

172128

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TOPUK KÖYÜ VE CİVARINDAKİ (ORHANELİ, BURSA) DÜNİTLERİN
MİNERALOJİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE OLİVİN
AÇISINDAN ENDÜSTRİYEL KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Geo. Müh. Elif ÇEVİK
(505031306)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Aralık 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2006

Tez Danışmanları :

Doç.Dr. Yüksel ÖRGÜN

Doç. Dr. Ali Haydar GÜLTEKİN

Diğer Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Osman YILMAZ (İ.Ü.)

Prof.Dr. Bektaş UZ (İ.T.Ü.)

Yrd. Doç. Dr. Alim GÜL (İ.T.Ü.)

ÖNSÖZ

Günümüzde sanayide kullanılan en önemli endüstriyel hammaddelerden biri olan olivin, başta dünitler olmak üzere, ultrabazik kayaların ana kayaç yapıcı minerallerinden birisidir. Ülkemizin yaklaşık % 18'i ultrabazik kayalarla kaplı olmasına rağmen, bunların endüstriyel bir hammadde olarak kullanılıp kullanılmayacağı yeteri kadar incelenmemiştir. Bu bağlamda, yapılan çalışma ülkemizdeki dünitlerin ekonomik anlamda değerlendirilmesine yönelik ilk bilimsel çalışmadır.

Bu konuyu bana yüksek lisans tez konum olarak veren ve çalışmam süresince bana bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren, maddi manevi her konuda destek olan, sevgi ve hoşgörüsünü asla esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Yüksel ÖRGÜN'e minnet ve şükranlarımı sunarım.

Tezimi hazırlarken sorularımı yanıtsız bırakmayan, yaptığı eleştiri ve önerilerle bana yardımcı olan tez eş danışmanım Doç. Dr. Ali Haydar GÜLTEKİN'e çok teşekkür ederim.

Başta ŞE-TAT Madencilik genel müdürü Koral KÖKTÜRK olmak üzere, ŞE-TAT Olivin fabrika müdürü, Maden Mühendisi Zafer AĞRALI, Jeoloji Mühendisi Agron BRAÇE ve tüm ŞE-TAT Madencilik firması çalışanlarına, gerek arazi çalışmalarım gerekse kimyasal çalışmalarım sırasında bana sundukları tüm olanaklar için çok teşekkür ederim.

Maden Yatakları-Jeokimya Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Atasever GEDİKOĞLU başta olmak üzere, tüm Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim üyeleri ve araştırma görevlilerine çalışmamın hazırlanmasında, her konuda bana yardımcı oldukları için teşekkür ederim.

Kimyasal analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde yardımcı olan hocam Doç. Dr. Fuat YAVUZ'a teşekkür ederim.

Dr. Erkan BOZKURTOĞLU ve Arş. Gör. Mustafa YILMAZ'a tezimin bilgisayar ortamındaki çizim kısımlarındaki destekleri için teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olduklarını bildiğim, sevgili babam Ertuğrul ÇEVİK, annem Sevinç ÇEVİK ve kardeşim Can ÇEVİK ve halam Ziyet ÇEVİK'e gösterdikleri engin sevgi ve destek için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak, 2006

Elif ÇEVİK

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii

1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	1
1.2. Çalışma Alanı	1
1.2.1. Coğrafi Konum	1
1.2.2. İklim ve Bitki Örtüsü	2
1.2.3. Morfoloji	3
1.2.4. Ekonomik Durum	3
1.3. Çalışma Yöntemleri	5
1.3.1. Arazi Çalışmaları	5
1.3.2. Optik Çalışmalar	5
1.3.3. Kimyasal Çalışmalar	6
1.4. Önceki Çalışmalar	6
2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİK KONUMU	12
2.1. Bölgesel Jeoloji	12
2.2. Çalışma Alanının Jeolojisi	13
2.2.1. Metamorfik birimler	13
2.2.2. Ultrabazik – bazik birimler	15
2.2.2.1. Dünit	15
2.2.2.2. Harzburgit	17
2.2.2.3. Serpantinit	17
2.2.3. Topuk granitoidik sokulumu	18
2.2.4. Tortul birim	19
2.3. Çalışma Alanının Tektonik Konumu	19
3. ÇALIŞMA ALANINDAKİ ULTRABAZİK KAYAÇLARIN MİNERALojİK VE JEOKİMYASAL KARAKTERİSTİKLERİ	22
3.1. Ultrabazik Kayaçların Mineralojik Karakteristikleri	22

3.1.1. Dünit	22
3.1.1.1. Olivin	23
3.1.1.2. Piroksen	26
3.1.1.3. Serpantin mineralleri	26
3.1.1.4. Opak mineraller	27
3.1.2. Harzburjit	28
3.1.3. Serpantinit	29
3.2. Ultrabazik Kayaçların Jeokimyasal Karakteristikleri	31
3.2.1. Çalışma alanındaki ultrabazik kayaçların jeokimyasal özellikleri	31
3.2.1.1. Dünitlerin ana element jeokimyası	31
3.2.1.2. Dünitlerin ateş zayılatı (A.Z.)	40
3.2.1.3. Harzburjitlerin ana element jeokimyası	47
3.2.2. Ultrabaziklerin kökeni ve ofiyolit birliği içerisindeki yeri	49
4. OLİVİN	52
4.1. Olivinin Tarihçesi Ve Genel Özellikleri	52
4.2. Olivinin İçinde Bulunduğu Kayaçlar	53
4.3. Olivinde Görülen Alterasyon Olayları	54
4.4. Olivinin Kullanım Alanları	55
4.4.1. Demir-çelik sanayi	56
4.4.2. Refrakter sanayi	57
4.4.3. Döküm sanayi	57
4.4.4. Aşındırıcı olarak kullanımı	58
4.4.5. Elektrikli ısıtıcı (radyatör) olarak kullanımı	58
4.4.6. Ballast (denge) malzemesi olarak kullanımı	59
4.4.7. Çevre teknolojilerinde	59
4.4.8. Tarımda	60
4.5. Olivinin Sanayide Kullanım Standartları	60
4.5.1. Refrakter sanayi	61
4.5.2. EBT – Elektrik ark ocakları- eksantrik alt ayarlama delik kumu	62
4.5.3. Kumlama kumu	63
4.5.4. Döküm sanayi	64
4.5.5. Döküm sanayii, Refrakter sanayii	65
4.5.6. Diğer kullanım alanları için standartlar	67
4.6 Dünyada ve Türkiye’de Olivin	69
4.6.1. Dünyada ve Türkiye’de Olivin Rezervi	70
4.6.2. Dünyada ve Türkiye’de Olivin Üretim ve Tüketimi	71

5. ORHANELİ OLİVİNİNİN SANAYİDE KULLANILABİLİRLİĞİ	73
5.1. Orhaneli Olivininin Fiziksel Özellikleri	73
5.2. Orhaneli Olivininin Kimyasal Özellikleri	78
5.3. Orhaneli Olivininin Mineralojik Özellikleri	81
5.4. Orhaneli Olivininden Elde Edilen Sanayi Ürünleri	82
5.5. Orhaneli Olivinlerinin Pazarlama Koşulları	86
5.6. Orhaneli Olivinlerinin Rezervi	86
6. SONUÇLAR	88
KAYNAKLAR	92
EK A	97
EK B	98
ÖZGEÇMİŞ	99



KISALTMALAR

D	: Dünit örnekleri
H	: Harzburjit örnekleri
a.y.	: Analiz yapılmadı
A. Z.	: Ateş zayıtı
Az	: Alterasyon zonu
M	: Manyezit Damarı



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1: Çalışma sahasından alınan dünit örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları (% Ağırlık).....	33
Tablo 3.2: Çalışma sahasından alınan harzburjit örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları (% Ağırlık).....	34
Tablo 3.3: Orhaneli dünitlerinin ana parametrelerinin Türkiye’den ve Dünyadan dünit örnekleri ile karşılaştırılması.....	35
Tablo 3.4: Dünitlerin ana bileşenlerinin MgO ile olan korelasyon katsayıları.....	36
Tablo 3.5: Dünitlere ait çeşitli sondaj örneklerinde ateş zayıatı değerleri.....	42
Tablo 3.6: 2 ve 4 numaralı sondajlardan alınan dünit örneklerinin derinliklerine göre ateş zayıatı değerleri.....	46
Tablo 3.7: Orhaneli harzburjitlerinin ana parametrelerinin Dünyadan harzburjit örnekleri ile karşılaştırılması.....	48
Tablo 4.1: Olivin grubu mineralleri.....	52
Tablo 4.2: Ultrabazik kayaçların sınıflandırılması.....	53
Tablo 4.3: Norveç A/S Olivin – Ticari olivin kimyasal bileşim standartları.....	61
Tablo 4.4: 0-3 mm. olivine ait elek analizi sonuçları.....	62
Tablo 4.5: 1-5 mm. olivine ait elek analizi sonuçları.....	63
Tablo 4.6: AFS 30 standardında olivine ait elek analizi sonuçları.....	64
Tablo 4.7: AFS 50 standardında olivine ait elek analizi sonuçları.....	65
Tablo 4.8: AFS 80 standardında olivine ait elek analizi sonuçları.....	66
Tablo 4.9: AFS 120 standardında olivine ait elek analizi sonuçları.....	66
Tablo 4.10: 0,5-2 mm. olivine ait elek analizi sonuçları.....	68
Tablo 4.11: 1-6 mm. olivine ait elek analizi sonuçları.....	69
Tablo 4.12: Dünyada önemli olivin üreticisi ülkeler ve rezervleri.....	71
Tablo 4.13: Başlıca olivin üreticisi ülkeler ve kuruluşlar.....	72
Tablo 5.1: Çalışma sahasındaki olivin kristallerinin EDS analizleri (% Bileşen).....	79
Tablo 5.2: Çalışma alanından alınan örneklere ait XRD analiz sonuçları.....	82
Tablo 5.3: Orhaneli olivinleri ürünlerinin dane boyları ve kullanım alanları.....	84

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1: Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	2
Şekil 1.2: Çalışma alanından bir görüntü. Gölcük Tepe'den kuzeybatıya bakış.....	3
Şekil 2.1: Çalışma alanının genelleştirilmiş dikme kesiti (ölçeksizdir).....	14
Şekil 2.2: Sahanın güneydoğusundan metamorfiklere ait bir görüntü.....	13
Şekil 2.3: Sahada gözlenen yoğun ezikli-kırıklı dünitlere ait bir görüntü.....	16
Şekil 2.4: Yüksek oranda serpantinleşmenin görüldüğü dünitlere örnekler.....	16
Şekil 2.5: Sahada dünit örneğinde serpantinleşmeye bağlı olarak gözlenen elek dokuya bir örnek.....	18
Şekil 2.6: Ana kıtasal blok ve tektonik zonları gösterir Orta ve Batı Anadolu tektonik haritası.....	21
Şekil 3.1: Dünitlere ait genel bir mikroskop görüntüsü (Çift Nikol).....	23
Şekil 3.2: İri tane boyutlu olivin kristalleri (Çift Nikol).....	24
Şekil 3.3: Orta-iri tane boyutlu olivin kristalleri (Çift Nikol).....	24
Şekil 3.4: İnce tane boyutlu olivin kristalleri (Çift Nikol).....	25
Şekil 3.5: Olivin kristallerinde görülen deformasyon lamelleri (Çift Nikol).....	25
Şekil 3.6: Olivin tanelerinin serpantinleşmesine ait bir görüntü (Çift Nikol).....	26
Şekil 3.7: Serpantinleşme sonucu gözlenen elek doku görüntüsü (Çift Nikol).....	27
Şekil 3.8: Serpantinleşme sonucu oluşmuş krizotil damarı (Çift Nikol).....	27
Şekil 3.9: Tek nikolde gözlenen kromit taneleri (Tek Nikol).....	28
Şekil 3.10: Olivin kristallerine eşlik eden iri kromit taneleri (Çift Nikol).....	28
Şekil 3.11: Harzburjitlere ait genel bir mikroskop görüntüsü (Çift Nikol).....	29
Şekil 3.12: Serpantin mineralleri ve ikincil minerale ait iki damar görüntüsü (Çift Nikol).....	30

Şekil 3.13:	Serpantin mineralleri ve kalıntı olivin kristalleri (Çift Nikol).....	31
Şekil 3.14:	a: MgO-SiO ₂ ; b: MgO-Fe ₂ O ₃ ; c: MgO-Al ₂ O ₃ ; d: MgO-NiO; e: MgO-Cr ₂ O ₃ ; f: MgO-Ateş zayılatı. (Korelasyon çizgisi dünit örneklerine aittir).....	37
Şekil 3.15:	Dünit örneklerinin magnezyum sayısı - % MgO diyagramı.....	40
Şekil 3.16:	a: 25 No'lu sondajda, b: 26 No'lu sondajda, c: 28 No'lu sondajda derinlik ile ateş zayılatı değişimleri.....	44
Şekil 3.17:	2 ve 4 No'lu sondaj verileri ile hazırlanan olivin log'ları.....	45
Şekil 3.18:	a: 2 No'lu sondajda derinlik ile ateş zayılatı değişimi, b: 4 No'lu sondajda derinlik ile ateş zayılatı değişimi.....	46
Şekil 3.19:	Harzburgit örneklerinin magnezyum sayısı - % MgO diyagramı....	48
Şekil 3.20:	Çalışma alanında yer alan dünit ve harzburgitlerin Ringwood (1975) MgO-Al ₂ O ₃ diyagramındaki konumları.....	50
Şekil 3.21:	Çalışma alanında yer alan dünit ve harzburgitlerin Ringwood (1975) MgO-CaO diyagramındaki konumları.....	50
Şekil 3.22:	Dünitlerin diferansiyasyon trendini gösteren AFM Diyagramı. a) Orhaneli dünitleri, b) Del Puerto Ofiyoliti(California) (Raymond, 2002).	51
Şekil 4.1:	0-3 mm. olivinin elek analizi sonuçlarına göre dane boyu dağılımı.....	62
Şekil 4.2:	1-5 mm. olivinin elek analizi sonuçlarına göre dane boyu dağılımı.....	63
Şekil 4.3:	AFS 30 Standardında olivinin elek analizi sonuçlarına göre dane boyu dağılımı.....	64
Şekil 4.4:	AFS 50 Standardında olivinin elek analizi sonuçlarına göre dane boyu dağılımı.....	65
Şekil 4.5:	AFS 80 Standardında olivinin elek analizi sonuçlarına göre dane boyu dağılımı.....	66
Şekil 4.6:	AFS 120 Standardında olivinin elek analizi sonuçlarına göre dane boyu dağılımı.....	67
Şekil 4.7:	0,5-2 mm. olivinin elek analizi sonuçlarına göre dane boyu dağılımı.....	68
Şekil 4.8:	1-6 mm. olivinin elek analizi sonuçlarına göre dane boyu dağılımı.....	72
Şekil 5.1:	EBT – Elektrik Ark Ocakları- Eksantrik Alt Ayarlama Delik Kumu olarak kullanılan ürüne ait elek analiz sonuçları ve Dane boyu dağılımı abakları. a) Olivin 2-6 mm., b) Olivin 2-8 mm., c) Olivin 3-9 mm., d) Olivin 3-8 mm.....	74
Şekil 5.2:	Magnezyum sayısı (Mg#) – MgO diyagramı.....	80
Şekil 5.3:	% MgO- % Fe ₂ O ₃ diyagramı.....	81
Şekil 5.4:	a,b,c : ŞE-TAT Olivin firmasına ait görüntüler.....	83
Şekil 5.5:	ŞE-TAT Olivin firması proses akım şeması.....	85
Şekil 5.6:	a,b,c: Gölcükboğazı Tepe ve civarından bir görünüm.....	87

SEMBOL LİSTESİ

: Magnezyum Sayısı



TOPUK KÖYÜ VE CİVARINDAKİ (ORHANELİ, BURSA) DÜNİTLERİN MİNERALojİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ VE OLİVİN AÇISINDAN ENDÜSTRİYEL KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı'na yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, Topuk Köyü (Orhaneli, Bursa) ve civarındaki dünitlerin mineralojik ve jeokimyasal özellikleri incelenmiş ve bu sahadaki dünitlerin olivin açısından ekonomikliliği değerlendirilmiştir. Bu amaçla bölgedeki ultrabazik kayaların mineralojik ve jeokimyasal karakteristikleri ortaya konmuş, ultrabazik birim içerisinde olivinin ana kaynak kayası olan dünitler daha detaylı şekilde incelenmiştir.

Çalışma kapsamında, öncelikle sahanın jeolojik yapısını tanımlamak ve jeolojik haritasını oluşturmak üzere arazi çalışması yapılmış, bu sırada kayaçların mineralojik ve jeokimyasal özelliklerini incelemek için gerekli numuneler alınmıştır.

Çalışma alanındaki litolojik birimler başlıca, yüksek basınç-düşük sıcaklık koşullarında metamorfizmaya maruz kalmış Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı metamorfik kayalar, Üst Kretase-Paleosen yaşlı ultrabazik-bazik kayalar, Orta Eosen yaşlı Topuk granitoyidik sokulumu, Neojen yaşlı tortul birim şeklinde sıralanmaktadır.

Dünitlerden ve harzburjitlerden alınan toplam 120 adet kayaç örneğinden hazırlanan ince kesitler, kayaçların dokusal özelliklerini, mineralojik bileşimlerini, başta olivin olmak üzere kristallerin dane boyları ve alterasyon olaylarını tanımlamak amacıyla polarizan mikroskopta incelenmiştir. Optik mikroskop çalışmaları yanısıra dünitlerin mineralojik bileşimi XRD çalışmalarıyla da incelenmiştir. Mikroskop çalışmaları sonucu dünitlerin mineralojik bileşiminin ortalama olarak; % 90'dan daha fazla olivin, % 1-4 serpantin, % 1-3 opak mineraller (kromit, manyetit, pirit), % 1'den az piroksen ve % 1-2 oranında manyezit, talk, kalsit ve klorit gibi ikincil ayrışım ürünü mineraller şeklinde olduğu saptanmıştır. Olivinin endüstriyel kullanımında önemli bir parametre olan dane boyu dağılımının da 0,04 mm ile 4 cm arasında olduğu mineralojik çalışmalarla saptanmıştır. Bu sonuca paralel olarak, XRD çalışmaları olivinlerin tamamıyla forsterit bileşimli olduğunu ve forsterite az oranda klinokrizotil ve lizarditin eşlik ettiğini ortaya koymuştur. Çalışma alanında yaygın olarak görülen alterasyon olayı serpantinleşmedir. Serpantinleşmenin yanı sıra talklaşma, kloritleşme, karbonatlaşma gibi ikincil oluşumlar da gözlenmiştir.

Dünitlerin jeokimyasal özelliklerini tanımlamak amacıyla 15 adet örneğin tüm kaya analizleri XRF ve yaş kimyasal yöntemlerle yapılmıştır. Ayrıca 5 adet örnek EDS (Enerji Dispersif Spektrometre) yöntemiyle de incelenmiştir. Yapılan kimyasal analizler sonucunda dünitlerin MgO değerlerinin % 40,99-50,2 aralığında (ortalama % 47,05), SiO₂ değerlerinin % 34,67-40,6 aralığında (ortalama % 39,10), Fe₂O₃ değerlerinin ise % 6,8-13,7 (ortalama % 9,94) aralığında ve Al₂O₃ değerlerinin % 0,1-0,83 (ortalama %0,29) aralığında değiştiği tespit edilmiştir. EDS analiz sonuçlarında ise bu parametrelerin sırasıyla % 45,35- 48,63, % 41,18-44,00, % 7,21-11,68 ve % 0,02-0,36 aralıklarında değiştiği ortaya çıkmıştır. Bu değerler Orhaneli olivinlerinin ideal olivin kimyasal bileşimine çok yakın olduğunu ortaya koymuştur. Ultrabazik kayaların kaynak malzemesinin tesbiti için MgO'e karşı Al₂O₃ ve CaO değerleri diyagramlara uygulanmıştır. MgO- Al₂O₃ ve MgO-CaO diyagramlarının her ikisinde de, dünit örneklerinin büyük bir çoğunluğu az tüketilmiş pirolit alanında , Harzburgit örneklerinin tümü ise bu alanın dışında yer almıştır. Elde edilen bu dağılımlar, dünitlerin manto malzemesi kökenli, harzburgitlerin ise manto kökenli malzeme ile birlikte dalma-batma zonundaki levhanın alt kesimlerinin kısmi ergimesiyle oluşan malzemeden türemiş hibrid bir magmanın ürünü olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Kaynak malzemenin MgO açısından zenginleşip zenginleşmediğini gösteren magnezyum sayısı (Mg #) tüm kaya analiz sonuçları ve EDS analiz sonuçları kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu değer tüm kaya analizleri için 0,78-0,88; EDS analiz sonuçlarına göre ise de 0,80-0,88 arasında değiştiği ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlar da serpantinleşme ve diğer alterasyon olayları dikkate alınmadığında, olivin ağırlıkla forsterit bileşimli olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

İncelenen tüm mineralojik, jeokimyasal ve fiziksel özellikler, Orhaneli olivinlerinin, endüstriyel hammadde olarak kullanılan olivinler için belirtilen dünya standartları ile oldukça benzerlik gösterdiğini ortaya koymuştur. ŞE-TAT Madencilik yukarıda belirtilen niteliklere sahip olivin rezervinin, başta Gölcükboğazı Tepe olmak üzere 400.000.000 ton görünür, 800.000.000 ton muhtemel rezerv ve toplam 1.200.000.000 ton olduğunu belirtmiştir. Refrakter sanayii, döküm sanayii, EBT – elektrik ark ocakları- eksantrik alt ayarlama delik kumu, kumlama kumu ve aşındırıcı sanayii gibi değişik alanlara farklı dane boylarında ürün verebilecek nitelikte olan Orhaneli olivinleri, özellikle başta refrakter endüstrisi ile ilgili kuruluşlar olmak üzere, demir-çelik fabrikalarınca, deniz kuvvetlerince ve tersanelerce yoğun şekilde talep görmektedir. Şirket Makedonya ve İspanya'ya da ürün satmaktadır.

THE MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE DUNITES FROM TOPUK VILLAGE AND ITS VICINITY (ORHANELİ, BURSA) AND EVALUATION OF THEIR INDUSTRIAL USAGE IN TERMS OF OLIVINE

SUMMARY

Olivine is an industrial mineral that attracts significant attention recently. The name of olivine comes from its olive-green color. Its hardness, grain size and melting point properties are the most important parameters for being used as an industrial mineral. Olivine is first used in the early 1930s for a refractory material. As a refractory raw material, it was first introduced in the United States as hand-cobbed, selected, shaped blocks of crude olivine. Olivine can be used in a lot of industrial fields today just as: Iron and steel industry, refractory, casting, foundry sand, abrasive industries, ballast material, environmental technologies and agriculture.

This study comprises the mineralogical and geochemical properties of olivines from the dunites near Topuk village (Bursa-Orhaneli, Northwest Anatolia, Turkey) and their convenience for industrial usages in point of economics. The lithological units in the study area are: Paleozoic-Mesozoic metamorphic basement rocks, Cretaceous – Paleocene ultrabasic and basic rocks, Mid-Eocene Topuk granitoidic intrusion and Neogene sediments. The dunites, harzburgites, and serpentinite take part in the ultrabasic-basic unit.

The thin sections prepared from the dunite and harzburgite samples are examined in polarized microscope in order to determine the texture properties, mineralogical compositions, describe the grain sizes, especially of olivines and explain the alterations. Mineralogical composition of the non-altered Orhaneli dunites can be given as: Olivine (>90%), serpentine (1-4 %), opaque minerals especially chromite, magnetite, pyrite (1-3 %) and secondary minerals as magnesite, chlorite (1-2 %). Beside optical examinations, the mineralogical compositions of the dunites are studied by XRD method. XRD studies indicate that olivines are in forsterite composition (93 % on average), clinochrysotile (5 % on average) and lizardite (0.22 % on average) accompanying to the forsterite. The grain size of olivines, which is an important parameter for olivines in point of their industrial usages, are fixed as between 0.04 mm.- 4 cm. Serpentinisation is the most common alteration type in the study area. It can be seen in the area in different degrees from 1 % to 100 %. It has a negative effect on the industrial usage of olivine. In addition to serpentinisation, chloritization, talcization, and carbonatization can be seen in the area.

In order to define the geochemical properties of dunites, whole rock analyses of 15 samples are done by XRF and wet-chemical methods. The chemical analyses give the composition results for MgO, SiO₂, Fe₂O₃ and LOI as: 40,99-50,2 %, 34,67-40,6 %, 6,8-13,7 %, 0,11-11,27 %, respectively. Besides, 5 samples are examined by EDS method. The results indicate that these olivines are suitable for industrial usages. Their mineralogical and chemical properties are consistent with this. The results of chemical analyses plotted on different

diagrams. The correlation between the parameters and the origin of the ultrabasics are examined. In addition to these mineralogical and chemical compositions, the physical parameters of the Orhaneli dunites have the suitable properties for being used in industry when compared to the international standards.

Non-altered/very little altered dunites are located on the southeastern part of the area and have large outcrops on Golcukbogazi hill and its vicinity. In the study area, the proved reserve is 400.000.000 tones, the probable reserve is 800.000.000 tones and the total reserve is 1.200.000.000 tones. Orhaneli olivines are demanded especially from the firms related to refractory industry, iron-steel factories, naval forces and shipyards. SE-TAT Mining Company also exports these olivines to different countries such as Macedonian and Spain.



1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı

Olivinin sanayide kullanımı 1930'lu yıllarda ilk kez refrakter sanayiinde olmuştur. Son yıllarda gelişen teknolojiye paralel olarak, kullanım alanları da genişleyen olivin, refrakter sanayinden döküm sanayine, aşındırıcıdan, demir-çelik sanayine kadar geniş bir alanda günümüzün en önemli sanayi hammadde girdilerinden birini oluşturmaktadır. Bu nedenle dünyada başta dünitler olmak üzere ultrabazik kayalar olivin açısından detaylı bir şekilde incelenmekte ve ilgili ülkelerin en önemli sanayi hammadde kaynaklarını oluşturmaktadır. Bu konuda olivin üzerine tekel oluşturan Norveç en dikkat çekici örnektir.

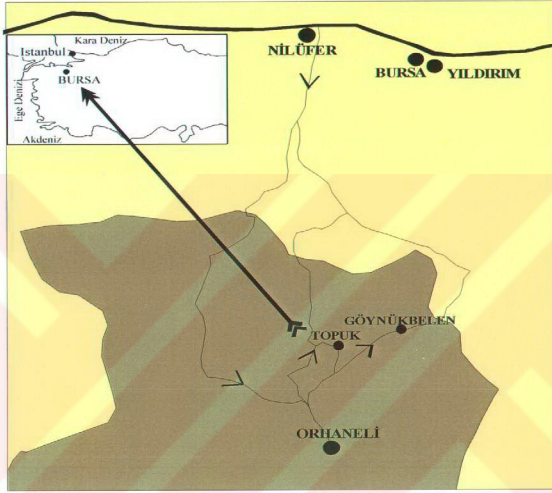
Ülkemizin yüzey alanının yaklaşık %18'si ultrabazik kayalarla kaplı olmasına rağmen, bu kayalar olivin açısından bilimsel olarak ele alınıp incelenmemiştir. Bu noktadan hareketle, bu çalışmada Topuk Köyü (Orhaneli) civarındaki yaklaşık 100 km²'lik bir alanda yer alan ultrabazik kayaların mineralojik-petrografik ve jeokimyasal karakteristikleri tanımlanarak, bu kayalar içerisinde en geniş yüzey alanına sahip olan dünitler olivin yönünden değerlendirilecektir. Bu alanın çalışma sahası olarak seçilmesinin nedeni, ülkemizde ilk defa ŞE-TAT Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından sahadaki ultrabazik kayaların olivin üretimi amaçlı bilimsel olarak incelenmesi ve incelemeler sonucunda ŞE-TAT Olivin tesislerinin kurulmuş ve faaliyete başlamış olmasıdır.

1.2. Çalışma Alanı

1.2.1. Coğrafi Konum

Çalışma alanı, Bursa iline bağlı, 844 km² yüzölçümüne sahip Orhaneli ilçesinin kuzeydoğusunda yer alan Topuk Köyü çevresinde yaklaşık 45 km²'lik bir yüzeye sahiptir (Şekil 1.1). 1/25000 ölçekli Bursa H21-c2, Bursa H22-d4 ve Kütahya İ21-b2 ve İ22-a1 paftalarında yer almaktadır. Orhaneli ilçesinin tarihinin Roma İmparatoru Hadrianus'la başladığı sanılmaktadır. Osmanlılar tarafından 1325 yılında Bizans

egemenliğinden kurtarılan ilçenin, 1911 yılına kadar Atranos olan adı, 1934 yılında TBMM kararıyla Orhaneli olarak değiştirilmiştir. 8 Temmuz 1921 tarihinde Yunanlıların işgaline uğrayan ilçe 9 Eylül 1922 tarihinde bu işgalden kurtulmuştur. Çalışma alanının batısında Yürücekler Köyü, güneyinde Orhaneli, doğusunda Göynükbelen beldesi ve kuzeyinde Osmaniye (Çatak) Köyü bulunmaktadır. Çalışma alanına Bursa-Orhaneli karayolu ile ulaşılmaktadır. Ayrıca saha içerisinde köyler arası ulaşımında kolaylık sağlayan stabilize yollar bulunmaktadır.



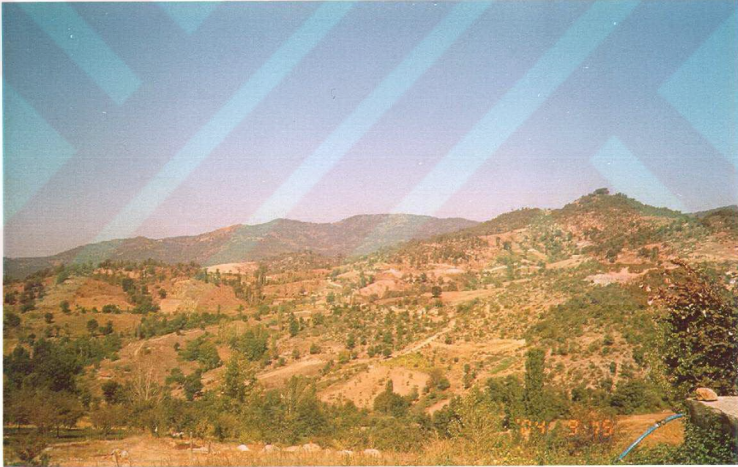
Şekil 1.1: Çalışma Alanının Yer Bulduru Haritası

1.2.2. İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışma alanında ılıman Akdeniz iklimi ile Ege ve Marmara'nın kara iklimi hüküm sürmektedir. Kışlar soğuk ve karlı, yazlar sıcak geçmektedir. Gün içerisinde, gece ve gündüz arasındaki sıcaklık farkları oldukça belirgindir. Çalışma alanında özellikle ultrabazik kayaların bulunduğu kesimler çam ormanlarıyla kaplıdır. Sahada granitoyidik sokulumun kapladığı alanlar ise bitki örtüsü ve ormanlar bakımından son derece fakirdir ve sokulum üzerinde geniş tarım alanları bulunmaktadır. Bu özellik her iki birimi ayırt etmekte önemli bir belirteçtir. Ayrıca yer yer dikensi bitkilerle kaplı alanlar da mevcuttur.

1.2.3. Morfoloji

Çalışma alanı genel olarak farklı yükseltilere sahip tepeler, sırtlar ve bunlar arasında kalan sınırlı alanlardaki düzlükler ile kuru ve akar derelerden oluşmuştur (Şekil 1.2). Sahanın iki akar deresi Topuk köyü güneyinde birleşerek Değirmen dereyi oluşturan Yapköy dere ve Hamam dere dir. Bu iki dere yaz-kış su taşımaktadır. Sahadaki önemli kuru dereler; Kalaycıkırı, Karakova ve Kaklık dereleridir. Çalışma alanında önemli yükseltilere sahip tepeler; doğuda Değirmen tepe, Gölcükboğazı Tepe (1017 m.), Bağlarboğazı tepe (893 m.), Küçükkara tepe (1091 m.), batıda Kasak tepe (817 m.), kuzeybatıda Kızılduruk tepe (917 m.), kuzeyde Kaymaklı tepe (910 m.) ve güneyde Dedebe leni tepedir. Akkayalar, Meryemkaldırımı, Arabaeyleği ve Ahmetbükü sırtları sahadaki önemli sırtlardır. Çalışma sahasında iki önemli yerleşim birimi yer almaktadır. Bunlar Topuk köyü ve Göyntükbelen beldesidir. Her iki yerleşim alanı da Topuk granitoyidik sokulumunun üzerinde yer almaktadır.



Şekil 1.2: Çalışma alanından bir görüntü. Gölcük Tepe’den kuzeybatıya bakış.

1.2.4. Ekonomik Durum

2000 yılı genel nüfus sayımı sonuçlarına göre, ilçe nüfusu, 8,089 şehir ve 22,397 köy olmak üzere toplam 30,486’dır. Çalışma alanında yer alan yerleşim yerlerinin ekonomik faaliyetleri, yöre halkının kendi ihtiyaçlarını karşılayabileceği ölçüde tarım, hayvancılık ve çeşitli maden ocaklarıdır. İlçenin tarım alanı yaklaşık 28,000

hektardır. İlçe ayrıca 51,699 hektar orman ve fundalık alanına sahiptir. Son 10 yıldır Topuk granitoyidik sokulumu üzerindeki tarım alanlarında yetiştirilen çilek ve vişne bu yöre için önemli bir ekonomik girdi oluşturmaktadır. Bu ürünler ağırlıklı olarak ihraç edilmektedir.

Çalışma alanında geçim, bölge halkının kendi ihtiyaçlarını giderebileceği oranda tarım, hayvancılık ve madencilik faaliyetleri ile karşılanmakla birlikte, Orhaneli bölgesinde gün geçtikçe artan madencilik faaliyetlerinin bölge ekonomisine sağladığı yarar şüphesiz çok önemlidir. Bölgedeki kömür işletmeleri ve krom tesislerine ek olarak olivin fabrikasının açılması ve olivin üretimine başlanması bölgedeki yeraltı kaynaklarının geçime katkısını artırmıştır.

Bu çalışma kapsamında ekonomik bir mineral olan olivin detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışma alanında olivin dışında ekonomik mineral olarak elde edilen kromit de mevcuttur. Ekonomik olarak işletilebilen krom minerali kromittir. Ofiyolitlerin ultrabazik kesimlerinde kromit toplanımlarının ekonomik olarak işletilebilecek boyutta bir toplanıma ulaştıkları yerler krom yatağı olarak nitelendirilmektedirler. Krom cevheri metalurji, refrakter, kimya sanayilerinin önemli bir hammaddesidir (Engin, 2001). Bilindiği gibi kromit, dünit kayasının en yaygın gözlenen opak mineralidir. Çalışma sahasında dünit birimi içerisinde kromit oldukça yaygındır ve halen işletilmekte olan açık kromit ocakları mevcuttur. Kromit üretimi de önemli bir ekonomik girdi oluşturmaktadır. Sahada olivin fabrikası işleten ŞE-TAT Madencilik firmasının bölgede krom sahaları da vardır. Yapılan incelemeler sonucu, 6.000.000 ton görünür rezerv, 9.000.000 ton muhtemel rezerv ile toplam 15.000.000 ton krom rezervi saptanmıştır.

ŞE-TAT Madencilik adına ruhsatlı ocaklar, Bursa –Orhaneli ilçesi Göynükbelen ve Dağgüney köyleri arasında yer almaktadır. ŞE-TAT Madencilik yaptıkları incelemeler sonucu sahada 400.000.000 ton görünür, 800.000.000 ton muhtemel olmak üzere, toplam 1.200.000.000 ton olivin rezervi bulunduğunu bildirmiştir. Tesisin kırma kapasitesi 600.000 ton/yıl ve istenilen boyutlandırmada elenmiş tozsuz mikronize, üretim bazında yıllık kapasitesi 400.000 tondur.

Olivin ve kromit dışında, bölgede yine ekonomik olarak değerlendirilmek üzere, manyezit, nikel, nefelin-siyenit, mermer (diyabaz) araştırmaları devam etmektedir.

1.3. Çalışma Yöntemleri

1.3.1. Arazi Çalışmaları

Çalışma kapsamında ilk arazi çalışması Ekim 2003'te yapılmış ve saha genel hatlarıyla incelenmiş, arazinin 1/25000 ölçekli jeoloji haritası, araziye ait hazırlanmış önceki jeoloji haritalarından yararlanılarak çalışma amacına uygun şekilde revize edilmeye başlanmış ve dünit ve harzburgitlerden mineralojik incelemeler için sistematik örnekler alınmıştır. Sahanın jeolojik haritasının yapılmasında, Örgün (1993) ve ŞE-TAT Madencilik elemanları (Braçe, 2003) tarafından hazırlanan jeolojik haritalardan faydalanılmıştır. İkinci çalışma Ağustos 2004'te yapılmış, bu kapsamda arazinin jeoloji haritasının yapılmasına devam edilmiş ve kimyasal analizler için dünitlerden örnek alınmıştır. Örnek noktaları ekte verilen jeoloji haritası (EK A) üzerinde gösterilmiştir. Kayaç örnekleri büyük bir çoğunlukla taze yüzeylerden alınmıştır. Bunun yanı sıra, bölgede yaygın olarak gözlenen serpantinleşme olayını tanımlamak için alterasyon zonlarından da örnekler alınmıştır. Bu amaçla Ekim 2004'te tekrar araziye gidilmiş, haritadaki eksiklikler giderilmiş, ilave örnekler alınmış ve sahada yeni faaliyete geçen olivin fabrikası incelenerek işletmenin faaliyetleri hakkında veri toplanmıştır. Arazi çalışmaları sırasında ŞE-TAT Madencilğe ait tesislerde konaklanmış ve ŞE-TAT Madencilğin sunduğu olanaklardan faydalanılmıştır.

1.3.2. Optik Çalışmalar

Çalışmanın hedefleri doğrultusunda başta dünitler olmak üzere ultrabazik kayaçlardan alınan kayaç örneklerinden, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi ve MTA Genel Müdürlüğü ince kesit atölyelerinde, hazırlanan ince kesitler optik mikroskopta incelenerek kayaçların mineralojik bileşimleri tanımlanmıştır. Kayaçların mineralojik bileşimlerinin tanımlanması yanı sıra, dokusal özellikleri, başta olivin olmak üzere minerallerde meydana gelen alterasyon ürünleri ve sanayide olivinin kullanılacağı alanın saptanmasında en önemli parametrelerden biri olan tane boyu dağılımı optik çalışmalarla saptanmıştır. Olivinin endüstriyel kullanım amaçlı değerlendirilmesinde opak mineral varlığının düşük olması beklenir. Bu amaçla dünitlerde gözlenen kromitin olivinlerle olan dokusal, yapısal özellikleri ile bileşimdeki oranları optik çalışmalarda incelenmiştir.

1.3.3. Kimyasal Çalışmalar

Çalışma kapsamında ultrabazik kayaların kimyasal karakteristiklerinin belirlenebilmesi için sahadan alınan numunelerden, olivinin mineral kimyasının tespiti için gerekli kimyasal analizlerin büyük çoğunluğu Marmara Araştırma Merkezi, TÜBİTAK- İzmit Laboratuvarı'nda JEOL JSM-6335F model Elektron Mikroskopta yaptırılmıştır. Analizlerde EDS (Enerji Dispersif Spektrometre) yöntemi kullanılmıştır. Sınırlı sayıda örneğin kimyasal analizleri Balıkesir'de Gürbüz Madencilik Şirketi XRF Laboratuvarında yaptırılmıştır. Ayrıca, bu çalışmanın konusunu oluşturan ultrabazik kayaların jeokimyasal karakteristiklerinin açıklanması amacıyla kullanılan kimyasal analiz sonuçlarının bir kısmı da ŞE-TAT Madenciliğin kendi laboratuvarlarında elde ettiği sonuçlardan ve sahada inceleme yapan, Norveç Devletinin resmi bir kurumu olan N.G.U (Norges Geologiske Undersøkelse) tarafından alınan örneklerin A/S Olivin'in Aheim'daki laboratuvar imkanlarıyla XRF yöntemiyle elde edilmiş kimyasal analiz sonuçlarından alınmıştır.

1.4. Önceki Çalışmalar

Çalışma alanı, karmaşık tektonik yapısı, mineralojik ve jeokimyasal özellikleri ve sahip olduğu başta krom olmak üzere metalik ve non metalik cevherleşmeler açısından yurt içinden ve yurtdışından pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Aşağıda bölgede daha önce yapılmış çalışmalar genel özellikleriyle yıllara göre tanıtılmıştır.

Özkoçak, 1969: Orhaneli ve kuzeyini kapsayan çalışmasında yazar, bölgedeki metamorfikleri alt ve üst metamorfik seri olarak ayırmıştır. Metamorfik seri üzerinde uyumsuz olarak Üst Jura - Alt Kretase yaşlı kalkerlerin ve Üst Kretase yaşlı ultrabazik masifin yer aldığını belirtmiştir. Ultrabazik masifin esas olarak dünitler ve piroksenli peridotitlerden oluştuğunu, ayrıca masifte az miktarda piroksenli gabrodoritlerin bulunduğunu belirtmiştir. Göynükbelen granodiyorit masifinin, ultrabazik ve metamorfik kayaları kestiğini ve ultrabazik kayalarla olan kontaklarında sülfür mineralleri içeren zonların varlığını ortaya koymuştur.

Gök ve Çelik, 1970 : Yazarlar bölgede asbest aramalarına yönelik rapor hazırlamışlardır. Bu çalışma için Orhaneli-Purasalık sırtından ve Orhaneli-Yapköy dere içinden örnekler almışlardır. Yapılan analizler sonucunda Orhaneli-Purasalık

sırtından alınan örneklerde % 0.1 nikel, Orhaneli-Yapköy dere içinden alınan örneklerde ise % 3.4 nikel değerleri elde etmişlerdir.

Lisenbee, 1971: Yazar Orhaneli yöresinde yaptığı çalışmasında, Orhaneli ultrabazik-gabro kütlelerinin geç Kretase veya Paleosen'de bir bindirme levhası olarak yerleştiğini ifade etmiştir. Bu yerleşim öncesinde masifin batı-kuzeybatı doğrultulu olarak bir bindirme ve kıvrımlanma sürecine maruz kaldığını ortaya koymuştur. Yazar bölgedeki birimleri belirtmiştir. Yöredeki birimleri: Kendi içinde sınıflandırdığı Pre-Karbonifer yaşlı metamorfikler, Permo-Karbonifer yaşlı Grovak Serileri, Jura-Kretase yaşlı Klastikler ve Kireçtaşları, üst Kretase yaşlı Ofiyolitler, üst Kretase Ultrabazik-Gabro Kompleksi, Tersiyer yaşlı Dasitler ve Granodiyorit Kompleksi şeklinde adlandırmıştır. Bölgedeki ultrabazik-bazik masifin yapısal özelliklerini detaylandıran yazar, erken Tersiyer zamanında, metamorfik temel ve ultrabazik masifin doğu-batı yönelimi granodiyorit masifi tarafından kesildiğini, bu sokulumun birkaç aşamada yerleştiğini ve yerleşmesi sırasında çevre kayaları yönlü basınç uygulayarak, metamorfizmaya uğrattığını belirtmiştir.

Sayın ve Yıldız, 1974: Yazarlar nikel ve kroma yönelik yaptıkları bu prospeksiyon çalışmalarında Orhaneli civarında incelemeler yapmışlardır. Peridotitler üzerinde gelişmiş kıvil zonlardan toprak numuneleri almışlardır ve bu örneklerde % 1 oranında nikel değeri tespit etmişlerdir. Aynı amaçla Yapköy dereinden aldıkları örneklerde ise tespit ettikleri nikel değeri % 3.81'dir.

Sayın, 1975: Sayın, Orhaneli ve Tavşanlı yöresinde nikel ve kroma yönelik prospeksiyon çalışmaları yapmıştır. Yapılan analizler sonucu alınan örneklerdeki nikel değerleri saptanmıştır. Yazar cevherleşme için en önemli zonun Yapköy dere olduğunu ve buradaki cevherleşmenin de hidrotermal kökenli olduğunu belirtmiştir.

Okay, 1985: Yazar çalışmasında Kuzeybatı Anadolu'da üç ayrı metamorfik kuşak ortaya koymuştur. Bunlar Karakaya Kompleksi, Tavşanlı Zonu ve Afyon Zonu'dur. Orhaneli Birliği düzenli bir stratigrafi ve belirgin bir mavişist bölgesi gösteren Tavşanlı Zonu kayalarının bir grubudur. Yazar buradaki büyük ofiyolitik kütlelerin yörede çok geniş alanlara yayıldığını ve bunların genel olarak harzburgit ve dünit tipi peridotitlerden oluştuğunu ve küçük birimler halinde gabro kütlelerinin birliğe katıldığını ve seyrek mikrogabro dayklarının peridotitleri kestiğini ifade etmiştir.

Emre, 1986: Yazar çalışmasında Orhaneli ofiyoliti ve as bölümlerini ele alarak öncelikle ofiyolitik kayaç stratigrafisini açıklamış ve bunun ışığında Orhaneli ofiyolitinin stratigrafisini belirtmiştir. Buradaki kayaçların mineralojik ve jeokimyasal özelliklerini ortaya koymuş ve yöreye ait petrolojik yorumlama yapmıştır. Orhaneli ofiyolitinin düşey yükselimle yerleşimi ve sıralanımının söz konusu olduğunu belirtmiştir. Yazar, Orhaneli ofiyolitinin okyanusal kabuk içi bir kristallenme ile meydana geldiğini ve yükselimi sırasında normal dizilimini kaybettiğini ifade etmiştir. Ayrıca çalışmasında yöreye ait yapısal ve ekonomik jeolojiyi de incelemiştir.

Manav, 1996: Küplü dağı (Harmancık) ofiyolit kayalarını inceleyen ve bu kayalardaki manyezit oluşumunun jenetik etüdünü yapan yazar çalışmasında, saha içinde peridotitleri ve ofiyolitik melanjı dayk yada dayk kümeleri halinde kesen doleritlerin; plajioklas ve klinopiroksenden oluşan oldukça basit bir mineral topluluğunca yansıtıldığını, fakat geçirmiş olduğu ikincil olaylarla (deformasyon+ayırışma) bu doleritlerin plajioklaslarının sosuritleştiği (serisit) ve albitleşme gösterdiği ve klinopiroksenlerinin (ojit) ise uralitleşmeler gösterdiğini açıklamıştır. Bu mineraller yanında sfen, opak, klorit, aktinot, epidot (pistaşit) ve zeolit minerallerine rastlanmış, bunun da doleritlerin etkin bir "sipilitleşme" geçirdiğinin göstergesi olduğunu belirtmiştir. Yazar, bu kayaların "Ada yayı toleiti" kimyasında olduklarını ve bir yitim zonu ile kimyası değişmiş manto kısmının kısmi ergimesi sonucu oluşmuş dayklar olduğunu ve günümüzde korunmamış olan okyanusal kabuğun mafik kısmını oluşturan kesimi (okyanus içi ada yayları), besleyen bacalar olduğunu arazi verileri desteği ile de doğrulamıştır. Peridotitlerden alınan krom-spinellerin analizi ile bu peridotitlerin yitim zonu üstündeki manto kesimine ait olabileceğini göstermiştir. Yazar ayrıca, Küplü Dağı ve civar manyezitleri için cevherleşmeyi meydana getiren olayın büyük olasılıkla ofiyolitlerin karbonatlar üzerine tektonik bindirmeli olarak gelip yerleşmesi olduğunu ifade etmiştir.

Örgün, 1992: Örgün yaptığı çalışmada, Topuk – Göynükbelen (Orhaneli-Bursa) yöresi nikel oluşumlarını kökensel olarak incelemiştir. Bu oluşumları ve oluşuma neden olan Göynükbelen granitoyid sokulumu ile sahadaki ultrabazik kayaçları mineralojik ve jeokimyasal açıdan ele alıp değerlendirmiştir. Sahaya ait cevher mineralojisi ve mineral kimyasını da belirtmiştir. Kalk-alkali granitik bir magmanın

ürünü olan ve I-Tipi granitoidlerin mineralojik ve kimyasal özelliklerini sergileyen sokulum ile sahada baskın ultrabazik kayaç tipleri olan, değişik oranlarda serpantinleşmiş dünit ve harzburgitlerin incelenmesiyle elde edilen veriler ışığında, yazar çalışma alanında üç farklı tip nikel oluşumu geliştiğini ortaya koymuştur.

Harris ve Diğerleri, 1994: Yazarlar çalışmalarında Batı Anadolu çarpışma sonrası magmatizmasını ve tektonik yapısını incelemişlerdir. Bugün Tavşanlı ve Sakarya zonları olarak belirtilen iki kıta kenarındaki çarpışmayı takip eden süreçte mavi şist fasiyesindeki metasedimentler içine yerleşen biyotit-hornblend-granodiyorit sokulumlarını çalışmışlardır. Çeşitli analiz teknikleri ile Orhaneli ve Topuk sokulumlarının mineral kimyasını ve termobarometrelerini açıklayıp jeokimyasal karakteristiklerini ortaya koymuşlardır. Yazarlar bu granodiyoritlere ait petrojenez çalışmalarında ise Orhaneli ve Topuk Sokulumlarının Batı Anadolu'da çarpışma sonrası Eosen diyorit ve granodiyoritleri takımının bir parçası oldukları sonucuna ulaşmışlardır. Bölgesel tektonik ve çarpışma sonrası magmatizması çalışmaları ile Orhaneli ve Topuk sokulumlarının benzer kaynak bölgelerden türediğini ifade etmişlerdir.

DPT, 1995: DPT tarafından 1995 yılında yapılan bu çalışmada genel olarak olivinin tanımı ve sınıflandırılması yapılmış, olivinin tüketim alanları ile tüketim miktar ve değerleri, dünyadaki ve ülkemizdeki mevcut rezervler ile verilmiştir. Olivinin üretimi, yöntemi ve teknolojisi ile dünyada bu konuda söz sahibi kuruluşlar ve belirledikleri çeşitli standartlar yine bu çalışmada üzerinde durulan bir başka konudur.

Yousefi, 1998: Yazar çalışmasında, Dağardı kuzey kesimi (Harmancık-Bursa) Bölgesi ofiyolitlerinin mineralojik ve petrografik özelliklerini incelemiş, peridotitler ve ofiyolitli melanj içerisinde yer alan dolerit daykların geçirmiş olduğu ikincil olaylara bağlı değişimleri açıklamıştır. Dolerit dayk örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçlarını diyagramlara yerleştirdiğinde, bu daykların oluştuğu ortamın tipik Ada Yayılı Toleit Bazalt bileşiminde oldukları ve bir yitim zonunda kimyası değişmiş manto kısmının kısmi ergimesi neticesinde oluştuklarını belirlemiştir. Peridotit kayaçlardan yapılan jeokimyasal analiz verilerine göre bunları meydana getiren magmanın kökeninin pirolit magması olduğunu ortaya koymuştur. Yazar verileri diyagramlarla destekleyip yorumladığında, ultrabazik kayaçların ultramafik tektonit alanında yer aldıklarını ortaya koymuştur.

Örgün, 1998: Yazar çalışmasında Orhaneli ultrabazik kayalar ile Göynükbelen granitoid sokulumu arasındaki kontaklarda gelişen nikelli klorit zonlarını fiziksel, mineralojik ve kimyasal açıdan tanıtarak, nikel içeriği yüksek kloritlerin klinoklor-pennit arası kimyasal yapı sergileyen bir tür klorit olduğunu belirtmiştir. Yazar, oluşumların sokulumdan kaynaklanan Ni içeriği yüksek hidrotermal çözeltilerle taşınan Ni+2'nin yer değiştirme mekanizmasıyla, kloritlerin mikro çatlak ve klivaj yüzeylerini kullanarak pulcukların yapısına girdiğini belirtmiştir.

Ağrılı ve Diğerleri, 2001: Yazarlar çalışmalarında Bursa-Orhaneli, Kütahya-Tavşanlı yörelerinde olivin aramaları yapmışlar ve bu yörelerin prospeksiyon raporlarını sunmuşlardır. Çalışmada olivinlerin jeolojik rezervleri, kimyasal karakteristikleri, yatakların özellikleri ve arama yöntemleri ortaya konmuştur. Bölgesel jeoloji belirtilmiş ve olivinin ekonomik kullanımı üzerinde durulmuştur.

Zedef ve Döyen, 2001: Yazarlar bu çalışmalarında Kızıldağ (Akseki-Antalya) olivinlerinin jeolojik özellikleri ve ekonomik potansiyelini incelemişlerdir. Yörenin jeolojisi ile birlikte buradaki olivinlerin mineralojik ve kimyasal bileşimini ülkemizden ve dünyanın çeşitli ülkelerinden örneklerle karşılaştırmalı olarak belirtmişlerdir. Buradaki olivinlerin ekonomik kullanım alanlarını belirtmişlerdir.

Parlak ve Diğerleri, 2002: Yazarlar çalışmalarında, ultrabazik kümülatların yüksek basınç kristal fraksiyonlaşmasına bir örnek olarak Pozantı-Karsantı ofiyolitini incelemişlerdir. Ofiyolitinin jeolojisini ortaya koymuşlar ve çeşitli kimyasal analiz yöntemleri ile jeokimyasal yorumlar yapmışlardır. Tüm kaya çalışmaları ve mineral kimyası incelemelerinde bulunmuşlardır. Verileri çeşitli diyagramlara uygulayarak ofiyolitinin tektonik konumunu ortaya koymuşlar ve magma döngüsü modelini belirtmişlerdir.

Bacak, 2003: Yazar çalışmasında Dağardı Güneyi (Tavşanlı-Kütahya) ofiyoliti'ni mineralojik, petrografik ve petrojenetik olarak incelemiştir. Mineralojik ve petrografik incelemeler sonucu ultrabazik birim, ofiyolitik melanj, Eğrigöz Graniti ve Eğrigöz Metamorfikleri' ne ait kayalar mineralojik, petrografik ve dokusal özellikleri açısından sınıflandırılmıştır. Ultrabazik birim içerisinde serpantinleşmiş tektonik harzburgitler, serpantinleşmiş dünitler, serpantinlitler, dolaritler ve splitik diyabazlar; ofiyolitik melanj içerisinde değişik şist türleri, bazik lavlar, diyabazlar ve diyabaz, kireçtaşı blokları yer almaktadır. Yazar, ofiyolitik kayaların, splitik

diyabazların ve metadiyabazların mineralojik, petrografik, jeokimyasal ve saha özellikleri açısından okyanus ortası sırt ortamı özelliği gösterdiklerini ortaya koymuş, krom örneklerinin genelde ferrik kromit tipinde olduklarını belirtmiştir.

Örgün ve Gültekin, 2003: Yazarlar, ŞE-TAT Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. adına hazırladıkları raporda, Bursa – Orhaneli yöresindeki ultrabazik kayaçların olivin içerik ve dağılımlarını incelemişlerdir. Ruhsat alanı jeolojisi ile birlikte kayaç örneklerinin mineralojik ve kimyasal özelliklerini ortaya koymuşlardır. Çeşitli sondaj örneklerinden elde edilen veriler ışığında olivin dağılım logları ve rezerv hesaplamaları yapmışlardır.

Örgün ve Gültekin, 2003: Örgün bu çalışmasında Topuk-Göynükbelen (Bursa-Orhaneli) yöresi nikel oluşumlarını kökensel olarak incelemiş ve yöreye ait litostratigrafi ve petrografi çalışmasında sahadaki ultrabazik kayaçları da mineralojik, kimyasal ve saha gözlemleri ile ortaya koymuştur.

Örgün ve Diğerleri, 2004: Yaptıkları bu çalışmada yazarlar Orhaneli yöresi dünitlerinin mineralojik ve jeokimyasal karakteristiklerine ve bu dünitlerin olivin açısından önemine dikkat çekmişlerdir. Yörenin jeolojisi ve alınan örneklerden yapılan optik ve kimyasal çalışmalar ile kayaçlardaki olivinin ekonomik önemi ortaya konmuştur.

2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİK KONUMU

2.1. Bölgesel Jeoloji

Bölge Tavşanlı Zonu içerisinde yer almaktadır. Tavşanlı Zonu, güneye doğru temelde, 2 km'nin üzerinde bir kalınlıkta, mavi şist fasiyesinde metamorfize olmuş klastik-kireçtaşı serisinden oluşmuş (Okay ve Tüysüz, 1999), yüksek basınç-düşük sıcaklık metamorfizma koşullarında dalma-batmaya maruz kalmış pasif bir kıta kenarıdır (Okay ve Kelley, 1994; Sherlock ve Diğ., 1999).

Okay (1985) yaptığı çalışmada, Orhaneli ve kuzeyindeki birimleri içine alan Tavşanlı Zonu'nu oluşturan kayaçları Ovacık Birliği ve Orhaneli Birliği olmak üzere ikiye ayırmıştır. Orhaneli Birliği'nin mavi şist bölgesel metamorfizması gösterdiğini ve Tetis Okyanusu'nun kalıntıları olarak değerlendirdiği büyük ofiyolit kütlelerinin bölgede geniş alanlar kapladığını ifade etmiştir.

MTA bölgede yaptığı çalışmada (Ağrılı ve Diğerleri, 2001) kayaçları yaşlıdan gence doğru: Paleozoyik yaşlı çeşitli şist, kalkışist ve mermerlerden oluşan metamorfik seri, Üst Kretase yaşlı altta dünit üste doğru verlit, piroksenit, dünit ardalanmalı ve üstte verlit ve piroksenit ardalanmalı ofiyolitik kayaçlar, esas bileşenini granodiyoritin oluşturduğu, aplitik ve pegmatitik damarların da gözleendiği Göynükbelen Granodiyoriti, iyi pekişmemiş kumtaşı, çakıltasından oluşmuş Burmu Formasyonu ve volkanizma yaşı Pliyosen öncesi olarak belirlenen, andezit, dasitten oluşan volkanik kayaçlar ve Kuvarterner örtü şeklinde belirlemişlerdir.

Bu çalışmada da bölgedeki kayaçlar yaşlıdan gence doğru: Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı metamorfik birimler, Üst Kretase-Paleosen yaşlı ultrabazik – bazik birimler, Orta Eosen yaşlı granitoyid sokulumu, Neojen yaşlı tortul birim şeklinde sıralanmaktadır.

Emre (1986) tarafından yapılan çalışmada bölgedeki ultrabazik-bazik kayaç topluluğunu eksikli bir ofiyolit istifi olarak değerlendirip Orhaneli Ofiyoliti adı altında incelenmiştir.

2.2. Çalışma Alanının Jeolojisi

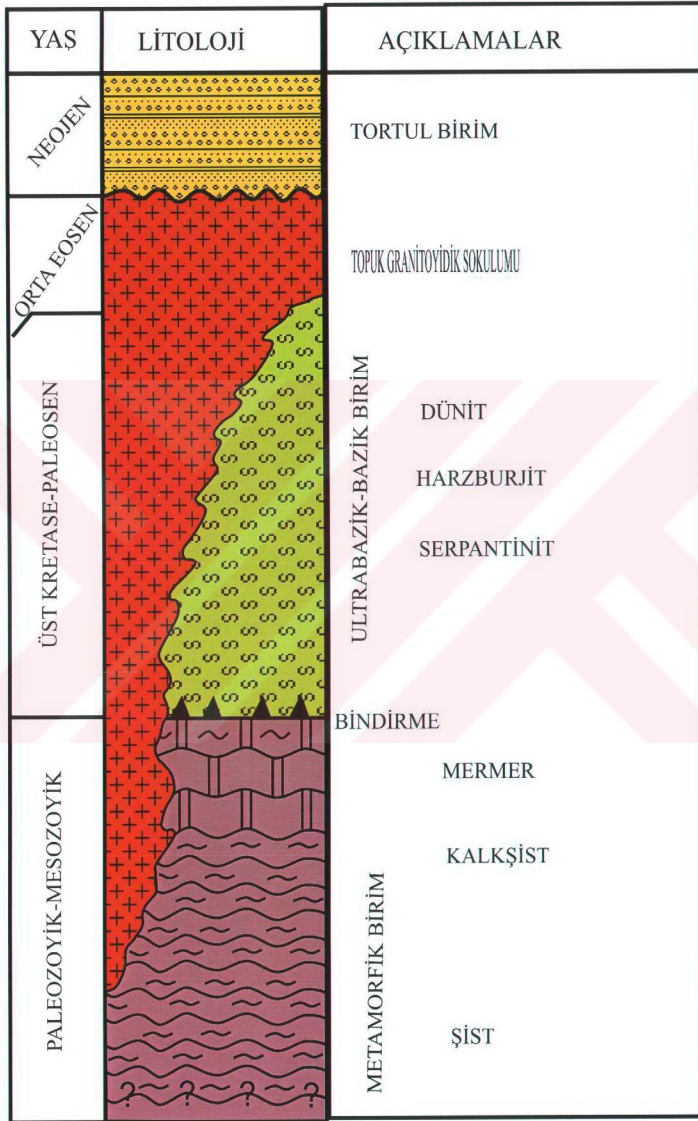
2.1.'de genel hatlarıyla açıklanan birimlerden çalışma alanı sınırları içerisinde kalanlar, aşağıda saha gözlemleri ile birlikte ele alınmış ve tanımlanmıştır. İzmir-Erzincan kenet çizgisinin güneyinde bulunan Tavşanlı zonu içerisinde yer alan çalışma alanında birimler yaşlıdan gence doğru: Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı metamorfik birimler, Üst Kretase-Paleosen yaşlı ultrabazik – bazik birimler, Orta Eosen yaşlı granitoid sokulumu, Neojen yaşlı tortul birim şeklinde sıralanmaktadır (EK A, EK B ve Şekil 2.1). Sahadaki birimler yaşlıdan gence doğru aşağıda açıklanmıştır:

2.2.1. Metamorfik Birimler

Metamorfik birimler çalışma alanının güneydoğusunda yer almaktadır. Çalışma alanının temel kayaçlarını oluşturan Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı bu birim, genel olarak çeşitli şist, kalkışt ve mermerlerden oluşmuş bir seridir. Sahada gri, grimsi yeşil, grimsi mavi gözlenen birim, aşırı kırıklı yapısı ile dikkat çekmektedir. Bu metamorfik birim içerisinde bölgenin güneydoğusunda Çatalca Tepe ve civarında gözlenen Paleozoyik yaşlı Çatalca Mermeri literatürde önemli bir yere sahiptir. Çalışma sahasının güneydoğusunda yer alan metamorfiklere ait bir görüntü Şekil 2.2.'de verilmiştir.



Şekil 2.2: Sahanın güneydoğusundan metamorfiklere ait bir görüntü.



Şekil 2.1: Çalışma alanının genelleştirilmiş dikme kesiti (ölçeksizdir).

2.2.2. Ultrabazik – Bazik Birimler

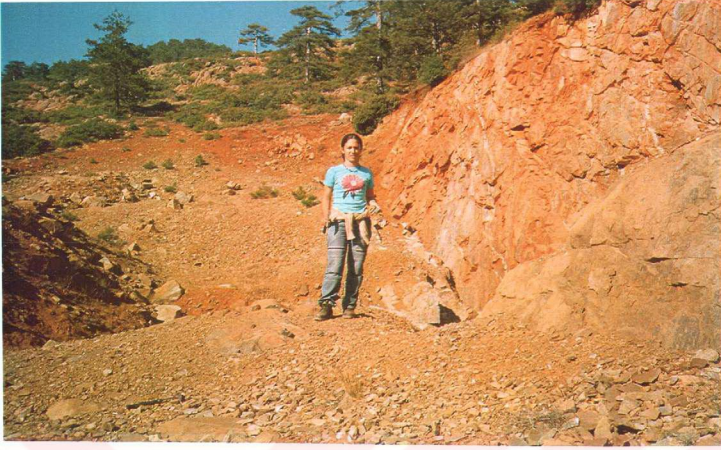
Çalışma alanında en geniş yüzey alanını kaplayan ultrabazik-bazik masif Üst Kretase-Paleosen yaşlıdır. Bu masif Pontidler ve Anatolidleri birbirinden ayıran Tetis Okyanusu'nun Kuzeybatı Anadolu'daki kalıntı kütlelerinden birisidir (**Lisenbee, 1971 ve 1972**). Bölüm 3'te mineralojik ve jeokimyasal karakteristikleri detaylı şekilde tanımlanan birim kendi içerisinde dünitler, harzburgitler ve bunların çeşitli derecelerde serpantinleşmeleriyle oluşmuş serpantinitler olmak üzere üç alt birime ayrılarak ele alınmıştır.

2.2.2.1. Dünit

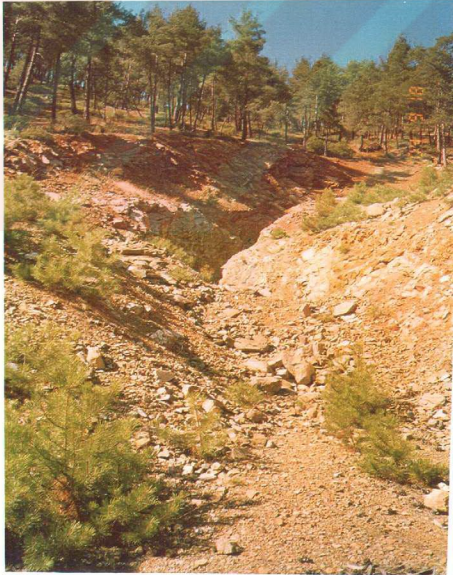
Çalışmanın konusunu oluşturan Orhaneli olivinlerinin endüstriyel açıdan değerlendirilmesine yönelik olarak dünitler, sahada bu olivinlerin eldesinin sağlandığı ana kayac topluluğudur. Çalışma alanında sarımsı kahverengi, kızılımsı kahverenginde gözlenmekte, taze yüzeylerinde sarımsı yeşilimsi, yeşil, koyu yeşil renklerinde görülmektedir. Birim Topuk Köyü'nün kuzey, güney ve güneybatısında Topuk granitoyidik sokulumu tarafından kesilmiş olup, sokulumla olan kontakları yoğun şekilde serpantinleşmiştir. Serpantinleşmeyle birlikte yer yer damarlar halinde manyezit oluşumları gözlenmektedir.

Dünitler gerek sahada allokton bir kütle olması gerekse Topuk granitoyidik sokulumu tarafından kesilmiş olması sebebiyle sahada yoğun şekilde kırıklı, çatlaklı ve faylı bir yapıda gözlenmektedir (Şekil 2.3).

Çalışma alanında serpantinleşme yer yer % 100'e varan oranlarda olmak üzere oldukça yaygındır. Serpantinleşmenin yoğun olduğu yerlerde birim oldukça kolay ayrışıp ufalanan (Şekil 2.4) yapıda buna karşılık alterasyonun fazla görülmediği alanlarda daha dayanıklı, sert, köşeli kırılma yüzeylerine sahip dirençli bir yapı göstermektedir. Dünitlerin farklı dane boylarına sahip çeşitli türleri sahada makro örneklerde gözle ayırt edilebilir şekildedir. Birim, rengi, bol çatlaklı ezikli yapısı, yaygın serpantinleşme ve kızıl-kahve gelişmiş toprağımsı yapısı ile saha harzburgitlerden ayırt edilmektedir. Birim içerisinde özellikle güney kesimlerde piroksenit ve diyorit-gabro damarları gözlenmektedir.



Şekil 2.3: Sahada gözlenen yoğun ezikli-kırıklı dünitlere ait bir görüntü.



Şekil 2.4: Yüksek oranda serpantinleşmenin görüldüğü dünitlere örnekler.

Sahanın olivin üretiminde en önemli kaynak noktası çalışma alanının güneydoğusunda yer alan Gölcükboğazı Tepe'dir. Olivinin yanı sıra çalışma alanındaki dünitlerden kromit üretimi de yapılmaktadır.

2.2.2.2. Harzburjit

Genel olarak çalışma alanının batısında gözlenen birim dünitlere oranla daha koyu yeşil, siyah-yeşil renklerde, daha az serpantinleşmeye uğramış ve daha az kırıklı-çatlaklı gözlenmektedir. Serpantinleşme bantları ve kromit bantlaşmaları dünitlere göre daha azdır.

Harzburjitler renkleri, ışıktaki taze piroksen kristallerinin parıltması ve daha az gözlenen alterasyonla dünitlerden ayırt edilebilmektedir. Birim, kontaklarda olivin oranındaki artışla dereceli olarak dünitlere geçiş göstermektedir.

2.2.2.3. Serpantinit

Sahada yaygın olan değişik derecelerdeki serpantinleşmeyle birlikte çalışma alanının güney kesiminde ve Topuk granitik sokulumu ve dünit kontaklarında serpantinitler gelişmiştir. Değişik oranlarda gelişen serpantinleşme birimin diğer birimlerle olan dokanaklarında düzensizliği beraberinde getirmiştir. Birim yeşil, yer yer koyu yeşil, grimsi yeşil renklerde gözlenmektedir.

Serpantinleşmenin yaygınlığı olivinin endüstriyel açıdan kullanımına yönelik değerlendirmede oldukça olumsuz bir parametredir. Sahada yaygın olarak gözlenen serpantin grubu minerali krizotildir. Krizotile yer yer daha az miktarda lizardit eşlik etmektedir. Özellikle ince kesit örneklerinde serpantinleşme ve buna bağlı olarak gelişen elek doku sahada bazen gözle görülecek boyuta da ulaşmıştır (Şekil 2.5).

Serpantinitlerin ileri derecede makaslandığı kesimlerde talklaşma, silisleşme, karbonatlaşma ve kloritleşme gibi ikincil oluşumlar da meydana gelmiştir. Bu oluşumlardan silisleşme, EK A'da verilen çalışma alanının jeoloji haritasında görüleceği gibi, sahanın batısında Kızılduruk Tepe civarında oldukça yaygındır. Silisifiye zonlar serpantinleşme ile iç içe giriftir bir yapı sergilediğinden serpantinleşmiş zonlardan kesin sınırlarla ayrılamamıştır; haritada olası sınırlarla işaretlenmiş ve alterasyon zonu ismi altında belirtilmiştir.



Şekil 2.5: Sahada dünit örneğinde serpantinleşmeye bağlı olarak gözlenen elek dokuya bir örnek.

2.2.3. Topuk Granitoyidik Sokulumu

Çalışma alanının kuzeydoğusu ve doğusunda geniş bir alan kaplayan Eosen (48-52 Milyon yıl) (Okay ve Diğ., 1996) yaşlı Topuk granitoyidik sokulumu Orta Eosen’de metamorfik temeli ve ultrabazik-bazik kayaç birimlerini keserek bugünkü konumunu almıştır. Sahada birim grimsi, açık gri, sarımsı beyaz renklerde gözlenmektedir. Topuk granitoyidik sokulumu Kuzeybatı Anadolu’daki I-tipi sokulumlardan biridir ve kuvars diyorit, tonalit, granodiyorit ve adamellite doğru mineralojik ve kimyasal bir farklılık sergilemektedir (Örgün ve Aykol, 1997). Sokulum kendi magmasının geç ürünleri olan aplit ve pegmatit damarları tarafından sıkça kesilmiştir; sokulumda anklav ve eksfoliasyon olayları da oldukça yaygındır. Yüzeyde ileri derecede arenalaşmış olan sokulum, ultrabazik ve metamorfik birimlerle olan dokanaklarında kompleks zonlar oluşturmuştur. Erozyonla açığa çıkmış bu kütlelerin güney kontaklarında hidrotermal kökenli çeşitli nikel, demir, bakır ve manganez cevher mineralleri saptanmıştır. Dokanaklarda klorit, epidot ve gröna tipik mineraller olarak izlenmektedir (Örgün, 1992). Örgün ve Aykol (1997), yaptıkları kimyasal incelemeler ile sokulumun alt birimlerinde iz elementlerin sergilediği dağılımın, çarpışma sonrası granitoyidlerin sergilediği özelliklerle uyumlu olduğunu ortaya

koymuşlardır. Sokulum güneyden ve batıdan ultrabazik kayalarla kontak yapmıştır. Özellikle sokulumun güney sınırı boyunca dünitlerle olan kontaklarında serpentinit zonu gelişmiştir. Ultrabazik kayalar serpantinleşmiş ve bazı yerlerde talk, asbest ve manyezit oluşumları meydana gelmiştir. Ayrıca çalışma alanında bazı yerlerde Topuk granitoidik sokulumuna ait apofizler küçük bloklar halinde gözlenmektedir.

2.2.4. Tortul Birim

Neojen yaşlı birim çalışma alanının güneybatısında ultrabazik kayalar üzerinde uzanan ince bir hat şeklindedir. Bu birim içerisinde bazik-ultrabazik birime ve Topuk granitik sokulumuna ait kayaç parçacıkları ve ultrabazik kayaların ayrışım ürünlerine ait konglomeralar yer almaktadır.

2.3. Çalışma Alanının Tektonik Konumu

Süturlar eski levhaların sınırlarını temsil ederler. İki kıtasal levhanın ideal çarpışma durumunda suture, kabuğun kırılma (gevrek) sismojenik kısmında bir büyük fay veya fay zonu ve alt kabuk ile litosferik mantoda bir makaslama zonu olarak açığa çıkmaktadır. Çalışma alanı Türkiye'nin iki ana Tetis suturelarından birisi olan İzmir - Ankara - Erzincan sutureunda yer almaktadır. Bu suture Tetis okyanusal litosferin kuzeye doğru dalma-batmasını takiben Erken Tersiyer'de kıtasal çarpışmalar süresince oluşmuştur.

Batı Anadolu, birbirinden stratigrafik, yapısal ve metamorfik özellikleri ile ayrılan, Erken Tersiyer'de araya giren Tetis okyanusal litosferlerini yok eden kuzeye dalımlı dalma-batma zonlarını takiben, Alpin Orojenezi süresince kıta-kıta çarpışmalarıyla bir araya gelen farklı kıtasal parçalardan oluşmaktadır (**Şengör ve Yılmaz, 1981; Okay, 1989**). Batı Anadolu Anatolid-Torid platformu'nda belirli birimlerin sınırlarını ana faylar belirlemektedir. İzmir-Ankara suture Zonu ve Tavşanlı Zonu bu açıdan oldukça önemlidir (Şekil 2.6). Çalışma alanı oldukça karmaşık bir tektonik yapıya sahiptir ve daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi Tavşanlı Zonu içerisinde yer almaktadır. Orhaneli bölgesinde suture zonu tek bir fay düzleminde genişliği maksimum 3.5 km olan bir tektonik melanj zonuna kadar değişen dar, iyi tanımlanmış bir süreksizlik olarak açığa çıkmaktadır (Okay ve Diğ., 1996). Tavşanlı Zonu, düşük sıcaklıklarda yüksek basınç metamorfizması ile sonuçlanan bir pasif kıtasal kenar serisidir (**Sherlock ve Diğerleri, 1999**). Tavşanlı Zonu yapılan

çalışmalarda Eosen Granodiyoritleri, Kretase Peridotit birim, Kretase volkanosedimanter birim ve mavi şist aralanması şeklinde tanımlanmıştır (**Okay ve Diğ., 1996**). Harris ve Diğerleri (1994) sırasıyla çalışma alanının içinde ve güneyinde yüzeyleyen Eosen Orhaneli ve Topuk granodiyoritlerinin (48-52 Milyon yıl) benzer kaynak bölgelerden, aktif kıtasal kenarlarda oluşmuş orta bileşimli magmalardan türediklerini ortaya koymuştur. Plajioklas, kuvars, biyotit, alkali feldspat ve hornblend ile karakterize edilen bu granodiyoritler % 63-69 silis içerikleri ile aynı metalminus bileşimlidirler (**Okay ve Diğ., 1996**). Mavi şistler bu granodiyorit plutonları tarafından kesilmiştir (**Okay ve Diğ., 1996**). Mavi şistler Tetis Okyanusu'nun parçaları olan birimler tarafından tektonik olarak zerlenmiştir. Bu birimler aşağıdan yukarıya doğru; volkanosedimanter kompleks, amfibolit metamorfik taban ve Burhan peridotit dilimini içermektedir.

Okay (1984), Kuzey Anadolu'da mavi şist fasiyeslerine ait birliklerin, Jura ve Erken Kretase süresince Neo-Tetis okyanusunu karşılayan Torid levhasının kuzey pasif kıtasal kenarında, Tavşanlı Zonu'nda, açığa ıkığını belirtmiştir. Orhaneli sahasındaki mavi şistler akreksiyonel bir kompleks ve kalın bir peridotit dilimi tarafından tektonik olarak zerlenmiş metamorfize klastik-kireçtaşı aralanması oluşturmaktadır. Mavi şistlerin tabanı açığa çıkmamıştır. Mavi şistler kuvvetlice deforme olmuş ve iyi gelişmiş foliasyon, izoklinal kıvrımlanma ve doğu-batı yönelimli mineral lineasyonu göstermektedirler (**Okay ve Diğ.,1998**). Metapelitler tipik mavi şist fasiyesi mineralleri olan jadeit, glukofan ve lavsonit içermektedirler (**Okay ve Tüysüz, 1999**). Okay ve Kelley (1994), yaptıkları çalışmada yüksek basınç dştik sıcaklık metamorfizmasının 20 ± 2 kbar ve $430\pm30^{\circ}\text{C}$ koşullarında gerçekleştiğini ortaya koymuşlardır.

Bölgede geniş alanlar kaplayan ultrabazik-bazik birim Kretase süresince allokton bir kütle olarak bölgeye yerleşmiştir. Çalışma alanı içerisinde Orhaneli ultrabazik masifi olarak adlandırılan birim, gerek yerleşimi sırasında, gerekse de daha sonradan bölgeye yerleşen Eosen sokulumları tarafından olduğa tahrip edilmiş, bol ezikli, kırıklı, çatlaklı, faylı bir yapı kazanmıştır (**rgn,1992**). Kk lekli faylar arazide çeşitli yerlerde mevcuttur. Sahada yer alan en büyük kırık zonu, doğu-batı doğrultulu ters fay olup, çalışma alanının kuzeyinde ultrabazik birim ile metamorfik birimin sınırını belirlemektedir (**rgn, 1992**). Ultrabazik-bazik masifin çevresinde farklı eğimlere sahip çeşitli bindirmelerin varlığı belirlenmiştir. Bindirmenin

yerleşim yönü ve şekli tipik olarak, Orhaneli güneyi Maraşatlar Köyü çevresinde izlenmektedir (Emre, 1986). Orhaneli kuzeyinde, Deliballar çevresinde ise ultrabazik kütlelerinin güney kesiminde, Maraşatlar'da izlenen bindirme ile uyumsuz saha verileri gözlenmiştir (Emre, 1986). Emre (1986), metamorfitleerin yapısal konumlarının da yerleşme tektoniğine bağlı olduğunu ve ofiyolit kütlelerinin kuzey kesiminde görülen bindirme düzleminin yersel yön değiştirmesinin ise granodiyorit sokulumu ve yükselimi ile meydana geldiğini belirtmiştir. Bölgede sıkışma ve sokulumların yerleşmesi ile faylanma oldukça gelişmiştir. Kuzey-güney yönlü sıkıştırma kuvvetleri KD-GB uzanımlı ve doğrultu atımlı fayları oluşturmaktadır. Orhaneli güneyinde ve kuzeyinde karasal çökellerde ise Neotektonik döneme ait, çökeltme havzasının yapısına bağlı, simetrik olmayan ve yer yer kırıklı kıvrımlar mevcuttur (Lisenbee, 1971; Emre, 1986).

Bölgenin maruz kaldığı tüm bu makro ve mikro ölçekli tektonik olaylar, bu çalışmanın konusu olan olivinlerin endüstriyel kullanımını belirleyen dane boyu ve serpantinleşme derecelerini, dolayısıyla ateş zayılatı parametresini, olumsuz yönde oldukça fazla etkilemiştir.



Şekil 2.6: Ana kıtasal blok ve tektonik zonları gösterir Orta ve Batı Anadolu tektonik haritası (Okay, 1996).

3. ÇALIŞMA ALANINDAKİ ULTRABAZİK KAYAÇLARIN MİNERALojİK VE JEOKİMYASAL KARAKTERİSTİKLERİ

3.1. Ultrabazik Kayaçların Mineralojik Karakteristikleri

Çalışma alanı içerisinde yer alan ultrabazik kayaçlar başlıca üç gruba ayrılmaktadırlar. Bunlar: Çalışma alanının batısı ve güneyinden Topuk granitoyidik sokulumu ile dokanak halindeki dünitler, sahanın batısı ve güneydoğusunda yer alan harzburjitler ile arazinin farklı kısımlarında dünitlerin ve harzburjitlerin serpantinleşmeleriyle oluşmuş serpantinitlerdir.

Bu bölümde çalışma alanından alınan ultrabazik kayaçlara ait yüzey ve ŞE-TAT Madencilik tarafından yapılan sondaj karotlarından alınan sondaj örneklerinden İTÜ ince kesit atölyesinde yaptırılan 120 adet ince kesit örneğinin polarizan mikroskop sonuçları verilmiştir.

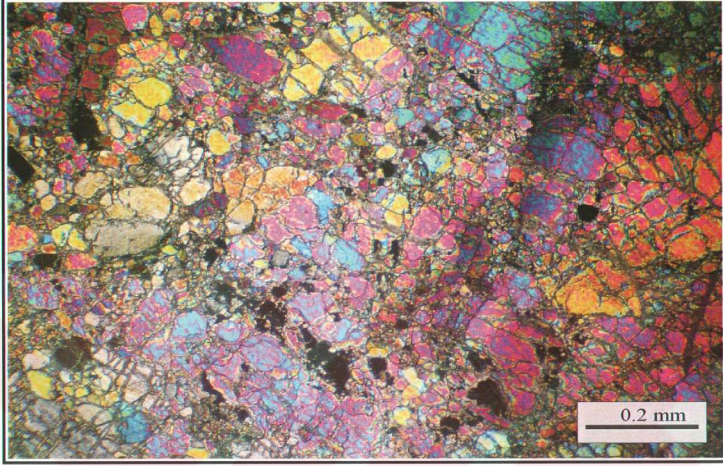
3.1.1. Dünit

Dünit, kaba taneli veya faneritik bir doku gösteren, ultrabazik bileşimli bir magmatik (plütonik) kayaçtır. Mineral birliği tipik olarak % 90'dan daha fazla olivin ile az miktarda piroksen ve kromittir. Dünitler mantodan türemiş peridotit grubunun olivince zengin uç üyesidir. Dünitlerin ve diğer peridotitik kayaçların yer mantosunu temsil ettiği kabul edilir. Ancak, dünitler kıtasal kabuk içerisinde nadiren bulunur. Dünitlerin bulundukları yerler tipik olarak ofiyolitik istiflerin taban kısımlarını oluşturur ve bu istif bir dalma-batma zonunda kıta ya da ada yayı çarpışması sırasında bindirme ile kıtasal kabuk içerisine itilmiştir.

Olivinin ana kaynak kayası olan dünitler sahada iki farklı renkte izlenir. Bunlar: sarımsı yeşil renkte ince-orta kristal boyutlu dünitler ve kızılımsı kahverengi-siyah renkli ve iri kristal boylu dünitlerdir.

Mikroskop çalışmalarından elde edilen sonuçlar, çalışma alanında bulunan taze dünitlerin ortalama olarak % 90'dan daha fazla olivin, % 1-4 serpantin, % 1-3 opak

mineraller (kromit, manyetit, pirit), % 1'den az piroksen ve % 1-2 oranında manyezit, talk, kalsit ve klorit gibi ikincil ayrışım ürünü minerallerden meydana geldiğini ortaya koymuştur. Şekil 3.1'de sahadaki dünitlerin genel mineralojik bileşimini gösteren bir ince kesit görüntüsü verilmiştir.

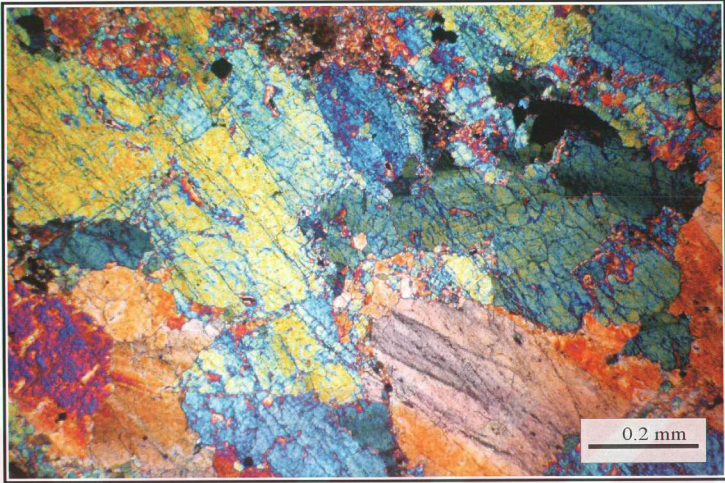


Şekil 3.1: Dünitlere ait genel bir mikroskop görüntüsü (Çift Nikol).

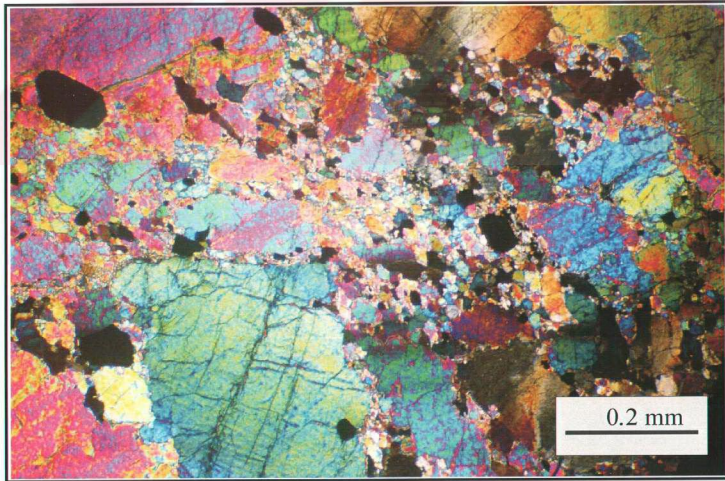
3.1.1.1. Olivin

Yapılan optik çalışmalarda olivinlerin genellikle yarı öz, öz şekilli birincil daneler halinde bulunduğu saptanmıştır. Olivin kristalleri, mikroskopta I. mertebenin gri renginden IV. mertebenin sarı, mavi, kırmızı, mora kadar değişik renklerde gözlenmektedir. İnce kesitlerdeki olivin danelerinde dikkat çeken bir özellik saha gözlemlerinde de tespit edilen farklı dane boylarındaki kristallerin belirginliğidir. Şekil 3.2, 3.3 ve 3.4'te çalışma alanındaki dünitlerde gözlenen farklı dane boylu olivin kristalleri görülmektedir. Genelde dane boyu 0,5 mm ile 1 cm arasında değişmektedir ve bu da Orhaneli olivinlerinin sanayide kullanımına artı bir avantaj sağlamaktadır.

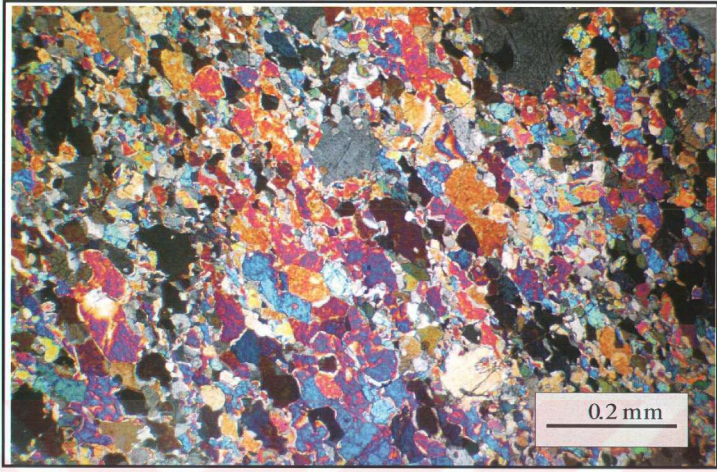
Sahada tektonizmanın etkisi sonucu gelişen deformasyonlar ince kesitlerde net biçimde gözlenmektedir (Şekil 3.5). Deformasyon olivin kristallerine bol miktarda kırıklı, çatlaklı, ezikli yapı kazandırmıştır. Olivinlerde bu kırık ve çatlaklar ile kenarlardan itibaren farklı oranlarda serpantinleşmeler gelişmiştir (Şekil 3.6).



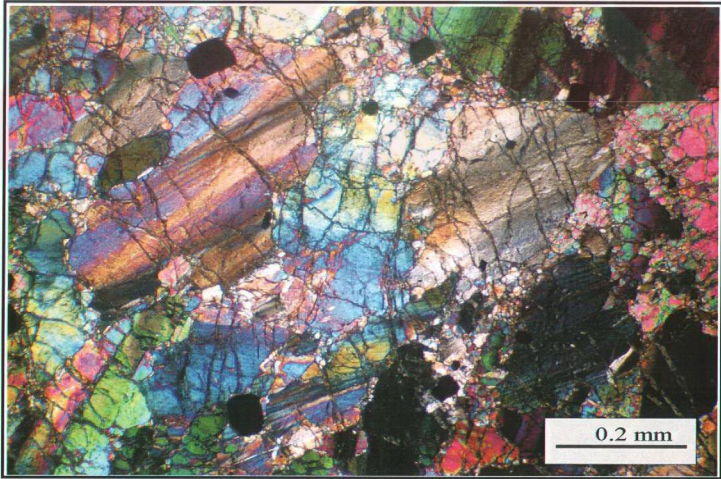
Şekil 3.2: İri tane boyutlu olivin kristalleri (Çift Nikol).



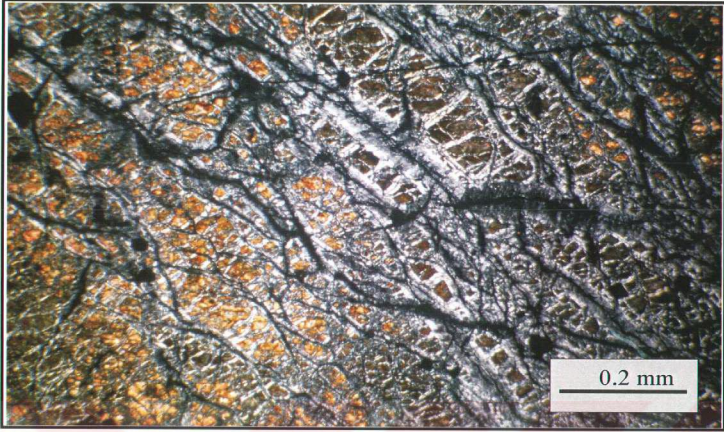
Şekil 3.3: Orta-iri tane boyutlu olivin kristalleri (Çift Nikol).



Şekil 3.4: İnce tane boyutlu olivin kristalleri (Çift Nikol).



Şekil 3.5: Olivin kristallerinde görülen deformasyon lamelleri (Çift Nikol).



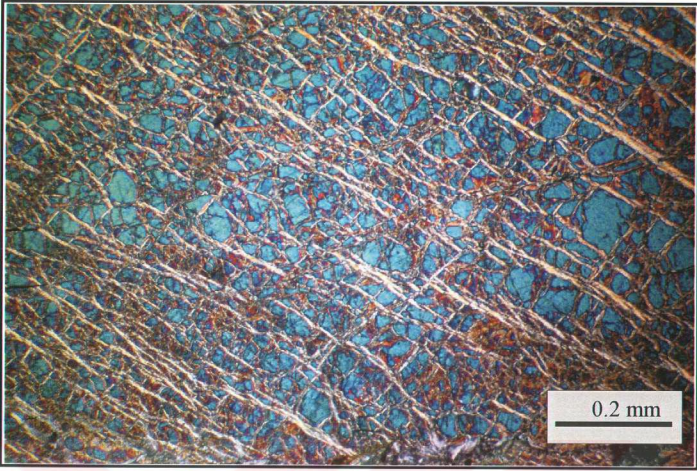
Şekil 3.6: Olivin danelerinin serpantinleşmesine ait bir görüntü (Çift Nikol).

3.1.1.2. Piroksen

Dünit birimi içerisinde piroksene çok az miktarda rastlanmıştır. Bununla birlikte ayırtlanabilen piroksen danelerinin olivin danelerine göre daha iri boyutlu olduğu, belirgin dilinimli yapı sergiledikleri ve genelde tek nikolde renksiz, uçuk sarı renk verdikleri ve rölyeflerinin yüksek olduğu gözlenmiştir.

3.1.1.3. Serpantin Mineralleri

Saha genelinde dünitlerde serpantinleşme son derece heterojen olup, serpantinleşme derecesi % 1'den yer yer % 100'e kadar çıkmaktadır. Olivin kristallerinin kırık, çatlak ve kenarlarından itibaren gelişen serpantinler, ince kesitlerde kalınlıkları ve uzunlukları değişen damarlar-damarcıklar ya da birbirini keserek elek dokusu oluşturan ağ yapısında gözlenmiştir. Dünitlerde gelişen elek dokusuna ait bir mikroskop görüntüsü Şekil 3.7'de, serpantin damarlarına ait bir görüntü de Şekil 3.8'de verilmiştir. Bölüm 6'da detaylı olarak verilen X-Işını analizlerinden elde edilen sonuçlar göstermişlerdir ki dünitlerde gelişen serpantinler lizardit ve klinokrizotil bileşimindedir.



Şekil 3.7: Serpantinleşme sonucu gözlenen elek doku görüntüsü (Çift Nikol)



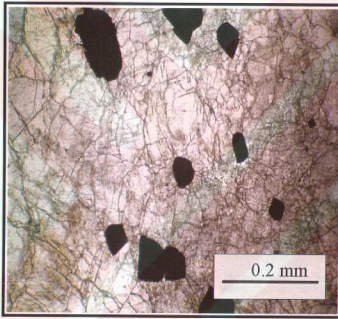
Şekil 3.8: Serpantinleşme sonucu oluşmuş krizotil damarı (Çift Nikol).

3.1.1.4. Opak mineraller

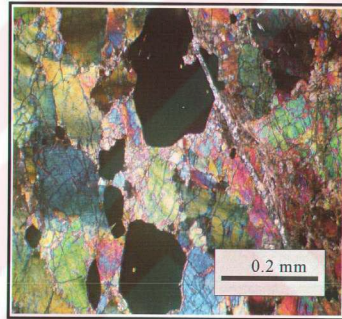
İnce kesitlerde dünitler içerisinde bol miktarda opak mineral olduğu gözlenmiştir. Bunlar başlıca kromit, manyetit, pirit ve kalkopiritir. Kromit dünitler içerisinde en

çok rastlanan opak mineraldir. Sahada işletilmiş veya halen işletilmekte olan krom ocaklarının büyük bir çoğunluğu da dünit biriminin içerisinde yer almaktadır.

Çalışma alanındaki dünitler içerisinde kromit minerali değişen oranlarda hemen hemen bütün dünit örneklerinde tespit edilmiştir. Kromiti diğer opak minerallerden ayıran en karakteristik özelliği kenarlarının genelde yuvarlak hatlı oluşudur. Mikroskobik incelemelerde kromit danelerinin de tektonizmanın etkisine uğradığı ve buna bağlı olarak kırılıp parçalandığı görülmüştür. İnce kesit örneklerinden ve sahada boyutları birkaç cm.'den birkaç m.'ye değişen damar veya damarcıklar şeklinde izlenen kromit oluşumları mikroskopta genelde yuvarlağımsı kenarlı bağımsız daneler halinde izlenmiştir. Şekil 3.9 ve 3.10'da dünitler içerisinde gözlenen kromitlere ait mikroskop görüntüleri verilmiştir.



Şekil 3.9: Tek nikolde gözlenen kromit daneleri (Tek Nikol).



Şekil 3.10: Olivin kristallerine eşlik eden iri kromit daneleri (Çift Nikol).

3.1.2. Harzburgit

Peridot grubunun en yaygın kayaçları olan harzburgitler, esasen olivin (% >75) + enstatit (% 20) ve az miktarda kromitten oluşan bir mineralojik bileşime sahiptir.

Çalışmanın konusu dünitler olduğu için, daha az sayıda (20 adet) harzburgit örneği incelenmiştir. Yapılan mikroskop çalışmaları sonucunda çalışma alanındaki harzburgitler % 75 olivin, % 17 ortorombik piroksen, % 1 monoklinik piroksen, % 2 kromit ve % 5 serpantin mineralleri, talk, manyezit, klorit ve kalsit gibi ikincil ayrışma ürünleri olan minerallerden oluşan bir mineralojik bileşim sergiledikleri

görülmüştür. Bu sonuç daha önceki çalışmalarda da belirtilmiştir (Örgün, 1992). Şekil 3.11’de harzburgitlere ait genel bir mikroskop görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.11: Harzburgitlere ait genel bir mikroskop görüntüsü (Çift Nikol).

Kesitlerde yaklaşık % 75 oranında izlenen olivin kristallerinde kırılıp parçalanma yaygındır, buna bağlı olarak serpantinleşme de yaygın olarak gelişmiştir.

Kesitlerde izlenen piroksenler çoğunlukla enstatit, daha az oranda hipersten türü olup, kristal boyutları 1-2 mm.’den 6 mm.’ye kadar değişmektedir. Kırıklı ve çatlaklı yapı gösteren piroksenlerde de serpantinleşme gelişmiştir. Örgün (1992), bölgede yaptığı çalışmada piroksenlerde bastit oluşumları geliştiğini de belirterek serpantin minerallerinin de lizardit ve krizotil bileşiminde olduğunu ifade etmiştir.

Harzburgitlerde de kromit, manyetit, pirit, kalkopirit opak mineral olarak tanımlanmıştır. Kayaçlarda ayrıca talk, manyezit, klorit, ve kalsit gibi ikincil ayrışım ürünü mineraller de gözlenmiştir.

3.1.3. Serpantinit

Bölüm 5’te belirtildiği gibi, serpantin grubu mineraller, ultrabazik kayaçların hidrotermal alterasyonu sonucu oluşan en yaygın ikincil minerallerdir. Çalışma sahasında hem harzburgitlerde hem de dünitlerde serpantinleşme oldukça yaygındır.

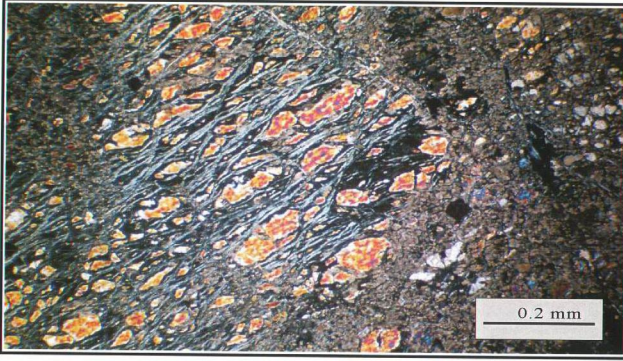
Özellikle Topuk granitoyidik sokulumu ile dünitlerin kontaklarında Őiddetli tektonizma ve granitik sokulumun hidrotermal c zeltilerinin de etkisi ile ileri derecelerde serpantinleŐerek, burada serpantin zonu meydana gelmiştir (EK A). Bu zonlarda serpantinleşme derecesi farklı olduğu için, sınırlar sahanın jeoloji haritasında olası sınır olarak gösterilmiştir.

Bu kayaçlara ait ince kesit  rne lerinde dane Őekillerine göre klinokrizotil ve lizarditin varlığı tanımlanmıştır. Bölüm 6'da da detaylı olarak anlatılacağı gibi klinokrizotil lizarditten daha yaygın durumdadır. Serpantin grubu mineraller kesitlerde damar ve damarcıklar Şeklinde, c Ğunlukla da birbirini kesen kafes yapısı (elek dokusu) Şeklinde gözlenmiştir. Bu iki durumu tanımlayan iki mikroskop g r nt Ő  Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te verilmiştir. Şekil 3.12'de aynı zamanda klinokrizotil damarını kesen ikincil kalsit damarı da görülmektedir.

Serpantinlerin mikroskop incelemelerinde sıklıkla kalıntı olivin ve opak mineraller, özellikle kromit ve manyetit yaygın olarak izlenmiştir.



Şekil 3.12: Serpantin mineralleri ve ikincil minerale ait iki damar g r nt Ő  ( ift Nikol).



Şekil 3.13: Serpantin mineralleri ve kalıntı olivin kristalleri (Çift Nikol).

3.2. Çalışma Alanındaki Ultrabazik Kayaçların Jeokimyasal Karakteristikleri

3.2.1. Ultrabazik Kayaçların Jeokimyasal Özellikleri

Çalışma kapsamında olivinin ana kayacı olan dünitlerin ve sahada yaygınca gözlenen ve potansiyel olivin kaynağı olabilecek harzburgitlerin jeokimyasal karakteristikleri bu başlık altında tanıtılacaktır.

Çalışma alanında yer alan dünitlerin ana element jeokimyasını tanımlamak amacıyla sağlam kayaç örnekleri alınmış, bunlar A/S Olivin Firması'nın Norveç-Aheim'daki laboratuvarlarında ve Balıkesir'de bulunan Gürbüz Madencilik Şirketi laboratuvarlarında XRF yöntemiyle analiz ettirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.1'de verilmiştir. Harzburgitlere ait örneklerin kimyasal analiz sonuçları ise Örgün (1992)'den alınmıştır ve Tablo 3.2'de verilmiştir.

3.2.1.1. Dünitlerin Ana Element Jeokimyası

Çalışma alanına ait 15 adet dünit örneğinin analiz sonuçları Tablo 3.1'de verilmiştir. Dünitlerin ekonomik olarak olivin açısından değerlendirilebilmesini belirleyen en önemli kimyasal bileşenleri MgO , SiO_2 , Fe_2O_3 ve Ateş Zayıyatıdır, Tablo 3.1'den görüldüğü gibi dünitlerin MgO değerleri % 40,99-50,2 aralığında (ortalama % 47,05), SiO_2 değerleri % 34,67-40,6 aralığında (ortalama % 39,10), Fe_2O_3 değerleri ise % 6,8-13,7 (ortalama % 9,94) aralığında değişmektedir. Dünitlerde Al_2O_3 değerlerinin % 0,1-0,83 (ortalama %0,29) aralığında, Cr_2O_3 değerlerinin ise % 0,35-

4,24 (ortalama % 1,14) aralığında değiştiği görülmüştür. Norveç’te yaptırılan analizlerde örneklerin nikel oksit açısından incelenmesine rağmen, Gürbüz Madencilik’te yaptırılan analizlerde nikel analizi yapılamamıştır. Buna göre analiz edilen örneklerde NiO değerinin % 0,24 ile % 0,35 arasında değiştiği ortaya çıkmıştır. Örneklerde MnO, CaO, Na₂O ve K₂O değerleri ise eser miktarda izlenmiştir.

Olivinin endüstriyel alanlarda kullanılmasını belirleyen en önemli parametreler: MgO, Fe₂O₃, SiO₂, Al₂O₃ ve Ateş Zayıatı değerleridir. Bölüm 2’de de detaylı olarak anlatıldığı gibi MgO değeri olivinde % 48-50 arasında değişmelidir. Tablo 3.1’den görüleceği gibi Orhaneli olivinlerinin MgO değeri bu aralığı karşılamaktadır. Tablo 3.3’de Orhaneli dünitlerinin ana parametreleri Türkiye’den ve dünyadan değişik dünit örnekleri ile karşılaştırılmıştır. Tablodan görüldüğü gibi, Orhaneli dünitlerinin MgO değerleri  rneğin Pozantı-Karsantı ofiyolit birliğindeki (Kızılı ksek) dünitlerinin, Hatay Kızıldağ dünitlerinin ve La Palma (Kanarya Adaları) dünitlerinin MgO değerlerinden yüksektir. SiO₂ değerlerine baktığımızda ise Orhaneli dünitlerinin ortalama % 38,99 değeri ile La Palma ve Güney Tibet d nitlerinden düşük, Kızılı ksek d nitlerinden yüksek olduğu görülmektedir. Toplam demir değerlerine bakıldığında ise Orhaneli dünitlerinin % 10,08 değeri ile Hatay- Kızıldağ hariç, Tablo 3.3’deki diğer değerlerden yüksek olduğu görülmektedir. Ateş zayıatı değeri ise  rneğin Dağardı güneyi dünitleri ile karşılaştırıldığında çok düşük olduğu görülmektedir. Bu da Orhaneli dünitlerinin endüstriyel kullanım açısından en önemli özelliğidir. Al₂O₃ değerlerine baktığımızda ise Orhaneli dünitlerinin Kızılı ksek hariç diğerlerinden düşük olduğu görülmektedir.

Tablo 3.1: Çalışma Sahasından Alınan Dünit Örneklerine Ait Kimyasal Analiz Sonuçları (% Ağırlık)

Örnek	MgO	Mg#	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO _t	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	NiO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	A.Z.	Toplam
D1	49,8	0,87	40,6	7,9	15,01	0,14	0,51	0,31	0,11	0,12	0,00	0,00	1,07	100,56
D 2	47,2	0,80	39,7	12,1	22,99	0,22	0,63	0,28	0,16	0,08	0,00	0,00	0,34	100,71
D 3	50,2	0,88	40,2	6,8	12,92	0,13	0,50	0,34	0,10	0,16	0,02	0,00	1,76	100,21
D 4	49,3	0,86	40,1	8,5	16,15	0,25	0,85	0,32	0,12	0,08	0,02	0,00	1,01	100,55
D 5	48,0	0,84	39,0	9,3	17,67	0,33	1,10	0,29	0,13	0,16	0,03	0,00	2,23	100,57
D 6	48,5	0,85	40,4	8,8	16,72	0,19	0,68	0,33	0,12	0,08	0,00	0,00	1,55	100,65
D 7	46,0	0,78	39,0	13,7	26,03	0,40	0,92	0,26	0,19	0,15	0,00	0,00	0,27	100,89
D 8	47,5	0,80	39,6	12	22,80	0,23	0,69	0,25	0,17	0,12	0,02	0,00	0,11	100,70
D 9	50,1	0,87	40,5	7,5	14,25	0,19	0,65	0,35	0,11	0,15	0,00	0,00	0,83	100,38
D 10	47,3	0,81	39,1	11,7	22,23	0,10	0,35	0,26	0,15	0,18	0,05	0,00	1,86	101,08
D 11	46,4	0,78	39,3	13,4	25,46	0,23	0,64	0,24	0,18	0,18	0,00	0,00	0,28	100,85
D 12	44,21	0,85	38,36	8,23	15,64	0,21	0,54	a.y.	0,11	0,30	0,06	0,02	11,27	103,31
D 13	43,92	0,79	39,18	11,91	22,63	0,28	0,86	a.y.	0,18	0,02	0,06	0,02	2,55	98,98
D 14	46,33	0,88	36,65	6,86	13,03	0,67	3,91	a.y.	0,10	0,09	0,06	0,04	2,98	97,70
D 15	40,99	0,80	34,67	10,36	19,68	0,83	4,24	a.y.	0,15	0,08	0,07	0,06	8,51	100,11
Ortalama	47,05	0,83	39,10	9,94	18,88	0,29	1,14	0,3	0,14	0,13	0,03	0,01	2,4	

Tablo 3.2: Çalışma Sahasından Alınan Harzburjit Örneklerine Ait Kimyasal Analiz Sonuçları (% Ağırlık)

Örnek	MgO	Mg#	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO _t	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	NiO	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	A.Z.	Toplam
H16	43,77	0,83	40,64	9,57	18,18	1,03	1,46	0,14	0,13	0,10	0,04	0,03	3,09	100,81
H17	43,10	0,82	39,24	9,85	18,71	0,87	0,96	0,14	0,14	1,15	0,02	0,01	5,48	100,96
H18	44,43	0,87	40,56	7,03	13,36	1,00	0,36	0,25	0,10	1,35	0,04	0,01	4,61	99,74
H19	40,12	0,86	44,15	6,54	12,42	0,92	0,90	0,23	0,10	1,82	0,04	0,03	5,40	99,35
H20	38,24	0,76	38,01	12,62	23,98	1,90	4,39	0,12	0,15	0,09	0,02	0,03	4,50	100,16
Ortalama	42,0	0,83	40,52	9,12	17,33	1,44	1,61	0,14	0,12	0,9	0,03	0,02	4,62	

: Magnezyum sayısı ,
a.y. : Analiz yapılmadı,
D: Dünit örnekleri,
H: Harzburjit örnekleri,
A.Z.: Ateş Zayıtı

Tablo 3.3: Orhaneli Dunitlerinin Ana Parametrelerinin Türkiye'den ve Dünyadan Dunit Örnekleri ile Karşılaştırılması

(% Ağırlık)	Bu Çalışma	1	2	3	4	5
MgO	40.99-50.2	42,43-43,34	39,62-43,76	33,46-35,99	47,27-47,42	44,00-44,57
SiO ₂	34.67-40.6	35,49-36,23	34,32-43,30	38,50-42,58	39,31-39,72	43,32-47,47
Al ₂ O ₃	0.1-0.83	0,07-0,33	0,20-1,83	0,97-1,86	0,70-0,94	0,44-0,81
Fe ₂ O ₃	6.8-13.7	8,53-9,24	4,39-11,07	7,86-8,53	9,58-9,88	6,61-11,73
Ateş Zayırlı	0.11-11.27	11,04-13,01	2,33-14,75	9,5-13,95	-	12,14-13,18

1: Kızılyüksek (Parlakve Diğ., 2002),

2: Hatay- Kızıldağ (DPT, 1995),

3: Dağardı Güneyi (Taşanlı-Kütahya) (Bacak, 2003),

4: La Palma-Canary Islands (Pedersen ve Diğ., 2000),

5: Güney Tibet (Dupuis ve Diğ., 2005).

Dünitlerin ana bileşenlerinin birbirleriyle olan değişim ilişkisini incelemek amacıyla Harker diyagramları hazırlanmış ve sonuçlar Şekil 3.14 a,b,c,d,e,f'de verilmiştir. Ayrıca diyagramlardan elde edilen korelasyon katsayıları da Tablo 3.3'te topluca verilmiştir.

Şekil 3.14a'da görüldüğü gibi MgO ile SiO₂ arasında pozitif yönde güçlü bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır ($r=0.6783$). MgO ile Fe₂O₃ arasındaki korelasyon katsayısı ise $r= -0.1664$ tür (Şekil 3.14b). Bu da bize dünitlerde magnezyum artarken demirin azaldığını göstermektedir. Benzer şekilde güçlü ilişkiler MgO-NiO ($r = 0,8051$), Al₂O₃-Cr₂O₃ ($r = 0,9267$), SiO₂-NiO ($r = 0,6123$) arasında da elde edilmiştir. Bu sonuç nikelin ultrabazik kayalarlarda Mg oranı ile kontrol edildiği ve Mg oranı arttıkça nikel miktarının da arttığı bilgisini doğrulamaktadır. Bu durum Şekil 3.14.d'de de net olarak görülmektedir. Negatif yönde güçlü ilişkiler ise, SiO₂-Al₂O₃, SiO₂-Cr₂O₃ arasında ortaya çıkmıştır.

Tablo 3.4'te verilen değerler arasında en dikkat çekici olan Cr₂O₃ ile Al₂O₃ arasındaki korelasyon katsayısıdır. Bu da bize bu iki elementin magmatik süreçlerde birlikte hareket ettiğini göstermektedir.

Tablo 3.4: Dünitlerin ana bileşenlerinin MgO ile olan korelasyon katsayıları

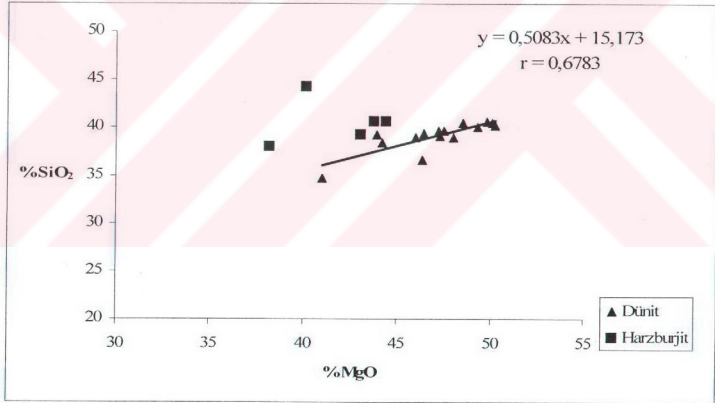
	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	NiO	Cr ₂ O ₃	Ateş Zayıtı
MgO	1	0,6783	-0,1664	-0,4498	0,8051	-0,3256	-0,4411
SiO ₂		1	-0,0034	-0,8273	0,6123	-0,8007	-0,4066
Fe ₂ O ₃			1	-0,0005	-0,0016	-0,033	-0,0698
Al ₂ O ₃				1	-0,4089	0,9267	0,1653
NiO					1	0,3387	0,2937
Cr ₂ O ₃						1	0,1667
Ateş Zayıtı							1

Magnezyum-demir oranı literatürde magnezyum sayısı olarak adlandırılmaktadır. Magnezyum sayısı, bazaltik magmalarda kristal fraksiyonlaşmasının önemli bir göstergesidir. Tablo 3.1'deki örneklerin magnezyum sayıları aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

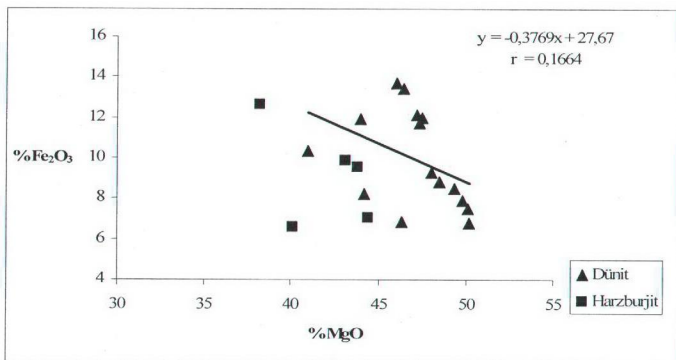
$$\text{Mg \#} = [\text{MgO}/\text{MgO}_{\text{Molar}}] / [(\text{MgO}/\text{MgO}_{\text{Molar}}) + 0,9 \times (\text{FeO}_{\text{Toplam}}/\text{FeO}_{\text{Molar}})] \quad (3.1)$$

Bu çalışmada örneklerin magnezyum sayılarının 0,78 ile 0,88 arasında değiştiği görülmüştür. Magnezyum sayılarının sahip olduğu aralık, primitif mantoya göre bir miktar tüketilmiş bazaltik bileşim göstermektedir (Hofmann, 1988; Mc Donough, 1990). Literatürden edinilen değerlerle karşılaştırıldığında Orhaneli dünitlerinin magnezyum sayısının Pozantı – Karsantı ofiyolitinde yer alan dünitlerin magnezyum sayılarından yüksek (0,82 ort.) (Parlak ve Diğ.,2002), Kuzeybatı İran’da yer alan Khoy ofiyolitindeki dünitlerin magnezyum sayılarından (0,92 ort.) (Hassanipak ve Ghazi, 2000) düşük olduğu görülmektedir.

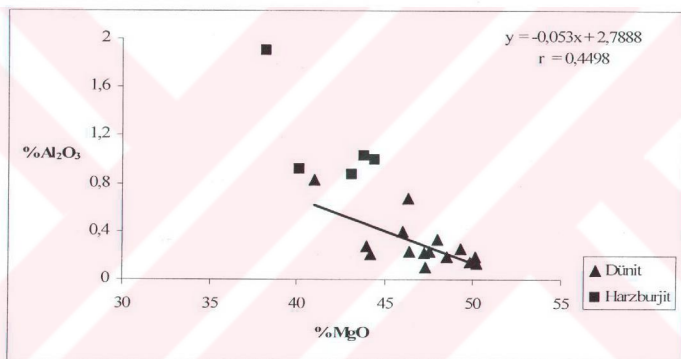
Şekil 3.15.’te hesaplanan magnezyum sayıları ile örneklerin % MgO değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram verilmiştir. Şekil 3.15’ten görüldüğü gibi, örneklerin Magnezyum sayısı ile % MgO değerleri arasında $r = 0,3295$ değeri ile zayıf bir pozitif ilişki vardır.



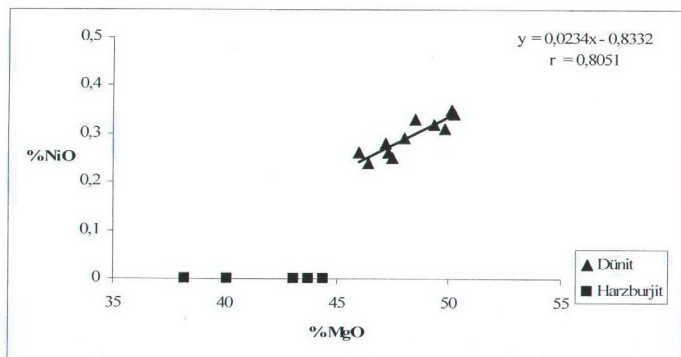
(a)



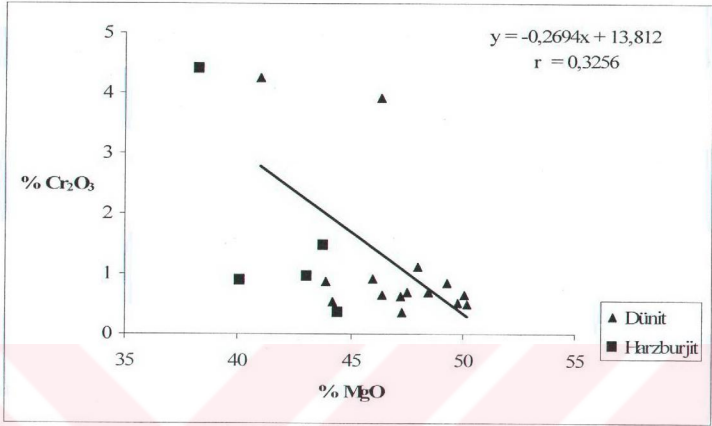
(b)



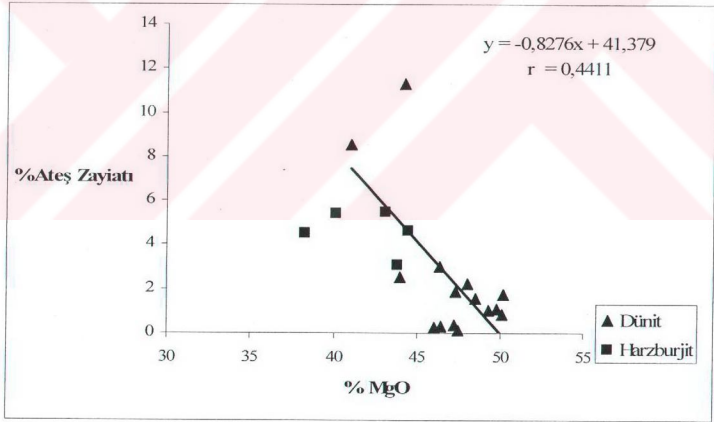
(c)



(d)

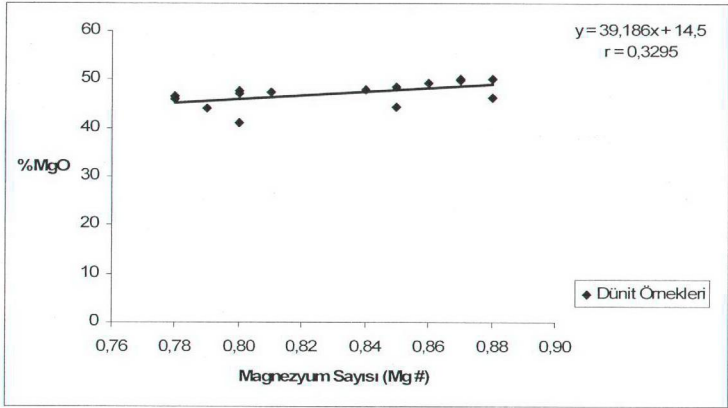


(e)



(f)

Şekil 3.14: Dünitlerde ve harzburgitlerde a: MgO-SiO₂; b: MgO-Fe₂O₃; c: MgO- Al₂O₃; d: MgO-NiO; e: MgO-Cr₂O₃; f: MgO-Ateş zayıtları çiftleri korelasyon ilişkisi.



Şekil 3.15: Dünit örneklerinin Magnezyum sayısı - % MgO diyagramı.

3.2.1.2. Dünitlerin Ateş Zayılatı (A.Z.)

Dünitlerin olivin açısından ekonomik olarak değerlendirilip değerlendirilemeyeceğini belirleyen en önemli kriterlerden birisi de ateş zayılatı değeridir.

Yukarıda da kısaca belirtildiği gibi, ateş zayılatı (A.Z.) değeri, analiz edilen örneklerde % 0.11'den % 11.27'ye kadar geniş bir aralıkta değişmektedir (Tablo 3.1). Ateş zayılatı değerlerindeki bu geniş aralık, kayalarda çeşitli derecelerde gelişmiş olan serpantinleşmenin bir sonucudur. Mikroskop incelemeleri sırasında tespit edilen serpantinleşme yüzdesinin aynı örneğin kimyasal analizinde bulunan ateş zayılatı değeri ile uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Dünitlere ait kimyasal analiz sonuçları ile ateş zayılatı ve MgO arasında bir korelasyon diyagramı oluşturulduğunda, ateş zayılatı ile MgO'nin $r = -0,4411$ değeri ile güçlü bir negatif ilişki sergilediği görülmüştür (Şekil 3.14f). Bu da bize ateş zayılatının artmasıyla magnezyum değerinin düştüğünü göstermektedir. Paralel olarak, ateş zayılatının artması bize aynı zamanda kayaçtaki alterasyonun yani serpantinleşmenin arttığını göstermektedir.

Kalınlık ve rezervi tespit etmek amacıyla ŞE-TAT Madencilik tarafından sahada yaklaşık 35 adet sondaj çalışması yapılmıştır. Bu sondaj çalışmalarından elde edilen numunelerin kimyasal analiz sonuçları ateş zayılatı bakımından da

değerlendirilmiştir. Çalışma alanının yaklaşık orta kesiminde yüzeyleyen Topuk Granitoyidik Sokulumu'nun batısında yer alan dünitlerde derinlere inildikçe ateş zayıatı değerinde, dolayısıyla alterasyon derecesinde beklenen sistematik azalma yerine, Tablo 3.5'te de görüldüğü üzere, genellikle derinlikten bağımsız, farklı aralıklarda artış ve azalış olduğu görülmüştür. Örneğin Tablo 3.5'te 12 numaralı sondaja ait örnekleri incelediğimizde, derinlik 4,00-11,00 m. iken ateş zayıatı değeri 1,93'tür. 11,00-19,30 m. arasında ateş zayıatı değerinde beklenen azalma yerine, bu aralıkta ateş zayıatı değeri 1,97'ye çıkmıştır. 19,30-22,50 m. arasında ise ateş zayıatı değeri aynı örnekte 1,24'e kadar düşmüştür. 24,95-28,70 m.'ler arasında ise beklenen azalma devam etmiş ve ateş zayıatı değeri 1,04 olmuştur. 10 numaralı örneği incelediğimizde ise, 0,00-5,70 m.'leri arasında 2,53 olan ateş zayıatı değeri 8,10-11,50 m.'ler arasında 3,49'a kadar çıkmıştır. 13,50-20,30 m.'lere gelindiğinde ise bu değer oldukça önemli bir azalma göstererek 1,05'e kadar düşmüştür.

Tablo 3.5'te verilen 25, 26, ve 28 no'lu sondajların derinliklere göre ateş zayıatı değişimleri diyagramlarda da değerlendirilmiş ve sonuçlar Şekil 3.16 a, b, ve c'de verilmiştir. Bu şekillerde de ateş zayıatı değerlerinin derinlikten bağımsız değişimi oldukça net bir şekilde görülmektedir. Örneğin 25 no'lu sondajda ateş zayıatı değeri 7. m.'de 0,7'ye kadar düşmesine rağmen 11,9. m.'ye kadar artmaya devam etmiş, 23.10. m.'de 5,06 ile bu sondaj içerisinde en yüksek değere ulaşmıştır. 26 no'lu sondaja ait şekli incelediğimizde, ateş zayıatı değerinin 3,1. m.'den 9,5 m.'ye kadar arttığını, daha sonra değişen oranlarda azalarak 21. m.'de 1,14 değeri ile bu sondaja ait en düşük ateş zayıatı değerini yakaladığını görmekteyiz. 28 no'lu sondajda ise ateş zayıatı değeri yine farklı metrelerde alçalıp yükselmekle birlikte, 14,5 m.'de 1,73 değeri ile bu sondajdaki en düşük ateş zayıatı değerini yakalamıştır. 20,3 m.'lik bu sondajda en derinde belirlenen ateş zayıatı değeri 1.97'dir.

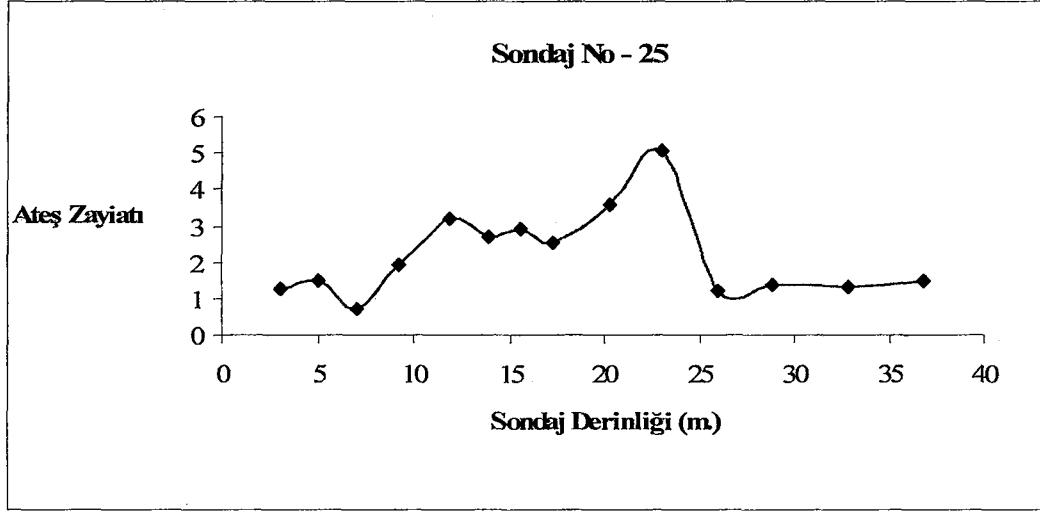
Tablo 3.5: Dünitlere ait çeşitli sondaj örneklerinde ateş zayıatı değerleri

Sondaj No	Numune No	Sondaj Numune Seviyesi - mt.	Ateş Zayıatı
9	9-1	2,50-6,90	2,00
	9-2	7,40-11,30	2,93
	9-3	11,30-16,50	2,30
10	10-1	0,00-5,70	2,53
	10-2	8,10-11,50	3,49
	10-3	13,50-20,30	1,05
12	12-1	4,00-11,00	1,93
	12-2	11,00-19,30	1,97
	12-3	19,30-22,50	1,24
	12-4	24,95-28,70	1,04
13	13-1	0,00-7,00	1,45
	13-2	8,40-13,00	2,43
	13-3	13,00-19,60	3,08
14	14-1	0,00-4,70	1,07
	14-2	4,70-7,30	2,21
	14-3	7,30-15,15	1,36
17	17-1	0,00-6,50	1,44
	17-2	6,50-12,00	1,85
	17-3	12,00-17,40	3,12
23	23-1	2,00-10,00	1,63
	23-2	10,00-17,40	2,66
	23-3	17,40-26,30	1,58
25	25-1	0,70-3,00	1,27
	25-2	3,00-5,00	1,51
	25-3	5,00-7,00	0,70
	25-4	7,00-9,30	1,93
	25-5	9,30-11,90	3,17
	25-6	11,90-13,90	2,70
	25-7	13,90-15,60	2,91

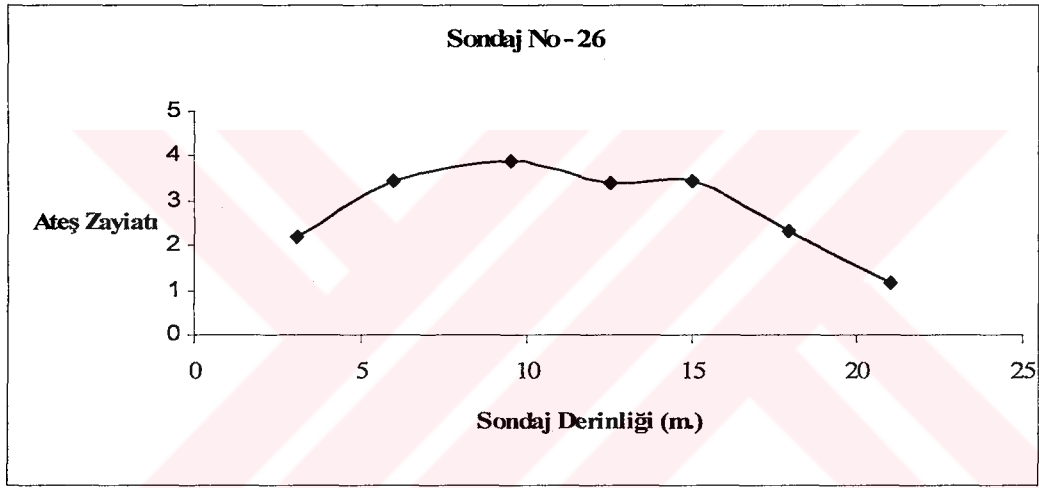
Tablo 3.5. (devam)

	25-8	15,60-17,30	2,54
	25-9	17,30-20,30	3,58
	25-10	20,30-23,10	5,06
	25-11	23,10-26,00	1,22
	25-12	26,00-28,80	1,38
	25-13	28,80-32,80	1,31
	25-14	32,80-36,80	1,49
26	26-1	0,60-3,10	2,20
	26-2	3,10-6,00	3,44
	26-3	6,00-9,50	3,89
	26-4	9,50-12,50	3,38
	26-5	12,50-15,00	3,42
	26-6	15,00-17,90	2,33
	26-8	17,90-21,00	1,14
28	28-1	1,60-4,60	2,78
	28-2	4,60-7,60	2,12
	28-3	7,60-10,10	2,46
	28-4	10,10-14,50	1,73
	28-5	14,50-17,50	2,00
	28-6	17,50-20,30	1,97

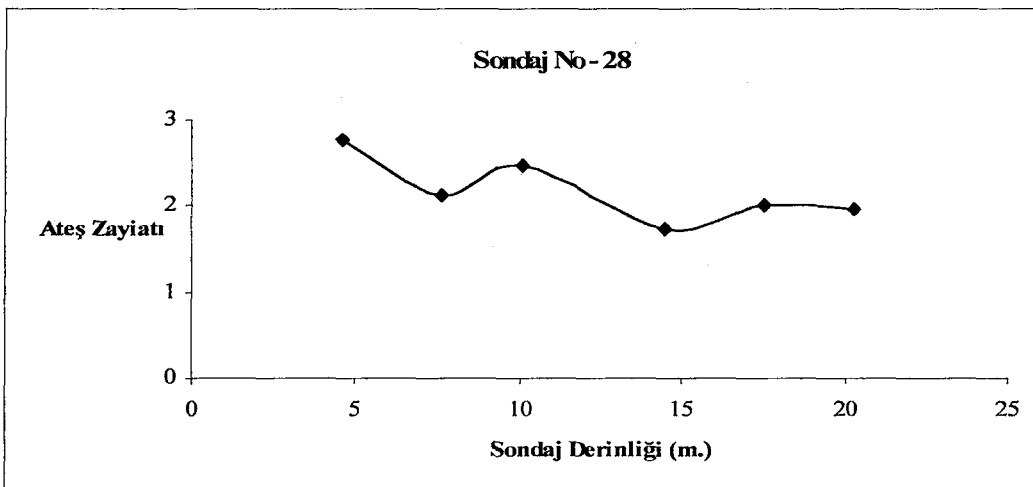
Çalışma alanının batısındaki dünitlerin aksine, granitoyidik sokulumun güneydoğusunda yer alan, Orhaneli olivinlerinin ana işletme sahası olan Gölcükboğazı Tepe ve civarındaki dünitlerde ise ateş zayılatı değeri derinlikle paralel beklenen azalmayı göstermektedir. Bu durum, işletme sahasında yapılan pek çok sondajdan ikisi olan S2 ve S4 sondajların karot örneklerinde açıkça görülmüştür. Bu sondajların sondaj logları Şekil 3.17’te gerekli açıklamaları ile birlikte verilmiştir (Tablo 3.6).



(a)



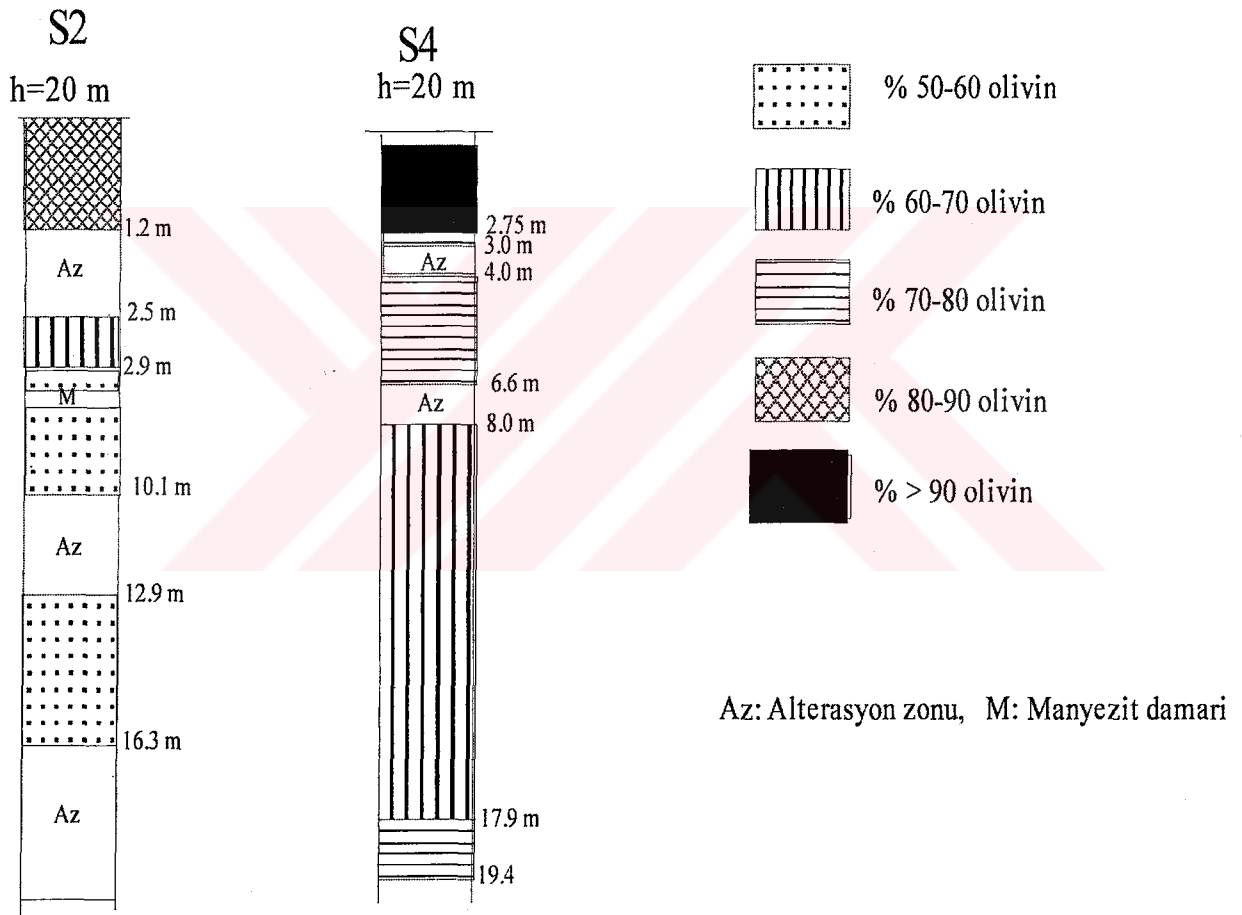
(b)



(c)

Şekil 3.16: a: 25 No'lu sondajda, b: 26 No'lu sondajda, c: 28 No'lu sondajda derinlik ile ateş zayıtları değişimleri.

Tablo 3.6'da 2 ve 4 numaralı sondaja ait toplam 5 dünit örneğinin alındıkları derinliklere göre ateş zayılatı değerleri verilmiştir. Bu iki sondajın derinliğe karşı ateş zayılatı değerlerindeki azalma Şekil 3.18 a,b'de net bir şekilde görülmektedir. Bütün bu inceleme ve gözlemler, sahada dünitlerde serpantinleşme, dolayısıyla alterasyon ve buna bağlı olarak ateş zayılatı değerlerinin oldukça heterojen bir değişim sergilediğini ortaya koymuştur.



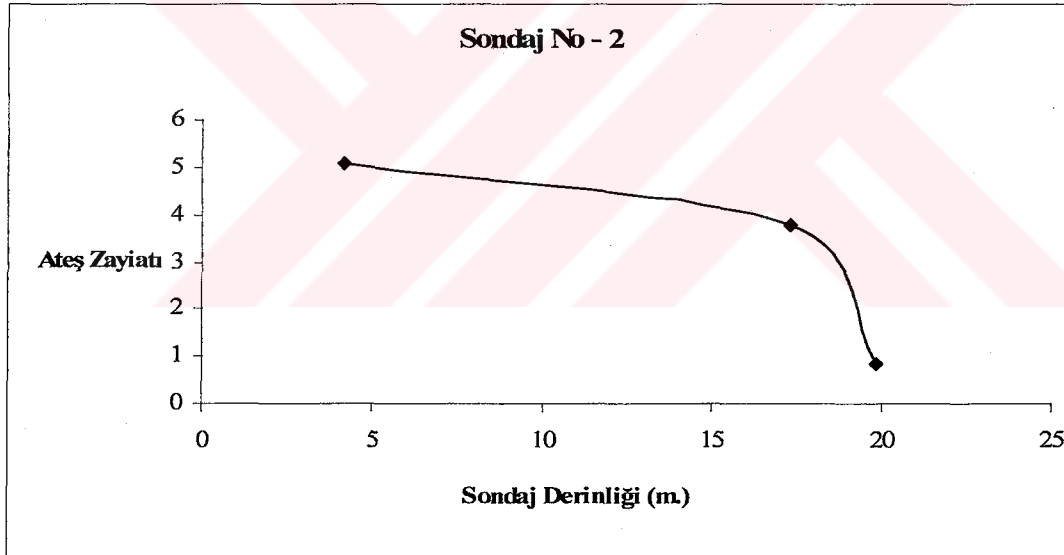
Şekil 3.17: 2 ve 4 No'lu sondaj verileri ile hazırlanan olivin log'ları.

Tablo 3.6'da görüldüğü gibi 2 no'lu sondajda derinlik 4,2 m. iken ateş zayılatı değeri 5,08'dir. Derinlik 12,3 m. olduğunda ateş zayılatı değeri 3,78'e düşmüştür. Ve sondajın en derin noktasında, 19,8. m.'de ateş zayılatı değeri 0,83 olmuştur. 4 no'lu

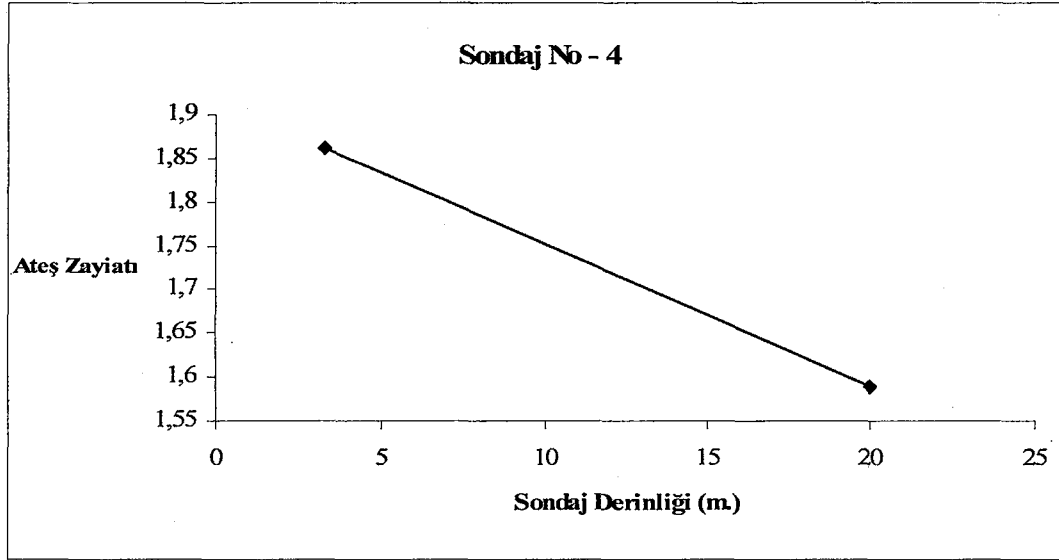
sondajda ise, 3,3 m. derinlikte 1,86 olan ateş zayıtlı değeri, 20. m.'ye gelindiğinde 1,59 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 3.6: 2 ve 4 numaralı sondajlardan alınan dünit örneklerinin derinliklerine göre ateş zayıtlı değeri

Sondaj Numarası	Örnek Numarası	Sondaj Derinliği (m.)	Ateş Zayıtlı
2	2-1	4,2	5,08
	2-2	12,3	3,78
	2-3	19,8	0,83
4	4-1	3,3	1,86
	4-2	20,0	1,59



(a)



(b)

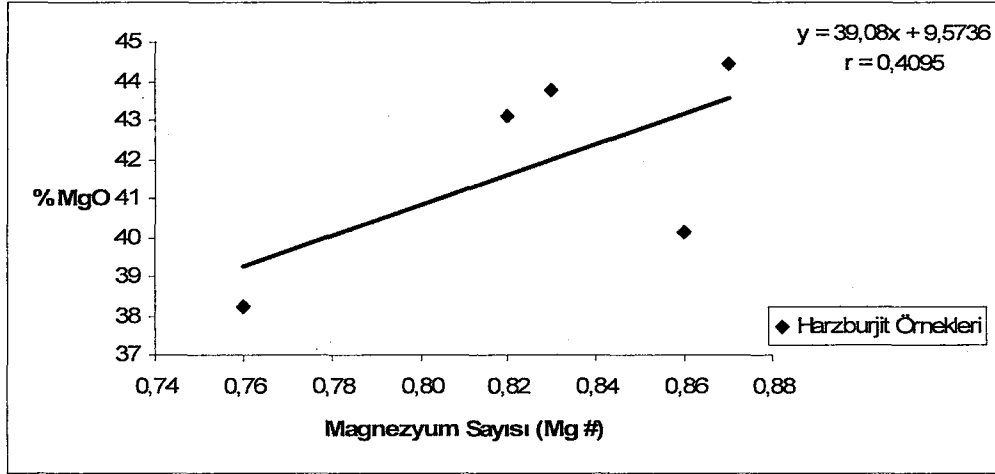
Şekil 3.18. a: 2 No'lu sondajda derinlik ile ateş zayılatı değişimi, b: 4 No'lu sondajda derinlik ile ateş zayılatı değişimi.

Elde edilen tüm veriler, olivinlerin endüstriyel bir hammadde olarak sanayiye kazandırılmasında olumsuz bir parametre olan ateş zayılatı değerlerindeki yüksekliğin, Orhaneli olivinlerinde de önemli bir dezavantaj olarak ortaya çıktığını göstermektedir.

3.2.1.3. Harzburjitlerin Ana Element Jeokimyası

Çalışmanın ana konusu dünitler olduğu için harzburjitlerden kimyasal analiz amaçlı örnek alınmamıştır. Gerek dünitlerin kimyasal özellikleriyle karşılaştırma yapmak, gerekse de genel bir bilgi vermek amacıyla aynı sahada çalışan Örgün (1992)'den 5 adet harzburjit örneğine ait kimyasal analiz sonucu Tablo 3.2'de H indisli örnekler şeklinde verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre MgO değeri % 38,24-44,43 aralığında, SiO₂ değeri % 38,01-44,15 aralığında, Al₂O₃ değeri % 0,87-1,90 aralığında ve Fe₂O₃ değeri ise % 6,54-12,62 aralığında değişmektedir. Ateş zayılatı değeri ise % 3,09-5,48 aralığındadır. Beklenildiği gibi MgO değerleri dünitlerden daha düşük, SiO₂ değerleri ise bir miktar yüksektir. Arazide yapılan çalışmalar sırasında gözlenmiştir ki harzburjitler bölgesel tektonizmadan daha az etkilenmiştir. Ayrıca granitoyidik sokulum ile dokanak halinde olmaması da harzburjit biriminin dünite göre daha masif yapıda kalmasını sağlamıştır. Tüm bunların sonucu olarak harzburjitlerdeki ateş zayılatı değeri dünitlerinkinden daha düşüktür (Tablo 3.2). Harzburjitlerin magnezyum sayıları da Bölüm 3.2.1.1'de verilen formüle göre hesaplandığında, bu değerlerin de dünit örneklerinin magnezyum sayılarına oldukça yakın olarak 0,76 -

0,87 arasında değiştiği görülmüştür. Şekil 3.19 harzburjit örneklerinin magnezyum sayıları ile içerdikleri MgO %'leri arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 3.19: Harzburjit örneklerinin Magnezyum sayısı - % MgO diyagramı.

Çalışma alanındaki harzburjitlerin Tablo 3.2’de verilen kimyasal analiz sonuçları Kuzeybatı İran -Khoy Ofiyoliti ve Güney Tibet’ten alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçları ile karşılaştırıldığında, Al_2O_3 oranının ortalama % 1,44 değeri Güney Tibet örneklerinden düşük, Khoy Ofiyoliti örneklerinden yüksek olduğu görülür. MgO yüzdesinin ortalama 42 değeri ile Güney Tibet’ten düşük ve Khoy ofiyoliti örneklerinden yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 3.7). Aynı tabloda görüldüğü gibi, SiO_2 yüzdesi ise diğer örneklerden düşüktür (% 40,52). Üç ayrı sahanın Fe_2O_3 değerlerine baktığımızda Orhaneli örneklerinin ortalama % 9,12 ile en yüksek olduğu saptanmıştır. Ateş zayılatı değeri ise Güney Tibet örneklerinden düşük, Khoy Ofiyoliti örneklerinden yüksektir.

Tablo 3.7: İnceleme Konusu Orhaneli Harzburjitlerinin Ana Parametrelerinin Dünyadan Harzburjit Örnekleri ile Karşılaştırılması

% Ağırlık	Orhaneli	Güney Tibet ¹	Kuzeybatı İran ²
MgO	38,24-44,43	43,41-46,23	40,9-41,6
SiO2	38,01-44,15	42,49-45,79	41,3-42,5
Al2O3	0,87-1,90	0,65-1,00	1,69-2,09
Fe2O3	6,54-12,62	6,84-9,64	8,24-8,90
Ateş Zayılatı	3,09-5,48	11,06-13,82	1,84-5,34

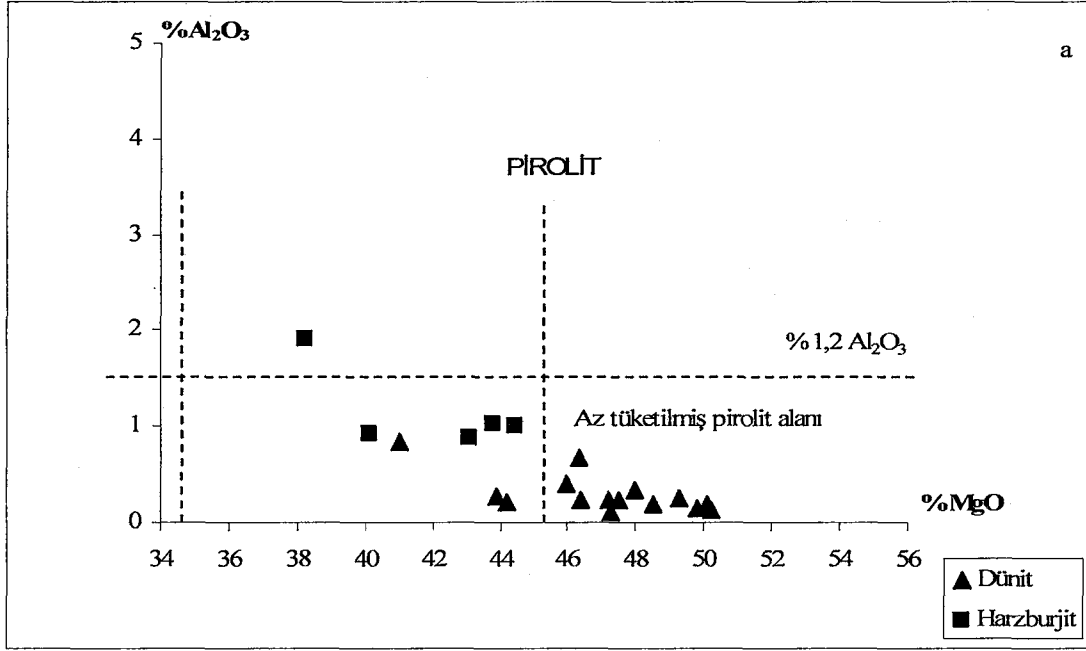
1: Dupuis ve Diğ. (2005), 2: Hassanipak ve Ghazi (2000).

3.2.2. Ultrabaziklerin Kökeni ve Ofiyolit Birliği İçerisindeki Yeri

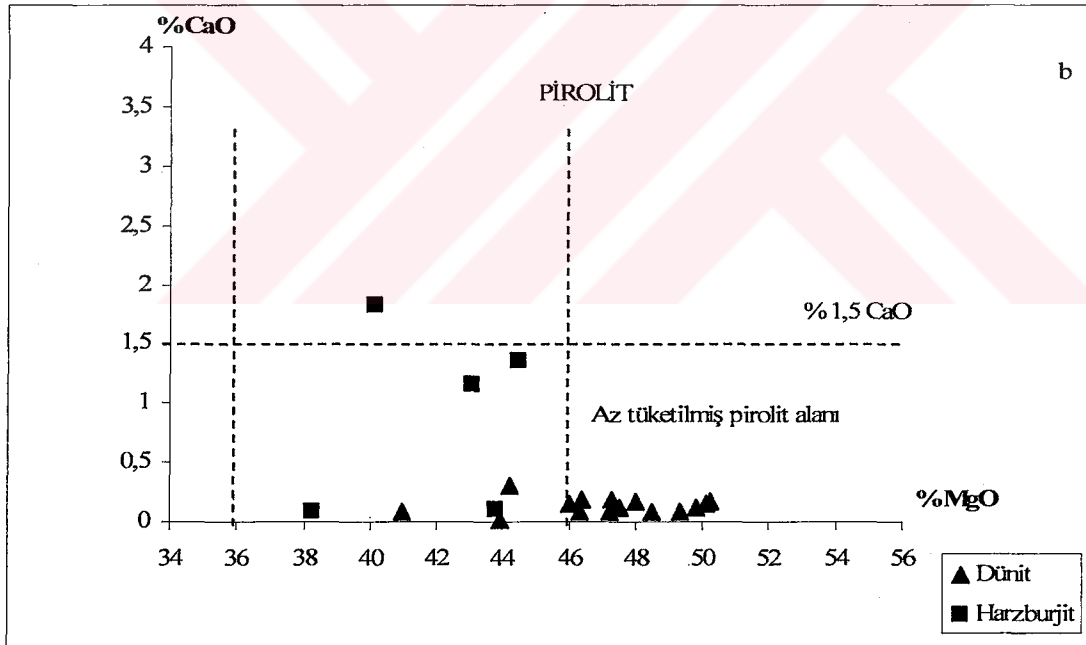
Ringwood (1975), magnezyuma karşı Al_2O_3 ve magnezyuma karşılık CaO diyagramlarını oluşturarak, ultrabazik kayaçların kökenini incelemiştir. Orhaneli ultrabaziklerinin kaynak malzemesini tanımlamak amacıyla, ilgili diyagramlar çalışma kapsamında incelenen örneklerin analiz sonuçlarına göre hazırlanmış ve Şekil 3.20 ve 3.21’de verilmiştir. Şekil 3.20’de görüldüğü gibi örneklerin Al_2O_3 miktarları Naldrett ve Cabri (1976) ve Coleman’a (1977) göre oldukça düşüktür; buna paralel olarak dünit örneklerinin büyük bir çoğunluğu az tüketilmiş pirolit alanında yer almıştır. Harzburgit örneklerinin tümü ve üç adet dünit örneği ise bu alanın dışında kalmıştır. Coleman (1977), Alpin tip peridotitlerde dünitler için Al_2O_3 değerini % 0,35, harzburgitler için ise % 0,89 olduğunu belirtmiştir. Düşük Al_2O_3 ’ün gerekçesini de ultrabazik kayaçlarda Al_2O_3 içeren minerallerin (piroksen ve spinel) düşük olmasıyla açıklamıştır. Yukarıda belirtildiği gibi (Bölüm 3.1.1), dünitlerin piroksen ve spinel içeriği son derece düşüktür. Dolayısıyla buna bağlı olarak dünitlerin Al_2O_3 içeriğinin düşük olması normaldir. Buna karşılık, Tablo 3.2’ye bakıldığında açıkça görülecektir ki, harzburgitlerin Al_2O_3 bileşimi mineralojik bileşimlerine paralel olarak daha yüksektir.

Al_2O_3 ’e benzer olarak, Örgün (1992), sahadaki kayaçlarda yaptığı analizlerde TiO_2 değerlerinin de çok düşük olduğunu belirtmiştir (% ag. 0,01-0,45). Al_2O_3 ile birlikte TiO_2 ve alkali oksitlerin Alpin tipi peridotitlerdeki dağılımı, bu elementlerin üst mantodaki tüketilme düzeylerini belirlemektedirler (Örgün, 1992). Buna paralel olarak Şekil 3.20 incelendiğinde, dünitlerin pirolit veya kalıntı üst manto malzemesinden türemiş olduğu söylenebilir.

Şekil 3.21’deki MgO-CaO diyagramından ise dünit örneklerinin % 60’ının %1.5’den daha az CaO değeri ile az tüketilmiş pirolit alanına düştüğü görülmektedir. Bu diyagramda da harzburgitler az tüketilmiş pirolit alanının dışında kalmıştır. Bu da bize dünitlerin tümüyle manto malzemesi kökenli, harzburgitlerin ise manto kökenli malzeme ile birlikte subduction zonundaki levhanın alt kesimlerinin kısmi ergimesiyle oluşan malzemedan türemiş hibrid bir magmanın ürünü olduğunu ifade edebilir.



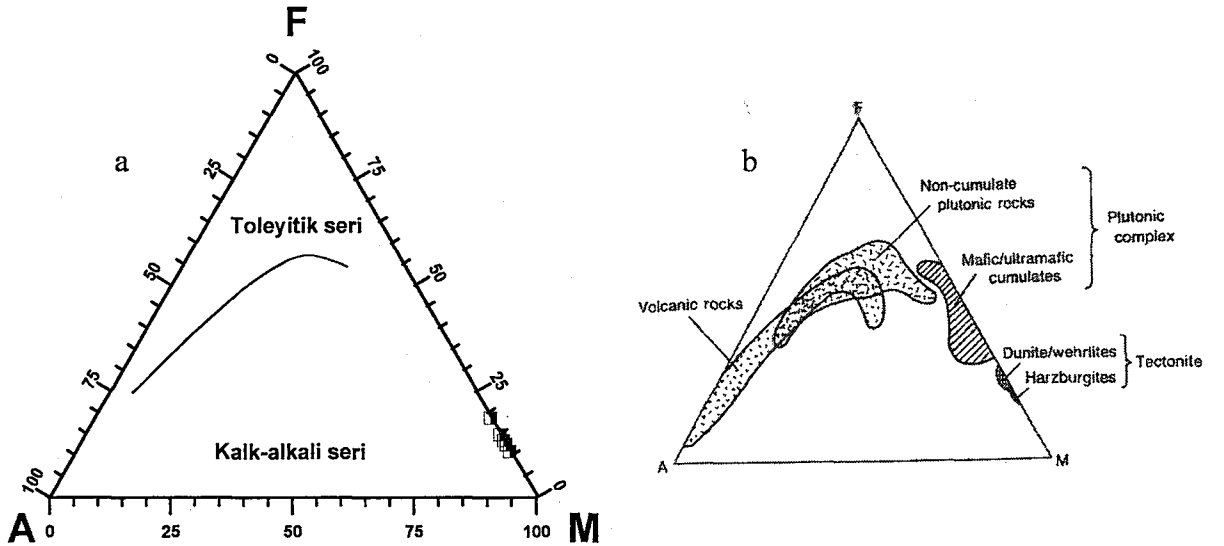
Şekil 3.20: Çalışma alanında yer alan dünit ve harzburgitlerin Ringwood (1975) MgO-Al₂O₃ Diyagramındaki konumları



Şekil 3.21: Çalışma alanında yer alan dünit ve harzburgitlerin Ringwood (1975) MgO-CaO Diyagramındaki konumları.

Çalışma alanındaki dünitlerin ana element bileşenleri AFM diyagramına da uygulanmış ve sonuç Şekil 3.22 a ve b'de Del Puerto Ofiyoliti'nin AFM diyagramı ile birlikte verilmiştir. Şekil 3.22 a'da görüldüğü gibi az tüketilmiş pirolit alanında yer alan Orhaneli dünitlerinin örnekleri MgO köşesinde yığılmışlardır. Çalışma alanındaki örneklerle ait bu dağılım, Mg bakımından zengin olan tektonit dünitlerinin

alanına denk gelmektedir. Benzer dağılım Şekil 3.22 b’de gösterildiği gibi Del Puerto Ofiyoliti, California dünitleri için de elde edilmiştir (Raymond, 2002). Tektonit dünitlerde gözlenen granülasyon ve deformasyon lamelleri sunan değişik boydaki olivin kristalleri Orhaneli dünitleri için de oldukça yaygındır. Pek çok araştırmamanın sonucu olarak tektonitler, yapısal, dokusal, mineralojik ve kimyasal açıdan homojen kayalar olarak bilinmektedirler. Guleman (Elazığ) ofiyolitindeki tektonitlerden sağlanan veriler de bu görüşü pekiştirmiştir (Özkan, 1982). Özkan (1982), serpantinleşme gibi mineralojideki alterasyon olayları gözardı edildiğinde, tektonitlerin mineral parajenezi ve modal bileşimlerinde çok önemli bir değişim gözlenmediğini ifade etmiştir. Orhaneli dünitlerinin AFM diyagramındaki bu dağılımları aynı zamanda Parlak ve Diğerleri (2002)’nin, Pozantı- Karsantı bölgesinde yaptıkları çalışmada, yay ilişkili ultrabazik kümülat alanı ile de örtüşmektedir. Parlak ve Diğerleri (2002), tektonitler üzerine gelen ultrabazik kümülatların da Mg’ca zenginleşme gösterdiklerini ve yay ilişkili ultrabazik kümülatların grafikteki alanları ile üst üste çakıştıklarını ifade etmişlerdir. Bu da ofiyolit birliklerinin orijininin, ultrabazik kümülatların yalnızca ana element içerikleri ile ayırt edilmesinin zorluğunu ve mineral kimyası çalışmalarının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Benzer durum, çalışma alanındaki tektonit alanına düşen dünitler için de geçerli olabilir. Bu nedenle, mevcut tüm kaya analizleri mineral kimyası çalışmalarıyla da desteklenmelidir.



Şekil 3.22: Dünitlerin diferansiyasyon trendini gösteren AFM Diyagramı.

a) Orhaneli dünitleri, b) Del Puerto Ofiyoliti(California) (Raymond, 2002).

4. OLİVİN

4.1. Olivinin Tarihçesi Ve Genel Özellikleri

1930'lu yıllardan itibaren endüstriyel bir mineral olarak kullanılmaya başlanan, ilk kez 1790 yılında Werner tarafından zeytin yeşili renginden ismini alan olivin, gün geçtikçe sanayide artan önem kazanmış ve bugün tüm dünyada olivin endüstrisi olarak kendine önemli bir yer edinmiştir. Ticari olivin % 45-50 MgO, % 40-43 SiO₂, % 8 Fe₂O₃ ve % 1-2 kızdırma kaybı şeklinde bir kimyasal bileşime sahiptir (Smith, 1992).

Sanayide aranan ve yaygın kullanılan tür forsterittir. Doğada saf forsterit bulma güçlüğü nedeni ile sanayide çoğunlukla Mg oranı yüksek olan olivinler kullanılmaktadır. Olivinin endüstriyel bir hammadde olarak kullanım alanları, fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki uygunluktan dolayı oldukça çeşitlidir.

Olivin, ortorombik sistemde kristallen, orto-silikat yapısında bir grup minerale verilen ortak isimdir. Olivin grubunun genel formülü (Mg,Fe)₂ [SiO₄] şeklindedir. Bu mineral grubunun uç üyeleri Forsterit (Mg₂ SiO₄) ve Fayalittir (Fe₂ SiO₄). Bu uç üyeler birbirleriyle katı ergiyik oluştururlar. Olivin grubu mineralleri % Fayalit oranına göre sınıflandırılırlar (Tablo 4.1) .

Tablo 4.1: Olivin grubu mineralleri.

Mineral	Kimyasal formül	Fayalit oranı (%)
Forsterit	Mg ₂ SiO ₄	0-10
Hyalosiderit	(Mg,Fe) ₂ SiO ₄	30-50
Hortonolit	(Mg, Fe, Mn) ₂ SiO ₄	50-70
Ferrohortonolit	(Mg, Fe, Mn) ₂ SiO ₄	70-90
Fayalit	Fe ₂ SiO ₄	90-100

Forsterit, Hyalosiderit, Hortonolit, Ferrohortonolit, ve Fayalit ana olivin grubu mineral üyeleri; Montisellit, Glokokroit, Knebelit, Kirştenit, Tefroit, Larsenit, Ca-Larsenit ise bu ana üyeler dışında doğada oldukça ender gözlenen olivin grubu mineralleridir (**DPT raporu, 1995**). Mg/Fe oranının azalmasıyla birlikte olivin grubu

minerallerinde kademeli olarak kırılma indisi, öz kırılma değeri ve yoğunluk artar. Fiziksel özellikler Mg/Fe fonksiyonunda değişmektedir (Çoğulu, 1973). Fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından oldukça dikkat çeken olivin Mohs sertlik skalasına göre 6.5 - 7 arasında sertliğe ve Larsenit dışındaki minerallerinde Fe miktarına göre 3.21 - 4.40 gr/cm³ arasında değişen özgül ağırlığa sahiptir (DPT raporu, 1995). Olivin dizisi denge diyagramında salt Forsterit 1890⁰C'de, salt Fayalit ise 1205⁰C'de kristalleşir (Çoğulu, 1973).

4.2. Olivinin İçinde Bulunduğu Kayaçlar

Olivin ultrabazik kayaların ana kayaç yapıcı minerallerinden biridir. Ultrabazik kayaçlar sahada genellikle geniş alanlar kaplayan masifleri oluştururlar. Ultrabazik masiflerin yan kayaçlarla dokanakları çoğu kez faylı, kırıklı olup, yan kayaçta herhangi bir ısı ve kimyasal alışverişte bulunmamıştır. Bu nedenle masiflerin bu özellikleri nedeniyle bu olay soğuk sokulum olarak da isimlendirilmektedir. Tablo 4.2'de içerdikleri olivin miktarına göre ultrabazik kayaçlar sınıflandırılmıştır.

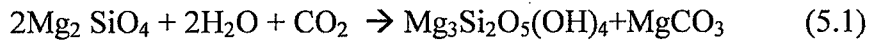
Olivinin içerisinde en çok bulunduğu ultrabazik kayaçlar dünitlerdir. Dünit kayası ismini Yeni Zelanda'daki Dun Dağları'ndan almıştır. Kayaç mineralojik olarak % 90'dan fazla olivin içermektedir. Olivin genellikle forsterit veya krizotil cinsindedir. Ancak Dun Dağları'ndaki masifinde olduğu gibi içerdği olivin demirce zengin olan hortonolit de olabilir. Bu tip dünitler serpantinleşmeye dayanıklılıklarından tazelikleriyle göze çarparlar. Kromit genellikle en önemli tali mineraldir. Kromit miktarı bazen öyle artabilir ki kaya olivinli kromite geçiş yapabilir (Aslaner, 1989).

Tablo 4.2: Ultrabazik kayaçların sınıflandırılması (Gültekin ve Örgün,2003).

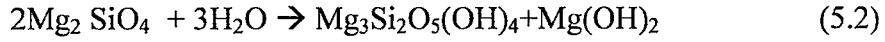
Olivin miktarı	Kayaç ismi	Bileşimi
% 90-100	Dünit	Olivin ± kromit
% 30-90	<u>Peridotit Grubu</u>	<u>Olivin + Piroksen grubu mineraller</u>
	Saksonit	Olivin + Enstatit (Bronzit)
	Harzburjit	Olivin + Hipersten
	Lerzolit	Olivin + Ortorombik piroksen +Monoklinik piroksen
	Wehrlit	Olivin + Monoklinik piroksen
	Kortlandit Kimberlit	Olivin + Amfibol Olivin + Mika + piroksen + gröna ± elmas
% 10-30	Piroksenit Hornblendit	

4.3. Olivinde Görülen Alterasyon Olayları

Farklı pek çok oluşum teorisi ile açıklanabilen serpantinleşme, otohidratasyon yolu ile ifade edildiğinde 500⁰C'nin altında hidrotermal eriyikler aracılığı ile ultrabazik magmanın kendini hidratlaştırması sonucu gerçekleşen, ultrabazik kayalarda gözlenen en önemli alterasyon olayıdır. Ayrıca dinamometamorfizmanın etkisiyle yer altı sularının serpantinleşmeye kaynak oluşturduğu kabul edilir. Başka bir görüş ile de serpantinleşme, postmagmatik veya otometasomatik bir olay olup, sıcak olivinlerle kalıntı sulu eriyikler arasında oluşan alterasyon olayı şeklinde açıklanmaktadır. Bu olay aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir.



Olivin Serpantin Manyezit



Olivin Serpantin Brusit



Olivin Serpantin

Serpantinleşme bir hidratlaşma olayıdır, yukarıdaki denklemlerde de (Örgün, 1986) görüldüğü gibi çeşitli karbonatlar ve hidroksitler oluşmaktadır.

Forsterit 500⁰C'nin altında ve sulu ortamda serpantin minerallerine dönüşür. Bu durum Mg taşıyan ortopiroksenler için de geçerlidir. Böylelikle magnezyumca zengin olivin ve ortopiroksen içeren ultrabazik-bazik kayalar çeşitli derecelerde serpantinleşmeye uğrarlar. Serpantinleşmenin kökeninin peridotitlerin, amfibolitlerin ve piroksenlerin metamorfik alterasyonlarında olduğu söylenebilir. Serpantinleşmede alterasyonlar genellikle tamamlanmamış olduğundan serpantinlerin fiziksel özellikleri çok geniş bir alanda çeşitlilik göstermektedir. Kara yüzeyinde belirgin bir görünüm sergilemektedirler. Toprak normalden daha fazla killi bir yapı göstermekte ve bitkiler diğer çevre bitkilerden ayırt edilebilir nitelikte olmaktadır. Serpantin toprağı içeren alanlar dar, uzun şeritler halinde otlar ve ormanlık alanlar içerisinde çalılık bölgeler oluşturmaktadır.

Yaklaşık 20 mineral serpantin grubuna ait mineral olsa da bunlar karışım halinde bulunduklarından, bu mineralleri her zaman tek tek ayırtlamak ve farklılıkları

belirtmek mümkün olmamaktadır. Bu yüzden serpantin grubu mineralleri genel olarak 3 ana mineral olarak incelenmektedir. Bunlar: Antigorit, krizotil ve lizardittir.

Stresin etkili olmadığı ortamlarda olivinin kenar ve çatlaklarından itibaren gelişen ve çatlaklara dik olarak dizilim gösteren krizotil oluşur. Bunun yanı sıra manyetit, nadir olarak da hematit ve manyezit oluşumu da gözlenir. Stresin etkili olduğu ortamlarda ise olivin antigorite dönüşür. Benzer koşullar altında serpantinleşmiş olivin talk minerallerine de dönüşebilir. Özellikle tektonik hatlar boyunca, ezik zonlarda, faylı kesimlerde ve kenar zonlarda etkili olan serpantinleşme olayı, tektonik olaylar süresince veya bu olayların sonucunda gerçekleşmektedir. Serpantinleşme bu çalışmanın gerçekleştirildiği sahada da olduğu gibi arazide % 1 ile % 100 arasında değişen oranlarda gözlenebilmektedir.

Serpantinleşme, olivinin endüstriyel hammadde olarak kullanılmasında problem yaratan en önemli parametredir. Kızdıma kaybı ile olan doğru orantısıyla kayacın dayanıklılığını düşürmekte ve istenilen verimin elde edilmesinde olumsuz rol oynamaktadır.

Magmadan ilk kristallenen bir mineral olduğundan, olivin değişik koşullar altında kolaylıkla bozunmaya uğrayabilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda magmadan ayrıldıktan sonra silisçe zenginleşen çözelti ile reaksiyona girerek kenarlarından itibaren ortopiroksene (çoğunlukla bronzite) dönüştür. Bazen çekirdek kısmında kalıntı olarak olivine rastlanabilir. K bakımından zengin artık çözeltiler ile reaksiyon sonucu bir biyotit kuşağı ile çevrilebilir. Magmatizma sonrası evrede pilit adı verilen karmaşık bir amfibol agregatına dönüşebilir. Gabrolarda anortit bakımından zengin plajioklaslar ile olivin sınırında gelişen reaksiyon ile kelfitik zon veya kuşak (korona) oluşur. Yüksek sıcaklıkta Fe^{+2} 'nin kısmen oksidasyonu sonucu villarsit oluşur. Bu sürecin ilerlemesi ve Fe^{+2} getirmesi sonucu ise volkanik kayalarda sarımsı kahverengi, zayıf pleokroik, biyotite benzeyen iddingsit oluşur (Erkan, 2001).

4.4. Olivinin Kullanım Alanları

Olivin günümüzde gerek kimyasal gerekse fiziksel özelliklerindeki uygunluk sebebiyle sanayinin pek çok farklı kolunda endüstriyel hammadde olarak kendini kabul ettirmiştir. Sertliği, refrakter özelliği ve kullanım için kolaylık yaratan farklı dane boyu dağılımları ile hammadde sektöründe hızla büyüyen bir alan yaratmıştır.

Aşağıda olivinin kullanım alanları hakkında DPT Olivin Raporu'ndan (1995) alınan genel bilgiler verilmiştir:

4.4.1. Demir-Çelik Sanayii

Olivinin en çok kullanıldığı alan demir-çelik endüstrisidir. Olivin yüksek fırınlarda eritici ve cüruf düzenleyici olarak kullanılmaktadır. Yüksek fırınlarda çelik üretimi için demir cevheri ve kok kömürü kullanılmaktadır. Bu hammaddeler yeteri derecede saf olmadığından gerekli olan ergimede olivinin eritici olarak büyük rolü olmaktadır. Cüruf içinde genellikle kireç (CaO), magnezyum (MgO), silika (SiO_2) ve alümina (Al_2O_3) bulunmaktadır. Bunlar bulundukları oran itibarı ile impuritelerin ortamdan uzaklaşması için rol oynamaktadırlar. Burada baziklik oranı oldukça önemlidir. Bazik oksitlerin asit oksitlere oranının 0,8-1,2 arasında olması tercih edilmekte ve sülfür, fosfat gibi impuritelerin bu durumda en fazla miktarlarda cüruftan uzaklaştığı ileri sürülmektedir. Silika ve alümina genel olarak yüksek fırına konan demir cevheri içerisinde impurite şeklinde bulunur. Ancak baziklik oranını azaltmak için fırına doğrudan kuvars kumu konur. Kireçtaşı, dolomit veya olivin eklemek sureti ile baziklik oranı ayarlanır. Olivinin konması ile cürufun MgO değeri artar ve dolayısı ile de akışkanlığı da artmış olur. Ancak cüruf bazikliğinin değişmemesi gerekir. MgO ve SiO_2 aynı oranlarda konmuş olmalıdır. Bu nedenle olivin dolomitin yerine çok rahatlıkla kullanılabilir. Olivindeki yüksek MgO değerlerinin, cüruf viskozitesinin yüksek fırındaki malzemelerin kompozisyonuna bağlı kalmaksızın hareket etmesini sağlaması diğer bir avantajdır. Dolomitte bu durum söz konusu değildir. Diğer taraftan olivin kullanıldığı zaman fırında bir başlangıç ısısına gerek bulunmamaktadır. Ayrıca olivinin ateş kaybı dolomitten daha düşük olmaktadır. Olivinin sinterleşme olayına oldukça büyük katkıları olmaktadır. Olivin sinter tesislerinde kullanıldığında sinterleşme derecesini düşürmekte, böylece enerji kaynağı olarak kullanılan kok kömürü azalmakta ve sinterin sertliğinin artmasıyla kapasitenin artması sağlanmaktadır. Bu proses ayrıca, demir minerallerinin fırında homojen bir şekilde dağılmasını sağlamakta ve böylece impuritelerin ortamdan uzaklaştırılması da daha kolay olmaktadır. Olivinin diğer bir özelliği de fırındaki alkalilerin bir araya toplanmasına engel olmaktır. Çelik sanayinde olivin içeren peletlerin kullanıldığı da bilinmektedir.

4.4.2. Refrakter Sanayii

Refrakter özelliği olivinin endüstriyel hammadde olarak kullanılmasında dikkati çeken ilk olumlu yanıdır. Yüksek ergime derecesinden dolayı olivinden forsterit tuğla yapımı 1930 yılına beri sürdürülmektedir. Forsterit tuğlanın refrakterlik derecesi 1890°C civarında olup başta demir-çelik sanayinde yüksek fırınlarda, çimento sektöründe ve yüksek ısınin gerektirdiği pek çok fırında iç tuğla ve refrakter bir çok malzeme yapımında kullanılmaktadır. Potaların iç kısmının kaplanması da olivin kullanılmaktadır. Olivinin kullanılmasındaki diğer bir avantaj da içerisinde bulunan malzemeyi daha çabuk soğutmasıdır.

Devamlı döküm elde etmede kullanılan tundislerin imalinde de önemli miktarlarda olivin kullanılmaktadır. Tundislerden geçen eriyik cevher potalarda son şeklini alarak piyasaya sürülür. Özellikle tundislerin astar şeklinde kaplanmasında çok miktarda olivin püskürtülerek kullanılır.

Değişik oranlardaki olivinle fosfat, krom, karbon gibi minerallerin inorganik maddeler veya reçine ile bağlanmaları sonucu oluşturulan kimyasal bağlayıcı tuğlalar refrakter sanayisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Refrakter endüstrisinde manyezitten oluşmuş refrakter tuğlanın kullanılması gayet doğaldır. Manyezitin refrakterlik derecesinin (2000°C'nin üzerinde) olivininkinden daha yüksek olmasına karşılık, çeliği daha uzun sürede soğutması, olivine göre daha pahalı olması, manyezit yerine olivinin kullanılmasını günden güne artırmaktadır.

Olivin, ayrıca çöp ve benzeri atıkların yakılıp kül haline getirildiği fırınların üretiminde de; özellikle ABD'de, Avusturya'da ve Pasifik kıyısı ülkelerde bol miktarlarda kullanılmaktadır.

4.4.3. Döküm Sanayii

Zirkon ve kromitteki yüksek fiyat artışları, olivinin bu sanayi dalında kullanımının artmasına neden olmuştur. Esasen döküm sanayinde en fazla kuvars kumu kullanılmaktadır. Ancak döküm sırasında dökülen metalik malzemelerle kalıp arasında, problemlili durumlarda olivinden yapılmış kalıplar tercih sebebidir. Kuvars kumları, döküm sırasında metal ile reaksiyona girmekte, olivin kalıp ise metalin bünyesine girmesine izin vermemektedir. Özellikle manganez çelik dökümünde sadece olivinden yapılmış kalıplar kullanılmaktadır. Silis kumu döküm sırasında

düşük ergime sıcaklığına sebep olmakta, bu çeliğin kum üzerinde sinterleşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle önce çelik üzerinde yanmalar olmakta sonra da çelik yüzeyinde delikler meydana gelmektedir. Olivin ise manganez çelik ile düşük ergime fazı oluşturmamaktadır.

Olivinin silis kumuna göre ısı karşısında oldukça düşük genleşme göstermesi, termal şoka karşı sürekli mukavemet göstermesi, daha kolay şekillendirilebilir olması, kısmen köşeli parçalardan oluştuğu için daha fazla kuru kırılma dayanımı göstermesi, olivinin işlem sırasında oldukça iyi kalsine olmasıyla yeniden kullanımının kolay olması ve silis kumlarının neden olduğu silikosis hastalığının olivinle çalışıldığında ortadan kalkmış olması gibi pek çok nedenle olivinin döküm sanayinde kullanımı silise karşı oldukça fazla sayıda avantaj ortaya koymaktadır.

4.4.4. Aşındırıcı Olarak Kullanımı

Yoğunluklarının 3,3-3,5 gr/cm³, sertliklerinin 6,5-7 ve genellikle köşeli tanelere sahip olmaları, olivinlere belirgin aşındırıcı özellikler kazandırmıştır. Bir çok ülkede bina ve köprüler gibi yapıların yüzeylerinin temizlenmesinde olivin kullanılmaktadır. Kullanılan yüzeye göre 0,09 mm - 1,7 mm boyutlarında olan olivinler basınçlı hava ile temizlenecek yüzey üzerine püskürtülmek sureti ile kir, pas ve benzeri istenmeyen materyaller kolayca uzaklaştırılarak yüzey temizlenmektedir. Temizleme işlemine ilaveten düzgün yüzey veya girintili çıkıntılı yüzey elde etmek veya herhangi bir yapının veya dekorun bir kesiminin alınması için de hava basınçlı toz olivinler kullanılmaktadır. Uzun deniz yolculukları yapan gemilerin dış yüzeylerinde korozyon nedeniyle oluşan aşınmalar ve yüzey boyalarındaki tahribat da olivin kumu kullanılarak yüzey boyayı tutacak hale getirilip yüzeyin yeniden boyanması sağlanmaktadır.

Avrupa'da bu amaç için 1988 yılından önce zaman zaman silis kumu kullanılmaktaydı. Silis kumunun döküm sanayinde olduğu gibi sağlığa zararlı olması nedeniyle bu tarihten itibaren kullanımı yasaklanmış, yerine serbest silis içermemesinden dolayı olivin kumu kullanılmaya başlanmıştır.

4.4.5. Elektrikli Isıtıcı (Radyatör) Olarak Kullanımı

Bu ısıtıcılara Avrupa'da "Gece Isıyı Depo Eden Isıtıcılar (Night Storage Heaters)" denmektedir. Bir elektrikli malzemeden ısıyı absorbe eden ve depolayan radyatör

şeklinde tasarlanmış olivinden yapılmış tuğlalar, belirli bir süre sonra özellikle gündüzleri bu ısıyı yayarak konutları ısıtmaktadır. 1965-1975 yıllarında Avrupa'da büyük oranlarda kullanılan bu radyatörler, daha sonraları elektrik fiyatlarındaki artışlar ve doğalgaz kullanımının yaygınlaşması gibi nedenlerle kullanımda sekteye uğramıştır. Olivin radyatörler ısıyı daha fazla tutması açısından manyezitli radyatörlere tercih edilmekle birlikte, son yıllarda demirden (manyetit) yapılmış radyatörlerin üretimi de bu alanda olivin payını oldukça küçültmüştür. Demirli radyatörler, yoğunluğunun fazla olmasından dolayı daha ince imal edilmekte, bu da daha fazla ısıyı depo etmesine ek olarak estetik bir görünüm oluşturmaktadır.

4.4.6. Ballast (Denge) Malzemesi Olarak Kullanımı

Olivin, yüksek yoğunluğu nedeniyle bazı denge işlevlerinin esas olduğu alanlarda kullanılmaktadır. Özellikle Kuzey Denizi'ndeki petrol platformlarını dengede tutmak için olivin kullanılmaktadır. Olivin bu platformlardaki betonların gözeneklerini gayet iyi bir şekilde doldurarak, ağırlığından dolayı denge işlevine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, ağır beton uygulamalarında, liman platformları ve deniz altı boru hatlarında da olivin kullanılmaktadır. Kirlenmiş dok ve deniz yatakları için filtre ve örtü malzemesi olarak, beyaz asbest üretimi, su arıtma ve kaya yünü üretiminde de olivin kullanılmaktadır.

Tren yollarında sağlam ve dengeli bir temel sağlamak için de olivin çakılları kullanılmaktadır. Nisbeten köşeli ve sağlam çakıllar burada iyi drenaj sağlayarak tren yolunun kaymasını önlemektedir.

4.4.7. Çevre Teknolojilerinde

Asidik endüstriyel atıkların arıtılması, geri kazanılması veya nötralizasyonu çoğu kez mümkün olmaz veya çeşitli sorunlar ortaya çıkarır. Bunlardan en yaygın olanı asidik atık suların kireçtaşı ile nötralizasyonudur. Başlangıçta basit gibi görünen bu yöntem sonucunda bir müddet sonra kullanım alanı bulunmayan çok miktarlarda kirli jips v.b. katı atıklar önemli bir başka sorun olarak kendini gösterir. Son yıllarda geliştirilen teknolojiler sayesinde, büyük miktarlarda asit kullanan işletmeler, ilave bir proses kurarak hem sularını arıtıp çevreye temiz su vermekte hem de bu proses sayesinde sanayi değeri yüksek yan ürünler kazanmaktadır. Katı atık kalmamaktadır. Bu proseslerde olivin kullanılmaktadır. Olivinin sudaki çözeltisinde pH=9-9,3 civarındadır. Proses başlangıçta 70-100°C sıcaklık gerektirmekle beraber, meydana

gelen reaksiyonlar egzotermik olduğundan daha fazla enerjiye ihtiyaç göstermez, sistem ısı yaymaya başlar. Dört kademede gerçekleşen reaksiyonlar sonucunda ilk kademede çöktürülmüş silika kolayca filtre edilerek alınmaktadır (yüksek saflıkta mikronize silika: kağıt, lastik, cam, seramik, temizlik ve deterjan sektörlerinde genel olarak dolgu malzemesi olarak tüketilmektedir). İkinci kademede, yine kolayca filtrelenebilen mikronize manyetit elde edilmektedir (elektrik sektöründe ve kopyalama makinelerinde toner olarak kullanılmaktadır). Üçüncü kademede ise gübre sanayinde ve kağıt endüstrisinde kullanım alanı olan magnezyum sülfat elde edilmekte ve nötralize edilmiş su atılmaktadır. Yine ara kademelerde atıkların içeriğine bağlı olarak, nikel, krom, titan ve vanadyum gibi başka ürünler de kazanmak mümkündür.

4.4.8. Tarımda

Tarım alanlarında, 200 mikrondan ince öğütülmüş toz olivin hektara 1 ton kadar karıştırıldığında, yoğun asit yağmurlarına maruz kalan bölgelerde çok uzun yıllar tamponlama imkanı sağlar. Magnezyumca fakir topraklara olivin karıştırılır. Yine toprağın pH değerini dengelemek için olivin önemli bir kaynaktır.

4.5. Olivinin Sanayide Kullanım Standartları

İlk kez 1930'lu yıllarda endüstriyel bir mineral olarak kullanılan olivin, fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki uygunluk nedeniyle zamanla pek çok sanayi dalında kullanılır hale gelmiş ve bugün hızla artan talep karşısında başlı başına bir olivin endüstrisi oluşturmuştur. Farklı sanayi alanlarındaki kullanım amaçlarına göre, talep edilen ürünlerde bir standardizasyon gerekmiş, özellikle Norveç ve A.B.D. ticari olivinlerde bir takım fiziksel ve kimyasal özelliklere göre çeşitli standartlar geliştirmişlerdir. Endüstriyel amaçlı kullanıma yönelik olivinlerde esas alınan standartlar, olivinlerin kimyasal bileşimleri, ateş zayıatları ve dane boyu dağılımları gibi özelliklerinde yoğunluk kazanmaktadır. Tablo 4.3'de Norveç A/S Olivin firmasının belirlenmiş kimyasal bileşime göre ticari olivin standartları verilmiştir.

Tablo 4.3: Norveç A/S Olivin – Ticari olivinin kimyasal bileşim standartları

	NORVEÇ A/S
MgO	48-50
SiO ₂	42-43
Fe ₂ O ₃	6.8-7.3
Al ₂ O ₃	0.05-0.1
A.Z.	0.7-1.5

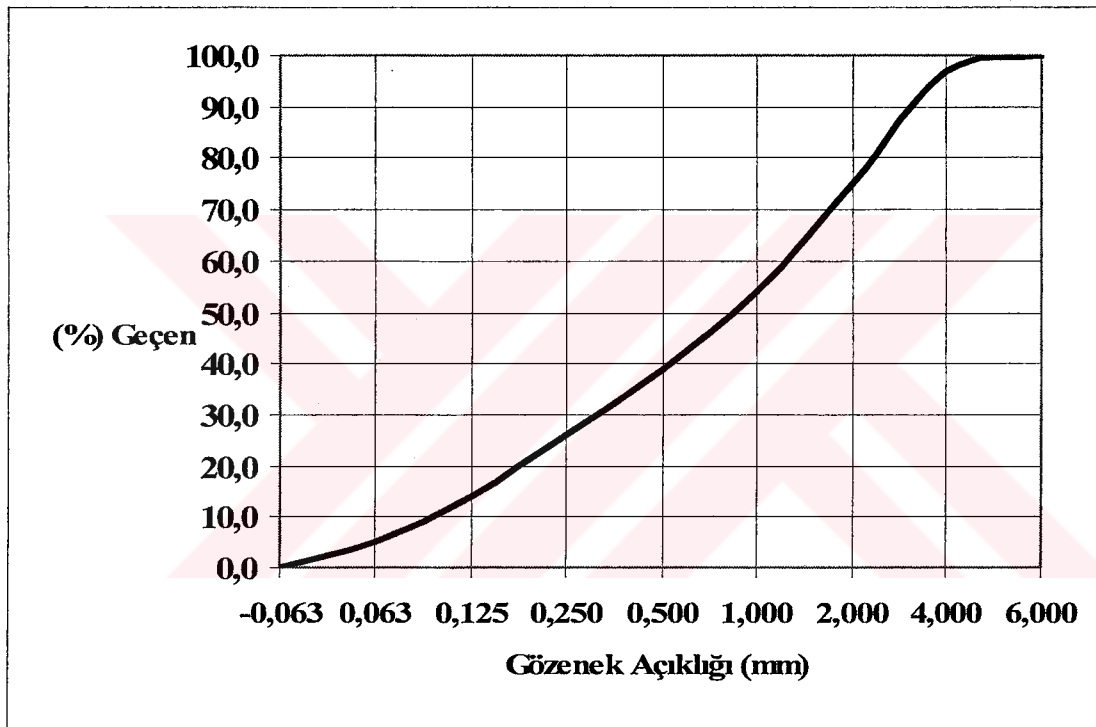
Kimyasal bileşime ek olarak dane boyu dağılımı olivinin endüstriyel amaçlı kullanımında oldukça önemli bir parametredir. Farklı dane boyutları dağılımına sahip olivinler çeşitli sanayi alanları için kullanıma kolaylık sağlamaktadırlar. A.B.D.'nin özellikle döküm sanayi, refrakter sanayi ve kumlama kumu için kullanılan olivinlere yönelik olarak, dane boyu dağılımını esas alarak geliştirdiği AFS (American Foundry Society) standartları tüm dünyaca kabul görmektedir. Örneğin, Orhaneli olivinleri makro örneklerde dahi gözlenebilir nitelikte sergiledikleri farklı dane boyları ile endüstriyel kullanım için pek çok alanda ürün verebilmektedir. Aşağıda değişik sanayi alanlarında kullanılan olivinlerin dane boyları, elek analizleri ve bu analizlerin sonuçlarına göre ŞE-TAT Madencilik Şirketi tarafından Norveç ve AFS standartları baz alınarak oluşturulan veri sayfaları (data-sheet) verilmiştir.

4.5.1. Refrakter Sanayi

Olivinin endüstriyel bir hammadde olarak ilk kullanıldığı alan olan refrakter sanayinde, 0-3 mm. dane boyu aralığına sahip olivinler tercih edilmektedir. Aşağıda bu nitelikteki olivinlerin elek analizi sonuçları tablo halinde, bu sonuçlarla oluşturulan dane boyu dağılımı ise grafik halinde verilmiştir.

Tablo 4.4: 0-3 mm. Olivine ait elek analizi sonuçları.

Elek Analizi		
Gözenek Açıklığı (mm)	% Kalan (Elek üstü)	% Geçen (Elek Altı)
6,000	0	100,0
4,000	3	97,0
2,000	22	75,0
1,000	21	54,0
0,500	15	39,0
0,250	13	26,0
0,125	12	14,0
0,063	9	5,0
-0,063	5	0,0



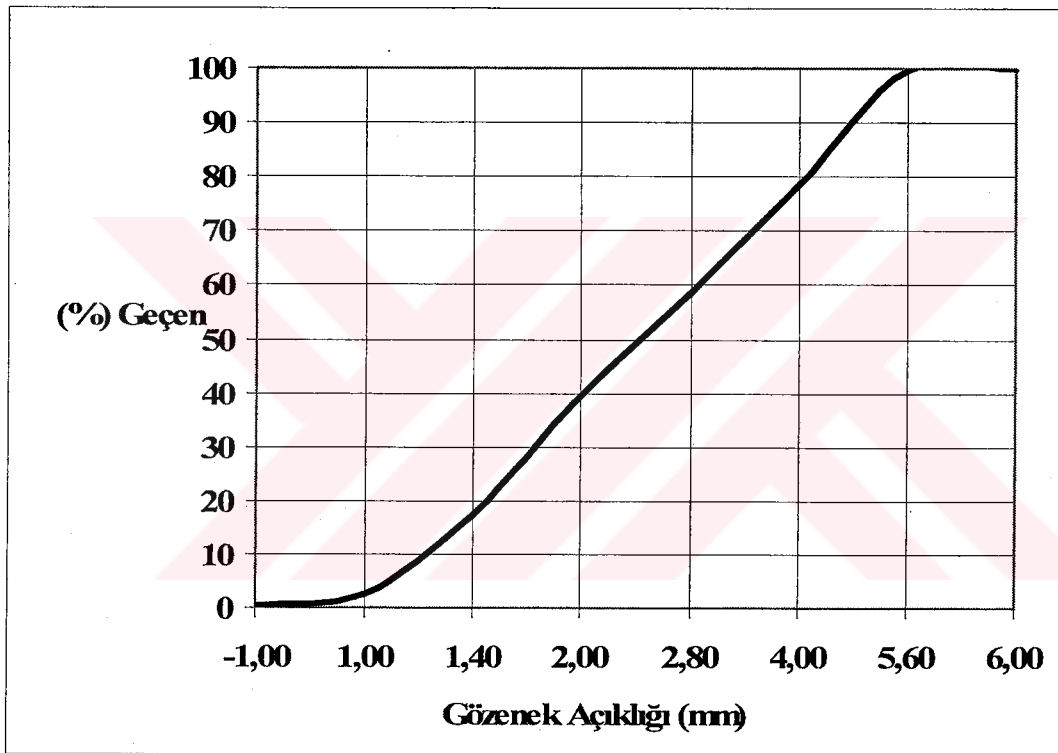
Şekil 4.1: 0-3 mm. olivinin elek analizi sonuçlarına göre dane boyu dağılımı.

4.5.2. EBT – Elektrik Ark Ocakları- Eksantrik Alt Ayarlama Delik Kumu

Elektrikli Ark Ocaklarında kullanılan olivinler oldukça geniş bir dane boyu aralığı sergilemektedirler. 1-5 mm, 2-6 mm, 2-8 mm, 3-9 mm, 3-8 mm. aralığında dane boyu dağılımına sahip olivinler bu ocaklarda eksantrik alt ayarlama delik kumu olarak kullanılmaktadırlar. Aşağıda dane boyu aralığı 1-5 mm olan olivinler için elek analizi sonuçları tablo halinde, bu sonuçlarla oluşturulan dane boyu dağılımı ise grafik halinde verilmiştir.

Tablo 4.5: 1-5 mm. Olivine ait elek analizi sonuçları.

Elek Analizi		
Gözenek Açıklığı (mm)	% Kalan (Elek üstü)	% Geçen (Elek Altı)
6,000	0	100
5,600	0,5	99,5
4,000	21	78,5
2,800	20	58,5
2,000	19	39,5
1,400	22	17,5
1,000	15	2,5
-1,000	2	0,5



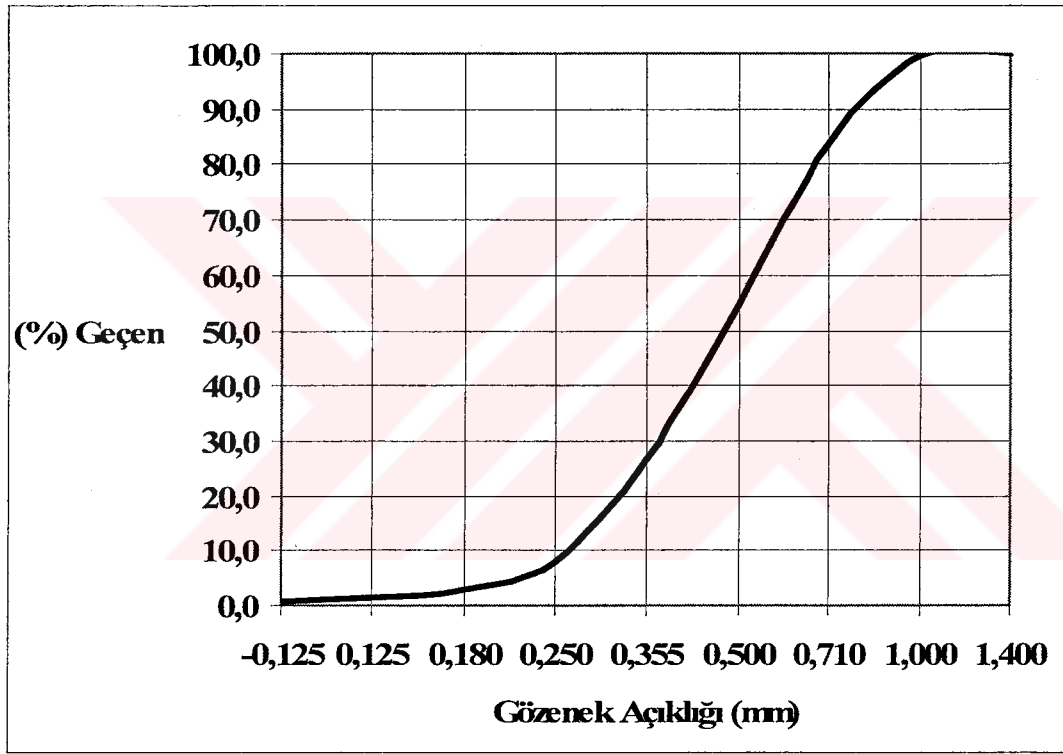
Şekil 4.2: 1-5 mm. olivinin elek analizi sonuçlarına göre dane boyu dağılımı.

4.5.3. Kumlama Kumu

Piyasada en çok alıcısı olan olivin ürünlerinden birisi de kumlama kumudur. Kumlama kumu için kullanılan olivinlerde AFS 30 standartları baz alınmaktadır. Aşağıda Kumlama kumu olarak kullanılan olivinler için elek analizi sonuçları tablo halinde, bu sonuçlarla oluşturulan dane boyu dağılımı ise grafik halinde verilmiştir.

Tablo 4.6: AFS 30 Standardında Olivine ait elek analizi sonuçları.

Elek Analizi		
Gözenek Açıklığı (mm)	% Kalan (Elek üstü)	% Geçen (Elek Altı)
1,400	0	100,0
1,000	0,2	99,8
0,710	16	83,8
0,500	29	54,8
0,355	28	26,8
0,250	19	7,8
0,180	5	2,8
0,125	1,5	1,3
-0,125	0,5	0,8



Şekil 4.3: AFS 30 Standardında olivinin elek analizi sonuçlarına göre dane boyu dağılımı.

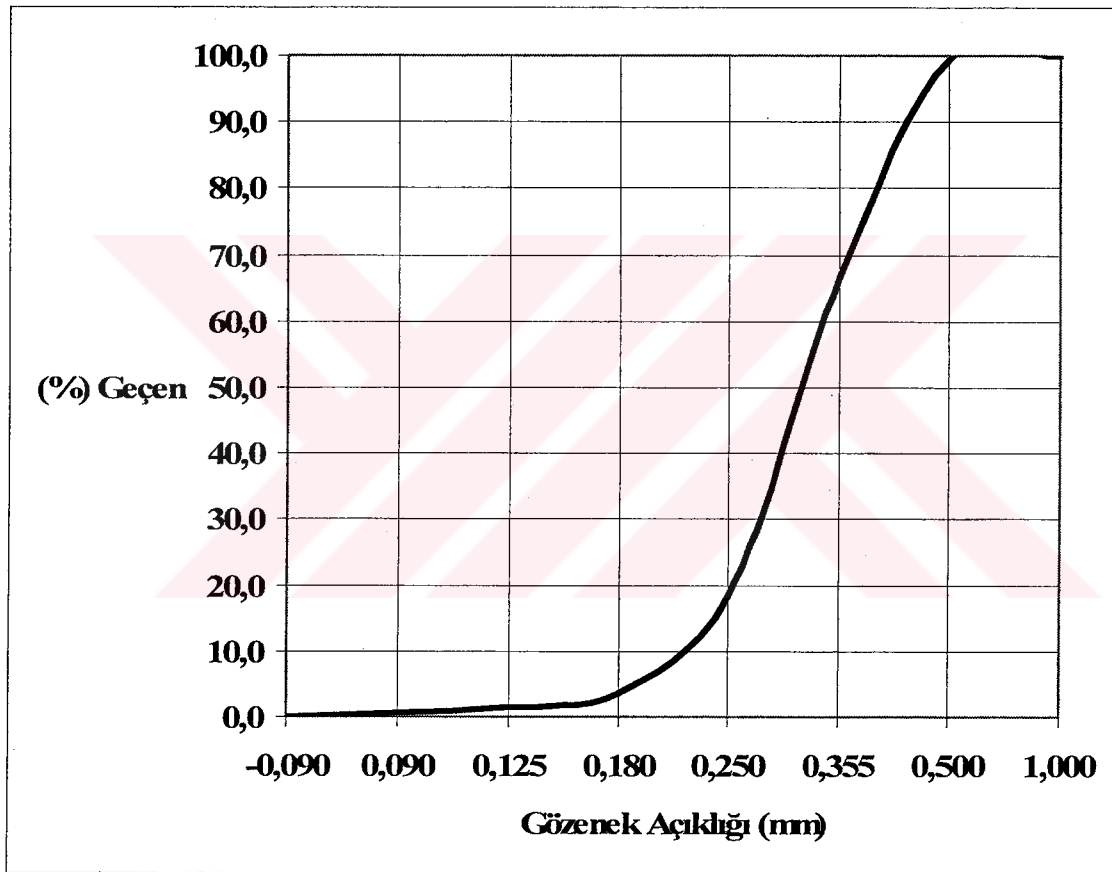
4.5.4. Döküm Sanayii

Olivinin en yaygın olarak kullanıldığı sanayi dallarından biri de döküm sanayidir.

Aşağıda döküm sanayinde en çok talep edilen AFS 50 standartlı ürünün elek analizi ve standart grafiği verilmiştir.

Tablo 4.7: AFS 50 Standardında Olivine ait elek analizi sonuçları.

Elek Analizi		
Gözenek Açıklığı (mm)	% Kalan (Elek üstü)	% Geçen (Elek Altı)
1,000	0	100,0
0,500	0,5	99,5
0,355	33	66,5
0,250	48	18,5
0,180	15	3,5
0,125	2	1,5
0,090	1	0,5
-0,090	0,5	0,0



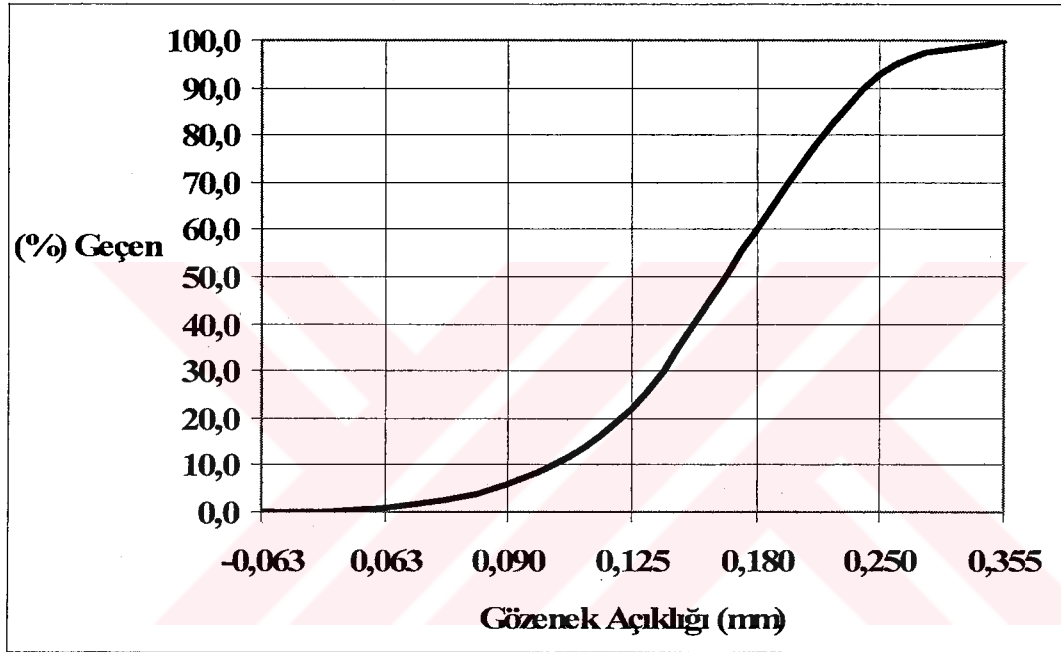
Şekil 4.4: AFS 50 Standardında olivinin elek analizi sonuçlarına göre dane boyu dağılımı.

4.5.5. Döküm Sanayii, Refrakter Sanayii

AFS 80 ve AFS 120 standartlarında üretilen olivinler gerek döküm sanayinde gerekse refrakter sanayinde tüketimi en fazla yapılan ürünlerdir. Aşağıda bu standartlı olivinler için elek analizi sonuçları tablo halinde, bu sonuçlarla oluşturulan dane boyu dağılımı ise grafik halinde verilmiştir.

Tablo 4.8: AFS 80 Standardında Olivine ait elek analizi sonuçları.

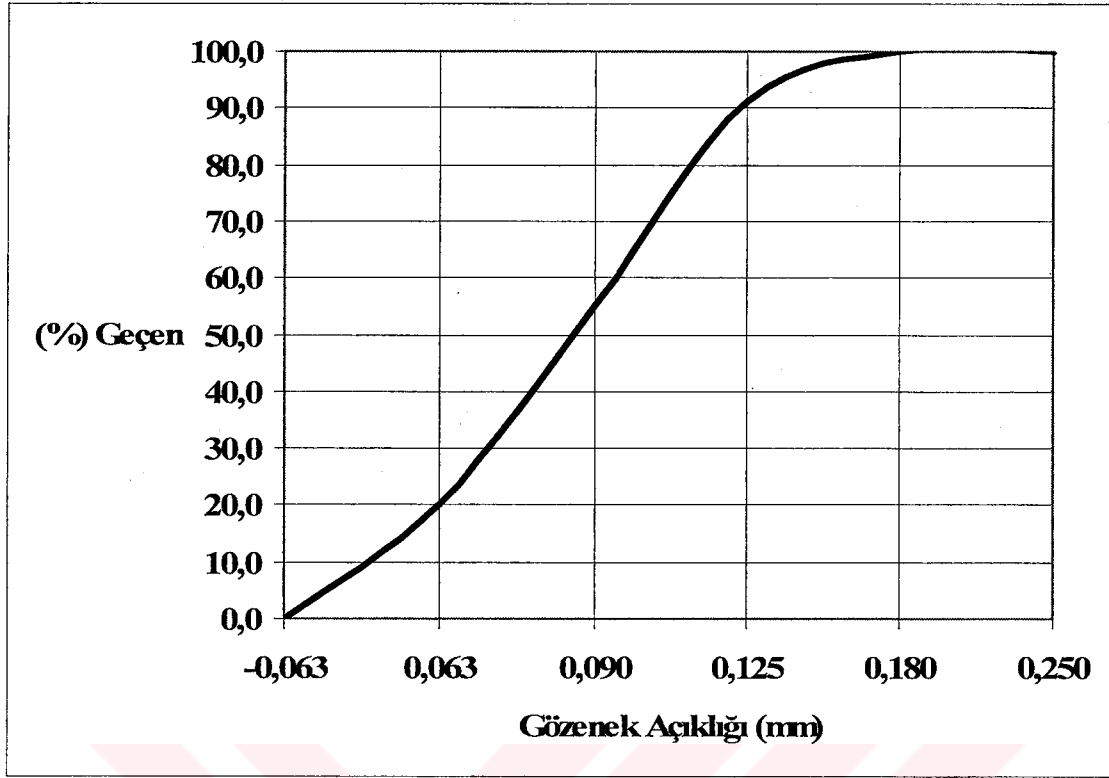
Elek Analizi		
Gözenek Açıklığı (mm)	% Kalan (Elek üstü)	% Geçen (Elek Altı)
0,355	0	100,0
0,250	7	93,0
0,180	33	60,0
0,125	38	22,0
0,090	16	6,0
0,063	5	1,0
-0,063	1	0,0



Şekil 4.5: AFS 80 Standardında olivinin elek analizi sonuçlarına göre dane boyu dağılımı.

Tablo 4.9: AFS 120 Standardında Olivine ait elek analizi sonuçları.

Elek Analizi		
Gözenek Açıklığı (mm)	% Kalan (Elek üstü)	% Geçen (Elek Altı)
0,250	0	100,0
0,180	0	100,0
0,125	9	91,0
0,090	36	55,0
0,063	35	20,0
-0,063	20	0,0



Şekil 4.6: AFS 120 Standardında olivinin elek analizi sonuçlarına göre dane boyu dağılımı.

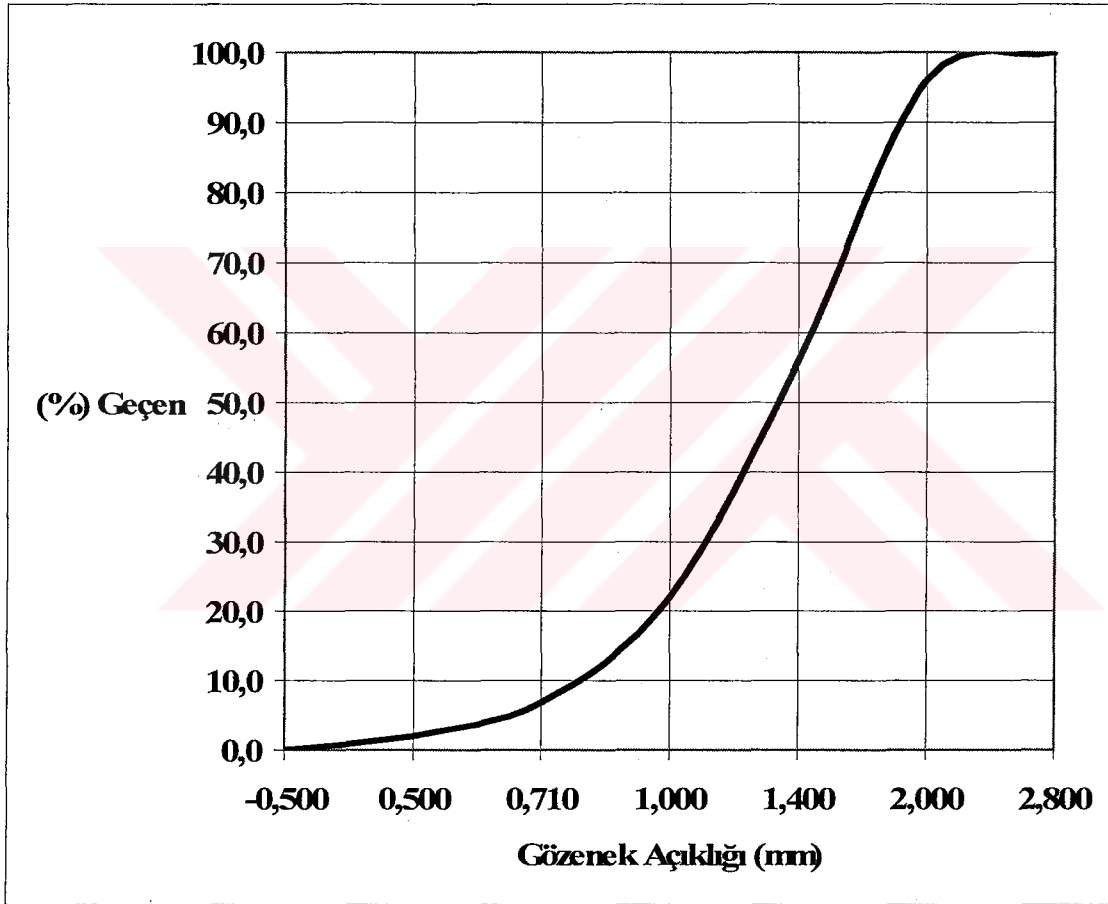
4.5.6. Diğer Kullanım Alanları İçin Standartlar

Yukarıda tanımlanan kullanım amaçları dışında olivinler çevre teknolojileri, dengeleyiciler, aşındırıcılar gibi pek çok sanayi dalında da kullanılmaktadır. Bu alanlar için tanımlanmış 2 adet standart vardır. Bunlar 0.5 -2 mm ve 1-6 mm aralığında dane boyuna sahip olivinlerdir.

Aşağıda bu dane boyu aralığındaki olivinler için elek analizi sonuçları tablolar halinde, bu sonuçlarla oluşturulan dane boyu dağılımı ise grafikler halinde verilmiştir.

Tablo 4.10: 0,5-2 mm. Olivine ait elek analizi sonuçları.

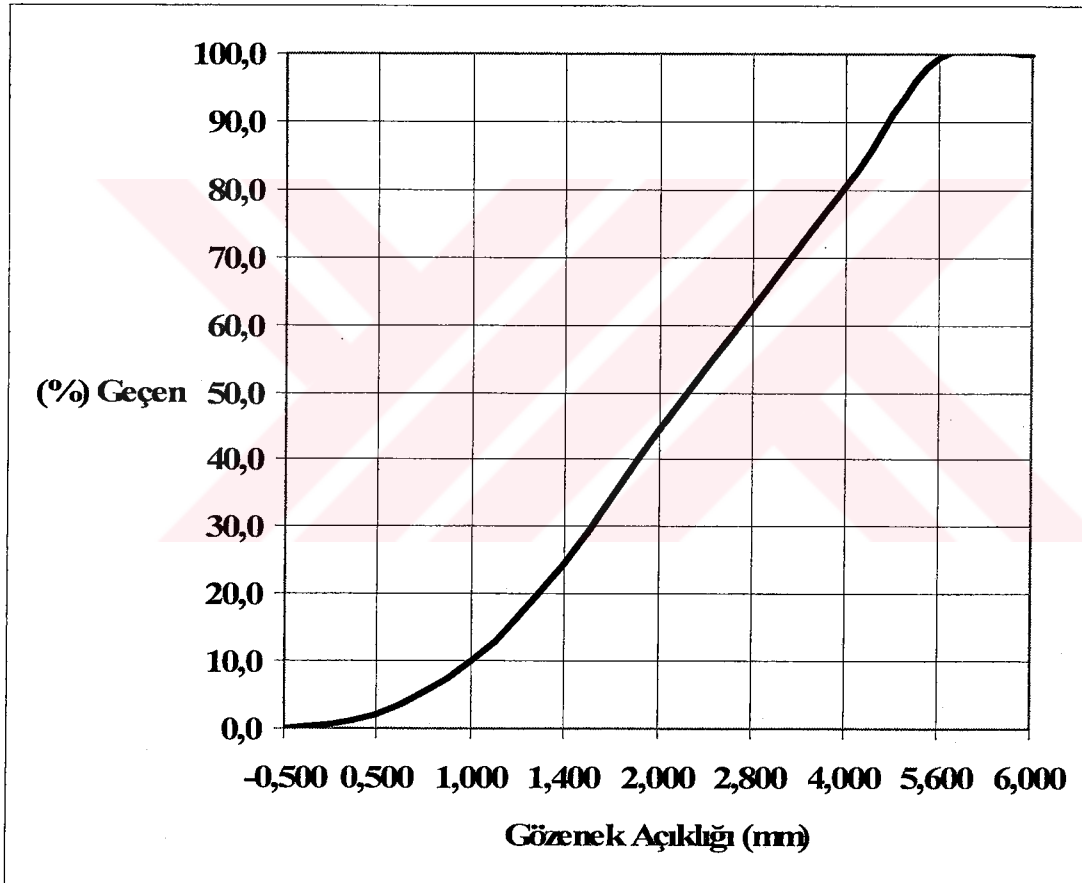
Elek Analizi		
Gözenek Açıklığı (mm)	% Kalan (Elek üstü)	% Geçen (Elek Altı)
2,800	0	100,0
2,000	4	96,0
1,400	40	56,0
1,000	34	22,0
0,710	15	7,0
0,500	5	2,0
-0,500	2	0,0



Şekil 4.7: 0,5-2 mm. olivinin elek analizi sonuçlarına göre dane boyu dağılımı.

Tablo 4.11: 1-6 mm. Olivine ait elek analizi sonuçları.

Elek Analizi		
Gözenek Açıklığı (mm)	% Kalan (Elek üstü)	% Geçen (Elek Altı)
6,000	0	100,0
5,600	0,5	99,5
4,000	19	80,5
2,800	18	62,5
2,000	18	44,5
1,400	20	24,5
1,000	14,5	10,0
0,500	8	2,0
-0,500	2	0,0



Şekil 4.8: 1-6 mm. olivinin elek analizi sonuçlarına göre dane boyu dağılımı.

4.6. Dünyada ve Türkiye’de Olivin

Sanayide kullanılma tarihi yaklaşık 75 yıl olan olivin, sahip olduğu üstün fiziksel ve kimyasal özellikleri ile dünyada en çok aranan endüstriyel hammaddelerden biri olmuş ve günümüzde başlı başına bir endüstri dalı haline gelmiştir. Bu amaçla pek

çok ülkede başta dunitler olmak üzere, olivin elde edilebilecek kayalar, olivin içerikleri ile birlikte fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından sanayide kullanılmaya uygunluğu açısından detaylı bir şekilde araştırılmakta ve olivin rezervleri ortaya konmaktadır.

Bu bölümde dünyada ve ülkemizdeki olivin rezervleri, dünyada ve ülkemizdeki üretimi-tüketimi ve olivin ticareti, başta DPT tarafından hazırlanan Olivin Raporu olmak üzere, ülkemizde olivin üretimi ve ticareti yapan ŞE-TAT Madencilik şirketinden derlenen verilerle tanıtılacaktır.

4.6.1. Dünyada ve Türkiye’de Olivin Rezervi

Dünyada işletilmekte olan en büyük olivin (dunit) yatağı Norveç’te bulunmaktadır. Aheim yakınlarında yaklaşık 6.5 km²’lik bir alanda yer alan olivinin rezervi 2 milyar tondan fazladır. Dünya rezervinin % 31’ini elinde bulunduran Norveç’i Washington’da 1.7 milyon ton ve North Carolina’da 125-200 milyon tonluk bir rezerv ile A.B.D. izlemektedir. Önemli miktarda rezervlere sahip diğer ülkeler ise, Torino yakınlarındaki Vidrocco ve Castellamonte kasabaları civarında yaklaşık 100 milyon ton rezerv ile İtalya, Galicia civarında 100 milyon tondan fazla rezerv ile İspanya ve yaklaşık 100 milyon tonluk bir rezerv ile Japonya’dır. İsveç’te bugün üretim yapılmamasına rağmen, 50.000 tonluk kapasite mevcuttur. Ayrıca, Yeni Zelanda, Rusya, Güney Afrika, Avusturya, Pakistan, İran ve Yugoslavya’da dunit yataklarının varlıkları bilinmektedir fakat buralardaki rezervler hakkında sağlıklı veriler elde edilmemiştir. Olivin rezervine sahip ülkeler Tablo 4.12’de rezervleri ile birlikte topluca verilmiştir.

Ülkemiz olivin rezervine sahip ülkeler listesine yeni giren bir ülke olmasına rağmen pek çok ülkeden daha fazla rezerve sahip olduğu açıktır.

Yaklaşık olarak %18’i ultrabazik kayalarla kaplı ülkemizde olivin madenciliği kendini yeni yeni tanıtmaya başlamakla birlikte, çalışmalar Türkiye olivinlerinin endüstriyel amaçlı değerlendirilmesinde göz ardı edilmeyecek rezervlere sahip olduğunu göstermektedir. Ülkemizde Bursa-Orhaneli, Bursa-Harmancık, Muğla-Fethiye, Adana-Karsantı (Kızılyüksek), Guleman-Kef dolaylarında mevcut dunitlerin olivin açısından değerlendirilebilir nitelik ve nicelikte olduğu çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur. Bu bölgelerdeki rezervler, Bursa-Orhaneli bölgesi hariç, tam olarak tespit edilememiştir. Bu yataklara ek olarak Kop, Sivas-Kızıldağ, Hatay-

Kızıldağ, Marmaris-Göksun, Berit-Kömürhan, Kızılırmak, Güllüdağ ve Almacık ofiyoliti gibi pek çok ofiyolitik kompleksin içerdikleri dünitler, olivin eldesi amacıyla detaylı olarak incelenmelidir (DPT,1995).

Yukarıda belirtilen bölgelerden Bursa-Orhaneli bölgesindeki çalışmalar tamamlanmış (Örgün ve Gültekin, 2003), 1.200.000.000 ton toplam olivin rezervi tanımlanmış ve olivin üretimine başlanmıştır.

Tablo 4.12: Dünyada önemli olivin üreticisi ülkeler ve rezervleri

Ülke	Rezerv
Norveç	> 2 milyar ton
A.B.D.	yaklaşık 200 milyon ton
İtalya	>100 milyon ton
İspanya	yaklaşık 100 milyon ton
İsveç	50.000 ton
Yeni Zelanda, Rusya, Güney Afrika, Avusturya, Pakistan, İran ve Yugoslavya	Rezervleri bilinmemektedir

4.6.2. Dünyada ve Türkiye’de Olivin Üretim ve Tüketimi

Olivin üretiminde Norveç tekeldir, Norveç’ten sonra İspanya, Japonya, Rusya, İtalya, A.B.D., Türkiye, Meksika, İsveç ve Avusturya gelmektedir. Norveç’in A/S Olivin isimli şirketi, dünyada en çok olivin üreten kuruluştur. Diğer önemli olivin üreticisi kuruluşlar, ülkeleri ile birlikte, Tablo 4.13’te verilmiştir.

Ülkemizdeki olivin sahaları tamamıyla özel sektörün kontrolünde olup, bu alandaki iki önemli firma ŞE-TAT Madencilik ve Beykrom Madenciliktir. ŞE-TAT Madencilik Bursa’da önemli olivin sahalarına sahiptir. Bursa-Orhaneli bölgesinde yapılan incelemeler sonucu Türkiye’nin uzun yıllar faydalanabileceği büyük bir potansiyel rezerv belirlenmiştir. ŞE-TAT Madencilik firması adına kayıtlı sahada ŞE-TAT Olivin fabrikası açılmış ve ürünler ŞE-TAT Olivin markasıyla satışa sunulmuştur. ŞE-TAT Madencilik farklı tane boyutlarına göre, cüruf dengeleyici, ağır agrega, elektrikli ark fırınlarında dip dolgusu (EBT Kumu), pas sökücü,

kumlama kumu ile çeşitli AFS Standartlarına sahip döküm kumu ve refrakter tuğla malzemesi üreterek satışa sunmaktadır.

Beykrom firmasının sahip olduğu olivin sahalarına ait rezervler konusunda bilgiye ulaşamamıştır.

Diğer pek çok hammadde kaynaklarında olduğu gibi, olivin ticaretinde de en önemli parametrelerden biri limanlara yakınlıktır. Bu anlamda Orhaneli olivinlerinin Bandırma limanına yakın olması sahanın önemini bir kat daha artırmaktadır.

Tablo 4.13: Başlıca Olivin Üreticisi Ülkeler ve Kuruluşlar

Ülke	Firma
Norveç	A/S Olivin, Franzefoss Bruk A/S, Nor Mineral A/S, Indsutrimineraler A/S
İspanya	Pasek Espana SA, Gabriel Perez-Minas
Japonya	Toho Olivine Industrial Co
Avusturya	Magnolith GmbH
ABD	Olivine Corporation, Aimcor, Unimin
İtalya	Nouva Cives SPA
Meksika	Regio Cal Sade SV
İsveç	Handol
Pakistan	Black Mountain Pvt. Ltd.
Türkiye	ŞE-TAT Madencilik, Beykrom Madencilik

5. ORHANELİ OLİVİNİNİN SANAYİDE KULLANILABİLİRLİĞİ

Bu bölümde Orhaneli olivinlerinin fiziksel, kimyasal ve mineralojik karakteristikleri, sanayide kullanım kriterleri ve elde edilen sanayi ürünleri tanıtılacaktır.

5.1. Orhaneli Olivininin Fiziksel Özellikleri

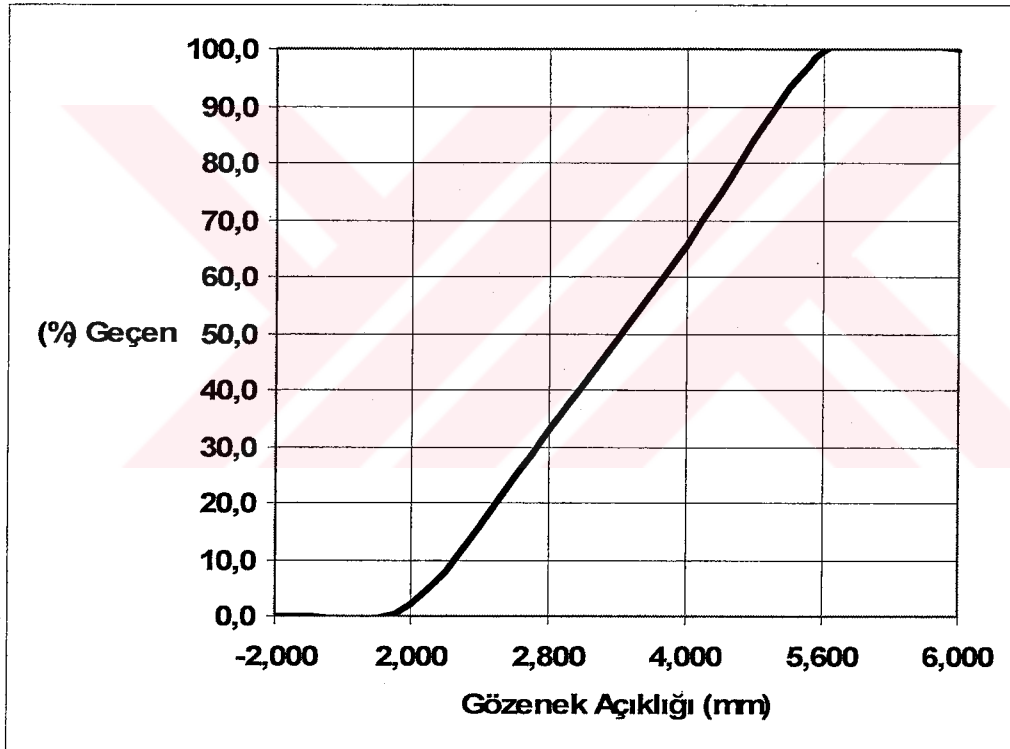
Orhaneli olivini yeşil- sarımsı yeşil ve grimsi yeşil renk tonlarında izlenmektedir. Genel olarak köşeli daneler şeklinde olup yoğunluğu 3.3 gr/cm^3 tür. Mohs sertlik skalasına göre 6.5-7.0 sertliğindedir. Yaklaşık olarak 1760°C 'de ergimeye başlar ve başlangıç sinterleme derecesi 1450°C 'dir. Ancak, Orhaneli olivinlerinde yüksek demir içeriği sinterleşme sıcaklığının düşmesine neden olmaktadır ve sinterleme testi, sinterlemenin 1200°C 'de başladığını göstermektedir ki; bu da Gusdal'daki (Norveç) olivinlerden 150°C kadar daha düşük bir sinterleşme sıcaklığı demektir. Bu durum Orhaneli olivinleri için oldukça olumlu bir avantajdır. Sulu çözeltide $\text{pH}>9$ 'dur. Olivinin endüstriyel kullanımı için en önemli parametrelerden biri olan dane boyu dağılımı Orhaneli olivinlerinde 0,04 mm ile 4 cm'e kadar değişmektedir. Olivinlerin dane boyu temelinde ŞE-TAT Madenciliğin geliştirdiği veri sayfaları kullanım alanlarına göre Bölüm 4'te detaylı olarak verilmiştir. Olivin kumlarının en yaygın olarak kullanıldığı alanlardan birisi de Elektrik Ark Ocaklarıdır. Bu sahada, talep edilen Elektrikli Ark Ocakları- Eksantrik Alt Ayarlama Delik Kumu aralıkları için olivin kumunun dane boyları 2-6 mm., 2-8 mm., 3-8 mm., 3-9 mm. arasında değişmektedir. Bunlar, Orhaneli olivin fabrikasında üretilen olivin kumları içerisinde en çok talep gören ürünlerdir. Aşağıda, Bölüm 4'te tanıtılan olivin ürünlerine ait veri sayfalarına ilaveten, EBT – Elektrik Ark Ocakları- Eksantrik Alt Ayarlama Delik Kumu olarak kullanılan ürüne ait diğer veri sayfaları, elek gözenek açıklığı, elek altı ve elek üstü analiz sonuçları ve bu sonuçlardan hazırlanan dane boyu dağılım abaklarıyla birlikte verilmiştir.

a) Olivin Dane Boyu: 2-6 mm.

Elek Analizi

Gözenek Açıklığı (mm)	% Kalan (Elek üstü)	% Geçen (Elek Altı)
6,000	0	100,0
5,600	0,5	99,5
4,000	34	65,5
2,800	32,5	33,0
2,000	31	2,0
-2,000	2	0,0

Dane Boyu Dağılımı

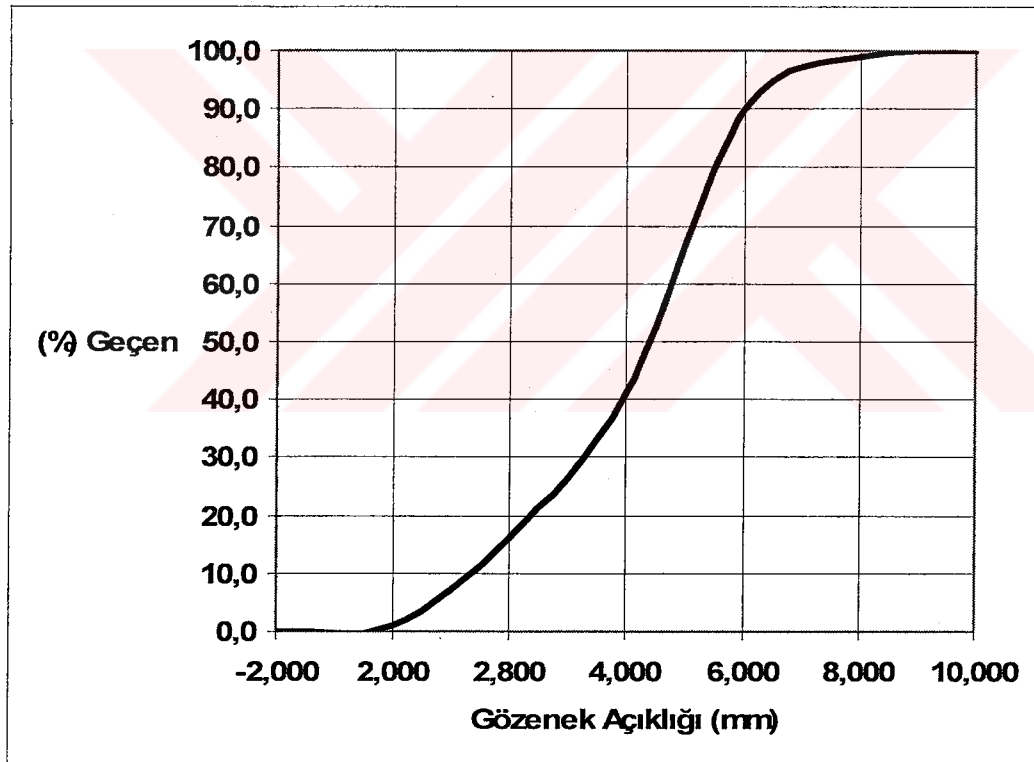


b) Olivin Dane Boyu: 2-8 mm.

Elek Analizi

Gözenek Açıklığı (mm)	% Kalan (Elek üstü)	% Geçen (Elek Altı)
10,000	0	100,0
8,000	1	99,0
6,000	9	90,0
4,000	49	41,0
2,800	25	16,0
2,000	15	1,0
-2,000	1	0,0

Dane Boyu Dağılımı

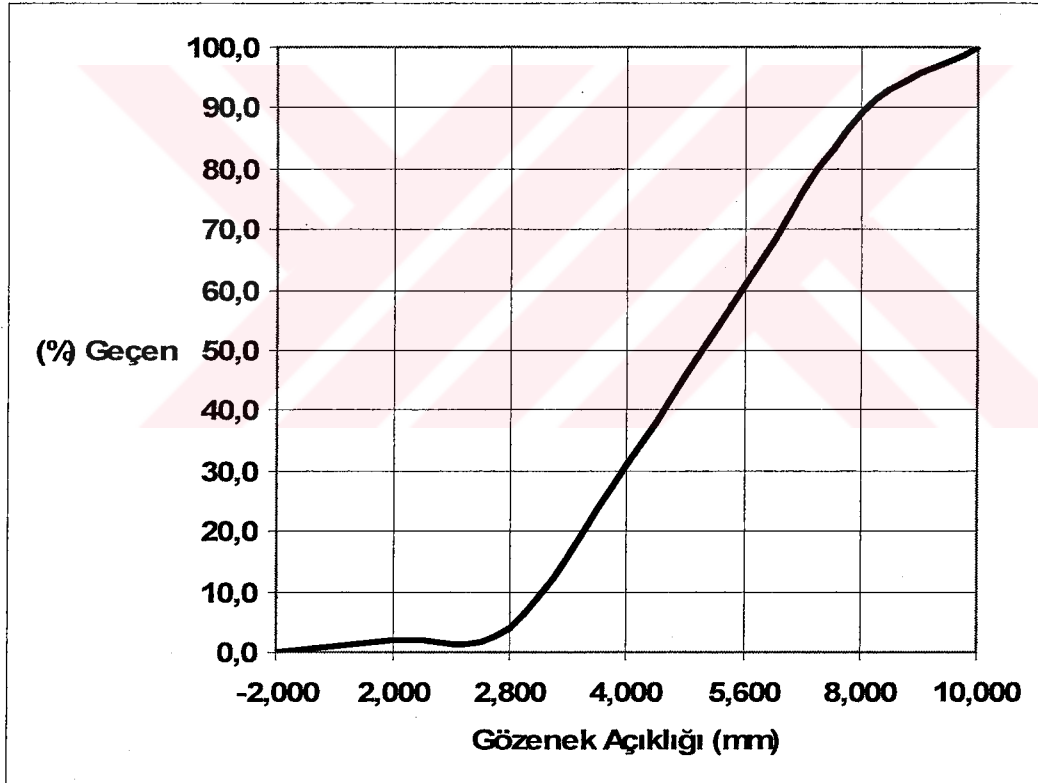


c) Olivin Dane Boyu: 3-9 mm.

Elek Analizi

Gözenek Açıklığı (mm)	% Kalan (Elek üstü)	% Geçen (Elek Altı)
10,000	0	100,0
8,000	11	89,0
5,600	28	61,0
4,000	30	31,0
2,800	27	4,0
2,000	2	2,0
-2,000	2	0,0

Dane Boyu Dağılımı

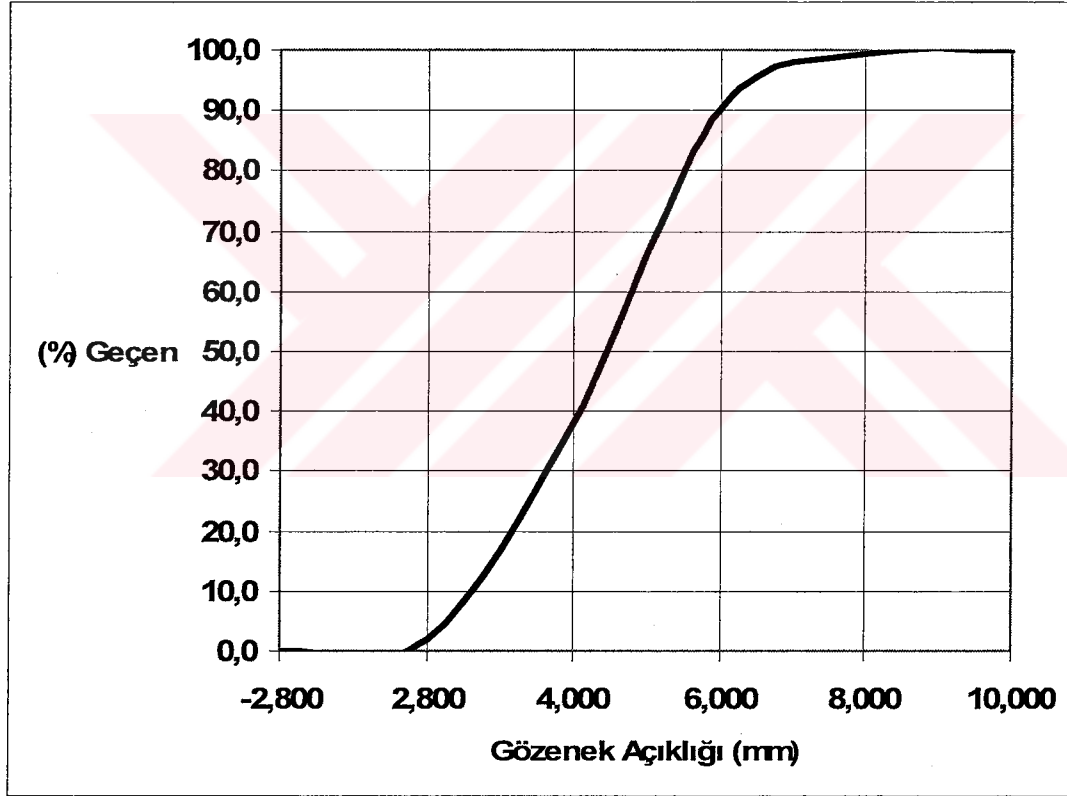


d) Olivin Dane Boyu: 3-8 mm.

Elek Analizi

Gözenek Açıklığı (mm)	% Kalan (Elek üstü)	% Geçen (Elek Altı)
10,000	0	100,0
8,000	0,5	99,5
6,000	9	90,5
4,000	52,5	38,0
2,800	36	2,0
-2,800	2	0,0

Dane Boyu Dağılımı



Şekil 5.1: EBT – Elektrik Ark Ocakları- Eksantrik Alt Ayarlama Delik Kumu olarak kullanılan ürüne ait elek analiz sonuçları ve Dane boyu dağılım abakları. a) Olivin 2-6 mm., b) Olivin 2-8 mm., c) Olivin 3-9 mm., d) Olivin 3-8 mm.

5.2. Orhaneli Olivinin Kimyasal Özellikleri

ŞE-TAT Madencilik Şirketi'ne ait sahalardan elde edilen olivinin, kimyasal özellikleri uluslararası standartlar ile karşılaştırıldığında, piyasayı tekeline bulunduran Norveç'in standartları ile oldukça benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Orhaneli olivininin % ağırlık olarak tipik kimyasal bileşimi aşağıda verilmiştir:

MgO % 48 – 50,

SiO₂ % 38 – 40,

Fe₂O₃ % 7 – 9,

diğer oksitler (Cr+Al+Ni+Mn+Ca) < % 2,

Nem < % 0.5 ve

Ateş yaiatı (LOI) 0,11-7,77 (ortalama 1,92).

Bu çalışma kapsamında sahadaki dünitlerdeki olivin danelerinin kimyasal bileşimlerini saptamak amacıyla EDS (Enerji Dispersif Spektrometre) yöntemi ile 5 adet örnek TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Laboratuvarlarında analiz ettirilmiştir. Ayrıca 15 adet EDS analizi sonucu da Örgün ve Gültekin (2003)'in yaptıkları çalışmadan alınmıştır. 20 adet örneğin EDS analizi sonuçları Tablo 5.1'de topluca verilmiştir. Tablodaki son 5 sonuç bu çalışma kapsamında yaptırılmış örneklerin analiz sonuçlarıdır.

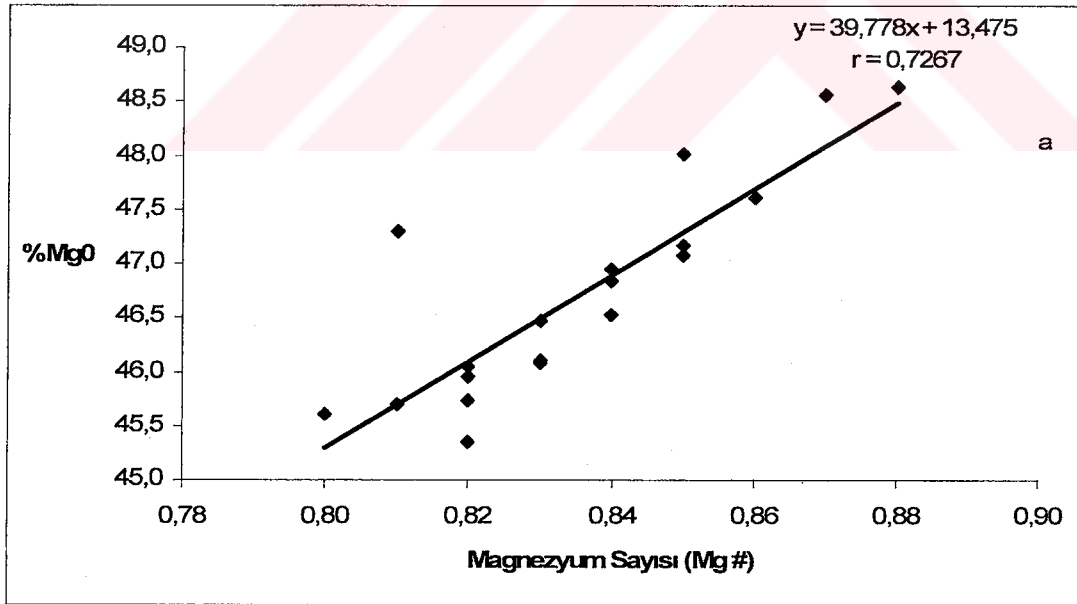
Literatürde ideal olivinin ana kimyasal bileşenlerinin oranı % 49 MgO, % 41SiO₂ , %7 Fe₂O₃ şeklindedir. Tablo 5.1'de verilen EDS analiz sonuçları, Orhaneli olivinlerinin ideal olivinin kimyasal bileşimine çok yakın olduğunu göstermektedir. İncelenen örneklerde SiO₂ ve Fe₂O₃ değerlerinin bir miktar ideal bileşimden kayması, sahadaki olivin kristallerinin dikkate alınmayacak derecede düşük oranda fayalit ucuna kaymasının bir sonucu olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 5.1: Çalışma sahasındaki Olivin Kristallerinin EDS Analizleri (% Bileşen)

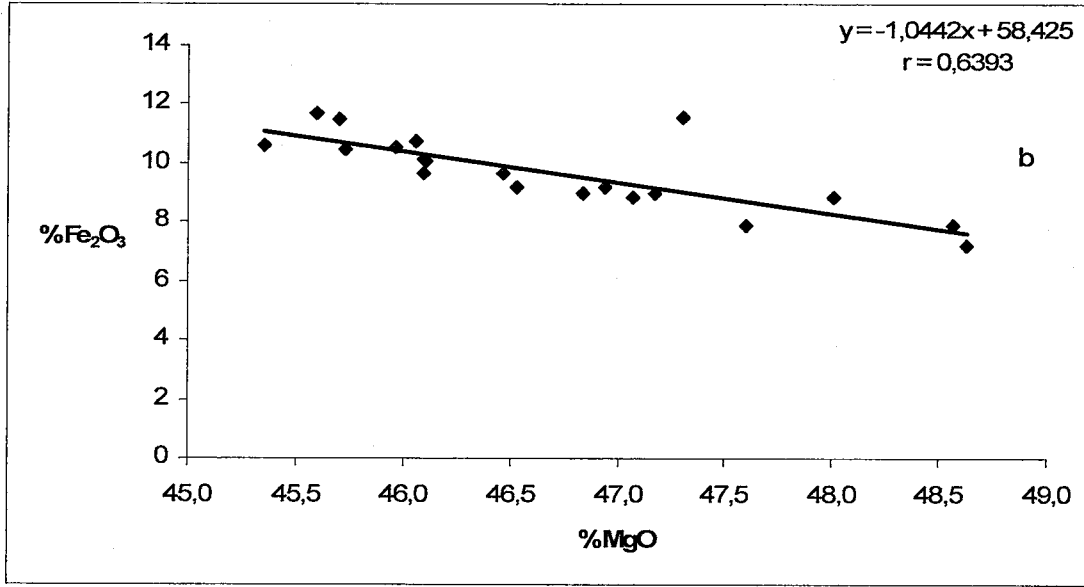
Bileşen Örnek No	Mg#	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	NiO	CoO	Al ₂ O ₃	MnO
1	0,85	48,01	42,55	8,85	-	0,17	-	0,36	0,06
2	0,88	48,63	44,00	7,21	0,04	0,09	-	0,04	-
3	0,85	47,07	43,31	8,83	-	0,37	0,25	-	0,17
4	0,84	46,53	42,86	9,15	0,05	0,28	0,20	-	0,29
5	0,84	46,84	43,44	8,98	0,22	0,35	-	-	0,17
6	0,82	46,05	42,88	10,75	0,06	0,07	0,11	-	0,08
7	0,83	46,09	42,51	10,13	0,09	0,42	0,34	-	0,41
8	0,82	45,96	42,75	10,54	-	0,34	-	-	0,41
9	0,82	45,35	43,68	10,60	-	0,08	0,29	-	-
10	0,81	47,30	41,18	11,52	-	-	-	-	-
11	0,80	45,60	42,72	11,68	-	-	-	-	-
12	0,81	45,70	42,81	11,48	-	-	-	-	-
13	0,83	46,46	43,29	9,67	0,28	0,14	0,00	-	0,17
14	0,83	46,09	43,56	9,67	-	0,11	0,09	0,11	0,38
15	0,83	46,10	43,38	10,09	0,02	-	0,19	0,02	0,20
16	0,86	47,60	43,20	7,85	0,06	0,35	0,24	-	0,36
17	0,84	46,94	42,58	9,16	0,34	0,16	0,28	-	0,38
18	0,87	48,56	42,72	7,86	0,07	0,23	-	-	0,48
19	0,82	45,73	43,06	10,46	0,02	0,30	-	-	0,34
20	0,85	47,17	42,87	8,95	0,28	0,34	0,07	-	0,27

Orhaneli olivinlerine ait örneklerinin Tablo 5.1’de verilen EDS analizleri sonuçları esas alınarak Bölüm 3.2.1.1.’de belirtilen formül ile magnezyum sayıları hesaplanmıştır. Olivin kristallerinin magnezyum sayılarının 0,80-0,88 arasında değiştiği saptanmıştır. Bölüm 3.2.1.1.’de belirtildiği gibi, Orhaneli dünitlerinin magnezyum sayıları tüm kaya analiz sonuçlarına göre 0,78-0,88 arasında değişmektedir. Değerler arasındaki bu paralellik bize Özkan (1982)’nin belirttiği gibi alterasyon ürünlerinin gözardı edilmesi durumunda, Orhaneli dünitlerinin de yaklaşık tamamen olivinden meydana gelmiş olduğunu söyleyebiliriz.

Olivinlerin magnezyum sayıları ile MgO ve Fe₂O₃ arasındaki ilişkiler çeşitli diyagramlarla incelenmiş ve sonuçlar Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te verilmiştir. Şekil 5.2'de görüldüğü üzere, Orhaneli olivinlerinin magnezyum sayısı ile % MgO arasında $r = 0,7267$ gibi güçlü bir pozitif ilişki ortaya çıkmıştır. Bilindiği gibi magnezyum, sayısı magnezyum ve demirin atomik oranları esas alınarak hesaplanan bir değer olduğundan buradaki r değerinin 0,7267'den yüksek olmaması, yukarıda belirtildiği gibi olivinlerdeki demir yüzdesinin homojen dağılmayıp fayalit ucuna kaydığı görüşü ile uyum göstermektedir. Benzer diyagram tüm kaya analiz sonuçları kullanılarak da yapılmış ve $r = 0,3295$ değeri elde edilmiştir (Bölüm 3, Şekil 3.15). Bu da bize tüm kaya analizlerinde serpantinleşme derecesine bağlı olarak MgO yüzdesinin azalıp artabileceğini bir kez daha göstermektedir. Şekil 5.3'te % MgO'a karşılık % Fe₂O₃ arasındaki değişim ilişkisi görülmektedir. Örneklerin magnezyum yüzdesi ile % Fe₂O₃ arasında güçlü bir ilişki olduğu $r = - 0,6393$ değeri ile ortaya çıkmıştır. Benzer korelasyon tüm kaya analiz sonuçları kullanılarak da yapılmış ve $r = -0,1664$ değeri elde edilmiştir. Bu sonuç, yukarıda ifade edildiği gibi, dunitlerde değişen oranlarda gözlenen serpantinleşme ve benzeri alterasyon olaylarının bir sonucu olarak açıklanabilir.



Şekil 5.2: Magnezyum Sayısı (Mg#) – MgO diyagramı.



Şekil 5.3: % MgO- % Fe₂O₃ diyagramı.

5.3. Orhaneli Olivinin Mineralojik Özellikleri

Bölüm 3'te dünitlerin optik mikroskopta yapılan incelemeler sonucu elde edilen mineralojik bulguları detaylı olarak verilmiştir. Bu bölümde ise bu çalışmaları doğrulamak ve desteklemek için ayrıca XRD çalışmaları da yapılmıştır. Bu amaçla 6 adet örnek TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezin'nde XRD yöntemi ile Shimadzu XRD- 6000 cihazında Cu X-ışını tüpü kullanılarak analiz ettirilmiştir ve elde edilen sonuçlar Tablo 5.2'de verilmiştir. Tablo 5.2' den görüldüğü gibi çalışma alanında bulunan olivinler tamamiyle forsterit bileşimindedir ve dünitlerin hakim kayaç yapıcı mineralini oluşturmaktadır. Olivinlere değişen miktarlarda serpantin gurubu minerallerden klinokrizotil ve daha az oranda da lizardit eşlik etmektedir. Bu sonuçlar polarizan mikroskop incelemeleri ile örtüşmektedir. Mikroskopik incelemelerde forsterite eşlik eden kromit, manyetit, talk, klorit, kalsit gibi mineraller eser miktarda bulunmaları nedeniyle XRD çalışmalarında tespit edilememiştir.

Tablo 5.2: Çalışma alanından alınan örneklere ait XRD analiz sonuçları

Örnek Numarası	Mineral Türü	Mineral İçeriği (%)
1	Forsterit	95
	Klinokrizotil	5
2	Forsterit	94
	Klinokrizotil	6
3	Forsterit	93
	Klinokrizotil	7
4	Forsterit	85
	Klinokrizotil	15
5	Forsterit	>95
	Klinokrizotil	<5
6	Forsterit	70
	Klinokrizotil	25
	Lizardit	5

5.4. Orhaneli Olivininden Elde Edilen Sanayi Ürünleri

Bölüm 4'te detaylı olarak belirtildiği gibi Orhaneli olivinlerinin geniş bir ürün yelpazesi vardır. Bunların içerisinde öne çıkan ark ocakları delik ayarlama kumlarıdır ve bununla ilgili detaylı bilgi bu bölümün giriş kısmında verilmiştir.

ŞE-TAT Olivin Firmasının Orhaneli olivinlerinden çeşitli dane boylarında ürün eldesinde kullandığı proses akım şeması Şekil 5.4'te verilmiştir. Bu şekilden de görüleceği gibi; çeneli, darbeli ve dik eksenli olmak üzere üç ayrı kırıcıdan geçirilen cevher -40 mm tek katlı- 30/3 mm çift kat – 8/3 mm çift kat – 2 mm tek kat dört grup titreşimli eleklerle ilaveten (1/0.35) mm çift kat-(0.5/0.25) mm çift kat ve (0.15) mm'lik tek katlı olmak üzere 3 grup Derrick elek sisteminde elenerek, gerektiğinde kurutma fırınında nem oranı % 1'e düşürülüp üretim esnasında oluşan tozlardan da arındırılmaktadır. Bu akım şemasındaki prosesler sonucu Orhaneli olivinleri Tablo 5.3'te verilen cinslerde silolara ayrılarak paketlenmektedir. ŞE-TAT Madencilik Orhaneli olivinlerini ürün cinsine göre 1000 kg.'lık bigbag'lerde veya 25 kg.'lık kraft torbalarda paletli veya paletsiz olarak satışa sunmaktadır. Şekil 6.4 a,b,c'de firmanın

çeşitli görüntüleri verilmiştir. Şekillerde ürün bantlarına, elek sistemlerine ve kırıcılara ait görüntüler mevcuttur.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.4: a,b,c : ŞE-TAT Olivin firmasına ait görüntüler.

Tablo 5.3: Orhaneli olivinleri ürünlerinin dane boyları ve kullanım alanları

Dane Boyu (mm)	Kullanım Alanı
10.0-40.0	Cüruf dengeleyici
3.0-30.0	Cüruf dengeleyici ve ağır agrega
3.0-8.0	Elektrikli ark fırınlarında dip dolgusu (EBT Kumu)
0.5-2.0	Pas sökücü + kumlama
0.35-1.00, 0.15-0.35, 0.25-0.50	AFS 30-AFS 40 veya AFS 50 standartlarında döküm kumu
0.04-0.25, 0.04-0.15	AFS 80 ve AFS120 standartlarında refrakter tuğla malzemesi



5.5. Orhaneli Olivinlerinin Pazarlama Koşulları

Yukarıda verilen bilgilerin ışığında, Orhaneli olivinleri gerek fiziksel gerekse kimyasal özellikleri bakımından incelendiğinde, olivinin endüstriyel olarak kullanımı için beklenen şartları büyük oranda karşılayacak nitelik ve niceliklere sahip olduğu görülmektedir. Dünyanın diğer önemli olivin yatakları ile kıyaslandığında, olivin kalitesi bakımından oldukça iyi bir noktadadır. Halihazırda firma refrakter sanayii, döküm sanayii, EBT – elektrik ark ocakları- eksantrik alt ayarlama delik kumu, kumlama kumu ve aşındırıcı sanayiine ürün satmaktadır. Bölgede üretim yapan ŞE-TAT Madencilik firması olivin eldesinde verimi artırmak için çalışmalarını sürdürmektedir.

ŞE-TAT Madencilik nakliye faaliyetleri için güney Marmara’da yer alan Gemlik Körfezi’nde, Mudanya Limanı’nı kullanmaktadır. Burada tüm altyapı sistemlerine sahip oldukça geniş bir depolama sahasına da sahiptir. Açık alan 100x150 m. büyüklüğündedir. Depolama alanından Mudanya’daki limana 4 km.’lik bir mesafe vardır. Limana yakınlık da firmanın sahip olduğu önemli avantajlardan birisidir.

Orhaneli olivinleri ulusal ölçekte refrakter endüstrisi ile ilgili kuruluşlara, demir-çelik fabrikalarına, deniz kuvvetlerine ve tersanelere satılmaktadır. Ayrıca uluslararası piyasa da kendini tanıtmaya başlamış ve Makedonya ve İspanya’ya olivin ihraç etmektedir.

5.6. Orhaneli Olivinlerinin Rezervi

ŞE-TAT Madencilik’e ait ruhsatlı sahalar içerisinde Orhaneli olivinlerinin elde edildiği esas maden işletme sahası Gölcükboğazı Tepe’dir (EK-A). ŞE-TAT Madencilik tarafından yapılan ve sondaj ve yarma çalışmalarıyla da desteklenen çalışmalar sonucunda, 400.000.000 ton görünür ve 800.000.000 ton muhtemel rezerv olmak üzere toplam 1.200.000.000 ton olivin rezervi saptanmıştır. Gölcükboğazı Tepe ve burada yapılan madencilik faaliyetlerine ait çeşitli görüntüler Şekil 5.6 a,b ve c’de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.6: a,b,c: Gölcükboğazı Tepe ve civarından bir görünüm.

6. SONUÇLAR

Topuk Köyü (Orhaneli, Bursa) ve civarındaki dünitlerin mineralojik ve jeokimyasal özelliklerinin incelenmesi ve bu kayaçların olivin açısından ekonomikliliğinin değerlendirilmesine yönelik olan bu çalışmada, bölgedeki ultrabazik kayaçların mineralojik ve jeokimyasal tanımlamaları yapılmış, bu kapsamda dünitler detaylı olarak incelenmiştir. Sonuçlar, dünitlerin olivin açısından kullanılıp kullanılmayacağı yönünde değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Çalışma sahasında oldukça geniş alanlar kaplayan ultrabazik- bazik birim, Kretase süresince alloktan bir kütle olarak bölgeye yerleşmiştir. Birim, gerek yerleşimi sırasında, gerekse de daha sonradan bölgeye yerleşen Orta Eosen yaşlı Topuk granitoyidik sokulumu tarafından oldukça tahrip edilmiştir. Sahada makro ve mikro ölçekli pek çok fay mevcuttur. Bölgenin maruz kaldığı tüm bu tektonik olaylar, dünitlerdeki süreksizlik zonlarını artırmış ve sonucunda serpantinleşmeyi hızlandırmıştır.
- Çalışma alanında yapılan incelemelerde ultrabazik birim kendi içerisinde; dünitler, harzburgitler ve arazinin farklı kısımlarında dünitlerin ve harzburgitlerin serpantinleşmeleriyle oluşmuş serpantinitletler olarak üç gruba ayrılmıştır.
- Çalışma alanında en yaygın görülen alterasyon olayı serpantinleşmedir. Serpantinleşmeye ilave olarak ultrabazik kayalarda talklaşma, kloritleşme, karbonatlaşma da gözlenmektedir.
- Yapılan saha gözlemleri ve mikroskop çalışmaları sahanın hemen hemen her yerinde serpantinleşmenin mevcut olduğunu ve serpantinleşme derecesinin % 1'lerden % 100'e kadar değiştiğini göstermiştir.
- Sahada yer alan farklı oranlardaki serpantinleşmeye paralel olarak ateş ziyatı değeri de oldukça heterojen bir şekilde dağılmaktadır. Gerek serpantinleşme gerekse buna bağlı olarak değişen dane boyu dağılımı ve ateş ziyatı

değerinin, olivinin endüstriyel alanlarda kullanımına yönelik önemli bir dezavantaj oluşturabileceği saptanmıştır.

- Bu çalışmada ekonomik anlamda değerlendirilen Orhaneli olivinlerinin ana kaynak kayası olan dünitler, arazide ince-orta kristal boyutlu sarımsı yeşil renkte dünitler ve iri kristal boyulu kıvılcımsı kahverengi-siyah renkli dünitler olmak üzere iki farklı renkte izlenmektedir. Mikroskopik çalışmalar sonucu çalışma alanında yer alan taze dünitlerin ortalama olarak; % 90'dan daha fazla olivin, % 1-4 serpantin, % 1-3 opak mineraller (kromit, manyetit, pirit), % 1'den az piroksen ve % 1-2 oranında manyezit, talk, kalsit ve klorit gibi ikincil ayrışım ürünü mineraller şeklinde bir mineralojik bileşime sahip olduğu saptanmıştır.
- Mikroskop çalışmalarına ek olarak Orhaneli olivinlerinin mineralojik özelliklerini tanımlamak amacıyla XRD çalışmaları yapılmış ve olivinlerin tamamıyla forsterit bileşiminde olduğu ve forsterite az oranda klinokrizotil ve lizarditin eşlik ettiği saptanmıştır.
- Çalışma alanındaki dünitlere ait 15 adet örneğin ana element kimyasal analizi yapılmıştır. Dünitlerin ekonomik olarak olivin açısından değerlendirilmesindeki en önemli kimyasal bileşenler MgO, SiO₂, Fe₂O₃ ve ateş yayıatıdır. Yapılan kimyasal analizler sonucunda dünitlerin MgO değerlerinin % 40,99-50,2 aralığında (ortalama % 47,05), SiO₂ değerlerinin % 34,67-40,6 aralığında (ortalama % 39,10), Fe₂O₃ değerlerinin % 6,8-13,7 (ortalama % 9,94) aralığında ve Al₂O₃ değerlerinin % 0,1-0,83 (ortalama %0,29) aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Orhaneli olivinlerinin sahip oldukları bu kimyasal bileşim ile ideal olivinin kimyasal kompozisyonuna oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir.
- Olivinlerin sanayide kullanılıp kullanılmayacağını denetleyen en önemli faktörlerden biri olan ateş yayıatı değeri, analiz edilen örneklerde % 0.11'den % 11.27'ye kadar geniş bir aralıkta değiştiği saptanmış; bu durum dünitlerde gözlenen değişen oranlardaki serpantinleşmenin bir sonucu olarak açıklanmıştır. Tüm kaya analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan ateş yayıatı - % MgO korelasyon katsayısı $r = -0,4411$ olarak ortaya çıkmış; bu değer her iki parametre arasında çok güçlü bir ilişki olmadığını ortaya koymuştur.

- Sondaj karotlarında yapılan makro ve mikro incelemeler genel olarak sahadaki dünitlerde derinlere inildikçe ateş zayıyatı değerinde, dolayısıyla alterasyon derecesinde beklenen sistematik azalma yerine, genellikle derinlikten bağımsız, farklı aralıklarda artış ve azalış olduğunu göstermiştir. Buna karşın, Orhaneli olivinlerinin ana işletme sahası olan Gölcükboğazi Tepe ve civarındaki dünitlerde ise ateş zayıyatı değerinin genellikle derinliğin artışına paralel olarak, azaldığı gözlenmiştir.
- Olivin kristallerinin EDS (Enerji Dispersif Spektrometre) analiz sonuçları SiO_2 ve Fe_2O_3 değerlerinin bir miktar ideal bileşimden kaydığını göstermiştir. Bu durum olivin kristallerinin dikkate alınmayacak derecede düşük oranda fayalit ucuna kaymasının bir sonucu olarak yorumlanmıştır.
- Elde edilen tüm kaya kimyasal analiz sonuçları kullanılarak dünitlere ait ana kimyasal bileşenler arasında çeşitli korelasyon diyagramları oluşturulmuştur ve parametreler arası ilişkiler kontrol edilmiştir. % MgO ile % SiO_2 ve % NiO arasında güçlü pozitif ilişkiler (sırasıyla $r = 0,6783$, $r = 0,8051$), % MgO ile % Al_2O_3 ve % ateş zayıyatı arasında negatif ilişkiler tespit edilmiştir (sırasıyla $r = -0,4498$, $r = -0,4411$). % MgO ile % Fe_2O_3 arasında zayıf bir negatif ilişki ($r = -0,1664$) saptanmıştır. Bu değerler kayalarda MgO, SiO_2 ve NiO'in yaklaşık benzer; Al_2O_3 , ateş zayıyatı ve Fe_2O_3 'in ise MgO'ten bağımsız davrandığını ortaya koymuştur.
- Dünit örneklerinin atomik demir ve magnezyum değerleri esas alınarak magnezyum sayıları hesaplanmıştır. Bu çalışmada örneklerin magnezyum sayılarının 0,78 ile 0,88 arasında değiştiği görülmüştür. Bu değer aralığının, literatürden elde edilen bilgilerle primitif mantoya göre bir miktar tüketilmiş bazaltik bileşim gösterdiği saptanmıştır. EDS analiz sonuçları ile hesaplanmış magnezyum sayısının ise 0,80-0,88 arasında değiştiği saptanmıştır. Orhaneli dünitlerinin magnezyum sayıları ile EDS analizlerinden hesaplanan magnezyum sayıları arasındaki yakınlık alterasyon ürünlerinin göz ardı edilmesi durumunda, Orhaneli dünitlerinin de yaklaşık tamamen forsterit bileşimli olivinden meydana gelmiş olduğunu gösterebilir.
- Orhaneli ultrabaziklerinin kaynak malzemesini tanımlamak için, magnezyuma karşı Al_2O_3 ve magnezyuma karşılık CaO diyagramları

oluşturularak, ultrabazik kayaların kökeni incelenmiş ve dünit örneklerinin büyük bir çoğunluğu az tüketilmiş pirolit alanında , harzburjit örneklerinin tümü ise bu alanın dışında yer almıştır. MgO-CaO diyagramından ise dünit örneklerinin çoğunluğunun % 1.5'dan daha az CaO değeri ile az tüketilmiş pirolit alanına düştüğü görülmektedir. Aynı diyagramda harzburjitler yine az tüketilmiş pirolit alanının dışında kalmıştır. Bu dağılımlar, dünitlerin manto malzemesi kökenli, harzburjitlerin ise manto kökenli malzeme ile birlikte dalma-batma zonundaki levhanın alt kesimlerinin kısmi ergimesiyle oluşan malzemeden türemiş hibrid bir magmanın ürünü olabileceği şeklinde yorumlanmıştır.

- Dünitler AFM diyagramında ise tektonit dünit alanında yer almıştır.
- Dane boyu olivinlerin sanayide kullanım alanlarını belirleyen en önemli parametrelerden birisidir. Orhaneli olivinlerinin dane boyu dağılımının 0,04 mm ile 4 cm arasında değiştiği ve bu dane boyu aralığının da sanayide kullanım için uygun olduğu saptanmıştır.
- Bütün bu mineralojik ve kimyasal özellikleri ile endüstrinin pek çok alanında kullanılabilme özelliğine sahip olduğu anlaşılan Orhaneli olivinleri, refrakter sanayii, döküm sanayii, EBT – elektrik ark ocakları- eksantrik alt ayarlama delik kumu, kumlama kumu ve aşındırıcı sanayi gibi değişik alanlara farklı dane boylarında ürün verebilecek niteliktedir.
- ŞE-TAT Madencilik yukarıda belirtilen niteliklere sahip olivin rezervinin, başta Gölcükboğazı Tepe olmak üzere 400.000.000 ton görünür, 800.000.000 ton muhtemel rezerv ve toplam 1.200.000.000 ton olduğunu açıklamıştır.
- Firma halihazırda da yukarıda belirtilen endüstri alanlarına ürün hazırlamakta ve bu ürünleri başta refrakter endüstrisi ile ilgili kuruluşlar olmak üzere, demir-çelik fabrikalarına, deniz kuvvetlerine ve tersanelere satmaktadır. Uluslararası piyasada ise Makedonya ve İspanya'ya ihraç etmektedir.

KAYNAKLAR

- Ağrılı, H., Kayan, T., Öztürk, V. Ç., Ovaryurt, M., Özkan, Y. Z., 2001. Türkiye olivin aramaları projesi Bursa-Orhaneli, Kütahya-Tavşanlı yöresi prospeksiyon raporu, Maden Etüt ve Arama Dairesi.
- Arvanitidis, N., 1998. Northern Greece's industrial minerals: production and environmental technology developments, *Journal of Geochemical Exploration*, V. 62, Issues 1-3, 217-227.
- Aslaner, M., 1989. Kor ve kor kırıntılı kayaçlar, KTÜ, 94-99, 262-288.
- Ataman, G., 1972. Orhaneli granadiyoritik kütlelerinin radyometrik yaşı, "*Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*", 15, 1-2.
- Bacak, G., 2003. Dağardı güneyi (Tavşanlı-Kütahya) ofiyoliti'nin mineralojik petrografik ve petrojenetik incelenmesi, *Doktora tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Müh. Bölümü, İstanbul, 296 s.
- Braçe, A., 2002. Bursa ili Orhaneli ilçesi civarında bulunan İR1624, İR1546, AR80282, AR81100, İR2826, İR780 ruhsat numaralı sahalardaki krom ve manyezit cevherleşmelerine ait arama raporu, Ege Petrol Türk A.Ş. & ŞE-TAT Madencilik A.Ş., Orhaneli-Bursa.
- Coleman, R. G., 1977. Ophiolite, ancient oceanic lithosphere, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, New York, 229 p.
- Çapan, U. Z., 1977. Ofiyolit olgusu, *TJK Yerbilimleri Konferans Dizisi*, Kış Dönemi.
- Çevik E., Örgün Y., Gültekin, A.H., 2005. The mineralogical-geochemical characteristics and industrial usage of the Orhaneli olivine, Bursa, Northwest Anatolia. *41st Forum on the geology of industrial minerals*, May 2005, İstanbul, Turkey, abstract, p. 15.
- Çoğulu, E., 1973. Petrografi, İTÜ, 47-49, 165-171.
- DPT Olivin raporu , 1995 . Madencilik özel ihtisas komisyonu endüstriyel hammaddeler alt komisyonu : seramik – refrakter – cam ham maddeleri çalışma grubu raporu, Ankara .
- Dupuis, C., Hebert, R., Dubois-Cote, V., Guilmette, C., Wang, C. S., Li, Y. L., Li, Z. J., 2005. The Yarlung Zangbo Suture zone ophiolitic melange

(Southern Tibet): New insights from geochemistry of ultramafic rocks, *Journal of Asian Earth Sciences*, **25**, 937-960.

- Emre, H.**, 1986. Orhaneli ofiyolitinin jeolojisi ve petrolojisi, *Doktora tezi*, İ.Ü.Fen Bilimleri Entitüsü, İstanbul (yayınlanmamış).
- Engin, T.**, 2001. Ofiyolitler ve ofiyolitlere bağlı metal maden yatakları, *Magmatik Petrojenez. TÜBİTAK Lisansüstü Yaz Okulu, Akçakoca-Düzce*, 445-473.
- Esenli, F., Genç, S. C.**, 2005, Mantle peridotite xenoliths in alkali basalts from the East Thrace region, *Geologica Carpathica*, **56**, 4, 359-368.
- Evans, A. M.**, 1993. Ore geology and industrial minerals (Third Ed.), Blackwell Pub., 390p.
- Gök, S., Çelik, M.**, 1970. Orhaneli - Mustafa Kemal Paşa - Harmancık ve Tunçbilek civarında yapılan asbest prospeksiyonu, *M.T.A. Derleme rapor* no:2089, Ankara.
- Gültekin, A. H., Örgün, Y.**, 2003. ŞE-TAT Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. adına yapılan ultrabazik kayaçların (Bursa-Orhaneli) olivin içerik ve dağılımlarını gösterir rapor, İTÜ Maden Fakültesi Vakfı İktisadi İşletmeleri, İstanbul.
- Harris, N.B.W., Kelley, S., Okay, A. I.**, 1994. Post-collision magmatism and tectonics in Northwest Anatolia, *Contrib. Mineral. Petrol.*, **117**, 241-252.
- Hassanipak, A.A., Ghazi, M. A.**, 2000, Petrology geochemistry and tectonic setting of the Khoy ophiolite, northwest Iran: implications for Tethyan tectonics, *Journal of Asian Earth Sciences*, **18**, 109-121.
- Jamtveit, B., Broker, R., Brooks, K., Larsen Melchior, L., and Pedersen, T.**, 2001. The water content of olivines from the north atlantic volcanic province, *Earth and Planetary Science Letters*, Volume **186**, Issue 3-4, 401-415.
- Karner, J., Papike, J. J., Shearer, C.K.**, 2003. Olivine from planetary basalts: chemicalsignatures that indicate planetary parentage and those that record igneous setting and process, *American Mineralogist*, Volume **88**, 806-816.
- Li, C., Xu, Z., Waal, S. A., Ripley, E. M., Maier, W. D.**, 2004. Compositional variations of olivine from the Jinchuan Ni-Cu sulfide deposits, western China: implications for ore genesis. *Mineralium Deposita*, **39**, 159-172.

- Lisenbee, A. L.**, 1971. The ultramafic - gabbro thrust sheet and its surroundings: A progress report in CHMPEL, A.S., (ed) *Geology and History of Turkey, Pet. Explor. soc. Libya*, 349-368.
- Lisenbee, A. L.**, 1972. Structural setting of the Orhaneli ultramafic massif near Bursa, *Ph.D.Thesis*, Uni.State, Pensylvania, USA, 170p.
- Manav, H.**, 1996. Küplü Dağı (Harmancık) ofiyolit kayalarının incelenmesi ve bu kayalardaki manyezit oluşumunun jenetik etüdü, *Doktora tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Müh. Bölümü, İstanbul, 172 s.
- Naldrett, A. J., Cabri, L. J.**, 1976. Ultramafic and related mafic rocks: Their classification and genesis with special reference to the concentration of nickel sulfides and platinum-group elements, *Econ. Geol.*, Volume 74, pp. 1520-1528.
- Nozaka, T.**, 2003. Compositional heterogenity of olivine in thermally metamorphosed serpentinite from Southwest Japan, *American Mineralogist*, Volume 88, 1377-1384.
- Okay, A. I.**, 1985. Kuzeybatı Anadolu'da yer alan metamorfik kuşaklar, *Ketin Sempozyumu*, T.J.K. Yayınları, 83-93.
- Okay, A., Kelley, R. S. P.**, 1994. Tectonic setting, petrology and geochronology of jadeite+glaucofane and chloritoid+ glaucophane schists from northwest Turkey. *Journal of Metamorphic Geology* 12, 455-466.
- Okay, A.I., Satyr, M., Maluski, H., Siyako, M., Monie, P., Metzger, R., Akyüz, S.**, 1996. Paleo-and neo Tethyan events in Northwestern Turkey: geologic and geochronologic constraints. In: Yin, A., Harrison, T.M. (Eds), *The Tectonic Evolution of Asia*. Cambridge Pres, Cambridge, pp.420-441.
- Okay, A., Tüysüz, O.**, 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. *Geological Society of London*, Special publication 156, 475-515.
- Örgün, Y.**, 1986. Serpantinleşme olayı ve Hatay Kızıldağ'dan alınmış serpantin örneklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Örgün, Y.**, 1992. Topuk – Göynükbelen (Orhaneli – Bursa) yöresi nikel oluşumlarının kökensel incelenmesi, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 216 s.
- Örgün, Y., Aykol, A.**, 1993. Hydrothermal nickel occurrences along the contacts between the Göynükbelen granitoid intrusion and ultramafic rocks, Orhaneli – NW Turkey, *EUG VII, Terra Abstracts*, p. 439, Strasbourg.

- Örgün, Y., Aykol, A.,** 1994. The geochemistry and tectonic setting of the Göynükbelen pluton. Orhaneli – Bursa, Northwest Turkey, *International Volcanological Congress*, p.10, Ankara.
- Örgün, Y.,** 1998. Nickeliferous chlorite zones along contacts between the Göynükbelen Granitoid intrusion and ultramafic rocks, Orhaneli – NW Turkey, *Proceedings of the ninth Quadrennial IAGOD Symposium*, 515-522.
- Örgün, Y., Aykol, A.,** 1998. Topuk – Göynükbelen sokulumunun mineralojik ve jeokimyasal özellikleri, Bursa – Orhaneli, KB Anadolu, *Yerbilimleri (Geosound)*, s.30, s.665-679.
- Örgün, Y., Gültekin A.H., Çevik E., Çopuroğlu, M.,** 2004. Mineralogical and geochemical characteristics of the Orhaneli dunite and its importance in point of olivine, Orhaneli- Bursa, Western Anatolia, Turkey. *5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology*, Proceeding, V.3, pp.1193-1196, 14-20 April 2004, Thessalonika, Greece.
- Özkan, Y. Z.,** 1982. Guleman (Elazığ) ofiyolitinin jeolojisi ve petrolojisi, İstanbul Yerbilimleri, *İstanbul Earth Sciences Review*, Cilt:3, Sayı:1-2, 295-312.
- Özkan, Y. Z.,** 2001. Ofiyolitlerin sınırlı deformasyon yapıları: Üst mantonun plastik akışının kayıtları, Magmatik petrojenez. TÜBİTAK Lisansüstü Yaz Okulu, Akçakoca-Düzce, 411-444.
- Özkoçak, O.,** 1969. Etude geologique massif ultrabasic Orhaneli et de sa Proche bordure (Bursa-Turguie), *these Doc., Univ. Paris*, 181s. (yayınlanmamış).
- Parlak, O., Mork, V., Micle, D.,** 2002. The supro-subduction zone Pozantı-Karsanti ophiolite southern Turkey : evidence for high pressure crystal fractionation of ultramafic cumulates. *Lithos* 65, pp.205-224.
- Pedersen, W. E., Neumann, E. R., Burke, E. A. J., Vannucci, R., Bottazzi, P., Ottolini, L., Gjønnes, J., Hansen, V.,** 2000, Origin and structural character of hauyness in spinel dunite xenoliths from La Palma, Canary Islands, *American Mineralogist*, V. 85, 1397-1405.
- Raymond, L. A.,** 2002, The study of igneous sedimentary & metamorphic rocks, petrology, Mc Graw Hill, New York.
- Ringwood, A. E.,** 1975, Composition and petrology of the Earth's mantle, McGraw Hill Inc., New York, 618 p.
- Sayın, Ş. A., Yıldız, M.,** 1974. Orhaneli – Harmancık (Bursa) ve Dursunbey (Balıkesir) civarının nikel-krom prospeksiyonu, M.T.A. Etüt Dairesi, rapor no: 5765 (yayınlanmamış).

Sayın, Ş. A., 1975. Orhaneli (Bursa) ve Tavşanlı (Kütahya) civarının nikel-krom prospeksiyonu raporu, *M.T.A Derleme Rapor* no: 6617 (yayınlanmamış).

Sherlock, S., Kelley, S., Haris, N., Okay, A., 1999. ^{40}Ar - ^{39}Ar and Rb-Sr geochronology of high metamorphism and exhumation history of the Tavşanlı Zone, NW Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **137**, 46-58.

Standard specification for forsterite and/or olivine aggregate and flour, SFSA Designation: 15-81, **Steel Founders' Society of America.**

Toros ofiyolit projeleri, *Proje Yazısı, MTA.* 1979, Ankara.

Tuzcu, N., 1998. Petrografi – I, Magmatik Kayaçlar (4. Baskı), İzmir, 129-144.

Uz, B., 1987. Petrografi I, Magmatik Kayaçlar, 128-137, 139-151.

Yousefi, T., 1998. Dağardı kuzey kesimi (Harmancık-Bursa) bölgesi ofiyolitlerinin mineralojik ve petrografik incelenmesi, *Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.*

Zedef, V., Döyen, A., 1999. Kızıldağ ultramafikler içinde yeni bulunan dünyanın bilinen ikinci büyük olivin yatağı, *S.Ü.müh-mim. fak. dergisi*, c.14, s.2.

Zedef, V., Döyen, A., 2001a. Kızıldağ (Akseki- Antalya) olivinlerinin jeolojik özellikleri ve ekonomik potansiyeli. *S.Ü. Müh-Mim Fak. Dergisi*, c.16, s.1.

Zedef, V., Döyen, A., 2001b. Geological features and economic potential of Kızıldağ Olivines (Akseki- Antalya, Turkey), *Ofioliti*, **26(2b)**, pp.489-490.

EK A ÇALIŞMA ALANININ JEOLojİ HARİTASI



**ÇALIŞMA ALANININ A-A' DOĞRULTULU
ENİNE KESİTİ**

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Giresun'da tamamladı. 2003 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2003-2004 öğretim yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitimi sırasında Ocak 2004- Ağustos 2005 tarihleri arasında Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yaptı.