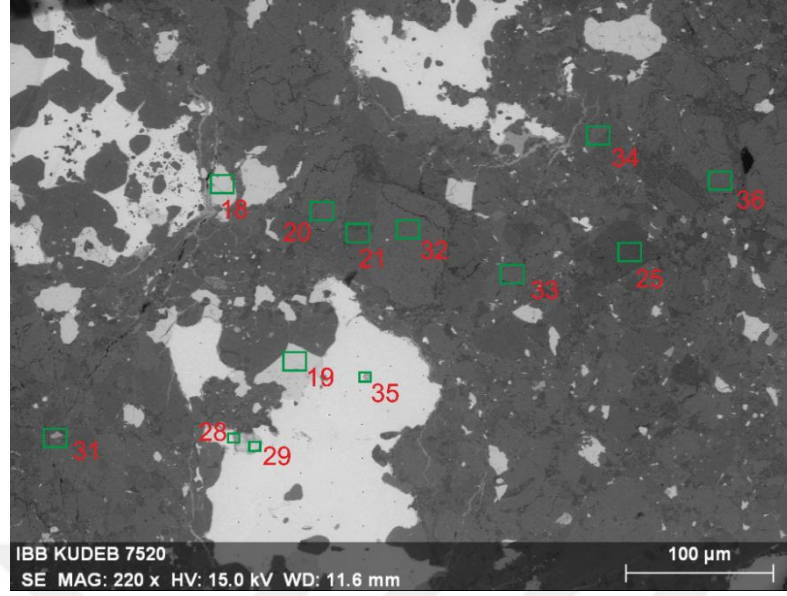
4.3.2. Fethiye (Kemer) Meteoriti

4.3.2.1. SEM-EDX Analizi

Bursa meteoriti parlatılmış ince kesiti üzerinde zon 1, zon 3 ve zon 4 olarak belirlenen üç bölgede analiz yapılmıştır. Zon 1 ve zon 3’de analizi yapılan noktalar Şekil 4.53 ve Şekil 4.54’te verilmiştir.



Şekil 4.53: Fethiye (Kemer) meteoriti zon 1 bölgesinde analizi yapılan noktaların BSE görüntüsünde yerleri.



Şekil 4.54: Fethiye (Kemer) meteoriti zon 3 bölgesinde analizi yapılan noktaların BSE görüntüsünde yerleri.

Zon 1, zon 3 ve zon 4 bölgelerinde yapılan analizde olivin minerali ile metalik mineraller tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar ayrı ayrı tablo şeklinde verilmiştir (Tablo 4.8). Ölçüm numaralarında görülen “Zx” kısmı analiz yapılan zonu, “Ny” kısmı ise analiz yapılan noktanın numarasını belirtmektedir (x: bölge no, y: analiz noktası no).

Olivin mineralinin üç türü olan forsterit, fayalit ve tefroit içerdikleri Mg, Fe ve Ca oranına göre belirlenmektedir. Tablo 4.8 ve Tablo 4.9’da verilen olivin değerlerinden yapılan hesaplamalar sonucu Fethiye meteoriti olivin minerallerinin forsterit türünde oldukları tespit edilmiştir. Fethiye meteoriti için forsterit değerleri maksimum %84 ve minimum %70 arasındadır. Bu durumda meteoritin forsterit uç üye ifadesi “Fs₇₀₋₈₄Fa₁₆₋₃₀” şeklinde gösterilmektedir.

Tablo 4.9’da verilen EPMA analizi piroksen değerinden yapılan hesaplama sonucu Fethiye meteoriti piroksen mineralinin enstatit türünde olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda meteoritin forsterit uç üye ifadesi "Wo₂En₇₇Fs₂₁" şeklinde ifade edilmektedir.

Feldspat mineralinin üç türü olan anortit, albit ve ortoklas için Tablo 4.9’da verilen feldspat değerinden yapılan hesaplama sonucu feldspatın anortit türünde olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda feldspat uç üye gösterimi "Ab₃₆An₆₄" şeklindedir.

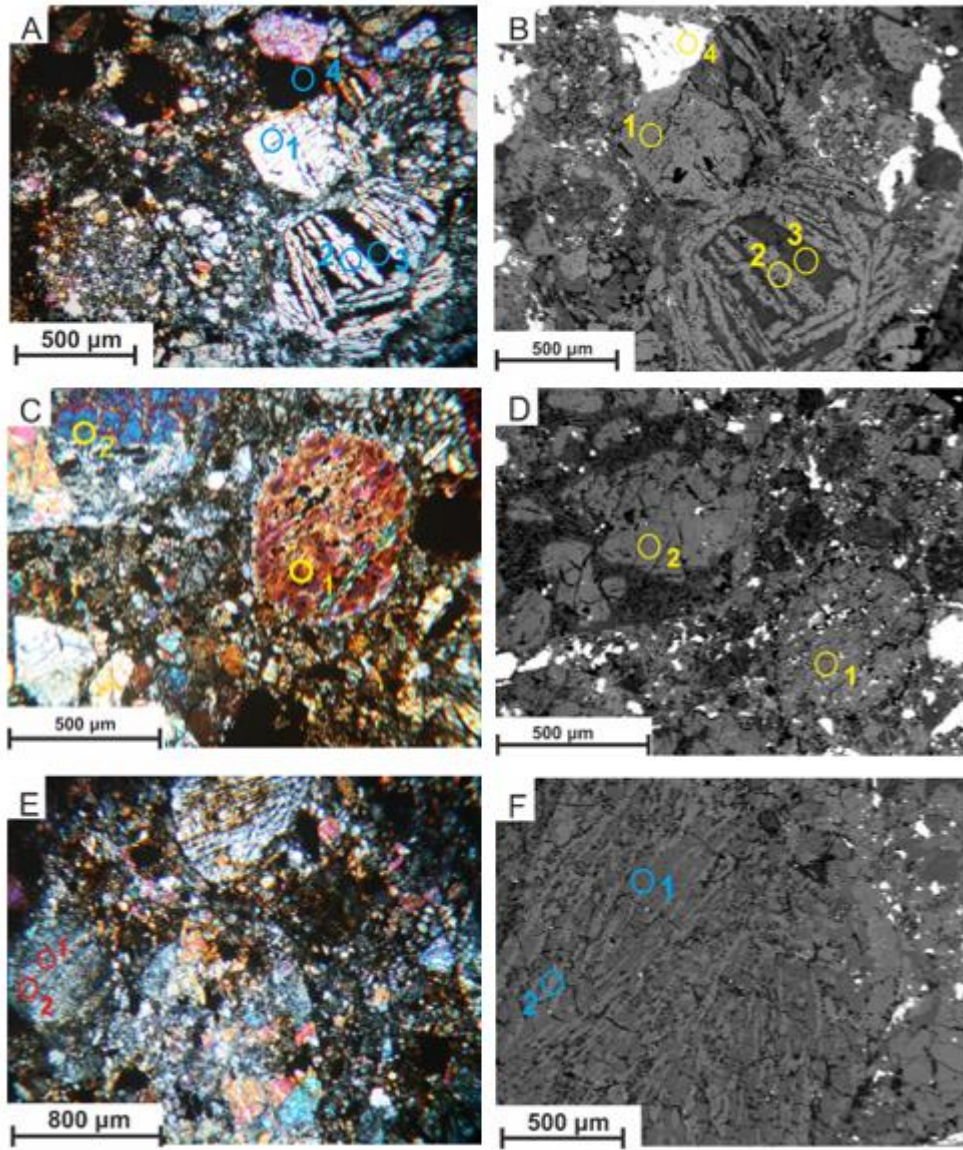
Tablo 4.8: Fethiye (Kemer) meteoriti zon 1, zon 3 ve zon 4 bölgeleri analizi sonucu elde edilen mineral kimyası (%ağ.) sonuçları.

FM - SEM - Olivin Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	SO ₃	Total
Z3_N20	35.52	0.19	0.70	0.23	24.74	0.14	35.45	0.78	0.27	0.00	98.02
Z3_N21	49.07	0.00	0.79	0.27	18.27	0.18	28.65	0.45	0.80	0.00	98.48
Z3_N25	51.39	0.00	1.16	0.45	11.32	0.13	33.08	0.26	0.52	0.00	98.31
Z3_N32	35.53	0.00	0.72	0.14	25.58	0.21	35.18	0.48	0.32	0.00	98.16
Z3_N33	36.06	0.01	0.93	0.43	24.30	0.17	35.17	0.53	0.46	0.00	98.06
Z3_N34	37.49	0.00	0.92	0.11	26.36	0.07	33.85	0.37	0.76	0.00	99.93
Z3_N36	36.80	0.00	1.08	0.38	23.18	0.25	35.47	0.53	0.73	0.00	98.42
Z1_N2	49.29	0.15	2.96	0.62	17.01	0.11	24.81	0.34	1.31	0.00	96.60
Z1_N3	37.52	0.01	0.86	0.13	24.25	0.00	34.58	0.30	0.55	0.00	98.20
Z1_N4	50.67	0.10	1.57	0.51	14.99	0.12	29.01	0.41	0.88	0.00	98.26
Z1_N5	53.99	0.06	1.36	0.43	11.49	0.38	29.44	0.11	1.19	0.00	98.45
Z1_N6	40.75	0.00	1.03	0.08	16.66	0.31	38.41	0.21	0.97	0.00	98.42
Z1_N10	53.45	0.00	2.17	0.32	10.98	0.27	26.61	0.20	2.42	0.00	96.42
Z1_N12	54.58	0.02	1.19	0.19	11.91	0.39	29.04	0.00	1.40	0.00	98.72
Z1_N15	52.23	0.00	1.97	0.55	11.77	0.39	26.45	0.19	2.68	0.00	96.23
Z1_N16	39.43	0.00	1.02	0.28	19.23	0.10	37.17	0.24	0.73	0.00	98.20
FM - SEM - Opak Mineral Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	SO ₃	Total
Z3_N18	4.33	0.05	0.30	0.02	48.63	0.00	3.41	0.35	0.17	41.27	98.53
Z3_N19	4.11	0.05	0.38	0.17	52.58	0.00	3.10	0.93	0.17	37.88	99.37
Z3_N28	8.95	0.15	0.42	0.62	66.30	0.04	6.36	14.95	0.69	1.11	99.59
Z3_N29	5.29	0.00	0.53	0.10	69.55	0.00	3.79	19.45	0.20	0.91	99.82
Z3_N31	10.89	1.49	4.37	40.28	29.57	0.20	9.94	0.43	0.77	0.60	98.54
Z3_N35	5.23	0.15	0.34	0.60	63.50	0.00	3.86	23.62	0.19	2.25	99.74
Z4_N18	6.26	0.02	1.06	0.10	46.81	0.00	3.78	0.31	0.18	41.35	99.87
Z4_N21	7.27	0.00	0.57	0.19	44.76	0.00	5.44	0.14	0.46	39.62	98.45

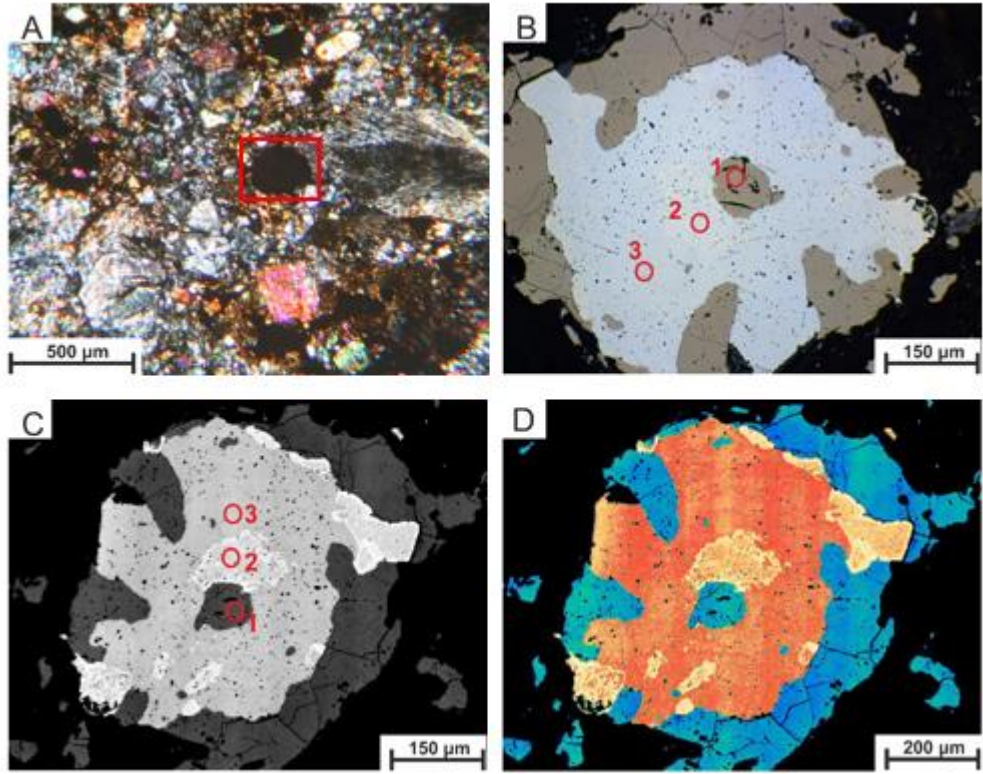
Tablo 4.8’de olivin minerali değerleri zon 1 ve zon 3 için, metalik mineral değerleri ise zon 3 ve zon 4 için verilmiştir.

4.3.2.2. EPMA Analizi

Fethiye (Kemer) meteoriti Epma analizi için FM1, FM4, FM6 ve FM7 no’lu bölgeler seçilmiştir. Bu bölgelere ait çift nikol ve BSE görüntüleri ile analiz yapılan noktalar Şekil 4.55 ve Şekil 4.56’da verilmiştir.



Şekil 4.55: Fethiye (Kemer) meteoriti EPMA analiz noktaları: A-B) FM1 bölgesinde kuşaklı (barred) olivin kondrül ve olivin kristali ölçüm noktaları çift nikol ve BSE görüntüsü. C-D) FM6 bölgesinde kuşaklı (barred) olivin kondrül ve olivin kristali ölçüm noktaları çift nikol ve BSE görüntüsü. E-F) FM7 bölgesinde radial (ışınsal) enstatit piroksen kondrül ölçüm noktaları çift nikol ve BSE görüntüsü.



Şekil 4.56: Fethiye (Kemer) meteoriti EPMA analiz noktaları: A) FM4 bölgesinde ölçümü yapılan metalik (kırmızı çerçeve içinde) mineralin çift nikol görüntüsü. B) FM4 bölgesinde ölçümü yapılan metalik mineralin yansımali mikroskop görüntüsü ve analiz noktaları. C) FM4 bölgesinde ölçümü yapılan metalik mineralin BSE görüntüsü. D) FM4 bölgesinde ölçümü yapılan metalik mineralin faz görüntüsü.

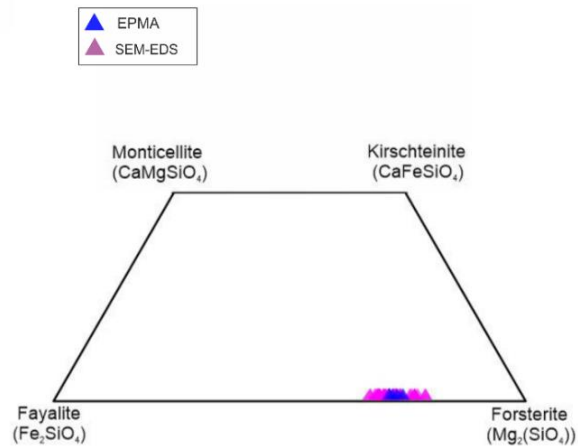
Tablo 4.9: Fethiye (Kemer) meteoriti EPMA analizi sonucu elde edilen mineral kimyası (%ağ.) sonuçları.

FM - EPMA - Olivin Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	SO ₃	Total
FM1-1	38.60	0.00	0.13	0.00	21.59	0.00	39.55	0.01	0.10	0.00	99.98
FM1-2	38.43	0.01	0.05	0.01	22.02	0.00	39.39	0.00	0.07	0.00	99.98
FM6-1	37.69	0.08	0.08	1.73	22.72	0.00	37.42	0.08	0.11	0.00	99.91
FM6-2	38.16	0.00	0.02	0.00	23.32	0.00	38.41	0.01	0.07	0.00	99.99
FM7-2	38.53	0.00	0.03	0.03	22.59	0.00	38.79	0.00	0.11	0.00	100.08
FM - EPMA - Piroksen Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	Na ₂ O	Total
FM7-1	54.18	0.36	0.62	0.36	13.88	0.00	27.77	0.04	0.98	0.00	98.19
FM - EPMA - Feldspat Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	Na ₂ O	Total
FM1-3	61.45	0.16	8.18	0.49	4.12	0.00	11.57	0.30	10.70	3.34	100.31
FM - EPMA - Opak Mineral Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	SO ₃	Total
FM1-4	0.05	0.00	0.07	0.01	95.34	0.00	0.14	2.16	0.02	0.20	97.99
FM4-1	0.02	0.00	0.04	0.01	46.59	0.00	0.01	0.01	0.04	52.58	99.30
FM4-2	0.02	0.00	0.02	0.00	82.71	0.00	0.09	15.52	0.05	0.05	98.47
FM4-3	0.09	0.00	0.02	0.00	90.77	0.00	0.12	7.04	0.05	0.02	98.09

Fethiye (Kemer) meteoritinde yapılan mineral kimyası analizleri sonucu belirlenen olivin mineralleri için oluşum sıcaklığı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamada kaynak olarak (Kinzler, R.J. ve Grove, T.L., 1992) çalışması ve sonuçlar için ise (Putirka vd., 2007) çalışması baz alınmıştır. Yapılan hesaplama sonuçları SEM-EDX ve EPMA olivin ölçümleri için Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10: Fethiye (Kemer) meteoriti EPMA ve SEM analizi olivin minerali oluşum sıcaklığı hesaplama sonuçları.

FM		FM	
Analiz Kodu	T (°C)	Analiz Kodu	T (°C)
SEM_Z1_N2	1493	Epma_FM1-1	1333
SEM_Z1_N3	1408	Epma_FM1-2	1333
SEM_Z1_N4	1443	Epma_FM6-1	1343
SEM_Z1_N5	1433	Epma_FM6-2	1340
SEM_Z1_N6	1368	Epma_FM7-2	1338
SEM_Z1_N10	1458	Ort	1337
SEM_Z1_N12	1440	SS	4.34
SEM_Z1_N15	1460	Kinzler, R.J., Grove, T.L. (1992) "Putirka vd. 2007 Eqn. 4 Eqn 22 in RiMG T(C)"	
SEM_Z1_N16	1380		
SEM_Z3_N20	1400		
SEM_Z3_N21	1454		
SEM_Z3_N25	1398		
SEM_Z3_N32	1405		
SEM_Z3_N33	1402		
SEM_Z3_N34	1422		
SEM_Z3_N36	1399		
SEM_Z4_N1	1387		
SEM_Z4_N7	1407		
SEM_Z4_N9	1449		
SEM_Z4_N10	1407		
SEM_Z4_N12	1394		
SEM_Z4_N13	1446		
SEM_Z4_N14	1388		
SEM_Z4_N17	1484		
SEM_Z4_N20	1463		
SEM_Z4_N25	1452		
Ort	1425		
SS	33.52		

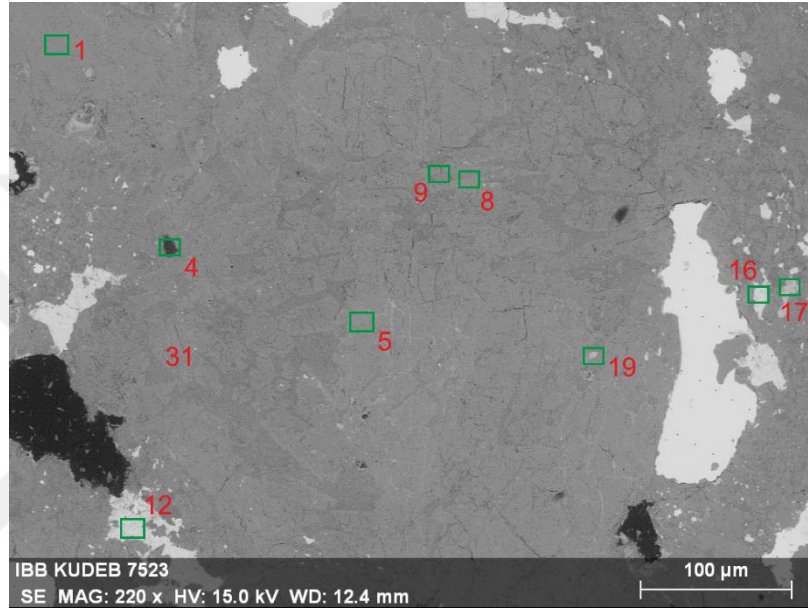


Şekil 4.57: Fethiye (Kemer) meteoriti EPMA ve SEM olivin analiz sonuçlarının izdüşüm üçgen diyagramı.

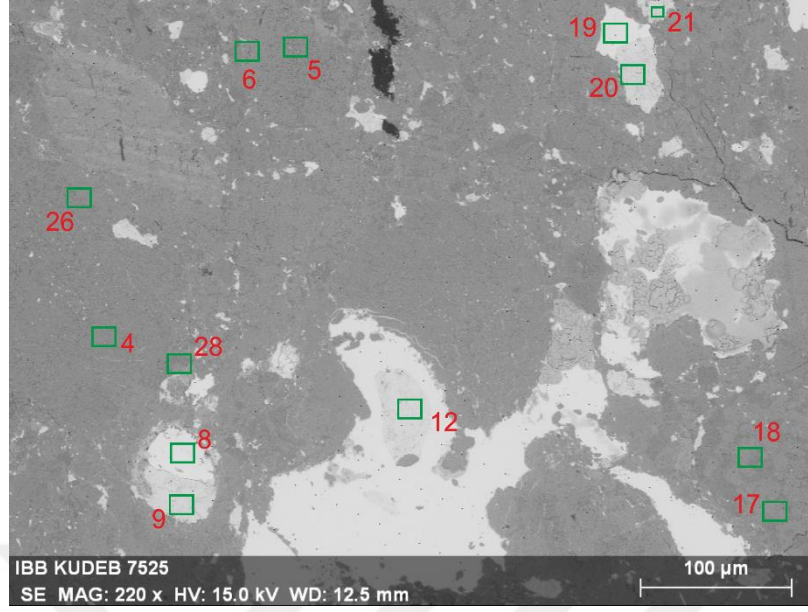
4.3.3. Didim Meteoriti

4.3.3.1. SEM-EDX Analizi

Didim meteoriti parlatılmış ince kesiti üzerinde zon 1, zon 2 ve zon 3 olarak belirlenen üç bölgede analiz yapılmıştır. Zon 1 ve zon 3’de analizi yapılan noktalar Şekil 4.58 ve Şekil 4.59’da verilmiştir.



Şekil 4.58: Didim meteoriti zon 1 bölgesinde analizi yapılan noktaların BSE görüntüsünde yerleri.



Şekil 4.59: Didim meteoriti zon 3 bölgesinde analizi yapılan noktaların BSE görüntüsünde yerleri.

Zon 1, zon 2, ve zon 3 bölgelerinde yapılan analizde olivin minerali ile metalik mineraller tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar ayrı ayrı tablo şeklinde verilmiştir (Tablo 4.11). Ölçüm numaralarında görülen “Zx” kısmı analiz yapılan zon, “Ny” kısmı ise analiz yapılan noktanın numarasını belirtmektedir (x: bölge no, y: analiz noktası no).

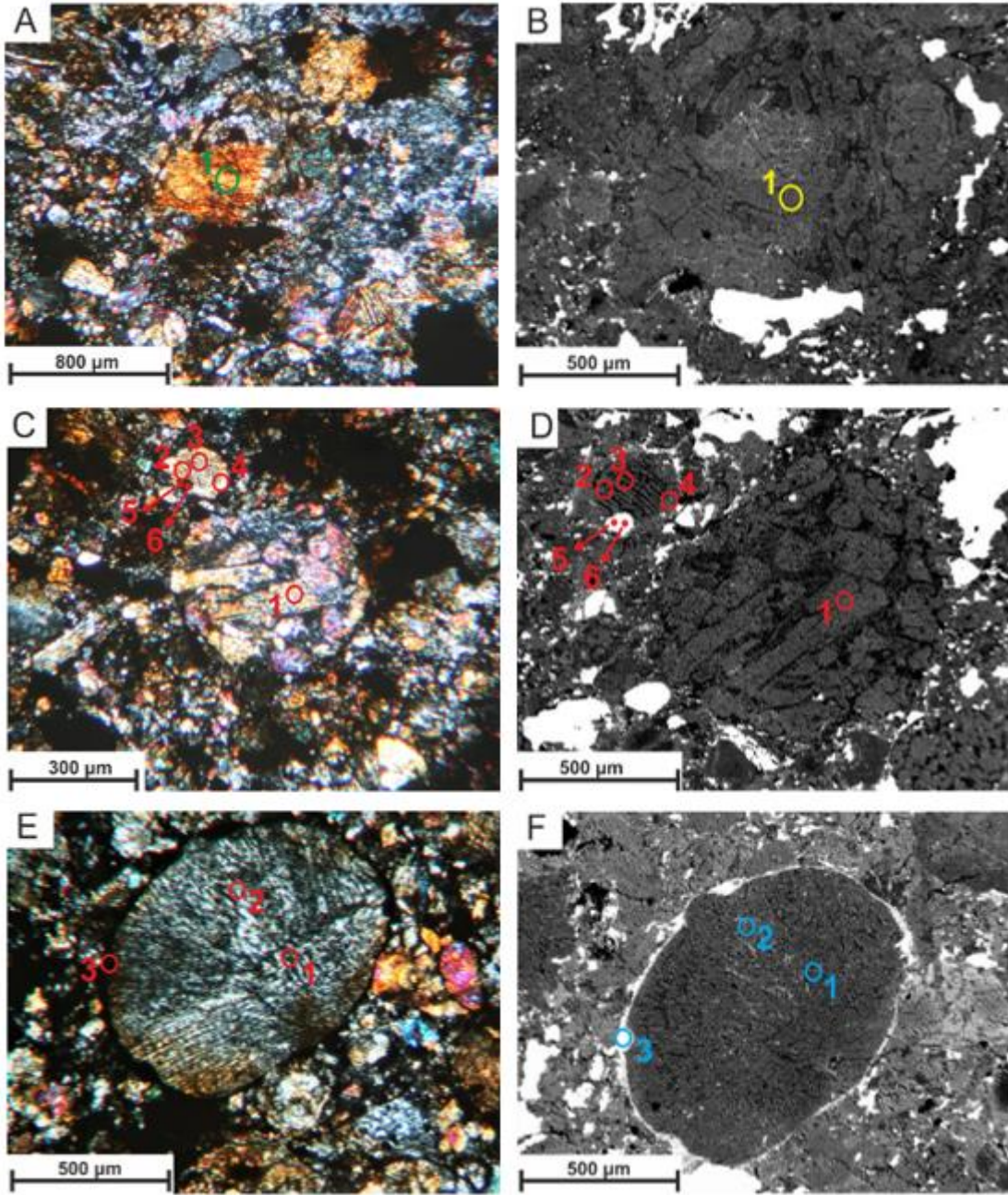
Olivin mineralinin üç türü olan forsterit, fayalit ve tefroit içerdikleri Mg, Fe ve Ca oranına göre belirlenmektedir. Tablo 4.11 ve Tablo 4.12’de verilen olivin değerlerinden yapılan hesaplamalar sonucu Didim meteoriti olivin minerallerinin forsterit türünde oldukları tespit edilmiştir. Didim meteoriti için forsterit değerleri maksimum %90 ve minimum %74 arasındadır. Bu durumda meteoritin forsterit uç üye ifadesi “Fs₇₄₋₉₀Fa₁₀₋₂₆” şeklinde gösterilmektedir.

Tablo 4.11: Didim meteoriti zon 1 ve zon 3 bölgeleri analizi sonucu elde edilen mineral kimyası (%ağ.) sonuçları.

DM - SEM - Olivin Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	SO ₃	Total
Z1_N1	37.27	0.13	0.56	0.12	18.32	0.18	41.54	0.14	0.18	0.00	98.44
Z1_N4	50.21	0.06	2.48	0.00	14.91	0.12	27.81	0.00	2.48	0.00	98.07
Z1_N5	38.05	0.00	0.87	0.52	19.98	0.05	39.20	0.05	0.74	0.00	99.46
Z1_N8	39.83	0.00	1.20	0.16	18.11	0.22	37.78	0.11	1.10	0.00	98.51
Z1_N9	51.78	0.19	1.38	0.22	12.40	0.38	30.87	0.29	1.33	0.00	98.84
Z3_N4	47.49	0.17	3.83	0.08	13.08	0.23	27.52	0.22	4.20	0.00	96.82
Z3_N5	35.49	0.02	0.95	0.24	22.61	0.24	37.11	0.65	0.58	0.00	97.89
Z3_N6	37.28	0.00	0.89	0.06	19.52	0.17	39.84	0.11	0.36	0.00	98.23
Z3_N17	36.40	0.03	1.24	0.16	21.21	0.27	37.88	0.26	0.52	0.00	97.97
Z3_N18	49.26	0.14	1.53	0.27	13.18	0.22	32.64	0.36	0.70	0.00	98.30
Z3_N26	38.49	0.00	0.97	0.14	18.09	0.18	39.90	0.21	0.44	0.00	98.42
Z3_N28	36.06	0.20	1.22	0.13	22.52	0.42	35.32	0.89	0.57	0.00	97.33
DM - SEM - Opak Mineral Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	SO ₃	Total
Z1_N12	5.58	0.00	0.45	0.16	51.42	0.00	4.30	0.14	0.23	37.61	99.89
Z1_N16	5.71	0.07	0.53	0.31	51.83	0.00	4.12	0.33	0.27	36.36	99.53
Z1_N17	11.17	1.48	5.55	39.16	28.02	0.80	10.30	0.33	0.41	1.04	98.26
Z1_N19	9.86	1.45	5.61	40.66	27.85	0.63	11.84	0.22	0.47	0.14	98.73
Z3_N8	5.19	0.00	0.42	0.49	72.08	0.00	4.57	15.47	0.20	1.32	99.74
Z3_N9	4.23	0.00	0.36	0.04	48.43	0.00	3.34	0.82	0.08	41.23	98.53
Z3_N12	3.68	0.01	0.24	0.13	54.36	0.00	2.72	0.75	0.08	37.71	99.68
Z3_N19	5.76	0.01	0.53	0.00	70.81	0.00	5.50	15.63	0.11	1.48	99.83
Z3_N20	5.08	0.00	0.44	0.11	51.07	0.00	4.00	0.78	0.15	37.95	99.58
Z3_N21	5.72	0.00	0.42	0.07	50.98	0.00	4.45	0.59	0.16	37.19	99.58

4.3.3.2. EPMA Analizi

Didim meteoriti Epma analizi için DM1, DM2 ve DM4 no'lu bölgeler seçilmiştir. Bu bölgelere ait çift nikol ve BSE görüntüleri ile analiz yapılan noktalar Şekil 4.60'da verilmiştir.



Şekil 4.60: Didim meteoriti EPMA analiz noktaları: A-B) DM1 bölgesinde olivin minerali ölçüm noktası çift nikol ve BSE görüntüsü. C-D) DM2 bölgesinde PO kondrül ve BO kondrül ölçüm noktaları çift nikol ve BSE görüntüsü. E-F) DM4 bölgesinde RP enstatit kondrül ölçüm noktaları çift nikol ve BSE görüntüsü.

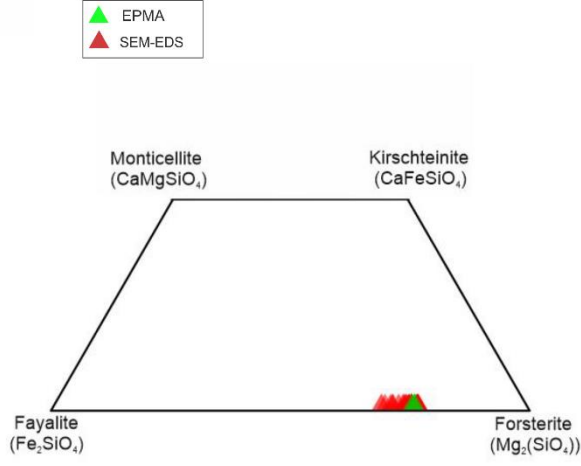
Tablo 4.12: Didim meteoriti EPMA analizi sonucu elde edilen mineral kimyası (%ağ.) sonuçları.

DM - EPMA - Olivin Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	SO ₃	Total
DM1-1	39.22	0.01	0.11	0.01	17.55	0.00	41.99	0.02	0.06	0.00	98.97
DM2-1	39.40	0.01	0.15	0.01	17.48	0.00	42.85	0.02	0.06	0.00	99.98
DM2-2	39.20	0.02	0.07	0.01	18.37	0.00	42.24	0.01	0.06	0.00	99.98
DM2-3	38.73	0.03	0.15	0.01	17.44	0.00	41.81	0.01	0.05	0.00	98.23
DM4-1	58.66	0.02	0.56	0.62	7.44	0.00	31.80	0.01	0.81	0.00	99.92
DM4-2	57.94	0.01	0.22	0.65	7.03	0.00	33.65	0.05	0.37	0.00	99.92
DM - EPMA - Opak Mineral Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	SO ₃	Total
DM2-5	0.12	0.00	0.01	0.02	46.46	0.00	0.03	0.08	0.02	52.77	99.51
DM2-6	0.12	0.00	0.02	0.30	64.00	0.00	0.08	34.43	0.02	0.08	99.05
DM4-3	0.16	0.00	0.05	0.00	46.87	0.00	0.02	0.04	0.04	52.26	99.44

Didim meteoritinde yapılan mineral kimyası analizleri sonucu belirlenen olivin mineralleri için oluşum sıcaklığı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamada kaynak olarak (Kinzler, R.J. ve Grove, T.L., 1992) çalışması ve sonuçlar için ise (Putirka vd., 2007) çalışması baz alınmıştır. Yapılan hesaplama sonuçları SEM-EDX ve EPMA olivin ölçümleri için Tablo 4.13'te verilmiştir.

Tablo 4.13: Didim meteoriti EPMA ve SEM analizi olivin minerali oluşum sıcaklığı hesaplama sonuçları.

DM		DM	
Analiz Kodu	T (°C)	Analiz Kodu	T (°C)
SEM_Z2_N4	1367	Epma_DM1	1316
SEM_Z2_N7	1361	Epma_DM2-1	1314
SEM_Z2_N9	1382	Epma_DM2-2	1317
SEM_Z2_N10	1354	Epma_DM2-3	1316
SEM_Z2_N21	1368	Ort	1316
SEM_Z1_N1	1349	SS	1.33
SEM_Z1_N4	1481	Kinzler, R.J., Grove, T.L. (1992) "Putirka vd. 2007 Eqn. 4 Eqn 22 in RiMG T(C)"	
SEM_Z1_N5	1365		
SEM_Z1_N8	1374		
SEM_Z1_N9	1422		
SEM_Z3_N4	1455		
SEM_Z3_N5	1384		
SEM_Z3_N6	1362		
SEM_Z3_N17	1377		
SEM_Z3_N18	1405		
SEM_Z3_N26	1360		
SEM_Z3_N28	1396		
Ort	1386		
SS	36.42		

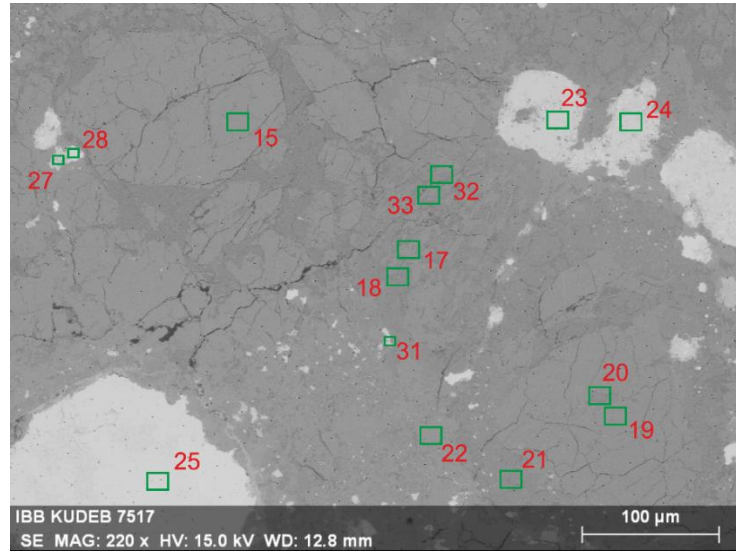


Şekil 4.61: Didim meteoriti EPMA ve SEM olivin analiz sonuçlarının izdüşüm üçgen diyagramı.

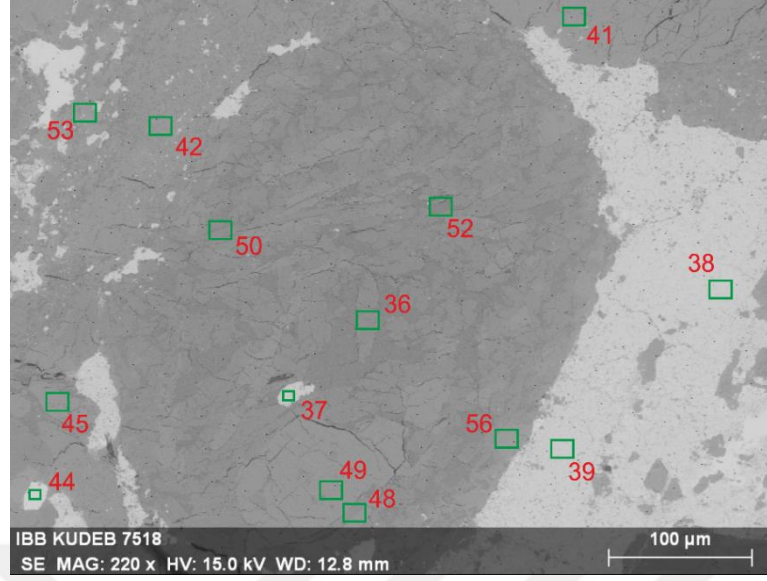
4.3.4. Fas Meteoriti

4.3.4.1. SEM-EDX Analizi

Fas meteoriti parlatılmış ince kesiti üzerinde zon 1, zon 2 ve zon 4 olarak belirlenen üç bölgede analiz yapılmıştır. Zon 1 ve zon 2’de analizi yapılan noktalar Şekil 4.62 ve Şekil 4.63’te verilmiştir.



Şekil 4.62: Fas meteoriti zon 1 bölgesinde analizi yapılan noktaların BSE görüntüsünde yerleri.



Şekil 4.63: Fas meteoriti zon 2 bölgesinde analizi yapılan noktaların BSE görüntüsünde yerleri.

Zon 1, zon 2, ve zon 4 bölgelerinde yapılan analizde olivin, piroksen, feldspat mineralleri ve metalik mineraller tespit edilmiştir. Analizden elde edilen sonuçlar ayrı ayrı tablo şeklinde verilmiştir (Tablo 4.14). Ölçüm numaralarında görülen “Zx” kısmı analiz yapılan zonu, “Ny” kısmı ise analiz yapılan noktanın numarasını belirtmektedir (x: bölge no, y: analiz noktası no).

Tablo 4.14 ve Tablo 4.15’te verilen olivin değerlerinden yapılan hesaplamalar sonucu Fas meteoriti olivin minerallerinin forsterit türünde oldukları tespit edilmiştir. Fas meteoriti için forsterit değerleri maksimum %78 ve minimum %69 arasındadır. Bu durumda meteoritin forsterit uç üye ifadesi “Fs₆₉₋₇₈Fa₂₂₋₃₁” şeklinde gösterilmektedir.

Piroksen mineralinin üç türü olan wollastonit, enstatit ve ferrosilit içerdikleri Mg, Fe ve Ca oranına göre belirlenmektedir. Tablo 4.14’te verilen SEM analizi piroksen değerinden yapılan hesaplama sonucu Fas meteoriti piroksen minerallerinin enstatit türünde olduğu tespit edilmiştir. Fas meteoriti için piroksen değeri maksimum %60 ve minimum %52 arasındadır. Bu durumda meteoritin forsterit uç üye ifadesi “Wo₁₇₋₂₈En₅₂₋₆₀Fs₁₃₋₂₀” şeklinde gösterilmektedir.

Feldspat mineralinin üç türü olan anortit, albit ve ortoklas için Tablo 4.14’de verilen SEM analizi sonucu elde edilen feldspat değerlerinden albit ve Tablo 4.15’te verilen EPMA analizi sonucu elde edilen feldspat değerlerinden yapılan hesaplama sonucu feldspatların anortit türü

oldukları tespit edilmiştir. Fas meteoriti için feldspat değeri albit için maksimum %46 ve minimum %25 arasında olup bu durum için albit feldspat uç üye gösterimi " $\text{Ab}_{54-72}\text{An}_{25-46}$ " şeklindedir. Ve anortit için feldspat değerleri maksimum %77 ve minimum %56 olup bu durumdaki anortit feldspat uç üye gösterimi " $\text{Ab}_{23-43}\text{An}_{56-77}$ " olarak ifade edilmektedir. Sonuç olarak fas meteoriti feldspat minerallerinde de albitleşme görülmektedir.

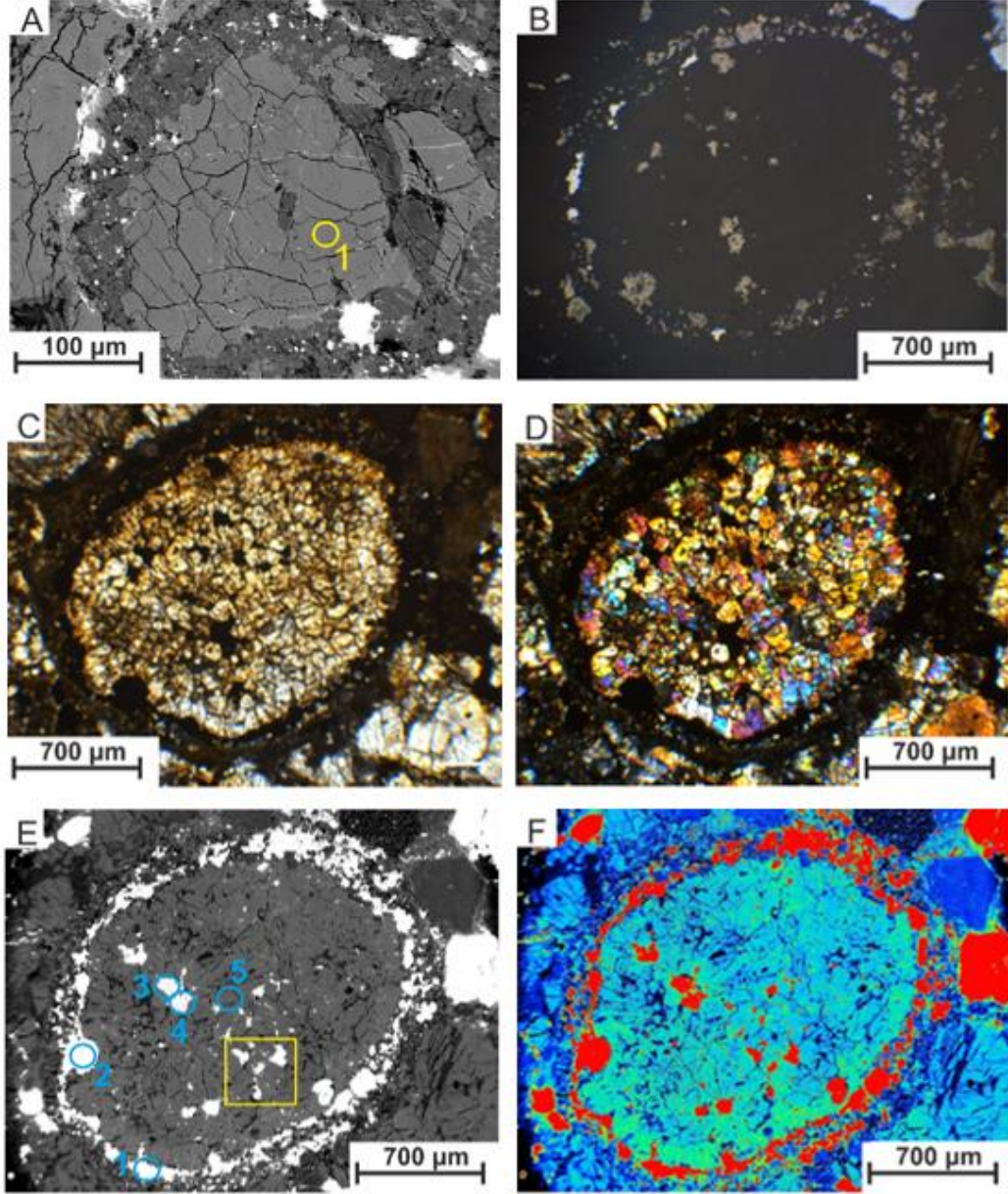


Tablo 4.14: Fas meteoriti zon 1, zon 2 ve zon 4 bölgeleri analizi sonucu elde edilen mineral kimyası (%ağ.) sonuçları.

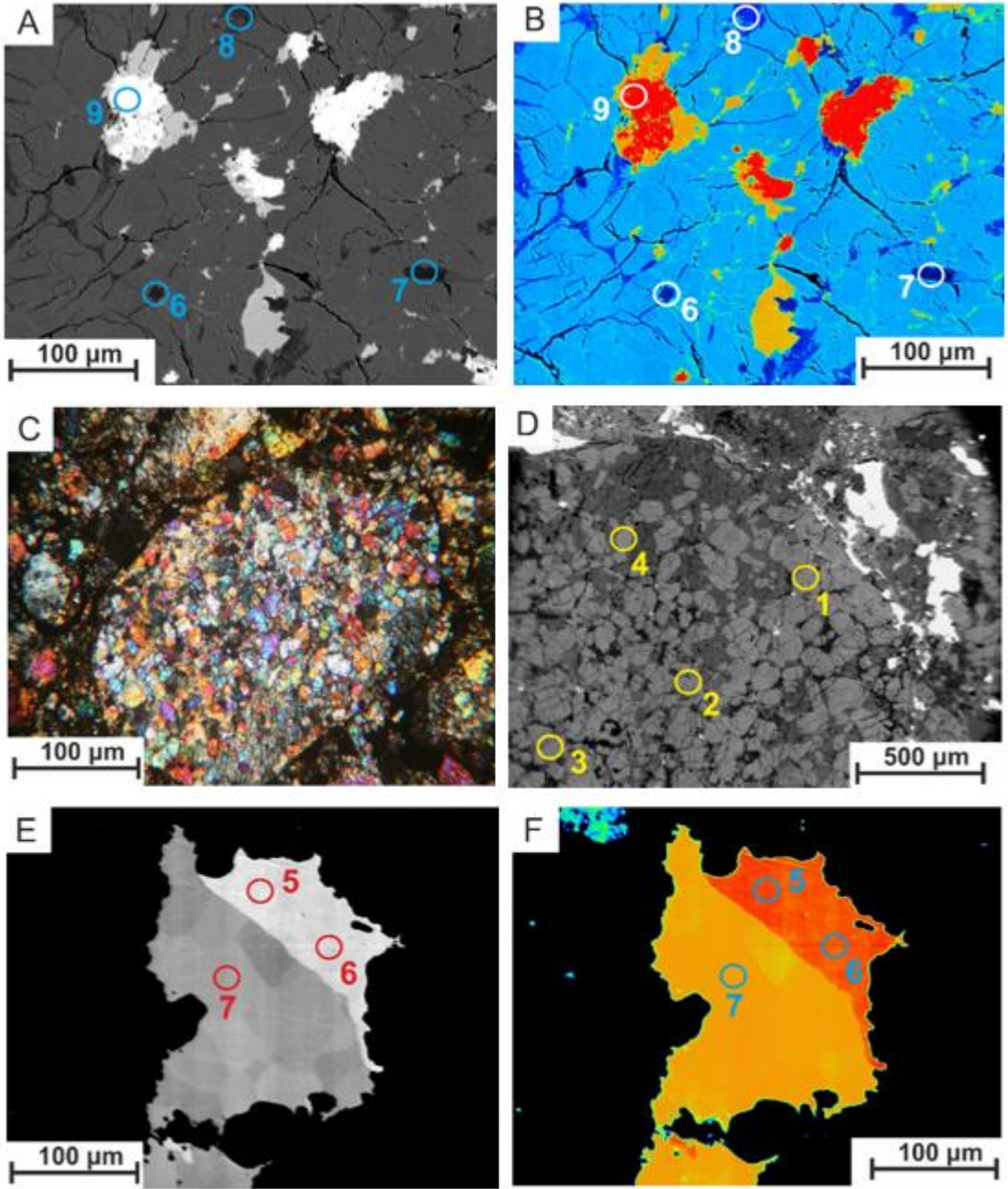
FSM - SEM - Olivin Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	SO ₃	Total
Z1_N15	37.21	0.00	0.84	0.22	22.75	0.27	37.21	0.17	0.43	0.00	99.10
Z1_N17	38.31	0.03	1.40	0.15	21.98	0.25	35.94	0.08	0.46	0.00	98.60
Z1_N18	53.46	0.15	0.00	0.47	13.55	0.20	22.42	0.47	3.87	0.00	94.59
Z1_N19	36.80	0.00	0.65	0.11	22.80	0.42	37.62	0.23	0.19	0.00	98.82
Z1_N20	49.38	0.10	1.48	0.35	16.17	0.23	29.86	0.13	0.58	0.00	98.28
Z1_N21	49.46	0.02	1.59	0.50	16.50	0.30	29.07	0.38	0.72	0.00	98.54
Z1_N22	36.72	0.03	0.96	0.07	23.44	0.32	36.27	0.37	0.32	0.00	98.50
Z1_N33	37.97	0.06	1.28	0.20	21.43	0.37	36.47	0.28	0.46	0.00	98.52
Z2_N36	52.91	0.07	2.11	0.67	13.20	0.25	27.17	0.03	3.40	0.00	99.81
Z2_N41	36.57	0.11	0.59	0.08	25.19	0.33	36.75	0.14	0.19	0.00	99.95
Z2_N42	37.70	0.00	2.36	0.32	22.97	0.27	34.41	0.48	0.56	0.00	99.07
Z2_N45	37.85	0.00	0.98	0.12	23.76	0.23	35.18	0.38	0.56	0.00	99.06
Z2_N49	37.45	0.00	0.82	0.03	23.49	0.44	37.23	0.15	0.33	0.00	99.94
Z2_N50	51.44	0.10	1.74	0.56	13.60	0.00	27.10	0.00	3.51	0.00	98.05
Z2_N53	37.91	0.00	0.00	0.13	27.14	0.21	34.61	0.27	0.43	0.00	100.70
Z2_N56	36.44	0.11	0.00	0.03	27.06	0.40	35.68	0.07	0.16	0.00	99.95
FSM - SEM - Piroksen Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	Na ₂ O	Total
Z2_N48	48.09	0.00	1.71	1.16	14.10	0.24	23.65	0.33	9.37	1.24	99.89
Z4_N8	52.05	0.25	0.00	1.72	8.90	0.18	20.38	0.00	14.35	2.03	99.86
Z4_N10	50.38	0.19	2.72	1.91	11.32	0.42	19.23	0.00	12.00	1.79	99.96
Z4_N11	51.11	0.22	2.71	1.25	8.65	0.35	19.32	0.05	14.17	1.98	99.81
FSM - SEM - Feldspat Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	Na ₂ O	Total
Z1_N32	49.45	0.09	20.23	0.36	7.43	0.00	9.92	0.18	6.79	4.70	99.15
Z4_N3	55.92	0.11	8.84	0.51	6.19	0.00	13.75	0.04	8.26	5.42	99.04
Z4_N7	56.22	0.11	12.03	0.10	8.41	0.00	10.74	0.16	5.62	6.38	99.77
Z4_N9	55.61	0.11	8.86	0.36	8.02	0.00	13.78	0.04	6.47	5.02	98.27
Z2_N52	56.72	0.25	12.52	0.41	6.44	0.00	9.95	0.10	4.67	7.58	98.64
FSM - SEM - Opak Mineral Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	SO ₃	Total
Z1_N23	4.71	0.00	0.42	0.13	47.64	0.00	3.63	0.60	0.08	42.27	99.48
Z1_N24	4.81	0.00	0.50	0.19	46.30	0.00	3.70	6.61	0.12	37.05	99.28
Z1_N25	3.68	0.03	0.27	0.14	84.81	0.00	3.27	6.07	0.08	0.85	99.20
Z1_N27	9.21	0.00	0.56	0.16	42.96	0.00	9.43	9.03	0.16	27.71	99.22
Z1_N28	8.00	0.03	0.64	0.07	49.90	0.00	8.25	31.18	0.18	0.88	99.13
Z1_N31	7.65	0.00	0.66	0.16	44.65	0.00	6.58	0.38	0.18	39.14	99.40
Z2_N37	7.52	0.00	0.78	0.17	44.63	0.00	5.03	0.16	0.52	40.40	99.21
Z2_N38	3.00	0.00	0.31	0.10	49.85	0.00	2.43	0.25	0.03	43.77	99.74
Z2_N39	3.30	0.00	0.30	0.05	48.96	0.00	2.55	0.83	0.20	43.13	99.32
Z2_N44	7.30	0.03	0.42	0.00	53.69	0.00	7.29	28.33	0.47	1.08	98.61

4.3.4.2. EPMA Analizi

Fas meteoriti Epma analizi için FSM1, FSM2 ve FSM3 no'lu bölgeler seçilmiştir. Bu bölgelere BSE görüntüleri ile analiz yapılan noktalar Şekil 4.64 ve Şekil 4.65'te verilmiştir.



Şekil 4.64: Fas meteoriti EPMA analizi görüntüleri. A) FSM1 bölgesinde analizi yapılan olivin kristali BSE görüntüsü ve analiz noktası. B) FSM2 bölgesinde analiz yapılan GOP kondrül yansımali mikroskop görüntüsü. C) FSM2 bölgesinde analiz yapılan GOP kondrül tek nikol görüntüsü. D) FSM2 bölgesinde analiz yapılan GOP kondrül çift nikol görüntüsü. E) FSM2 bölgesinde analiz yapılan GOP kondrül BSE görüntüsü ve analiz yapılan noktalar. F) FSM2 bölgesinde analiz yapılan GOP kondrül mineral fazı görüntüsü.



Şekil 4.65: A-B) Fas meteoriti FSM2 bölgesinde sarı çerçeve içindeki metalik faz içeren bölgede yapılan analiz noktaları BSE ve faz görüntüleri. C-D) FSM3 bölgesi GOP kondrül çift nikol görüntüsü ve BSE görüntüsü içinde analiz yapılan noktalar. E-F) FSM3 bölgesi GOP kondrül sağındaki metalik fazdan analiz yapılan noktaların BSE ve faz görüntüleri.

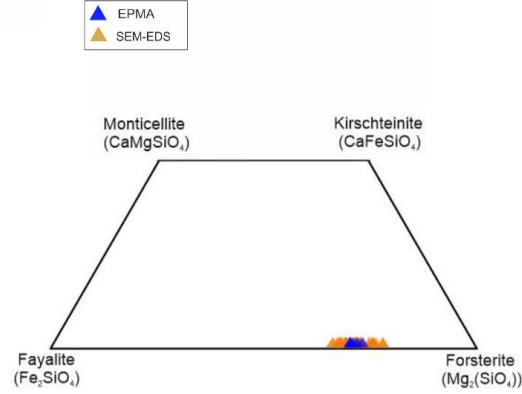
Tablo 4.15: Fas meteoriti EPMA analizi sonucu elde edilen mineral kimyası (%ağ.) sonuçları.

FSM - EPMA - Olivin Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	SO ₃	Total
FSM1-1	38.34	0.01	0.19	0.02	22.89	0.00	38.86	0.00	0.01	0.00	100.32
FSM2-5	36.58	0.08	0.40	4.82	22.85	0.00	36.07	0.02	0.01	0.00	100.83
FSM3-1	37.95	0.02	0.20	0.01	24.01	0.00	37.67	0.06	0.05	0.00	99.97
FSM3-2	37.52	0.02	0.02	0.01	23.18	0.00	37.82	0.02	0.03	0.00	98.62
FSM3-3	38.04	0.01	0.05	0.03	23.68	0.00	38.10	0.05	0.02	0.00	99.98
FSM3-4	37.51	0.01	0.01	0.03	23.10	0.00	38.03	0.04	0.02	0.00	98.75
FSM - EPMA - Feldspat Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	Na ₂ O	Total
FSM2-6	54.80	0.03	27.52	0.01	1.50	0.00	1.32	0.04	10.26	4.39	99.87
FSM2-7	49.29	0.02	31.84	0.07	0.56	0.00	0.01	0.05	15.17	2.97	99.98
FSM2-8	52.56	0.12	30.77	0.02	0.72	0.00	0.07	0.02	13.46	2.23	99.97
FSM - EPMA - Opak Mineral Sonuçları											
Ölçüm No	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	CaO	SO ₃	Total
FSM2-1	0.07	0.00	0.05	0.02	92.71	0.00	0.06	5.22	0.01	0.02	98.16
FSM2-2	0.05	0.00	0.01	0.00	47.05	0.00	0.02	0.22	0.02	51.93	99.31
FSM2-3	0.12	1.24	6.26	57.48	32.52	0.00	1.93	0.00	0.00	0.06	99.61
FSM2-4	0.27	1.12	5.63	57.34	33.25	0.00	1.73	0.09	0.02	0.09	99.54
FSM2-9	0.02	0.00	0.00	0.16	46.77	0.00	0.10	0.00	0.01	52.37	99.44
FSM3-5	0.02	0.00	0.09	0.01	92.16	0.00	0.02	5.71	0.00	0.06	98.07
FSM3-6	0.17	0.00	0.02	0.01	92.63	0.00	0.02	5.30	0.00	0.02	98.16
FSM3-7	0.11	0.00	0.03	0.01	51.25	0.00	0.04	47.45	0.00	0.20	99.09

Fas meteoritinde yapılan mineral kimyası analizleri sonucu belirlenen olivin mineralleri için oluşum sıcaklığı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamada kaynak olarak (Kinzler, R.J. ve Grove, T.L., 1992) çalışması ve sonuçlar için ise (Putirka vd., 2007) çalışması baz alınmıştır. Yapılan hesaplama sonuçları SEM-EDX ve EPMA olivin ölçümleri için Tablo 4.16’da verilmiştir.

Tablo 4.16: Fas meteoriti EPMA ve SEM analizi olivin minerali oluşum sıcaklığı hesaplama sonuçları.

FSM		FSM	
Analiz Kodu	T (°C)	Analiz Kodu	T (°C)
SEM_Z4_N2	1387	Epma_FSM2-1	1338.4
SEM_Z4_N5	1431	Epma_FSM2-2	1345.5
SEM_Z1_N15	1387	Epma_FSM2-3-1	1344.4
SEM_Z1_N17	1395	Epma_FSM2-3-2	1340.7
SEM_Z1_N18	1512	Epma_FSM2-3-3	1342.3
SEM_Z1_N19	1384	Epma_FSM2-3-4	1338.9
SEM_Z1_N20	1438	Ort	1342
SEM_Z1_N21	1446	SS	2.89
SEM_Z1_N22	1394	Kinzler, R.J., Grove, T.L. (1992) "Putirka vd. 2007 Eqn. 4 Eqn 22 in RiMG T(C)"	
SEM_Z1_N33	1389		
SEM_Z2_N36	1466		
SEM_Z2_N41	1397		
SEM_Z2_N42	1409		
SEM_Z2_N45	1404		
SEM_Z2_N49	1391		
SEM_Z2_N50	1463		
SEM_Z2_N53	1419		
SEM_Z2_N56	1409		
Ort	1418		
SS	35.17		

**Şekil 4.66:** Fas meteoriti EPMA ve SEM olivin analiz sonuçlarının izdüşüm üçgen diyagramı.**Tablo 4.17:** Tez kapsamında yapılan inceleme ve analizler.

		Petrografik İnceleme		Spektroskopik Analizler					
Meteorit Adı	Türü	İnce Kesit Sayısı	Polarizan & Cevher Mikroskobu Çalışması	XRD	ICP-AES	ICP-MS	SEM-EDX	EPMA	Sınıfı
BURSA	Kondrit	1	+	+	+	+	+	+	L6
FETHİYE	Kondrit	2	+	+	+	+	+	+	L4
DİDİM	Kondrit	1	+	+	+	+	+	+	H3-5
FAS	Kondrit	2	+	+	+	+	+	+	L5

+: Analiz yapılmıştır.

*: Aynı örnekten iki ayrı ölçüm alınmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Meteoritler, güneş sistemi oluşumundan art kalan ve Mars-Jüpiter arasındaki asteroid kuşağındaki yörüngelerinde dolanan kaya parçalarıdır. Meteoritler oluşum zamanı olarak ilksel güneş sistemi bilgisi içerdiklerinden, meteoritler üzerinde yapılan çalışmaların önemi oldukça fazladır. Güneş sisteminin oluşumu sırasındaki kimyasal bolluk doğrudan ilksel meteoritlerin incelenmesiyle gün yüzüne çıkarılabilir.

Meteorit çalışmalarında öncelik mineralojik ve petrografik çalışmalarda olmak üzere, kimyasal analizler çok hassas şekilde yapılmaktadır. Modern spektroskopik yöntemlerin kullanılışı ve sonuçların birbirleri ile uyumluluğu, yapılan çalışmada başlıca odak noktasıdır.

Bu tez çalışması bünyesinde Türkiye'ye düşmüş ve resmi olarak Uluslararası Meteorit Bülteni'ne kayıtlı üç meteorit örneği ile koleksiyon değiş-tokuşu sırasında teslim alınmış bir başka meteorit örneğinin mineralojik, petrografik ve elemental analiz yöntemleri kapsamında incelenmesinden oluşmuştur.

Öncelikli olarak meteorit örneklerinden birer adet parlatılmış ince kesit yapılmış ve sonrasında polarizan mikroskop altında mineral tayini ve doku incelemesi yapılmıştır. Sıradan kondrit türünde olan bu örnekler, sıklıkla opak mineral fazlarını da içeren ve silikat minerallerinden oluşan kondrül isimli küresel şekilli yapılar barındırmaktadırlar. Polarizan mikroskop altında fotoğraflanan kondrüller detaylı incelenmiş ve literatürdeki kondrül türleri (Şekil 4.2) ile karşılaştırılmıştır. Polarizan mikroskopta tayin edilemeyen opak mineraller için yansımali mikroskop altında ayrı bir inceleme ve fotoğraflama çalışması yapılarak, metalik fazlar ve türleri (bazı oluşumlar haricinde) belirlenmiştir.

Tüm kayaç analizlerinde yapıldığı gibi, meteorit örneklerinde de mineralojik bileşim tayini için örneklerden yeteri miktarda öğütülerek XRD analizi yapılmıştır. XRD çalışması sonucunda, her bir meteorit örneğinin ayrı ayrı mineral içerikleri/türleri ve spektrumları belirlenmiştir. Didim ve Fethiye meteoritleri, dünyaya düşüşleri sırasında parçalara ayrıldıkları için, tez kapsamında kullanılan analiz yöntemlerinde Didim ve Fethiye meteoritlerinin ayrı ikişer parçaları üzerinden çalışılmıştır.

Daha sonra tüm kayaç jeokimya analizi yaptırılmış (ICP-MS ve ICP-AES) ve sonuçlar ayrıntılı şekilde değerlendirilerek, aynı tür meteorit örneklerine ait farklı iki kaynak (Jarosewich, 1990

ve Korotev,2017a) için jeokimya sonuçları ile karşılaştırılmış ve izdüşüm diyagramları çizdirilmiştir. Esas element sonuçları, özellikle meteoritler için önemli olan dağılımlarla kıyaslandığında literatürde mevcut aynı tür meteorit örneklerinin sonuçları ile uyumluluk gözlenmiştir. Daha önce yapılmış çalışmalarda grubu belirlenmemiş olan Fas meteoritinin Schmus, W.R.V. ve Wood, J.A., (1967)'un çalışmaları ışığında, tez kapsamında yapılan kimyasal analiz sonuçlarından elde edilen Fe/SiO_2 (%wt)=0.59, $\text{Fe/Fe(T)}=0.49$ ve $\text{SiO}_2/\text{MgO}=1.66$ değerlerine göre "L" grubuna ait bir sıradan kondrit olduğu belirlenmiştir. Tez kapsamında yapılan diğer jeokimyasal verilerden çizilen grafikler ve izdüşüm diyagramları ile de "L" grubu bir sıradan kondrit olduğu teyit edilmiştir. Fas meteoriti örneğinde kondrüller belirgin sınırlar gösterebilir de kondrüller arası matrikste metamorfizma sonrası rekristalizasyon gözlenmiştir. Bu durumda 3-7 arası petrolojik tip sınıflamasında (Schmus, W.R.V. ve Wood, J.A., 1967), elde edilen sonuçlara göre 5-6 arasında olması muhtemeldir.

Sıradan kondritler diye adlandırılan gruba ait bu dört örnek için yapılan jeokimya analizi sonuçlarında iz element değerleri de ayrıca değerlendirilmiştir. Nadir-toprak element değerleri kondrit örnek için normalize edilerek örümcek diyagramları ayrı ayrı çizdirilmiştir. Örnekler, birbirleri arasında farklı iz element bolluğuna sahip oldukları gibi, kendi parçaları ile de farklı iz element içeriğine sahiptirler. Yine aynı şekilde jeokimya analizi sonuçlarından elde edilen veriler, ilksel manto bileşimine ait verilere normalize edilerek çoklu element örümcek diyagramı çizdirilmiştir. Bu diyagramda dinamik yer mantosunun meteoritlere göre fakirleştiği ve zenginleştiği elementlerin dağılımı gözlenmektedir.

Son olarak mineral kimyası tayini için EPMA ve SEM-EDX yöntemleri kullanılmıştır. EPMA yöntemi ile 44, SEM-EDX yöntemi ile 150 nokta analizi yapılmıştır. İki yöntemde de kaydedilen BSE görüntüleri ile polarizan mikroskop ve yansımali mikroskop çalışmalarında gözlemlenen minerallerin karşılaştırılması sonucu, aynı minerale ait farklı yöntemlerle elde edilen veriler karşılaştırılarak uyum gözlenmiştir. EPMA ve SEM-EDX analizleri sonucu elde edilen mineral kimyaları ile tespit edilen minerallerin uç üye formları hesaplanarak türleri belirlenmiştir. Yine ek olarak iki yöntemde elde edilen olivin minerali sonuçlarından, olivin oluşum sıcaklıkları hesaplanmıştır. İki yöntem için elde edilen olivin değerleri üçgen diyagramda iz düşürülerek türü ve yöntem sonuçlarının uyumları gösterilmiştir.

Sonuç olarak, bu dört meteorit için mineralojik ve petrografik analiz başta olmak üzere modern spektroskopik yöntemler uygulanmış ve detaylı sonuçlar literatüre kazandırılmıştır. Türkiye'ye

düşen bu 3 resmi meteorit üzerine bu denli detaylı çalışma olmadığı gibi, Türkiye meteor bilimi çalışmaları açısından da önemli katkılar sunulmuştur. Tez kapsamında elde edilen kazanımların yayına çevrilerek uluslararası meteorit bülteni ile paylaşılması amaçlanmıştır.

Tez kapsamında yapılan çalışmalarda, örneklerin özellikle mineral kimyası olarak çok daha detaylı çalışılması gerektiği anlaşılmıştır. Dokularının karmaşık ve kondrül içerikli olması bir yana, meteoritlerde aksesuar minerali olarak bulunan mineraller gözlenememiştir. Yaş tayini için gerekli olan zirkon, monazit vb. mineraller gözlenemediği için yaş tayini çalışması yapılamamıştır. Daha fazla kesit yapılarak, özellikle metalik fazlarda çok daha fazla nokta EPMA analizi yapılarak incelenmelidir. Bu gereklilikten hareketle, Türkiye'ye düşen resmi kayıtlı diğer türde meteoritleri ve dünyadan farklı meteorit örneklerini de içeren bir koleksiyon üzerinde doktora çalışması yapılması planlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Aydal, D., 2015, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü-
JEM304 Jeokimya Uygulama Notları.
- Bischoff, A., Palme, H., Schultz, L., Weber, D., Weber, H.W., Spettel, B., 1993b, Acfer 182 and paired samples, an iron-rich carbonaceous chondrite: similarities with ALH85085 and relationship to CR chondrites, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, (57), 2631–2648.
- Boynton, W.V., 1984, *Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies*, *Rare Earth Element Geochemistry*, Developments in Geochemistry 2, In: Henderson, P. (ed.), Chapter 3, Elsevier, Amsterdam, 115-1522.
- Buhl, S., 2002, *Meteorite Recon Project: Meteorite Fusion Crust*, <http://www.meteorite-recon.com/home/meteorite-documentaries/meteorite-fusion-crust>, [Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2018].
- Dağcı, M., 1997, *Türkiye’de meteorit kraterlerinin LANDSAT uydu görüntülerinde aranması*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Daheron, L., Jacques-Beyssen, S., Pommez P. and Reutenauer, F., 2015, Loss On Ignition measurement for oxidizable iron ores with C/H analyzer, *Progress in Analytical Chemistry & Materials characterisation in the Steel and Metals Industries*.
- Erdin, N., 1987, Taramalı elektron mikroskopunun temel prensipleri ve numune hazırlama, *İ.Ü Orman Fakültesi Dergisi*, B-36-2.
- Evensen, N.M. 1978, Rare Earth Abundances in Chondritic Meteorites, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1199-1212.
- Gaffey, M.J. and Gilbert, S.L., 1998, Asteroid 6 Hebe: The probable parent body of the H-type ordinary chondrites and the IIE iron meteorites, *Meteoritics & Planetary Science*, 33, 1281-1295.
- Garvies, L.A.J., 2011, *The Meteoritical Bulletin* (99), E2.
- Gooding, J. L., Keil K., 1981, Relative abundances of chondrule primary textural types in ordinary chondrites and their bearing on conditions of chondrule formation, *Meteoritics*, (16), No. 1.
- Göksu, Y., Türetken, N., Çakır, S., 1975, Bursa meteoritlerinin termoluminesans özellikleri ve yaş analizi, *Tübitak ve Bilim Kongresi Bildiri Özetleri*, Ankara, ODTÜ Fizik Bölümü, 61-78.
- Grossman, N. J., MacPherson J. G., Crozaz G., 1993, LEW87223: A Unique E chondrite with possible links to H chondrites, *Meteoritics*, 28 (3), 358.
- Hafner, B., 2017, Energy Dispersive Spectroscopy on the SEM: A Primer, *Characterization Facility*, University of Minnesota.

- Jarosewich, E., 1990, Chemical analyses of meteorites: A compilation of stony and iron meteorite analyses, *Meteoritics*, (25), 323-338.
- Kinzler, R.J. and Grove, T.L., 1992, Primary Magmas of Mid-Ocean Ridge Basalts 2. Applications, *Journal of Geophysical Research*, (97).
- Kittel, C., 2014, *Katı Hal Fiziğine Giriş*, Palme Yayıncılık, Ankara, ISBN 6053552253.
- Korotev, R.L., 1996, A Self-Consistent Compilation of Elemental Concentration Data for 93 Geochemical Reference Samples, *Geostandards Newsletter* (20), 217-245.
- Korotev, R.L., 2017a, *Chemical Composition of Meteorites*, <http://meteorites.wustl.edu/metcomp/alca.htm>, [Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2018].
- Korotev, R.L., 2017b, *Some Meteorite Statistics*, http://meteorites.wustl.edu/meteorite_types.htm, [Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2018].
- Krinov, E.L., 1970, The Meteoritical Bulletin (39), *Meteoritics* (5), 85-109.
- Krot, A.N., Keil, K., Goodrich, C.A., Scott, E.R.D. and Weisberg M.K., 2005, *Classification of Meteorites*, Meteorites, Comets and Planets, In: Davis, A.M. (ed.), Chapter 1.05, Elsevier, Oxford, ISBN: 0-08-044720-1, 84-120.
- Mason, B.H., 1967b, Meteorites, *American Scientist*, 55, 429-455.
- Norton, O.R. and Chitwood, L.A., 2008, *Field Guide to Meteors and Meteorites*, Springer-Verlag London Limited, Londra, ISBN 978-1-84800-156-5.
- Özel, M.E., vd., 2008, Türkiye'nin Meteorit Çarpma Kraterleri Envanteri: Kraterlerin Morfolojik Özellikleri ve Uydu Görüntüleriyle Bulunması, (*TÜBİTAK projesi/No: 104T327*).
- Putirka, K.D., Perfit, M., Ryerson, F.J., and Jackson, M.G., 2007, Ambient and excess mantle temperatures, olivine thermometry and active vs. passive upwelling, *Chemical Geology*, (241), 177-206.
- Ringwood, A.E., 1961, Chemical and Genetic Relationship among Meteorites, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, (24), 159-197.
- Schmus, W.R.V. and Wood, J.A., 1967, A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, (31), 747-765.
- Spohn, T., Breuer, D. and Johnson, T.V., 2014, *Encyclopedia of the Solar System*, Elsevier Inc., ISBN: 978-0-12-415845-0.
- URL1, *Meteorites and Their Properties*, https://www.lpi.usra.edu/science/kring/epo_web/meteorites/origin.html, [Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2018].

URL2, *International Astronomical Union*

https://www.iau.org/public/themes/meteors_and_meteorites/#2, [Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2018].

URL3, *Meteor Terminology*, <https://www.amsmeteors.org/2013/03/meteor-terminology/>,

[Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2018].

URL4, The Meteoritical Society, *Meteoritical Bulletin Database*,

<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php>, [Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2018].

URL5, *Chondrule*,

<http://www.wikizeroo.net/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVkaWEub3JnL3dpa2kvQ2hvbmRydWxl>, [Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2018].

Ünsalan, O., vd., 2015, Türkiye Meteor Takip Sistemleri ve Ağı'nın Kurulumu: Ulusal Çarpma Kraterleri ve Meteoritleri Veritabanı'nın Oluşturulması (*TÜBİTAK projesi/No: MFAG/113F035*), Proje Gelişme Raporu 1.

Weisberg, M.K., Smith C., Benedix G., Folco L., Righter K., Zipfel J., Yamaguchi A., and Aoudjehane H.C., 2008, The Meteoritical Bulletin (94), *Meteoritics & Planetary Science* (43), 1570.

EKLER

Ek 1. Meteorit Analiz İzin Belgesi

08.12.2017

METEORİT ANALİZ İZİN BELGESİ

Aşağıdaki tabloda yer alan meteorit örneklerini, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Anabilim Dalı, Atom ve Molekül Fiziği programı 2601130397 numaralı Yüksek lisans öğrencisi Ersin KAYGISIZ'ın "Bazı Meteoritlerin Petrografik ve Elemental Analiz Yöntemleri ile İncelenmesi" başlıklı yüksek lisans tezi kapsamında gerekli analizler için kullanılması tarafımda uygun görülmüş olup, örnekleri kendisine teslim ediyorum.

Kod	Meteorit Adı	Kütle (gr)
FM1	Fethiye Meteoriti (Parça 1)	17.53
FM2	Fethiye Meteoriti (Parça 2)	155.87
FM3(MEÖ3)	Fas Meteoriti 1	40.48
FM4	Fas Meteoriti 2	1226.71
BM	Bursa Meteoriti	89.93
DM1	Didim Meteoriti (Parça3)	6.72
DM2	Didim Meteoriti (Parça3)	83.92
DM3	Didim Meteoriti (Parça3)	94.42
TM	Turgut Meteoriti	63.95
ALM	Allende Meteoriti	0.4

İMZA

Prof. Dr. Mehmet EMİN ÖZEL



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Ersin KAYGISIZ
Doğum Yeri	BAKIRKÖY
Doğum Tarihi	28.06.1990
Uyruğu	☒ T.C. ☐ Diğer:
Telefon	0553 554 7554
E-Posta Adresi	ersinkygsz@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
Fakülte	FEN FAKÜLTESİ
Bölümü	ASTRONOMİ ve UZAY BİLİMLERİ
Mezuniyet Yılı	18.07.2013

Yüksek Lisans	
Üniversite	İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
Enstitü Adı	FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Anabilim Dalı	FİZİK ANABİLİM DALI
Programı	ATOM ve MOLEKÜL FİZİĞİ PROGRAMI

Makale ve Bildiriler	
2017, Ozan Unsalan, Alpaslan H. Kuzucuoglu, Caglar Cakir, Ersin Kaygisiz, One pilot application of mobile Raman spectroscopy and information technologies for cultural heritage inventory studies, Journal of Cultural Heritage, 25, 94-100.	