

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BALIKESİR-DURSUNBEY SKARN YATAKLARININ JEOLJİK,  
MİNERALJİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Emre İSTANBULLU**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Jeoloji Mühendisliği Programı**

**OCAK 2013**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BALIKESİR-DURSUNBEY SKARN YATAKLARININ JEOLJİK,  
MİNERALJİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Emre İSTANBULLU  
(505091312)**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Jeoloji Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa KUMRAL**

**OCAK 2013**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505091312 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Emre İSTANBULLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**BALIKESİR-DURSUNBEY SKARN YATAKLARININ JEOLojİK, MİNERALojİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Doç. Dr. Mustafa KUMRAL**      .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Eş Danışman :**      **Doç.Dr. Murat BUDAKOĞLU**      .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Sezai KIRIKOĞLU**      .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Yrd.Doç.Dr. Nurullah HANİLÇİ**      .....  
İstanbul Üniversitesi

**Yrd.Doç.Dr. Selman AYDOĞAN**      .....  
Balıkesir Üniversitesi

**Teslim Tarihi :**      **17 Aralık 2012**  
**Savunma Tarihi :**      **22 Ocak 2013**



*Aileme,*



## ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanan bu çalışmanın konusunu öneren, çalışmanın her safhasında değerli görüş ve bilimsel katkılarını esirgemeyen, tezin tamamlanmasında büyük emeği olan hocam Sayın Doç. Dr. Mustafa Kumral'a ve eş danışman hocam Sayın Doç. Dr. Murat Budakoğlu'na teşekkürü bir borç bilirim.

Arazi çalışmalarında büyük katkıları olan Sayın Numan Elmas ve Ar. Gör. Burak Karabel'e, ince ve parlak kesitlerin hazırlanmasında emeği geçen Teknisyen Hüseyin Sezer'e, kesitlerin yorumlanmasındaki katkılarından dolayı Sayın Doç. Dr. Emin Çiftçi'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tüm lisans ve yüksek lisans çalışmalarında bana destek olan dostum Damla Ortak'a ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tezin görsel unsurlarının hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen abim Serkan İSTANBULLU'ya, tüm eğitim ve öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak koşulsuzca destekleyen aileme sevgi ve güvenleri için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2013

Emre İstanbullu  
(Jeoloji Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

|                                                                      | <u>Sayfa</u> |
|----------------------------------------------------------------------|--------------|
| ÖNSÖZ.....                                                           | vii          |
| İÇİNDEKİLER.....                                                     | ix           |
| KISALTMALAR.....                                                     | xi           |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                 | xiii         |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                  | xv           |
| ÖZET.....                                                            | xvii         |
| SUMMARY.....                                                         | xix          |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                                | <b>1</b>     |
| 1.1 Çalışma Alanının Tanıtılması .....                               | 1            |
| 1.1.1 Çalışma alanı.....                                             | 1            |
| 1.1.2 Ulaşım ve yerleşim.....                                        | 1            |
| 1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....                                 | 2            |
| 1.3 Çalışma Yöntemi.....                                             | 3            |
| 1.4 Önceki Çalışmalar .....                                          | 3            |
| 1.4.1 Genel Jeoloji-Jeokimya alanına yönelik yapılan çalışmalar..... | 3            |
| 1.4.2 Skarn oluşumlarına yönelik yapılan çalışmalar .....            | 11           |
| <b>2. GENEL JEOLJİ .....</b>                                         | <b>15</b>    |
| 2.1 Batı Anadolu Bölgesel Jeolojisi.....                             | 15           |
| 2.2 Kuzeybatı Anadolu Bölgesel Jeolojisi .....                       | 17           |
| 2.2.1 Fazlıkonağı Formasyonu .....                                   | 18           |
| 2.2.2 Karakaya Formasyonu .....                                      | 19           |
| 2.2.3 Jura-Kretase kireçtaşları .....                                | 20           |
| 2.2.4 Yayla Melanjı.....                                             | 20           |
| 2.2.5 Mavişistler .....                                              | 21           |
| 2.2.6 Oligo-Miyosen granodiyoritleri .....                           | 22           |
| 2.2.7 Alt-Orta Miyosen volkanik ve sedimanter kayaçları .....        | 23           |
| 2.2.8 Üst Miyosen volkanik ve sedimanter kayaçları .....             | 24           |
| 2.2.9 Pliyosen volkanosedimanterleri .....                           | 24           |
| 2.2.10 Kuvaterner birimleri .....                                    | 24           |
| 2.2.11 Tektonik ortam .....                                          | 27           |
| <b>3. İNCELEME ALANI GENEL JEOLJİSİ.....</b>                         | <b>29</b>    |
| 3.1 Bölgenin Tanıtılması .....                                       | 29           |
| 3.2 Kocadere Metamorfikleri (Pzk) .....                              | 30           |
| 3.3 Kayacıklar Kireçtaşı (Jk) .....                                  | 34           |
| 3.4 Renkli Melanj (Km) .....                                         | 36           |
| 3.5 Çataldağ Graniti (Tmç) .....                                     | 38           |
| 3.6 Yapısal Jeoloji.....                                             | 41           |
| <b>4. ÇALIŞMA ALANINDAKİ KAYAÇLARIN CEVHER MİKROSKOPİSİ....</b>      | <b>43</b>    |
| 4.1 Kayacıklar Kireçtaşı.....                                        | 43           |
| 4.2 Çataldağ Graniti .....                                           | 44           |
| 4.3 Skarn Yatakları ve Mineralojik Özellikleri .....                 | 49           |

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5. ÇALIŞMA ALANINDAKİ KAYAÇLARIN JEOKİMYASAL İNCELEMESİ</b>       | <b>57</b> |
| 5.1 Skarn Oluşumları ile İlişkili Plütonların Genel Özellikleri..... | 60        |
| 5.2 Çataldağ Graniti'nin Jeokimyası .....                            | 61        |
| 5.2.1 Major oksitler.....                                            | 61        |
| 5.2.2 İz elementler .....                                            | 66        |
| 5.3 Kayacıklar Kireçtaşı'nın Jeokimyası .....                        | 69        |
| 5.4 Cevherleşmeye ait Jeokimyasal Veriler .....                      | 71        |
| <b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>                                  | <b>73</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                | <b>75</b> |
| <b>EKLER .....</b>                                                   | <b>89</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                 | <b>93</b> |

## KISALTMALAR

|            |                     |
|------------|---------------------|
| <b>Ab</b>  | :Albit              |
| <b>Af</b>  | :Alkali feldispat   |
| <b>Al</b>  | :Alüminyum          |
| <b>Ag</b>  | :Gümüş              |
| <b>Au</b>  | :Altın              |
| <b>Ar</b>  | :Argon              |
| <b>As</b>  | :Arsenik            |
| <b>B</b>   | :Bor                |
| <b>Ba</b>  | :Baryum             |
| <b>Bi</b>  | :Bizmut             |
| <b>Ca</b>  | :Kalsiyum           |
| <b>Ce</b>  | :Seryum             |
| <b>Cl</b>  | :Klor               |
| <b>Co</b>  | :Kobalt             |
| <b>Cu</b>  | :Bakır              |
| <b>F</b>   | :Flor               |
| <b>Fe</b>  | :Demir              |
| <b>Ga</b>  | :Galyum             |
| <b>Ge</b>  | :Germanyum          |
| <b>Gr</b>  | :Granat             |
| <b>Hf</b>  | :Hafniyum           |
| <b>Hg</b>  | :Civa               |
| <b>K</b>   | :Potasyum           |
| <b>La</b>  | :Lantan             |
| <b>Mg</b>  | :Magnezyum          |
| <b>Mn</b>  | :Mangan             |
| <b>Mo</b>  | :Molibden           |
| <b>m.y</b> | :Milyon yıl         |
| <b>Na</b>  | :Sodyum             |
| <b>Nb</b>  | :Niobyum            |
| <b>Nd</b>  | :Neodimyum          |
| <b>Ni</b>  | :Nikel              |
| <b>Pb</b>  | :Kurşun             |
| <b>Pi</b>  | :Piroksen           |
| <b>Pl</b>  | :Plajiyoklaz        |
| <b>ppb</b> | :Milyarda bir kısım |
| <b>ppm</b> | :Milyonda bir kısım |
| <b>Py</b>  | :Pirit              |
| <b>Rb</b>  | :Rubidyum           |
| <b>S</b>   | :Sülfür             |
| <b>Sb</b>  | :Antimon            |
| <b>Sc</b>  | :Skandiyum          |

|            |                      |
|------------|----------------------|
| <b>Se</b>  | :Selenyum            |
| <b>Si</b>  | :Silisyum            |
| <b>Sn</b>  | :Kalay               |
| <b>Sr</b>  | :Stronsiyum          |
| <b>Th</b>  | :Toryum              |
| <b>U</b>   | :Uranyum             |
| <b>XRF</b> | :X-ışınları kırılımı |
| <b>W</b>   | :Volfram             |
| <b>V</b>   | :Vanadyum            |
| <b>Y</b>   | :İtriyum             |
| <b>Zn</b>  | :Çinko               |
| <b>Zr</b>  | :Zirkonyum           |
| <b>°C</b>  | :Santigrad Derece    |
| <b>μ</b>   | :Mikron              |

## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Çizelge 4.1 :</b> Skarn cevherleşmesi gözlenen yatakların genel özellikleri (Einaudi ve diğ, 1981; Einaudi ve Burt, 1982; Burt, 1982; Newberry, 1998 ve Orhan, 2008'den alınmıştır) .....          | 52 |
| <b>Çizelge 4.1 (devam) :</b> Skarn cevherleşmesi gözlenen yatakların genel özellikleri (Einaudi ve diğ, 1981; Einaudi ve Burt, 1982; Burt, 1982; Newberry, 1998 ve Orhan, 2008'den alınmıştır). ..... | 53 |
| <b>Çizelge 5.1 :</b> Numunelerin major oksit analiz sonuçları (%).....                                                                                                                                | 57 |
| <b>Çizelge 5.2 :</b> Numunelerin iz element analiz sonuçları (ppm) .....                                                                                                                              | 58 |
| <b>Çizelge 5.3 :</b> Numunelerin iz element analiz sonuçları-2 (ppm) .....                                                                                                                            | 59 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1 : İnceleme alanı yerbulduru haritası .....                                                                                        | 2  |
| Şekil 2.1 : Basitleştirilmiş Batı Anadolu jeoloji haritası ve granitoidlerin dağılımı (Altunkaynak ve diğ, 2012). ....                      | 16 |
| Şekil 2.2 : Kuzeybatı Anadolu dalma batma ve sıkışma (Okay, 2000).....                                                                      | 17 |
| Şekil 2.3 : Kuzeybatı Anadolu jeolojik birimleri (Okay, 2001) .....                                                                         | 18 |
| Şekil 2.4 : Batı Anadolu ve Ege bölgelerindeki Oligosen-Miyosen magmatizmasının yersel-jeokimyasal gelişimi (Altunkaynak ve diğ, 2012)..... | 23 |
| Şekil 2.5 : Balıkesir ve yakın çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Ergül ve diğ, 1986).....                                    | 25 |
| Şekil 2.6 : Türkiye'nin tektonik haritası ve temel yapısal unsurları (Bozkurt, 2001). ....                                                  | 27 |
| Şekil 3.1 : İnceleme alanı genelleştirilmiş litostratigrafik kesiti (Akat ve diğ. (1978)'den yararlanılarak revize edilmiştir). ....        | 31 |
| Şekil 3.2 : Çaltarla Tepe mevkiinde yüzeylenen Kocadere Metamorfitleri .....                                                                | 33 |
| Şekil 3.3 : Çaltarla Tepe civarındaki metamorfitlerin genel görünümü. ....                                                                  | 33 |
| Şekil 3.4 : Manastır Tepe civarında yüzeylenen kireçtaşları .....                                                                           | 34 |
| Şekil 3.5 : Manastır Tepe civarındaki laminalı kireçtaşları .....                                                                           | 35 |
| Şekil 3.6 : Manastır Tepe mermer yataklarının görünümü. ....                                                                                | 35 |
| Şekil 3.7 : Tokmaklı Tepe civarında görülen melanj-kireçtaşı bindirmesi .....                                                               | 37 |
| Şekil 3.8 : Tokmaklı Tepe civarındaki karbonatlı kayalar ile melanj dokanağı .....                                                          | 38 |
| Şekil 3.9 : Manastır Tepe'de granit arenalaşmasının görünümü. ....                                                                          | 39 |
| Şekil 3.10 : Manastır Tepe civarındaki deforme granitler .....                                                                              | 40 |
| Şekil 3.11 : Manastır Tepe hematit ve manyetitçe zengin skarn zonu. ....                                                                    | 40 |
| Şekil 3.12 : Manastır Tepe hematit-manyetit cevherleşmesi ile kireçtaşları geçişi ...                                                       | 41 |
| Şekil 4.1 : Kayacıklar Kireçtaşı mikroskopik görüntüsü.....                                                                                 | 43 |
| Şekil 4.2 : Çataldağ Graniti (Örnek no: 241) mikroskopik görüntüsü. ....                                                                    | 44 |
| Şekil 4.3 : Çataldağ Graniti'nde martitleşen magnetitlerin mikroskopik görünümü ..                                                          | 45 |
| Şekil 4.4 : Çataldağ Graniti'nde biyotit-klorit dönüşümünün mikroskopik görünümü. ....                                                      | 45 |
| Şekil 4.5 : Manastır Tepe skarn zonundan alınan granit örneğinin (Örnek no: 258 B) mikroskopik görünümü.....                                | 46 |
| Şekil 4.6 : Magnetit-hematit dönüşümünün mikroskopik görünümü. ....                                                                         | 47 |
| Şekil 4.7 : Çataldağ Graniti'nde limonitleşmenin mikroskopik görünümü-1 .....                                                               | 47 |
| Şekil 4.8 : Çataldağ Graniti'nde limonitleşmenin mikroskopik görünümü-2 .....                                                               | 48 |
| Şekil 4.9 : Pirotitler içerisindeki limonitleşmenin mikroskopik görünümü. ....                                                              | 48 |
| Şekil 4.10 : Pirotitler içerisindeki kuşgözü dokusunun mikroskopik görünümü.....                                                            | 49 |
| Şekil 4.11 : Skarn zonlarının oluşumunu gösteren şematik kesit (Meinert ve diğ. (2005)'den alınmıştır) .....                                | 50 |
| Şekil 4.12 : Kontak zonundaki kayalar ile ilişkisine göre skarn oluşumları.....                                                             | 51 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.13 :</b> Great Hinggan bölgesindeki Sn-Fe tipi skarn yatağına ait skarn mineral ve cevher türleri ile yapısal unsurları (a-c): skarn mineralleri; (d): cevher ve komşu kayaçların dokanağı; (e ve f): cevher türleri; (g): skarnın tektonik kesme zonu; (h): K-feldspar damarları; (i): kalsit damarları (Zhou ve diğ, 2012). ..... | 54 |
| <b>Şekil 4.14 :</b> Skarn yataklarında mineral zonlanması.....                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 55 |
| <b>Şekil 5.1 :</b> Çataldağ Graniti'ne ait örneklerin Harker değişim diagramları .....                                                                                                                                                                                                                                                         | 62 |
| <b>Şekil 5.1 (devam) :</b> Çataldağ Graniti'ne ait örneklerin Harker değişim diagramları. ....                                                                                                                                                                                                                                                 | 63 |
| <b>Şekil 5.2 :</b> Çataldağ Graniti'nin TAS diyagramına göre sınıflandırılması.....                                                                                                                                                                                                                                                            | 64 |
| <b>Şekil 5.3 :</b> Çataldağ Graniti'nin magma karakteristiğine göre sınıflaması .....                                                                                                                                                                                                                                                          | 65 |
| <b>Şekil 5.4 :</b> Çataldağ Graniti QAP (Streckeisen, 1976) sınıflaması.....                                                                                                                                                                                                                                                                   | 65 |
| <b>Şekil 5.5 :</b> Çataldağ Graniti'nin SiO <sub>2</sub> 'ye karşılık P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ve Pb grafikleri (Chappel ve White, 1992).....                                                                                                                                                                                             | 66 |
| <b>Şekil 5.6 :</b> Çataldağ Graniti'ne ait iz element Harker değişim diyagramları .....                                                                                                                                                                                                                                                        | 67 |
| <b>Şekil 5.7 :</b> Çataldağ Graniti TiO <sub>2</sub> -Zr, Rb-Rb/Nb ve Rb/Sr-Zr değişim diyagramları. ....                                                                                                                                                                                                                                      | 69 |
| <b>Şekil 5.8 :</b> Kayacıklar Kireçtaşları'na ait major oksit-SiO <sub>2</sub> değişim diyagramları....                                                                                                                                                                                                                                        | 70 |
| <b>Şekil 5.9 :</b> Kayacıklar Kireçtaşları'na ait TiO <sub>2</sub> -SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> -Ce, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - Ce ve TiO <sub>2</sub> -Ce değişim diyagramları.....                                                                                                             | 71 |
| <b>Şekil A.1 :</b> İnceleme alanı 1/25000 ölçekli jeoloji haritası ve kesiti .....                                                                                                                                                                                                                                                             | 91 |

## BALIKESİR-DURSUNBEY SKARN YATAKLARININ JEOLJİK, MİNERALJİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

### ÖZET

Bu çalışma Dursunbey (Balıkesir) ilçesinin doğusunda yer alan Tersiyer yaşlı Çataldağ Graniti ile Mesozoyik Kayacıklar Kireçtaşı dokanağı boyunca gelişmiş kontak metasomatik skarn zonlarının oluşum ve kökenini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

İnceleme alanındaki birimler stratigrafik olarak tabandan itibaren Paleozoyik Kocadere Metamorfileri, Mesozoyik Kayacıklar Kireçtaşları, Üst Kretase renkli melanj ve Tersiyer Çataldağ Graniti ile temsil edilmektedir. Çalışma alanında melanjin yerleşmesi esnasında gerçekleşen şariyaya bağlı olarak oluşan ters ve doğrultu atımlı faylar genç tektonizmaya bağlıdır. Bununla birlikte bölgenin yükselimi sırasında kazanılmış düşey faylar gözlenmektedir. Kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı en büyük bindirme fayı Kayacıklar Kireçtaşları ile renkli melanjin dokanağını oluşturmaktadır. Bu nedenle melanjin kireçtaşları üzerine bindirme ile itildiği anlaşılmaktadır.

Bölgenin doğusunda yer alan Çataldağ Graniti monzogranit-granodiyorit bileşimli, subalkalen ve kalk-alkalen karakterli, I-S tipi bir plutondur. Tersiyer yaşlı Çataldağ Graniti sokulumu neticesinde çevre kayalarda kontakt metamorfizmaya neden olmuştur. Manastır Tepe'nin kuzeybatı ve güneydoğusunda karbonatlı kayalar içerisinde gelişen Fe, Cu cevherleşmeleri kontak metasomatik niteliktedir. Manastır Tepe civarındaki cevherleşmeler düzensiz oluşumlar şeklinde olup granit ile mermer veya granit ile skarn mineralleri arasındaki dokanak geçişleri keskindir. Cevherleşmeler; granit içerisinde, granit ile mermer arasında ve mermer içerisinde düzenli zonlanmalar/bantlaşmalar ve yer yer genişliği birkaç metreyi bulan düzensiz damarlar şeklinde oluşmuştur. Skarn olarak nitelendirilen bu oluşumların metasomatik akışkanlarının evrimi ve jeokimyasal özelliklerini belirlemeye yönelik mineraloji ve petrografi, major ve iz element analizleri yapılarak şu sonuçlara ulaşılmıştır.

Çataldağ Graniti'ne ait örneklerin cevher mikroskopisi incelemelerinde metalik fazların >%1 civarında olduğu ve başlıca magnetit, hematit, limonit ve götitten oluştuğu tespit edilmiştir. Gang olarak pirit, kalkopirit ve zirkona rastlanmıştır. Martitleşmeye uğrayan magnetitler, yaygın magnetit-hematit dönüşümü ve limonitleşme birimdeki alterasyonun önemli göstergeleridir. Bununla birlikte Çataldağ Graniti'ne ait numunelerde Cu minerallerine rastlanmamıştır.

Çataldağ Graniti'ne ait örneklerin major oksit değişimleri Harker diyagramlarında incelendiğinde  $\text{SiO}_2$  artışı ile  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  ve  $\text{MnO}$  konsantrasyonlarının azaldığı,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  konsantrasyonlarının arttığı gözlenir. Skarn zonlarından alınan örneklerde  $\text{CaO}$  bileşimindeki artış karbonatlı kayalarla etkileşime,  $\text{MgO}$  ve  $\text{MnO}$  bileşimindeki artış ise kontak metasomatizma varlığına işaret etmektedir.  $\text{TiO}_2$ -Zr değişim diyagramı Fe-tipi, Rb-Rb/Nb değişim diyagramı

tüm skarn oluşumlarına, Rb/Sr-Zr değişim diyagramı ise Fe-Cu-Zn tipi skarn oluşumlarına işaret etmektedir. Kayacıklar Kireçtaşlarına ait  $\text{TiO}_2$ - $\text{SiO}_2$ / $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ -Ce,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Ce ve  $\text{TiO}_2$ -Ce değişim diyagramları ise net bir ilişki sergilememekle birlikte karbonat çözülümünün Al ve Ce mobilitesine etki edebilecek sıcaklıklarda gerçekleşmediğini göstermektedir.

Skarn zonundan alınan cevher örnekleri %4,52-8,22  $\text{SiO}_2$ , %41,04-80,29  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  içeriğine sahiptir. Örnekler 1042-2551 ppm arasında değişen kuvvetli Cu anomalisi sergilemektedir. 259 A örneği 8840 ppm S ve 1918 ppm Zn anomalisi ile dikkat çekmektedir. Cevher numunelerindeki diğer önemli anomaliler ise Co (254 ppm) ve W (586 ppm) olarak tespit edilmiştir.

# **GEOLOGICAL, MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE BALIKESİR-DURSUNBEY SKARN DEPOSITS**

## **SUMMARY**

The aim of this work is to determine the style of occurrence and origin of contact metasomatic skarn zones which occur along the boundary between the Tertiary Çataldağ Granite and Mesozoic Kayacıklar Limestone exposing at east of the Dursunbey town (Balıkesir).

The stratigraphy of the study area is characterized by these following units; Paleozoic metamorphic rocks (Kocadere Metamorfikleri), Mesozoic carbonate rocks (Kayacıklar Kireçtaşı), Upper Cretaceous tectonic units (Renkli Melanj) and Tertiary Çataldağ Granite.

Paleozoic metamorphic rocks, the stratigraphic base, are mainly consist of muscovite-quartzite, quartz-albite-sericite-clorite schist, quartz-albite-muscovite schist, calc schist and biotite schist. Due to the intensive mechanical deformation large shear zones and joint systems are formed in this unit. In Tokmaklı Tepe region iron minerals, brought by the iron rich hydrothermal fluids, fill the joint systems and crack zones. On the east, near Manastır Tepe and on the west, near Tokmaklı Tepe regions the carbonate content of these rocks progressively increase and the formation reveals a petrographic transition into Kayacıklar Limestone.

Kayacıklar Limestone, Jura-Early Cretaceous crystalized carbonate rocks are white-cream and gray in color and approximately 400-500 meters in thickness. The bedding in lower levels is mainly thin-medium whereas in high levels it gets thicker and more massive. Also the crystal size gets coarser towards the Çataldağ Granite. Due to the high tension and compression tectonic activities large thrust faults and fold systems are common in the study area. The NE-SW trending thrust fault creates the tectonic contact zone between carbonates and mélangé. This contact zone suggests that the mélangé has been pushed over the carbonate rock via faulting.

Upper Cretaceous tectonic units (Renkli Melanj) mainly consist of radiolarite, mudstone, serpentine, gabbro, dunite and harzburgite. Due to the overlapping tectonism, rocks in this unit don't show primal relations. The different lithologies within the unit have tectonic contact zones. Gabbro and serpentine are both dark green, green, green-white, green-black in color and contain calcite minerals in crack fillings. Peridotites and primitive preserved olivines contain chromite and iron-oxide fillings. Carbonate and dolomite blocks within the melange also contain thin coal layers.

According to K-Ar cooling dating, the age of Çataldağ Granite is determined as Early Miocene-Oligo Miocene (21,2-25,9 m.y). On the outer zones between Kayacıklar Limestone boundary and the granite-granodiorite reveal significant

foliation. The formation has offently cut by aplitic and pegmatite dikes which are the products of hydrothermal stage.

In NW and SE of Manastır Tepe region, along the boundary between Çataldağ Granite and Kayacıklar Limestone contact metasomatic skarn zones with Fe-Cu rich minerals were formed. These mineralisations tend to occur in irregular shapes. The boundaries between granite-marble and granite-skarn minerals generally display sharp transitions. The evolution of skarn zones took place inside granite, on the granite-marble contacts and inside marbles as zones/bands. The width of these zones can reach several meters. Eventhough magnetite is formed as the primal mineral, due to intense alteration it turns into hematite near the surface.

Ore microscopy involves not only the identification of individual mineral grains but also the interpretation of ore mineral textures, the relationship between grains. Ore mineral textures may provide information on process of initial ore deposition, post-depositional re-equilibration or metamorphism, deformation, annealing and meteoric weathering. Better mineral characterisation is required for reliable and quantitative characterisation of iron ore sources. Studying mineral liberation of hematite and magnetite is important to predict iron extraction behaviour. Therefore polished sections of 8 samples from study area were prepared.

The ore microscopy studies of Kayacıklar Limestone samples show that the limestones contain pyrite in calcic matrix with approximately  $<5\ \mu$  in grain-size. On the other hand marble samples contain monozite, ilmenite and Fe-oxihidroxides ( $<20\ \mu$ ) in silisic matrix.

Highly altered samples of Çataldağ Granite are composed of pyrite, zircon, ilmenite and monozite in silisic and silicate matrix. The metallic phases within these samples are nearly 1% in volume. Less altered samples contain magnetite in grain-size of 40-50  $\mu$  within the silisic matrix. Magnetites made of  $<1\%$  of total volume of the samples. In addition, it has seen that magnetites were oxidized and partialy transform into limonite.

The granitic-granodioritic samples from skarn zones contain larger amounts of metallic phases such as magnetite, hematite, limonite, goethite with silisic-silicate gang minerals and trace amounts of pyrite. Most of the metallic phase consist of magnetites. Due to oxidation of hematite prismatic magnetites were formed. Although rocks collected from skarn zones have high Cu content, Cu-minerals couldn't be detected under microscopic studies.

Skarn deposits occur throughout the world and have been mined for a varity of elements including Fe, W, Cu, Pb, Zn, Mo, Ag, Au, U, REE, B and Sn. Skarns can occur on all continents and in rocks of almost all ages. Skarns can form during regional and contact metamorphism and from a variety of metasomatic processes involving fluids of magmatic, metamorphic, meteoric or marine origin. Therefore understanding the mineralogical and geochemical characteristics of skarn formation is critical for determination of origin and type of skarn deposit.

In order to determine the geochemical features of the Balıkesir-Dursunbey skarn deposits major oxide and trace element analysis of 29 samples collected from the study area has been done. Harker variation diagrams are commonly used for correlation of major oxides for fractional cyristallisation, partial melting, magma mixing and crustal contamination interpretations.

The SiO<sub>2</sub> content of Çataldağ Granite varies between 38,9-69,4%. Major oxide Harker variation diagrams for Çataldağ Granite indicate that the Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO and MnO concentrations tend to decrease with increasing SiO<sub>2</sub> content. On the other hand Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Ti<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> concentrations show positive correlation with increasing SiO<sub>2</sub> content. Higher CaO content of Manastır Tepe skarn zone samples indicates the reaction with host carbonate rocks. Furthermore, the increase in MgO and MnO contents confirm that the contact metasomatic processes have taken place.

The Çataldağ Granite with monzogranite-granodiorite composition (according to QAP diagram) is a sub-alkaline (according to TAS diagram), calc-alkaline (according to AFM diagram) and peraluminum I-S type pluton. Determination of I-S type of Çataldağ Granite is controversial. Therefore P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and Pb behaviors against SiO<sub>2</sub> content have to be compared. According to this comparison P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> content tends to increase whereas Pb content tends to decrease with SiO<sub>2</sub> content. This behavior suggests that Çataldağ Granite shows S-type characteristics more dominantly.

Trace elements, like major oxides, can be used to determine fractional crystallisation processes and the controlling factors of these processes. Trace elements like Nb, Zr, Y, Th and Hf are important indicators of magmatic differentiation stages. Because these elements penetrate both major rock forming minerals and accessory minerals.

Trace element behaviours like major oxides change towards the skarn zones. Harker variation diagrams of trace elements show that W, Zn and Nb contents tend to decrease with increasing SiO<sub>2</sub> content. On the other hand Y, S, Ni don't show a correlation whereas Ba, Sr and Rb contents show positive correlations with SiO<sub>2</sub>.

The fractionation degree of granitic rocks is an important parameter to determine the skarn mineralisation type. It is known that Fe-type skarns have high Sc and low Rb contents. V and Ni, like Rb, tend to decrease during magmatic differentiation. The high Rb and low V-Ni contents of Çataldağ Granite indicate that the pluton was formed in later stages of magmatic differentiation.

TiO<sub>2</sub>-Zr, Rb-Rb/Nb and Rb/Sr-Zr variation diagrams can be also used to determine the skarn types. TiO<sub>2</sub>-Zr diagram indicates Fe-type, Rb-Rb/Nb diagram indicates all skarn types and Rb/Sr-Zr variation diagram indicates Fe-Cu-Zn type skarns.

The SiO<sub>2</sub> content of Kayacıklar Limestones and marbels varies between 0.07-2,78%. The major oxide vs. SiO<sub>2</sub> variation diagrams reveal positive correlations with Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve K<sub>2</sub>O contents. The positive correlation in the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> variation diagram indicates that the silica content of carbonate rocks is consistent with a detrital source. Moreover it shows that the passive trace element enrichment is related to hydrothermal activities.

TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>-Ce, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ce and TiO<sub>2</sub>-Ce variation diagrams help to determine the immobile or least-mobile elements in the system. These variation diagrams of Kayacıklar Limestone show that the carbonate dissolution never reached to significant temperatures which would effect the Al and Ce mobility.

The analysis performed on skarn zone ore samples show that the SiO<sub>2</sub> content vary between 4,52-8,22% and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content vary between 41,04-80,29 %. The samples also show a strong Cu-anomaly (1042-2551 ppm). Sample 259 A shows S-anomaly (8840 ppm) and Zn-anomaly (1918 ppm). Co (254 ppm) and W-anomalies (586 ppm) are also detected in ore samples. In addition to these enrichments Mo, Ni, Sn, Zr, Rb, Pb and Ag contents are also at important levels.



## **1. GİRİŞ**

### **1.1 Çalışma Alanının Tanıtılması**

#### **1.1.1 Çalışma alanı**

Bölgenin büyük kısmını sık ormanlık alanlar oluşturmaktadır. Dursunbey, Ege iklim bölgesi içinde yer almakla birlikte yükseklik ve deniz esintilerine kapalı olmasından dolayı yazlar daha serin, kışlar ise daha sert geçmektedir. İklimi karasal iklim ve Akdeniz iklimi geçiş özelliklerini taşır. Bahar ve kış ayları boyunca bol miktarda yağış alan bölgede yıllık ortalama sıcaklık 12,1 °C olup, yıllık ortalama yağış miktarı 591,6 mm olarak izlenmektedir.

#### **1.1.2 Ulaşım ve yerleşim**

Dursunbey ilçesi Balıkesir il merkezine yaklaşık 72 km uzaklıkta olup, bölgeye ulaşım genellikle Balıkesir üzerinden sağlanmaktadır. İlçe aynı zamanda İzmir-Ankara demiryolu üzerinde olduğundan Balıkesir-Manisa ve İzmir güzergâhı ile Kütahya-Eskişehir ve Ankara güzergâhına tren seferleri ile de bağlanmaktadır. Çalışma alanı, Dursunbey ilçesinin yaklaşık 18 km kuzeyinde yer almaktadır. Sık orman örtüsü ve engebeli arazi yapısı nedeniyle küçük yerleşim birimleri yaygındır. Odaköy-Sarımustafalar Köyleri ve civarı yerleşimin yoğun olduğu bölgelerdir.

Dursunbey ilçesinde en önemli geçim kaynağı orman ve orman ürünlerine dayanmaktadır. İlçede en önemli ticari faaliyet keresteciliktir. Özellikle Dursunbey karaçam ormanlarından elde edilen kereste teknik özellikleri açısından çok kaliteli olması nedeniyle Türkiye genelinde aranan bir orman ürünüdür. İlçe topraklarının engebeli ve verimsiz olması nedeniyle tarımsal faaliyetler ancak geniş düzlüklerde yapılabilmektedir. Kuru tarım ürünlerinden en çok buğday, arpa, çavdar, yulaf, mercimek ve nohut üretilmektedir. İlçe aynı zamanda çeşitli madencilik faaliyetleri de yürütülmektedir. Kömür (Dursunbey-Kavacık-Odaköy), mermer, krom ve ametist (Göğü Köyü) işletmeleri ilçedeki önemli madencilik faaliyetlerini oluşturmaktadır.



**Şekil 1.1 : İnceleme alanı yerbulduru haritası**

## **1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Balıkesir-Dursunbey bölgesinde Mesozoyik yaşlı karbonat kayalar ile Paleozoyik yaşlı metamorfik birimler içerisine sokulan Tersiyer yaşlı Çataldağ Graniti'nin kontak metasomatizmaya yol açtığı tespit edilmiştir. Kontak metasomatizma sonucu oluşan özellikle Fe-tipi skarn yataklarının jeoloji, petroloji-petrografi ve jeokimyasal parametrelerini açıklamak bu yüksek lisans tezinin öncelikli amacıdır.

Çalışma alanı ve yakın çevresinin genel jeolojisi tanıtılarak, inceleme alanının litostratigrafik kesiti ve 1/25000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Bölgede yüzeylenen birimlerin birbirleri ile olan ilişkileri tanımlanarak granitik-

granodiyoritik intrüzyonun dokanaklarında gerçekleşen metasomatik proseslerin gelişimini jeokimyasal veriler ışığında açıklamak amaçlanmaktadır.

### **1.3 Çalışma Yöntemi**

Tez çalışması arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada yürütülmüştür. Arazi çalışmaları Balıkesir'in Dursunbey ilçesi ve civarını kapsayan yaklaşık 30 km<sup>2</sup> lik alanda gerçekleştirilmiştir. Kütahya İ21 a1-a2, d1-d2 paftalarında Akat ve diğ. (1978) çalışması baz alınarak 1/25000 ölçekli jeoloji haritası oluşturulmuştur. Çataldağ Graniti, metamorfitle ve karbonatlı kayaların dokanakları boyunca GPS yardımıyla skarn zonları belirlenmiştir. Bu zonlardan ve bölgedeki birimleri temsil eden kayalardan örnekler toplanmıştır.

Laboratuvar çalışmaları, araziden alınan örneklerin mineralojik, petrografik ve jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanından toplanan 29 adet örneğin XRF major ve iz element tayinleri İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Aletsel Analiz Laboratuvarında S8-Tiger/Bruker cihazı ile yapılmıştır. Cevherleşme açısından önem gösteren örneklerin parlak kesitleri hazırlanarak Cevher ve Petrografi Mikroskobu ile incelenmiştir.

Saha ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen bulgular büro çalışmaları ile değerlendirilmiştir. Jeoloji haritası ve kesitlerin çizimi Freehand programı ile gerçekleştirilmiştir. Jeokimya analiz sonuçları değerlendirilerek Grapher ve Microsoft Office programları yardımıyla tablo, grafik ve şekiller oluşturulmuştur.

### **1.4 Önceki Çalışmalar**

Balıkesir ili merkez olmak üzere Batı ve Kuzeybatı Anadolu'da özellikle magmatizmayı kapsayan çok fazla sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan inceleme alanı ve yakın çevresini jeolojik, maden yatakları ve jeokimyasal olarak ele alanların bir kısmı aşağıda özetle sunulmuştur.

#### **1.4.1 Genel Jeoloji-Jeokimya alanına yönelik yapılan çalışmalar**

Ketin (1959), Türkiye'deki magmatik olayların özellikleri ve yayılışları ile kimyasal-mineralojik bileşimleri, kronolojik gelişimleri hakkında ilk bu çalışmada ortaya konulmuştur.

Kalafatçıoğlu (1962), Dursunbey’e oldukça yakın olan “Tavşanlı-Dağardı arasındaki bölgenin jeolojisi ve serpantin ve kalkerlerin yaşı hakkında not” adlı makalesinde, bölgenin Hersiniyen ve Alp orojenezi etkisi altında olduğunu ve tektonik birimlerin en yaşlısının kristalize şistlere ait kayaçlardan oluştuğunu ortaya koymuştur. Permian sonunda varistik orojenez ile bölgenin su üstüne çıkmasını takiben asidik intrüziflerin oluştuğunu ileri sürmüş ve volkanik faaliyetlerin Miyosen’de başlayarak Pliosen’de hızlandığını bildirmiştir.

Kalafatçıoğlu (1964), Balıkesir-Kütahya arasındaki bölgenin stratigrafisini ortaya koyan makalede en yaşlı birimlerin Paleozoik mermerler ve çeşitli şistlerden oluşan bir seri olduğunu ifade etmiştir. Bölgenin güneyinde yüzeyleyen granitlerin Laramiye orojenezi ile ilişkili olduğunu belirten görüşler bulunduğunu aktarmıştır. Volkanik aktivitelerin ise Miyosen’de başlayarak Pliosen’de yoğunlaştığını belirtmiştir.

Leo ve Genç (1970), Balıkesir-Şamlı arasındaki bölgenin jeolojisini ve Fe yataklarını incelemişler ve bölgede granodiyorit-kuars-diyorit bileşimli, çok sayıda sil ve dayk tarafından kesilen batolitlerinin bulunduğunu tespit etmişlerdir. Batolitlerin başlıca sodik metadiyabaz ve volkanik kayaçlardan oluşan, karmaşık yapıli dizide farklı sokulumlar oluştuğunu bildirmişlerdir. Kontak metamorfizma etkisi ile kalkerlerin ve onun altında bulunan otokton kayaçların değişen metamorfizma dereceleri incelenmiştir.

Özacak (1970), Balıkesir-Dursunbey’e bağılı Alaçam Dağı’nda maden prospeksiyonu ve Pb madeni jeolojik etüdü çalışmasında bölgedeki granit kontağında pnömatolitik tipte Pb, Zn, Cu, Fe, pirit ve protin ile manyezit yataklarının varlığı tespit edilmiştir. Araştırmacı Güğü Köyü Demirboku mevkiinde yaptığı Pb madeni incelemelerinde bölgedeki iki mikalı şistlerin bir granit sokulumu ile kesildiğini, bu granitle aynı yaşta olan riyodasidik bir volkanizmanın ve kuars filonlarının ise bu şistleri kestiğini ortaya koymuştur.

Turgay (1973), Balıkesir ili Dursunbey Demirboku sırtında Pb varlığı I.P yöntemi ile olan etüd edilmiştir. Oluşturulan rezistivite, metal faktör ve frekans efekt (etki) haritalarında, çalışılan sahanın batı-kuzeybatı hattından başlayıp daralarak önce güneye sonra da genişleyerek batıya doğru yönelen yay şeklinde bir anomali uzanımının varlığı ortaya konulmuştur.

Yılmaz (1975), Alaçam Dağları granitlerinin petrojenetik incelemesini yaparak granitlerde iri taneli holokristalin ve porfiri olmak üzere iki ayrı faz görüldüğünü belirtmişlerdir. Kristalleşme sırasının fenokristallerde ve artık magmada riylit, dasit gibi lavlardaki ile aynı sırasıyı izlediğini belirtmiştir. Granitlerin kimyasal analiz sonuçlarına göre kalk-alkalin tipte olduğu, magmatik bir farklılaşmanın ürünleri oldukları söylenmiştir. Granitlerde bazik kapanımlar içerdiği ve kenar zonlarında Ca-Mg-Fe'ce zenginleşmenin olduğu tespit edilmiştir. 700° C'de kristalleşmeye başlayan bu anateksitik granitlerde kristalleşmenin 545° C'de tamamlandığını ortaya koyulmuştur. Granitlerin yaşı 330–360 my olarak verilmiştir.

Bingöl (1976), Batı Anadolu'nun jeoteknik evriminin incelendiği çalışmada, Batı Anadolu'nun Ege adaları ve Yunanistan'la Üst Tersiyer'e kadar benzer bir jeotektonik evrim geçirdiğini belirtmiştir. Manisa-Balıkesir-Eskişehir hattı boyunca Üst Kretase yaşlı bir yok olma zonunun varlığı dile getirilerek Pliyo-Kuvaterner'de Batı Anadolu'nun Ege adaları ile birlikte Yunanistan doğusundan geçen bir hat boyunca güneye doğru hareket etmiş olabileceği ileri sürülmüştür.

Atılgan (1977), Balıkesir-Dursunbey Kulat Çiftliği civarı Pb-Zn-Cu arama çalışmalarında cevherleşmenin pirometazomatik özellikte olduğunu ortaya koymuştur. Paleozoyik yaşlı metamorfik birim içerisinde bulunan karbonatlı kayaçlarda (olasılıkla) Paleosen yaşlı bir granit sokulumunun kontak metamorfizma etkisi oluşturduğunu ileri sürmüştür. Sokulumu yakın alanlarda silisli zonların olduğu ve volkanik kayaçlar içinde yer alan dasidik tüflerin ise Miyosen yaşlı olduğu bildirilmiştir. Çalışmada cevherleşme ilgili rezerv ve tenör verileri kapsamlı olarak verilmiştir.

Akat ve diğ. (1978), Dursunbey-Orhaneli-Susurluk-Kepsut arasındaki bölgenin jeolojisini inceleyerek detaylı bir stratigrafik kesit sunmuşlardır. Tabanda bulunan Paleozoyik yaşlı Kocadere Metamorfitleri'nin başlıca kuvars, kuvars-albit-serisit-klorit şist, kalkışist, kuvars-albit-muskovit şist, biyotit şist, bazik ve granat şistlerden olduğu belirtilmiştir. Bu birimin üstüne kristalize kireçtaşlarından oluşan, karışık yapılı, Jura yaşlı Kayacıklar Kireçtaşları'nın geldiğini ve birimin üzerine KD-GB uzanımlı bir bindirme ile Üst Kretase yaşlı Renkli Melanj'ın yerleştiğini bildirilmiştir. Tersiyer yaşlı magmatizmanın ürünü olan Çataldağ Graniti'nin bölgedeki en genç birim olduğu ve Kayacıklar Kireçtaşları ile dokanaklarında kontak metasomatizma izlerine rastlandığını ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar aynı

zamanda bölgedeki üstelenen tektonizma ve etkilerine değinmişlerdir. Bölgede yüzeylenen Çataldağ Graniti'nin olası vollastonit içeriği ve kenar zonlarındaki granit tektoniğinin iç kesimlerde görülmemesi nedeniyle granitin düşük sıcaklıklı bir sığ oluşum olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Kayhan (1978), Kütahya J21 a1 paftasında yaklaşık 40 km<sup>2</sup> lik bir alanı inceleyerek Paleozoyik yaşlı metamorfik birimler, Kretase yaşlı yeşil kayaçlar, Üst Kretase yaşlı kireçtaşı, Paleosen yaşlı granit ve Miyosen yaşlı andezit şeklinde bir stratigrafik kesit ortaya koymuştur. Bölgede görülen galen, sfalerit, pirit, pirotin, kalkopirit, manyetit gibi cevherleşmelerin granit intrüzyonu ve gelişimine bağlı olarak oluştuğunu ileri sürmüştür.

Dikmen ve Işık (1978), Balıkesir-Dursunbey Alaçam, Kulat Çiftliği ve civarı ile Kütahya-Dağardı-Ortaca Köyü civarında (Kütahya J21 a2 ve a3 paftalarında) yaptıkları jeokimya çalışmaları sonucunda Cu-Pb-Zn anomolilere rastlanıldığını bildirmişlerdir.

Toksöz ve Arslanpay (1978), Dursunbey-Kulat Çiftliği sahasının kurşun-çinko-bakır bakımından farklı jeofizik yöntemlerle incelenmesini önererek, bu bölgede Atılgan (1976) tarafından yapılan jeolojik çalışmalar sonucunda ortaya çıkan karbonatlı zona bağlı Pb, Zn, Cu, cevherleşmesinin düşey ve yatay dağılımını belirlemeyi hedeflemişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda bölgede üç anomali alanı saptanarak bazı sondaj önerileri verilmiştir.

Akdeniz ve Konak (1979), "Simav-Emet-Tavşanlı-Dursunbey-Demirci Yörelerinin Jeolojisi" adlı çalışmalarında, bölgenin genel stratigrafik istifi ortaya konulmuştur. Volkanizmanın Eğrigöz Granitleri'nin doğudaki devamı olan Paleojen yaşlı Alaçam Dağı Granitleri ile temsil edildiğini belirten araştırmacılar bu bölgedeki granitleri taneli (holokristalin) granitler, porfirik dokulu granitler ve yönlenmiş granitler olarak üç ayrı gruba ayırmışlardır. İnceleme alanındaki tüm birimlerin petrografik ve petrolojik özellikleri ayrıntılı olarak çalışılmıştır. Granitik kayaçların genel olarak granodiyorit, mikrogranit, pegmatit, aplit ve türevlerinden oluştuğu belirtilmiştir. Orta-Üst Miyosen yaşlı Civanadağ tüfleri ve Akdağ volkanitlerinin bölgedeki volkanizmayı temsil ettiğini belirterek, volkanitlerin birbirleri ile olan ilişkilerini ortaya koymuş ve mineralojik incelemeleri gerçekleştirmişlerdir.

Ergül ve diğ. (1980), “Balıkesir İli Marmara Denizi Arasının Jeolojisi” adlı makalelerinde, bölgenin stratigrafik istifinin Paleozoik yaşlı bazik ara katkılı epimetamorfikler ve bunları kesen yine olası Paleozoik yaşlı granitler ile bu grubun üstüne gelen Üst Permian-Alt Triyas yaşlı ve genellikle Karbonifer ve Permian bloklarını içeren karbonat kayaları şeklinde olduğunu belirtmişlerdir. Karasal çökellerin Tersiyer yaşlı oldukları, bölgedeki volkanizmaların ise Alt Tersiyer yaşlı granitler ile Miyosen-Pliyosen yaşlı dasit, andezit bazalt türü bir volkanizma ile temsil edildiğini ileri sürmüşlerdir.

Ercan ve diğ. (1984), Simav ve çevresindeki Senozoyik yaşlı volkanizmanın bölgesel etkileri tartışılmıştır. Batı Anadolu’da Miyosen-Kuvaterner arasında gerçekleşen karasal volkanizmanın kalkalkali, geçişli ve alkali nitelikli ürünlerinin birlikte bulunduklarını ortaya koymuşlardır. Simav ve çevresinde yüzeylenen volkanitlerin, kalkalkali karakterden, geçişli ve daha sonra alkali bazaltik karaktere dönüştüklerini yer-zaman ilişkileri ile irdelemişlerdir. Volkanitlerin ve metamorfik kütlelerin bölgedeki K-G sıkışmalarla domlaştığını, metamorfik kütle üzerindeki yükün aşınması ve mantonun yükselmesi (manto diyafirizmi) olayları ile bir riftleşme görünümü aldığını ileri sürmüşlerdir.

Şener ve Gevrek (1986), Simav-Emet-Tavşanlı yörelerinde Abide, Eynal, Naşa, Göbel, Başköy, Yoncağaç, Dereli ve Ilıca bölgelerinde görülen hidrotermal alterasyon zonlarını XRF ve jeokimyasal analiz yöntemleri yardımıyla incelemişlerdir. Saptanın kil ve silisifiye zonların bu bölgelerdeki 100°C-230°C arasında rezervuar sıcaklığına sahip bir jeotermal akışkanın ürünleri olduğu belirtilmiştir.

Ercan ve diğ. (1987), Manisa ve Balıkesir arasında yaklaşık 9000 km<sup>2</sup> lik bir alanı inceleyerek, bölgede yüzeylenen Tersiyer yaşlı bazik volkaniklerin beş farklı evrede oluştuğunu ileri sürmüşlerdir. Bu volkanik kayaların kökenlerinin tespit etmek amacıyla kapsamlı petrografik ve jeokimyasal araştırmalar yapmışlardır. Yapılan araştırmalar sonucunda bazalt görünümüne bu volkanik kayaların bir kısmının, gerçekte bazalt olmayıp, kalk-alkali kuvars, latit ve andezit türde volkanikler olduklarını belirterek bu kayaları “Yalancı Bazalt” olarak isimlendirmişlerdir.

Baş (1987), Kütahya-Domaniç-Tavşanlı bölgelerini kapsayan çalışmada Batı Anadolu’daki Senozoyik yaşlı volkanizmanın etkileri ve önemini vurgulamıştır.

Stratigrafik kesiti tabandan itibaren bu volkanizmanın ürünü olan Orta-Üst Miyosen yaşlı dasit-riyolit ve bunların üstüne gelen Pliyosen yaşlı ardalanmalı andezit ve bazaltik andezitler olarak tanımlamıştır. Kayaçların sub-alkali nitelikte ve kabuk kökenli oldukları ileri sürülmüştür.

Ercan ve diğ. (1990), “Balıkesir-Bandırma Arasının Jeolojisi ve Tersiyer Volkanizmasının Petrolojisi ve Bölgesel Yayılımı” isimli makalelerinde Tersiyer volkanizmasının Kuzeybatı Anadolu’daki yayılımı ile kayaçların petrolojik-jeokimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Bölgede Tersiyer’in Paleojen yaşlı Çataldağ granit-granodiyoriti ve Ilıca-Şamlı granitleri ile temsil edildiğini belirtmişlerdir. İnceleme alanlarındaki Miyosen yaşlı volkanik kayaçlarda yaptıkları petrokimyasal çalışmalarda bu volkanik kayaçların andezit, dasit, riyodasit ve riyolit türde, kalk-alkalin nitelikte ve kabuksal kökenli olduklarını ortaya koymuşlardır.

Savaşçın (1990), Batı Anadolu’daki Senezoyik tektonizmasının magmatik aktiviteler üzerindeki etkilerini araştırmış ve sıkışma-gerilme rejimli bu tektonizmanın magmatik fazları arasındaki belirgin özellikleri incelemiştir. Sıkışma ile ilişkili olan kalk-alkalen magmatiklerin büyük stratotip kompleksler oluşturduğunu ve magmatik merkezlerin bölgesel ve zamansal olarak yayılımının yitim süreçleri ile tanımlanabileceğini ileri sürmüştür. Magmanın biyotit, muskovit ve amfibol içeriği ile eriyikteki sıkışmış gaz fazının varlığının magmatizmanın karakterini belirleyeceğini ileri sürmüştür. Gerilme ile bağlantılı alkali magmatizmanın şoşonit, alkali riyolit ve alkali bazaltlarla temsil edilerek olası Neojen yaşlı yayardı gerilme havzaları dışında geniş alanlarda yüzlek verdiklerini belirtmiştir. Bu volkanik kayaçların bağımsız kütleler halinde grabenlerin fay sınırlarına paralel olacak şekilde yerleştiğini tespit etmiştir.

Savaşçın ve Güleç (1990), Batı Anadolu’nun tektonik evriminin magmatik aktivite üzerinde önemli etkileri olduğunu belirtmişlerdir. Geç Miyosen’e kadar devam eden sıkışmalı rejimin kalk-alkalen volkanik ürünlerinin ve onların eşleniği plütonitlerin Menderes Masifi’nin metamorfikleri içine yerleştiğini tespit etmişlerdir. Geç Miyosen’den başlayarak etkili olan gerilmeli rejimin ise, alkali volkanik kayaçlar, plütonları ana grabenler ile birbirine bağlayan faylar boyunca oluşmuş gabroyik daykılarla karakterize edildiğini belirtmişlerdir. İz element ve izotop analizlerine göre kalk-alkalen volkaniklerin manto ile kabuk malzemelerinin karışımından, alkali volkaniklerin ise mantodan türediğini ileri sürmüşlerdir.

Savaşçın ve Erler (1994), Batı Anadolu'daki Neojen-Kuvaterner magmatizmasının ve magmatizmayla ilişkili bazı cevherleşmelerin özelliklerini incelemişlerdir. Batı Anadolu'nun tektonik evrimini, tektonizmanın magmatik aktivite üzerindeki etkilerini, bu tektonizmanın etkisi altında gerçekleşen magmatizmanın ürünlerini ve cevherleşmeleri karşılaştırmalı olarak irdelemişlerdir. Karaburun, Yamanlar, Foça, Bergama, Ayvalık, Havran, İvrindi, Akhisar, Kurşunlu (Dere), Kula ve Afyon-Şuhut yörelerindeki Au-Ag, Sb, Hg, Fe, Mn, kaolin, perlit ve alunit cevherleşmeleri bu çalışma kapsamında incelenmiştir.

Alpan (1994), Balıkesir-Balya-Kepsut-Dursunbey civarında İ19-İ20-İ21 paftalarını kapsayan alanda jeokimya ve mineraloji çalışmaları yapmıştır. Yapılan Cu, Pb, Zn, Sb, As, Ni, Co, Au, Ag, analizleri sonucunda Dursunbey Dereharmanı'ndan alınan örneklerde Au, Ni ve Co, Sarıkaya'dan alınanlar da Pb, Zn, As ve Sb, Serçidere ve civarında ise Fe ve Ti'ca zengin minerallerin varlığını saptamıştır.

Ercan ve diğ. (1996), Batı Anadolu'da geniş alanlarda yüzeylenen Tersiyer ve Kuvaterner yaşlı volkanik kayalardan kesin yaş tespiti için 17 numune alarak K/Ar ve Rb/Sr yöntemleri ile radyometrik yaş ölçümleri yapmışlardır. Bu jeokimyasal veriler ışığında bölgesel volkanizmanın evrimini açıklayacak modeller oluşturmuşlardır.

Oygür (1997), Balıkesir-Sındırgı-Mumcu civarında Paleozoyik yaşlı metamorfitler ile Miyosen yaşlı andezitik volkanitler arasında gelişen bir epitermal cevherleşmenin jeokimyasal özelliklerini incelemiştir. Cevherleşme ile tektonizma arasındaki ilişkiyi tanımlayarak, cevherleşmenin Simav grabenini dik olarak enine kesen "basit transfer faylara" bağlı olarak oluştuğunu ileri sürmüştür. Aynı zamanda epitermal cevherleşmeye metamorfik birimler içindeki opalit zonunda, arsenopirit ve Au taneciklerinin eşlik ettiği belirtilmiştir.

Civalı opalit ve piritler içinde 340 ve 500 ppb değerlerine varan Au varlığı tespit edilmiştir. Bu veriler ışığında; civalı opalitin epitermal Au cevherleşmesinin henüz erozyona uğramamış olan tavanını karakterize ettiği ileri sürülmüştür.

Genç (1998), Dursunbey ilçesinin 50 km güneybatısında yüzeylenen "Bigadiç Magmatik Kompleksi" adını verdiği birimin evrimini incelemiştir. Batı Anadolu'da geniş alanlarda yayılım gösteren Oligosen-Orta Miyosen magmatizmasının bu bölgedeki intrüzif ve ekstrüzif kayalarla zamansal ve mekânsal açıdan ilişkili

olduğunu ileri sürmüştür. Bölgedeki magmatik faaliyetin Evciler Graniti ve Alt Volkanik Topluluk (AVT) ile başlayarak Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı Üst Volkanik Topluluk (ÜVT) ile sonlandığını belirtmiştir. Evciler Graniti ve AVT kayaçlarının K-G doğrultulu sıkışma rejimi altında litosferik manto kökenli bir magmadan türediğini ileri sürülmüştür. Bu kayaçları oluşturan magmanın Oligosen-Erken Miyosen döneminde kıta kabuğu tarafından kirletildiğini ileri sürmüştür. Birimlerin çarpışma sonrası tektonizmanın ürünleri olduğu belirtilmiştir. Magmatizmanın Geç Miyosen-Pliyosen'deki ürünlerinin K-G yönlü gerilme rejimi altında oluşan bazaltik lavlar olduğu dile getirilmiştir.

Bayburtoğlu ve diğ. (2003), Balıkesir-Dursunbey-Dereharmanı civarındaki bölgeyi kapsayan çalışmalarında Au cevherleşmesinin jeolojisi ve petrolojik özellikleri irdelenmiştir. İnceleme alanının Pontitler ve Anatolidleri birbirinden ayıran ofiyolitlerle temsil edildiğini belirtmişlerdir. KD-GB doğrultulu kenet kuşağı içinde yer alan bölgede birçok kalk-alkalen bileşimli granitoyid sokulumu bulunduğunu ve bu intrüzyonların farklı türlerde cevherleşmelerin oluşumuna neden olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Gemici ve diğ. (2004), Kütahya-Emet bölgesindeki sıcaklıkları 33°C ile 54°C arasında değişen termal suların özellikle metamorfik kayalar, karbonatlar ve ofiyolitik kayalar içinde bulunduğunu ve suların yüksek Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub> içeriğine sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Innocenti ve diğ. (2005), Batı Anadolu'da gerçekleşen Neojen ve Kuvaterner yaşlı volkanizmanın kökeni ve jeodinamik evrimini incelemişlerdir. 21-16 m.y yaşlı volkanizmanın kalk-alkalen ve şoşonitik kayaçlarla, 16-14 m.y yaşlı magmatizmanın lamproitlerle ve 2-0 m.y yaşlı magmatizmanın OIB tipi kayaçlarla temsil edildiği Kula volkanitlerinin petrolojisini jeokimyasal veriler ile açıklamışlardır. Sr-Nd izotop oranları ve iz element trendleri doğrultusunda kalk-alkalen ve şoşonitik volkanizmada manto-kabuk etkileşiminin orta derecede olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ultrapotasik ve lamproitik kayaçların yüksek Sr ve düşük Nd izotop bileşimleri ve Ba'a göre K ve Rb'ca zenginleşmesi nedeniyle litosferik bir kaynağa ait olabileceğini belirtmişlerdir. Kula volkanitlerindeki düşük LILE/HFSE ve Sr izorop içeriği ile yüksek Nd izotop içeriği nedeniyle ultrapotasik ve lamproitik kayaçların OIB-tip bir karakter sergilediğini bildirmişlerdir.

Altunkaynak ve diğ. (2012), Batı Anadolu'daki Oligo-Miyosen yaşlı granitoid magmatizmasının bölgesel-zamansal ve jeokimyasal evrimi üzerinde durulmuştur. Oligo-Miyosen granitoidlerinde yapılan U-Pb ve  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  yaşlandırması, major-iz element jeokimyası ile Sr-Nd izotop analizleri ile şu bulgular bildirilmiştir. Plutonların yaşları zirkon SHRIMP U-Pb yaşlandırmasına göre  $19.48 \pm 0.29$  ve  $23.94 \pm 0.31$  m.y,  $^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}$  yaşlandırmasına göre  $18,9 \pm 0,1$ – $24,8 \pm 0,1$  milyon yıldır. Major ve iz element analizleri ile birlikte Sr-Nd izotop bileşimleri granitoidlerin hem litosferik hem de manto kökenli eriyiklerin karışımı ile oluşan magmadan türediğini tespit etmişlerdir.

#### **1.4.2 Skarn oluşumlarına yönelik yapılan çalışmalar**

Dericioğlu (1972), Dursunbey-Sarıkaya bölgeleri arasında şistlerle ardalanmalı mermerler arasında gelişen Cu-Pb-Zn cevherleşmelerinin kontakt pnömatolitik karakterde olduğunu tespit etmiştir.

Takashima (1974), “Dursunbey-Balıkesir Pb-Zn Yataklarının Jeolojisi” adlı makalesinde bu maden yataklarının, granitik batolitlerin etrafındaki skarnlaşmış metamorfik zonda oluştuğunu tespit etmiştir. Skarn zonunda gözlenen mineralizasyonların skarn oluşum mekanizmasının ve türünün tespitine rehberlik edeceğini belirtmiştir.

Erdağ (1976), Çataldağ Granitoidi'nin güney kısmının jeolojik ve petrografik özelliklerini incelemiştir. granodiyorit bileşimli plütonun dokanak sınırlarına doğru, kontakt metasomatik süreçler sonucunda skarn zonlarının geliştiğini belirlemiştir. Bu skarn zonunlarında yapılan petrografik incelemeler sonucunda kontak metamorfizma ürünlerinin granat, diyopsit, vezüvyanit, vollastonit, forsterit, skapolit, tremolit ve biyotit mineralleri ile temsil edildiğini tespit etmiştir. Kontakt metamorfizmanın oluşum sıcaklığını pelitik kayaların contağında bulunan kordiyerit minerali ve diğer mineral parajenezleri yardımıyla belirlemiştir.

Akyüz (1995), Manyas-Susurluk-Kepsut civarında yüzeyleyen birimleri jeolojik, petrografik ve jeokimyasal açıdan inceleyerek bölgedeki tektonik birlikleri tanımlamıştır. Bölgedeki tektonik birlikleri başlıca Sakarya Zonu, İzmir-Ankara Zonu, Anatolid Grubu ve tektonizma sonrası birlikler olarak ayırtlamıştır. Paleo-Tetis okyanusunun güneye dalması ile oluşan Sakarya Zonu birliklerinin; Karakaya Kompleksi, Nilüfer Formasyonu, Hodul Birimi ve Orhanlar Grovağı'ndan; İzmir-

Ankara Zonu birliklerinin Senomaniyen-Meastrihtiyen yaşlı Ovacık Melanjı, Meastrihtiyen-Üst Paleosen yaşlı Bornova Flişi'nden oluştuğu belirtmiştir. Orhaneli Birimi'nin Anatolid-Torid bloğunun kuzey ucunu temsil ettiğini ve bölgede yüzeylenen Ilıca-Şamlı ile Çataldağ Granodiyoritlerinin tektonizma sonrasında oluşan ürünler olduğunu ileri sürmüştür. İnceleme alanı tektonik evriminin Paleo-Tetis ve Neo-Tetis okyanuslarının kapanması ve Miyosen sonrası Anadolu levhasının batıya kaçması olarak üç ayrı evrede gerçekleştiğini savunmuştur. Tektonizmayı takiben oluşan granodiyoritlerin 700-800 °C arasında değişen soğuma sıcaklıkları ile dokanak zonlarında hornblend-hornfels fasiyesinde kontak metamorfizma gelişiminin gözlemlendiğini belirtmiştir.

Arık (1995), Balıkesir-Kepsut civarının jeolojisini ve stratigrafisini detaylı olarak çalışmıştır. İnceleme alanında bulunan vollastonit, talk oluşumları ile Pb-Zn-Cu cevherleşmesinin petrografik özelliklerini inceleyerek rezerv miktarlarını saptamıştır. Bölgedeki skarn zonunun vollastonit, granat, piroksen, plajiyoklaz, kalsit, kuvars, tremolit, silimanit, epidot, skapolit, forsterit, sfen, K-Feldspat, apatit ve kordiyerit şeklinde bir mineral parajenezi ile temsil edildiğini tespit etmiştir.

Gültekin ve diğ. (1998), Dursunbey ilçesinin yaklaşık 35 km batısında yer alan Tumanpman'daki volkanik kayalar içerisinde oluşmuş damar şekilli, hidrotermal Fe-Mn mineralizasyonunun jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Cevherleşmenin kuvars mercekleri içerisindeki boşluklarda hidrotermal alterasyon sonrası geliştiği ve prolusit, psilomelan, hematit ve manyetit ile temsil edildiğini tespit etmişlerdir. Bu kayalardaki yüksek As, Ba, Pb, Zn içeriğinin cevherleşmenin önemli bir jeokimyasal özelliği olduğunu belirtmişlerdir.

Boztuğ ve diğ. (2006), Kuzeybatı Anadolu'da yer alan Ilıca, Çataldağ ve Kozak granitoidlerini K-Ar soğuma yöntemiyle yaşlandırmışlardır. Analizler sonucunda Ilıca Granitoyidi'nin Üst Eosen-Oligosen ( $25,6 \pm 1,9$  ile  $37,7 \pm 1$  m.y), Kozak Granitoyidi'nin Alt-Orta Miyosen ( $14,6 \pm 1,0$  ve  $23,0 \pm 3,8$  m.y) yaşlı olduklarını belirlemişlerdir. Ilıca ve Kozak Granitoidleri'nin yüksek ve orta K içerikli kalk-alkalen, metalumino bileşimli I-tipi, Çataldağ Granitoyidi'nin ise I-tipi ve S-tipi peralumino bileşimli kayalardan oluştuğunu tespit etmişlerdir. Çataldağ Granitoyidi'nin I-tipi özellik sergileyen kayalarının mafik ve felsik magmaların karışımı sonucu, S-tipi kayalarının ise kabuksal kökenli feslik magmadan türediğini savunmuşlardır. I-tipi özellik sergileyen kayalarda yapılan analizler ile Çataldağ

Granitoyidi'nin LILE, HFSE ve HNTE bakımından zengin olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar Ilıca, Çataldağ ve Kozak Granitoyidleri'nin post-tektonizmaya bağlı kıtasal kabuğun kısmen veya tamamen tüketilmesi yoluyla oluştuklarını ileri sürülmüştür.

Orhan (2008), “Susurluk Skarn Yataklarının Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri” konulu doktora çalışmasında Tersiyer yaşlı Çataldağ Granitoyidi ile Mesozoyik kireçtaşı ve mermer dokanağı boyunca gelişmiş kontak metasomatik skarn zonlarının oluşum ve kökenine değinmiştir. Bölgede gelişen skarnın, endoskarn zonunda plajiyoklaz-piroksen mineral zonları içermesi ile W ve kısmen Cu skarn özelliği taşıdığı ayrıca piroksen ve vollastonit ile birlikte alüminyum içeriği yüksek önemli bir kalsilika minerali olan vezüvyanitin geliştiği belirtilmiştir. Skarnın bu özelliği ile de alüminyum içeriği yüksek kalay ve tungsten skarnları yansıttığı vurgulanmıştır. Skarn zonlarında belirlenen mineral parajenezlerinin bölgedeki skarnın alüminyumca zengin ve kalsik W tipte skarn oluşumunu gösterdiği ileri sürülmüştür.

Orhan ve Mutlu (2009), “Susurluk (Balıkesir) Skarn Yatağının Jeokimyasal Özellikleri ve Kontakt Metasomatizma Esnasında Nadir Toprak Elementlerinin (NTE) Davranışları” çalışmasında skarn zonundaki NTE içeriklerinin Çataldağ Granitoyidi ve mermere göre aşırı derecede arttığını, endoskarndan ekzoskarn zonuna doğru ise kısmen azalmakta olduğunu belirtmişlerdir. Çataldağ Granitoyidinin Batı Anadolu'daki diğer plütonlara benzer NTE yönelimleri ile fraksiyonlanmış özellik gösterdiği ve negatif Eu anomalisi ( $Eu/Eu^* = 0.42-0.93$ ) sergilediğini tespit etmişlerdir.

Ayrıca Susurluk skarn yatağındaki kayaçların NTE içerikleri ve yönelimlerinin metasomatik akışkanların prograd evrede hidrotermal, retrograd evrede ise hidrotermal ve meteorik akışkanlardan türediklerinin göstergesi olduğu ileri sürülmüştür.

Orhan ve diğ. (2010), Susurluk skarn yatağında sınırlı alanda gelişen endoskarn zonunun klinopiroksen, plajiyoklaz, sfen, ortoklaz ve kuvars minerallerinden ekzoskarn zonunda ise başlıca granat, klinopiroksen, vezüvyanit, vollastonit ile birlikte kalsit, kuvars, plajiyoklaz, ortoklaz, skapolit, biyotit, muskovit, sfen ve klorit gibi aksesuar mineralleri ile şeelit, kalkopirit, bornit gibi cevher minerallerinden oluştuğunu belirtmişlerdir. Ekzoskarn zonlarında yaptıkları mikrotermometrik

alışmalar ile skarnlaşmanın ilk evresinde 587°-592°C sıcaklıklarda sistemde kaynamanın gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. Bununla birlikte sığ skarn sistemi özelliklerini sunan Susurluk skarnın, homojenleşme sıcaklığı ve tuzluluk verilerine göre yaklaşık 1 kbar'lık basınç koşullarında gelişmiş oluğu ileri sürülmüştür.

## **2. GENEL JEOLojİ**

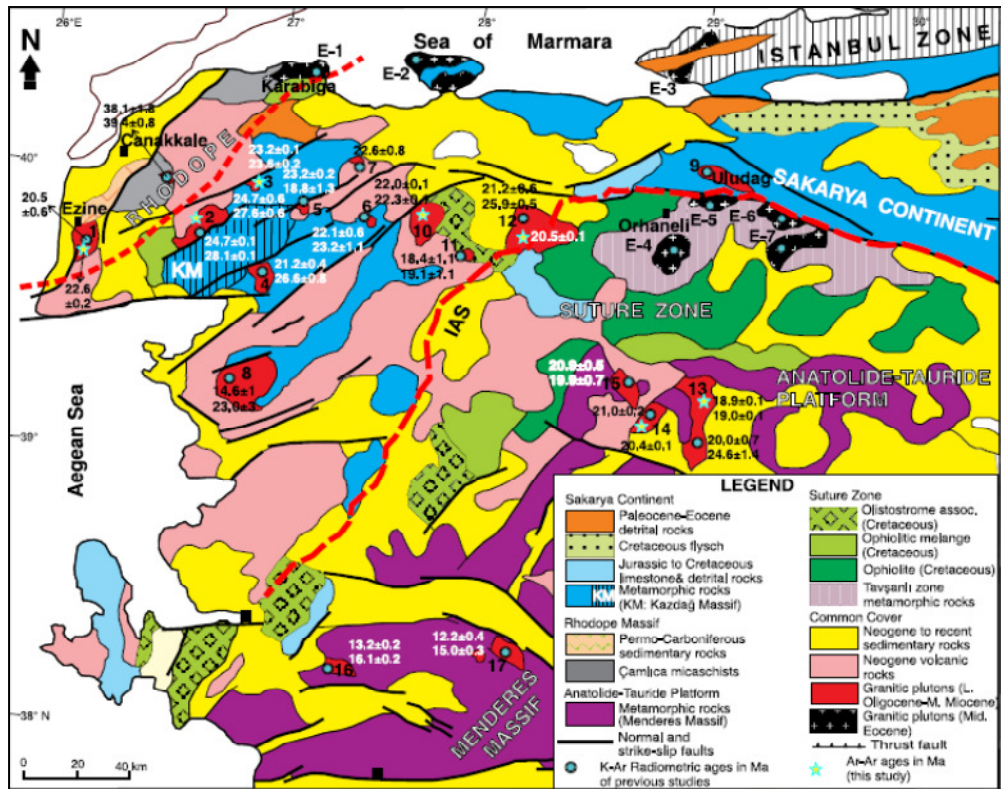
### **2.1 Batı Anadolu Bölgesel Jeolojisi**

Innocenti ve diğ. (2005) tarafından özetlenen Batı Anadolu magmatizmasının en önemli unsurları yazarlar tarafından şu şekilde bildirilmiştir; Anadolu-Ege alanı Avrasya ve Afrika yaklaşan-çarptıran levha sisteminin karmaşık en azından Eosen'den itibaren G-GB'ya göç eden yitim zonu ile temsil edilmektedir. Bölgedeki sıkışma ve gerilme Geç Kretase'de gerçekleşen çarpışmayı takiben oluşan kinematik mikrolevha hareketlerinin bir sonucudur. Yitim zonu boyunca gelişen magmatizmanın, geniş alanlarda değişen petrojenetik kökenli volkanik ürünler oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu volkanik kayaların yersel-zamansal olarak kuvvetli benzerlikler sunduğundan karşılaştırılabilir olduklarını belirtmişlerdir.

Volkanikler Geç Eosen-Orta Miyosen ve Kuvaterner yaşlı magmatik aktivitelerin farklı evrelerine ait baskın orojenik ürünler dışında levha içi eğilimli alkali lavları da içerirler (Yılmaz ve diğ, 2001). Alkali lavların oluşumu Geç Miyosen'den günümüze kadar devam etmekte ve tektonik rejimlerdeki hızlı değişimlerle bağlantılı jeokimyasal olarak farklı magma kaynaklarının varlığına işaret ederler. Ege-Batı Anadolu volkanik kuşağı Rodop Masifi-Trakya'dan güneye doğru Orta Ege Denizi-Batı Anadolu ve Güney Ege Aktif Volkanik Yayına uzanarak Üst Eosen'den günümüze kadar değişik yaşlar sunar (Fytikas ve diğ, 1984). Üç farklı magmatik evrede gelişen magmatizmanın en eski evresi Geç Eosen'de (37 m.y.) başlar ve Orta Eosen'de (14-15 m.y.) sona erer. Volkanik ve plütonik kayalarla temsil edilen bu evrenin magmatik ürünleri orojenik özellikler sergiler. Bu volkanikler kalkalkalin ile yüksek K'lu kalkalkalin hatta şoşonitlere kadar değişen karakterdedir. Andezit ve dasitler yaygınken bazalt ve bazaltik andezitlere de rastlamak mümkündür. Oligosen (Rodop Masifi) ve Erken Miyosen Orta Ege Denizi ve Batı Anadolu'da ignimbiritik örtülerle temsil olunur. Rodop-Trakya bölgesinde volkanizma güneye doğru göç eder ve gerek K<sub>2</sub>O içeriğinde gerekse yayılan volkanik ürünlerin hacimlerinde bir azalış gösterir (Yanev ve diğ, 1998).

Batı Anadolu’da Geç Miyosen-Erken Pliyosen arasında gerçekleşen ikinci volkanik evre sodik veya potasik eğilimli orta derecede alkalin kayaçlar ile temsil edilir. Pliyosen ve Kuvaterner’de gerçekleşen üçüncü volkanik evrede ise Güney Ege’de Ege Levhası’nın altına Afrika Levhası’nın yitimi ile kalk-alkalin volkanik kayaçlar oluşurken, Batı Anadolu’da yüzeylenen Na’lu alkali bazaltlar Okyanus Adası Bazaltları (OIB) karakteri sergilemektedir.

Genç (1998) Oligosen ile Orta Miyosen arasında Batı Anadolu’da magmatik aktivitenin Evciler Graniti ve Alt Volkanik Topluluk (AVT) ile başlayarak Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı Üst Volkanik Toplulukla (ÜVT) sonlandığını belirtmiştir. Aynı zamanda, Evciler Graniti ve Alt Volkanik Topluluğu’na ait kayaçlarının K-G yönlü sıkışma rejimi etkisiyle litosferik manto kökenli bir magmadan türediği belirtilmiştir. Ayrıca bu kayaçların Oligosen-Erken ve Miyosen boyunca kıta kabuğu tarafından kirletildiği ileri sürülmüştür. Batı Anadolu basitleştirilmiş jeoloji haritası ve granitoidlerin dağılımı Şekil 2.1’ de gösterilmektedir.



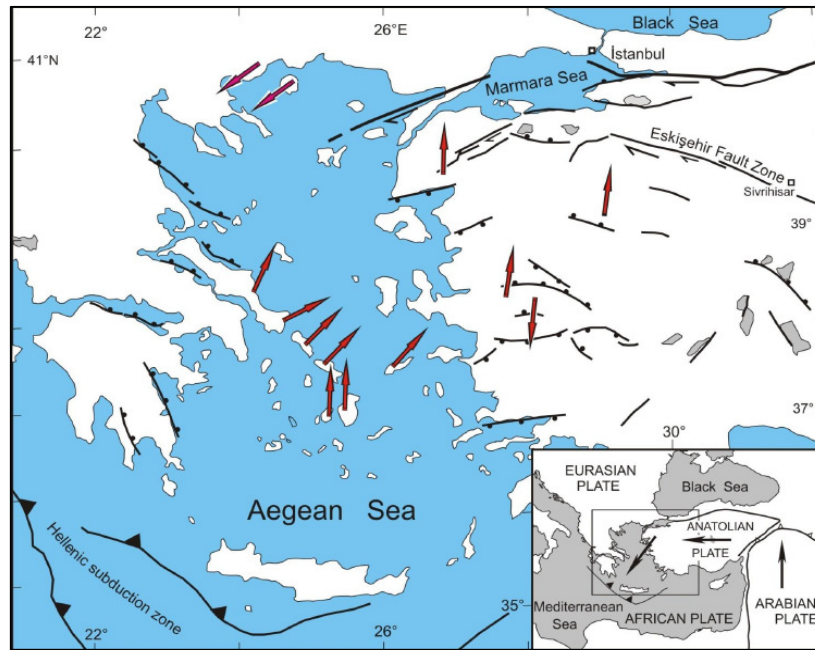
Şekil 2.1 : Basitleştirilmiş Batı Anadolu jeoloji haritası ve granitoidlerin dağılımı (Altunkaynak ve diğ, 2012).

Savaşçın ve Güleç (1990) Batı Anadolu’da sıkışmalı tektoniktonizmaya bağlı oluşan volkanitlerin kalk-alkalin karakter sergilerken gerilmeli tektonizmaya bağlı volkanik ürünler alkalin karakterli olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte gerilmeli rejime bağlı volkanitlerin de yer yer kalk-alkalin özellikte olduğu saptanmıştır. Bu durumun kalk-alkali volkanizmanın yersel olarak da olsa gerilmeli rejimin başlamasından sonra hala devam ettiğinin göstergesi olduğunu ileri sürmüşlerdir.

## 2.2 Kuzeybatı Anadolu Bölgesel Jeolojisi

Kuzeybatı Anadolu Bölgesi aktif tektonizması Ege dalma-batma sistemi ve Bitlis Sütur Kuşağı boyunca oluşan sıkışmaya bağlı olarak gelişmiştir (Şekil 2.2). Paleozoik yaşlı metamorfik kayalar Kuzeybatı Anadolu’da görülen en yaşlı birimlerdir. Yılmaz ve diğ. (1981), tarafından yapılan çalışmada bu kayaların yeşilşist, hornfels ve amfibolit fasiyesinde gelişmiş gnays, granat şist, biyotit şist, kalkışist, klorit şist, mika şist, grafit şist, dolomitik karakterli mermerler, kristalize kireçtaşı, fillit, amfibolit bileşiminde olduğu saptanmıştır. Birimin olası yaşı Permian’dır (Altınlı, 1973).

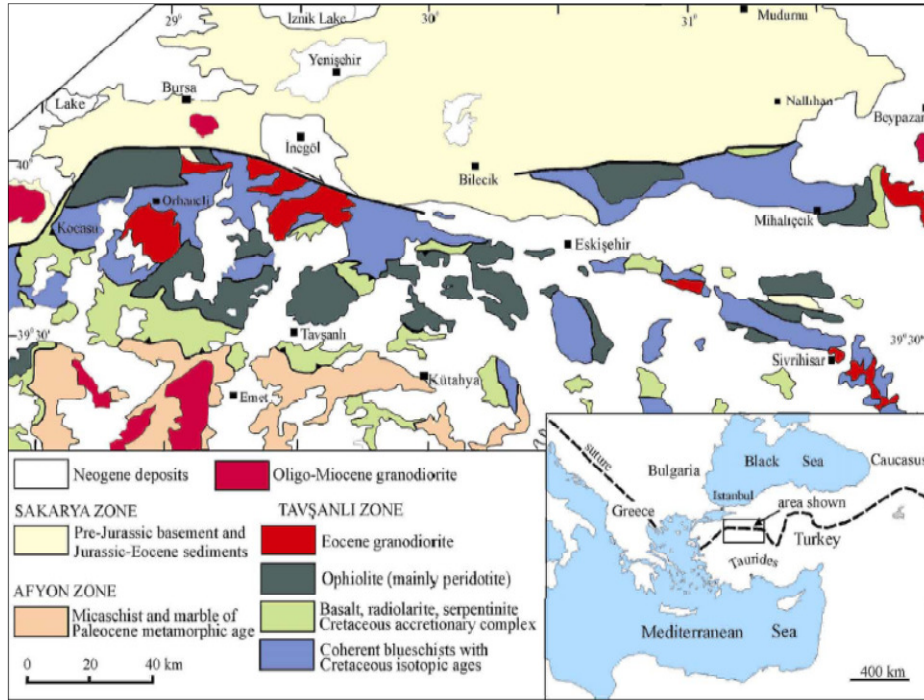
Bu metamorfik kayalar, Balıkesir ve çevresinde Fazlıkonağı Formasyonu, Biga Yarımadasında Kazdağ Metamorfitleri, Bilecik ve çevresinde Söğüt Metamorfitleri, Kütahya ve çevresinde Simav Metamorfitleri olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2.2 : Kuzeybatı Anadolu dalma-batma ve sıkışma (Okay, 2000).

Bölgedeki önemli bir diğer birim ise Mesozoyik yaşlı Karakaya Formasyonu'dur. Bu birim ile birlikte Jura-Kretase kireçtaşları ve ofiyolitik melanj bölgede geniş mostralara vermektedir. Ofiyolitik melanj, Balıkesir ve civarında Yayla melanjı, Biga Yarımadasında Çetmi melanjı, Kütahya ve çevresinde Dağardı melanjı, Bilecik, Bozüyük ve civarında Arifler melanjı olarak da adlandırılmıştır. Radyolarit, çamurtaşı, diyabaz, gabro, dünit, harzburgit, mermer, metakumtaşı, çeşitli şist blokları ve değişik boyutta ve yaşta kireçtaşı bloklarından oluşur (<http://www.mta.gov.tr/v2.0/bolgeler/balikesir/index.php?id=bolgesel-jeoloji>).

Alt Tersiyer, Menderes masifi kuzeyindeki granodiyoritik intrüzyonlar ile temsil edilmektedir (Bürküt ve diğ., 1966). Granodiyoritik intrüzyonların Mesozoyik yaşlı birimleri kontak metamorfizmaya uğrattığı Özkoçak ve diğ. (1969) çalışmasında belirtilmiştir. Okay (2001) tarafından özetlenen Kuzeybatı Anadolu jeolojik birimleri Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Kuzeybatı Anadolu jeolojik birimleri (Okay, 2001).

### 2.2.1 Fazlıkonağı Formasyonu

Alacalı renkli şistlerden oluşan formasyon yer yer mercek ve bant şeklinde mermerler ve serpantin kütelleri içermektedir. Birim genellikle bazik magmatik kökenli glokofan-epidot şist ve glokofan-klorit şist ile pelitik-psamitik kökenli

kuvars-albit-klorit-serisit şist, kuvars-albit-muskovit şist, muskovit-kuvarsit, metakumtaşı ve metakarbonatlardan oluşmaktadır (Ercan ve diğ, 1990).

Farklı araştırmacılar tarafından farklı isimler ile tanımlanan birim Erdağ (1976) tarafından “kristalin şistler”, Yalçınkaya ve Afşar (1980) tarafından ise “Kızıltepe Metamorfikleri” olarak adlandırılmıştır. Ergül ve diğ. (1980) birimi metamorfikler (amfibolitşist, serpantinşist kuvarsit, metakumtaşı, kalkışist, mermer bant ve mercekleri) ve ultrabazikler (spilit, diyabaz, serpantinit, lisvenit, radyolarit) olarak iki grupta inceleyerek birimin özelliklerinin en iyi Fazlıkonağı Köyü’nde sergilenmes nedeniyle bu toplulukları “Fazlıkonağı Grubu” olarak adlandırmışlardır. Ergül ve diğ. (1986), Çakır ve Temiz (1989) ve Ercan ve diğ. (1990), çalışmalarında sadece metamorfik kayaları inceleyerek birimi “Fazlıkonağı Formasyonu” olarak adlandırılmışlardır.

Fazlıkonağı Formasyonu yeşil, gri, kahve tonlarında bir görünüm sergilemektedir. Kuvvetli lineasyon ve foliasyon gösteren amfibolit şistler, mikaşist, kuvarsşist, serisit-klorit-kuvarsşist ve talkşistlerden oluşan birim yer yer mermer mercekleri içerir (Erdağ, 1976; Akyüz, 1995). Bant ve mercek şeklinde görülen bu mermerler gri-beyaz renklerde, sakkaroid dokulu ve ince-orta tabakalıdır. Genellikle mercek şeklinde görülen serpantinit kütleleri ise yer yer şiddetli makaslanma nedeniyle yapraklanma kazanmışlardır (Ercan ve diğ, 1990).

Kalınlığı belli olmayan Fazlıkonağı metamorfikleri, tabanı görülmediğinden ve sık devrik izoklinal kıvrımlanmalar ile düzensiz yüzeylenmeler nedeni ile düzenli bir kesit sunmaz (Ercan ve diğ, 1990). Metamorfizma nedeniyle içinde organik bir kalıntıya rastlanmayan bu birimin yaşı Batı Anadolu’da yapılan diğer çalışmalarda benzerleri ile karşılaştırılarak Üst Paleozoyik olarak kabul edilmiştir (Kaaden, 1959; Özkoçak, 1969; Ürgün, 1972; Akat ve diğ, 1978; Ergül ve diğ, 1980; Yalçınkaya ve Afşar, 1980).

### **2.2.2 Karakaya Formasyonu**

Birim çeşitli araştırmacılar tarafından Karakaya Grubu (Bingöl ve diğ, 1973), Karakaya Melanjı (Sengör ve diğ, 1984), Dışkaya Formasyonu (Kaya ve diğ, 1986), Karakaya Kompleksi (Okay ve diğ, 1990) ve Karakaya Birimi (Tüysüz, 1990) olarak adlandırılmıştır. Okay ve diğ. (1990), formasyonun muhtemelen eş yaşlı fakat değişik havza koşulları ve tektonik ortamları yansıtan Nilüfer Birimi, Hodul Birimi,

Orhanlar Grovakı ve al Birimi olmak üzere dört farklı birimden oluştuğunu belirterek bu birliktelikleri “Karakaya Kompleksi” olarak adlandırmışlardır.

Karakaya Formasyonu kumtaşı, silttaşı, kilttaşı ve bu birimlerle yer yer geçiş gösteren rt ve radyolaritler ile farklı köken ve boyutlara sahip kireçtaşı blokları ve spilitlerden oluşmuş klastik sedimanter kayaç ağırlıklı bir birimdir (Bingöl ve diğ, 1973). Karmaşık bir litolojinin izlendiği birim yoğun deformasyon sonucunda oluşan çatlak takımları ile parçalanmıştır. Düşük dereceli metamorfizma izlerine rastlanan kumtaşları sarımsı-yeşilimsi kahve renkli, orta-ince tabakalı, yer yer tabakasız ve bol çatlaklıdır.

Yabancı bloklar içeren spilitik bazalt, çamurtaşı, radyolarit, kumtaşı, kuvarsit, konglomera ve silttaşı ardalanmasından oluşan ve hafif bir metamorfizma geçiren bu birimin Orta-st Triyas yaşlı altepe Formasyonu tarafından uyumsuz olarak rtldği Ercan ve diğ. (1990), tarafından belirtilmiştir. Bingöl ve diğ. (1973), Karakaya Formasyonu’nu içerdiği st Permiyen kireçtaşı blokları ve üzerine geldiği ne sürülen Orta-st Triyas kireçtaşlarından dolayı Alt Triyas olarak yaşlandırmışlardır. Ortalama kalınlığı 200 m olan Fazlıkonağı Formasyonu zerine uyumsuzlukla yerleşmiştir (Ercan ve diğ, 1990).

### **2.2.3 Jura-Kretase kireçtaşları**

Sığ denizel ortamı temsil eden karbonat kayaları beyaz, krem, bej renklerde; orta tabakalanmalı, belirgin laminalı ve st seviyelere doğru masif özelliktedir. Birimin kalınlığı Bilecik, Beypazarı ve Söğüt dolaylarında 800 metreye ulaşmaktadır. Kireçtaşlarının blok veren, kalın tabakalı kısımları Kütahya, Bilecik, Beypazarı ve Balıkesir yörelerinde mermer olarak işletilmektedir.

### **2.2.4 Yayla Melanjı**

Birbirleriyle ilksel ilişki göstermeyen sedimanter ve metamorfik kayaçlar ile bazik ve ultrabazik kayalardan meydana gelen birim Ergül ve diğ. (1980; 1996) ile Ercan ve diğ. (1990), tarafından Yayla Melanjı olarak adlandırmışlardır. Formasyon yeşil, gri, kahve, sarı, kırmızı ve mor gibi renklerin yoğun olduğu alacalı bir görünümdedir. Melanj radyolarit, çamurtaşı, spilit, tf, serpantinit, diyabaz, gabro, dunit, harzburjit, mermer, metakumtaşı ve blok görünümünde klorit-lavsonit-glokofanşist, epidot-

lavsonit-glokofanşist ile bu kayaların içerisinde bulunan farklı boyut ve yaştaki kireçtaşlarından oluşur (Ergül ve diğ, 1980; 1986; Ercan ve diğ, 1990).

Yayla Melanjı tüm eski birimlerin üzerinde tektonik dokanakla yerleşmiştir. Formasyon içindeki bloklar Karakaya Formasyonuna ait allokton kütlelerdir. Ofiyolitlere ait gabrolar koyu yeşil, yeşilimsi siyah ve yeşilimsi beyaz renklerde olup oldukça sert köşeli kırılmalı ve çok kırıklı iken serpantinitle yeşil, açık yeşil, koyu yeşil renklerde, çok kırıklı ve gelişkin makaslanmalıdır (Ercan ve diğ, 1990). Kırık ve makaslama yüzeylerindeki kaymalardan dolayı belirgin iz ve parlaklıklara rastlamak mümkündür.

Yayla Melanjı'nı oluşturan birimler tektonik dokanaklı olup, genellikle köksüz ve allokton yabancı bloklar içermekte ve aralarında stratigrafik istiflenme, düşey ve yanal geçiş sergilememektedirler (Ergül ve diğ, 1980; 1986; Ercan ve diğ, 1990). Birimin oluşumu Kretase öncesinden başlayarak Meastrihtiyen'de tamamlanmıştır (Ergül ve diğ, 1980; 1986; Ercan ve diğ, 1990). Birimin Çataldağ Granitoyidi tarafından kesilmesi yerleşme yaşının Tersiyer öncesi olduğunu göstermektedir (Ergül ve diğ, 1980). Melanjın yaşı içerdiği bloklar ve stratigrafik konumu nedeniyle Üst Kretase olarak kabul edilmiştir (Ergül ve diğ, 1980; 1986; Ercan ve diğ, 1990).

### **2.2.5 Mavişistler**

Mavişistler Kuzeybatı Anadolu'da yaygın olarak Orhaneli, Tavşanlı, Eskişehir, Sivrihisar bölgelerinde görülmektedir. Anatolid-Torid Bloku'nun Geç Krerese'de bir dalma-batma zonu içeresine dalan ve daha sonra tekrar yükselen kısmını temsil eden Tavşanlı Zonu, kapladığı alan ve yüksek basınç-düşük sıcaklık mineral parajenezlerinin çok iyi korunmuş olması açısından dünyadaki en iyi mavişist kuşaklarının başında gelir (Okay, 1989). Tavşanlı Zonu birbirinden farklı metamorfik özellikler sergileyen Orhaneli Grubu, Ovacık Kompleksi ve Anadolu Ofiyoliti birimlerinden oluşmaktadır. Bu birimlerden Orhaneli Grubu mavişist fasiyesinde rejyonel bir metamorfizma geçirmiştir (Çoğulu, 1965; 1967; van der Kaaden, 1966; Lünel, 1967; Okay, 1980a,b, 1981, 1984, 2002; Servais, 1981; Kaya, 1981; Gautier, 1984; Monod ve diğ, 1991; Davis ve Whitney, 2006; Çetinkaplan ve diğ, 2008). Orhaneli Grubu başlıca fillat, şist, mermer ve metabazitten oluşur. Metabazitlerde karakteristik YB/DS mineral parajenezi sodik amfibol+lavsonit+klorit±sodik piroksen+fenjit+sfen'dir (Çoğulu, 1967; Okay, 1980). Şistlerde görülen karakteristik

YB/DS mineral parajenezi: jadeit+kloritoid+lavsonit+glokofan+kuvars+fengit'tir (Okay ve Kelley, 1994; Okay, 2002; Okay ve Satır, 2006; Okay ve diğ, 2008). Bu mineral parajenezi Tavşanlı Zonu'nun batı kesiminde metamorfizma sırasında zirve basınç ve sıcaklık değerlerinin  $24 \pm 3$  kbar ve  $430 \pm 30$  °C olduğunu göstermektedir (Okay, 2002). Tavşanlı Zonu mavişistlerinde yapılan K-Ar ve Ar-Ar yaş tayinleri 60 ile 175 m.y arası değerler vermiştir (Çoğulu ve Krummenacher, 1967; Okay ve Kelley, 1994; Harris ve diğ, 1994; Sherlock ve diğ, 1999). Tavşanlı ve Sivrihisar bölgelerindeki mavişistlerden elde edilen Rb-Sr yaşları ise Orhaneli Grubu'nun Kampaniyen'de ( $80 \pm 2$  m.y) YB/DS metamorfizması geçirdiğini göstermektedir (Okay, 2011).

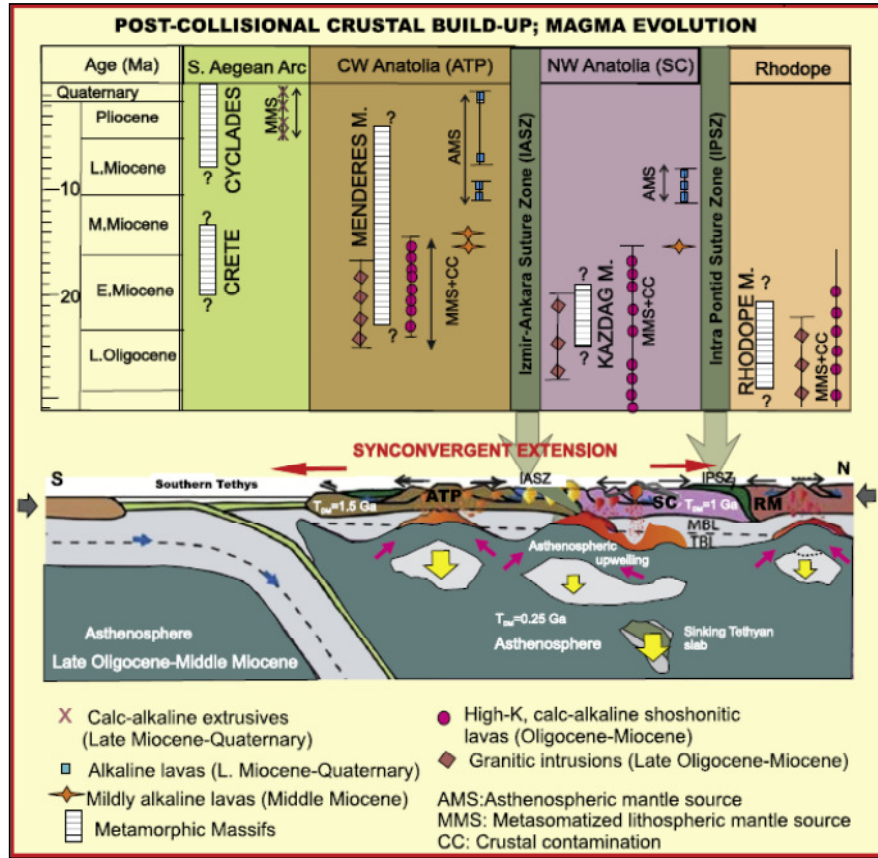
### **2.2.6 Oligo-Miyosen granodiyoritleri**

Kuzeybatı ve Batı Anadolu'daki Oligo-Miyosen volkanizması epizonal genç tektonik post-tektonik (Alpin) granitleri ile temsil olunur. Modal bileşimleri siyenogranit ile granodiyorit arasında değişen bu plutonlar, genellikle hololökokrat ve lökokrattır. Plutonların kontakt zonlarındaki metamorfizma, albit-epidot-hornfels fasiyesini nadiren geçmektedir (Ercan ve diğ, 1990). Bu zonlarda görülen hornblendce zengin kayaçlar holokristalin porfirik dokuludur (monzogranit porfirite). Siyenogranit, kaba taneli, esas olarak kuvars ve ortoklaz, daha az olarak oligoklaz ve biyotit taneli hornblend ve muskovit, aksesuar olarak apatit ve sfen içeren plutonlar çok yaygındır (Ercan ve diğ, 1990). Ayrıca geç magmatik evreye (pnömatolitik) ait aplit ve pegmatit damarları görülmektedir.

Bürküt (1966), Çataldağ plutonun çekirdeğinin aslen migmatitik özellikli anateksik kuvars monzonitlerden oluştuğunu ve çevredeki metamorfik kayaçlara yer yer tedrici geçişler göstererek, gerek kristalin şistleri, gerekse migmatitik kompleksi kesen, apofiz karakterli granodiyorit, mikrodiorit ve diyorit porfirler gözlendiğini belirtir. Erdağ (1980) ise, Çataldağ plutonunun granodiyorit bileşimli bir magmanın ürünü olduğunu savunmuştur.

Ilıca-Şamlı plutonu çoğunlukla granodiyoritik karakterde olup, iri hornblend ve biyotit kristalleri içermektedir. Plutonların yaşları, Yayla melanjı ve Miyosen yaşlı volkanik ve çökel kayalar ile karşılaştırılarak Paleojen yaşlı oldukları kabul edilmiştir (Ercan ve diğ, 1990). Her iki pluton da kalkalkalin niteliktedir (Ercan ve Türkecan, 1984; Ercan ve diğ, 1990). İki plutonun da düşük Sr oranlarına sahip

olması nedeniyle, bu plutonların çeşitli çökel kayaların palinjenezi ile gelişmiş anateksik ürünler olduğu savunulmuştur (Ataman, 1973). Ayrıca, Bingöl ve diğ. (1982), bu plutonların Chappel ve White (1974) sınıflamasına göre I tipi özellikler sergilediğini, yani kaynak malzemenin magmatik olduğunu ve kısmi ergimeye uğrayarak bu granitik plutonları oluşturduğunu ileri sürmüşlerdir. Geç Oligosen-günümüz arasında Batı ve Kuzeybatı Anadolu'daki magmatizmanın yersel ve jeokimyasal değişimi **Şekil 2.4'** te gösterilmektedir.



**Şekil 2.4 :** Batı Anadolu ve Ege bölgelerindeki Oligosen-Miyosen magmatizmasının yersel-jeokimyasal gelişimi (Altunkaynak ve diğ, 2012).

### 2.2.7 Alt-Orta Miyosen volkanik ve sedimanter kayaçları

Ayvalık çevresinden Balya'ya kadar geniş alanlarda yüzeylenen birim çakıltası, kumtaşı, marn, killi kireçtaşı, tuf, aglomera ve lavlarla temsil edilir. Genellikle kirli beyaz, kirli sarı, morumsu beyaz, yeşilimsi beyaz, beyazımsı kahve renktedir. Tabanı çakıl taşları ile başlayan birim temele ait kayaç parçalarını içerir. Kumtaşları belirgin olmayan bir tabakalanma gösterir. Üst seviyelere doğru kıltaşı ve marn aralanması,

killi kireçtaşları, kireçtaşı ve silisifiye kireçtaşı ile devam eden birim üst zonlarda tuf, aglomera ve andezit ile yanal ve düşey yönde geçişlidir, bölgesel farklılıklar göstermesine rağmen birim Batı Anadolu genelinde benzer litolojik özellikler sergiler.

#### **2.2.8 Üst Miyosen volkanik ve sedimanter kayaçları**

Birimdeki volkanik kayaçlar andezit lavı, aglomera ve tüfler ile temsil edilir. Kayaçlar genellikle beyaz, gri, açık mor, pembe renklidir. Lavların plajiyoklas, mika ve az kuvars içerdiği tespit edilmiştir. Volkanik ve sedimanter kayaçlar kendi aralarında yanal ve düşey geçişler sergiler. Sedimanter kayaçlar çakıltası, kumtaşı, marn, kireçtaşı, silisifiye kireçtaşları içerir. Birim Balıkesir ili Susurluk, İvrindi, Gönen ve Manyas ilçeleri dolaylarında ayrıca; Biga Yarımadasında, Kütahya-Simav-Emet-Tavşanlı civarında ve Bilecik, Bozüyük yöresinde geniş alanlarda yüzeylenir. Balıkesir ve yakın çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti **Şekil 2.5'** te gösterilmektedir.

#### **2.2.9 Pliyosen volkanosedimanterleri**

Birim başta Balıkesir, Soma, Gönen, Manyas, Bayramiç, Çanakkale'nin güneyi, Kütahya, Emet, Gediz, Hisarcık, Tavşanlı, Bilecik, Bozüyük çevresi olmak üzere Kuzeybatı Anadolu'da geniş mostralara vermektedir. Yer yer lav ve tuf seviyeleri içeren volkanosedimentler başlıca konglomera, kumtaşı, marn, kilaşı, killi kireçtaşı ve kireçtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Tabanda konglomeralarla başlayan istiflenmeyi kilaşı ve marn ardalanması ile killi kireçtaşları takip eder. En üstte ise kireçtaşları ve silisifiye kireçtaşları bulunmaktadır. Karasal ortamda oluşmuş sedimentler ile tüfler arasında yer yer kömür oluşumlarına rastlamak mümkündür.

#### **2.2.10 Kuvaterner birimleri**

Konglomera, kumtaşı, marn, kilaşı, killi kireçtaşı ve kireçtaşı ardalanmasından meydana gelen çökel kayaçlar, yer yer eş yaşlı tuf, aglomera ve lav düzeyleri içermektedir. Kırmızı, kahverengi, sarımsı, bej, kirli sarı, kirli beyaz, morumsu beyaz renklerin hakim olduğu birim, daha yaşlı birimler üzerinde temel kayaçlara ait çakılları içeren konglomeralarla uyumsuz olarak başlar ve gevşek tutturulmuş tuf ve kalsit çimentolu kumtaşları ile devam eder (Ercan ve diğ., 1990). Üst seviyelere doğru kilaşı ve marn ardalanmasının görüldüğü birim, killi kireçtaşlarına, ardından

kireçtaşları ve silisifiye kireçtaşlarına geçiş gösterir. Karasal ortamda oluşmuş (alt düzeyler akarsu ortamında, üst düzeylere doğru delta ve gölsel ortam) olan bu çökel dizisi, tüm sahada tuf, aglomera ve lavlarla yanıl ve düşey yönde geçişlidir (Ercan ve diğ, 1990). Yaklaşık 300 m kalınlıkta olan çökellerin aynı araştırmacılar tarafından birbirleriyle doğrudan ilişkileri olmayan küçük karasal havzalarda oluştuğu ileri sürülmektedir. Bu birimler güncel alüvyonlar ile örtülmektedir.

| ÜST SİSTEM | SİSTEM     | SERİ                        | FORMASYON              | SİMGE         | KAYA TÜRÜ | AÇIKLAMA                                                                                                     |
|------------|------------|-----------------------------|------------------------|---------------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SENZOYİK   | TERSEYER   | Oligosen-Miyosen - Pliyosen |                        | Qal           |           | Alüvyon                                                                                                      |
|            |            |                             |                        | PİB           |           | Bazalt                                                                                                       |
|            |            |                             |                        | N, Nx, Mi, Pl |           | Konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, killi kireçtaşı ve bunlarla yanıl-düşey geçişli andezitik lav, tuf, aglomera |
|            | KRETASE    | Üst                         | Çataldağ Granitoyidi   | Paç           |           | Granit, granodiyorit                                                                                         |
|            |            |                             | Yayla Melanjı          | Ky            |           | Ofiyolitik melanj; tektonik ilişkili çökel, metamorfik, mafik ve ultramafik kayalar                          |
|            | JURA       | Alt                         |                        | Mzm           |           | Kristalize kireçtaşı, mermer                                                                                 |
|            | TRİYAS     |                             | Karakaya Formasyonu    | TRk           |           | Permiyen kireçtaşı blokları içeren konglomera, kumtaşı, çamurtaşı                                            |
|            |            |                             |                        | Pzmr          |           | Mermer arakatlı yeşil şist, mikaşist                                                                         |
|            | PALEOZOYİK |                             | Fazlıkonağı Formasyonu | Pzf           |           |                                                                                                              |
|            |            |                             |                        |               |           |                                                                                                              |

**Şekil 2.5 :** Balıkesir ve yakın çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Ergül ve diğ, 1986).

### 2.2.11 Tektonik ortam

Türkiye Anadolu bloğu Alpin–Himalaya Orojenik kuşağı içerisinde, Avrasya ve Arap plakalarının bir parçası olarak gelişmiştir. Türkiye'nin tektonik evrimini Paleotektonik ve Neotektonik süreçler olmak üzere iki evrede incelemek mümkündür. Paleotektonik dönem, Bitlis-Zagros Kenet Zonu boyunca meydana gelen, Afrika plakasının Avrasya plakası ile çarpışmasıyla sonlanmıştır. Pearce ve diğ. (1990), bu çarpışmanın Geç Eosen'de gerçekleştiğini ileri sürerken, Innocenti ve diğ. (1982), Geç Miyosen, Bozkurt (2001), ise çarpışmanın Orta Miyosen'in sonuna kadar sürdüğünü savunmuşlardır.

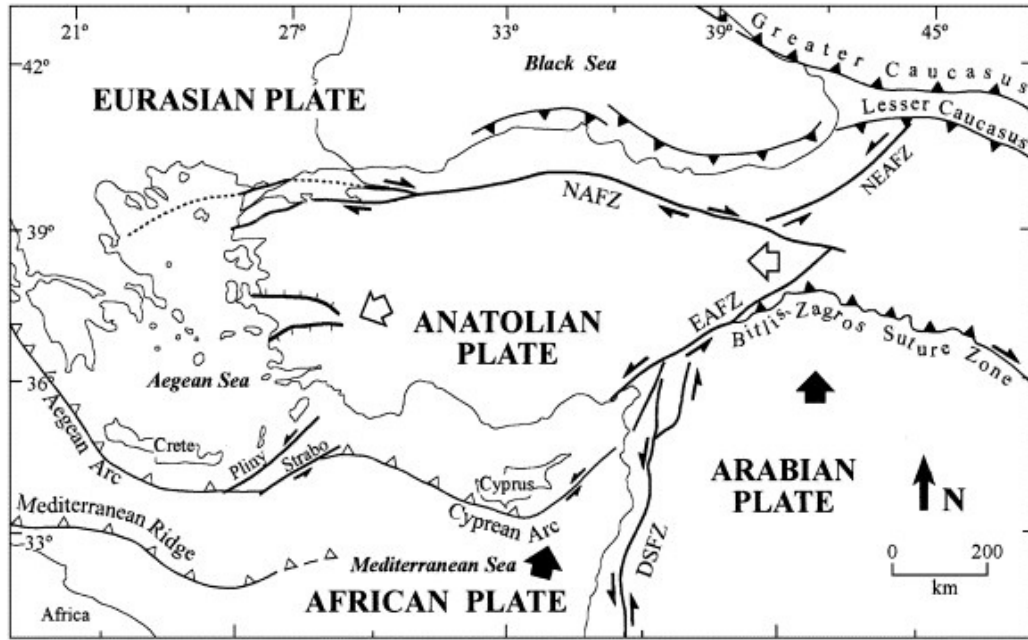
Neotektonik dönem Arap ve Avrasya levhalarının çarpışmasıyla başlamıştır. Bu plakalarının çarpışması kabuksal kalınlaşmaya ve kıalmaya neden olmuştur (Dewey ve diğ, 1986). Bu sıkışma ve kıalmaya bağlı olarak, Geç Miyosen-Pliyosen'de sağ yönlü doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve sol yönlü doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) oluşmuştur (Ketin, 1966; Barka ve Hancock, 1984; Şengör, 1980; Şengör ve diğ, 1985). McKenzie (1972), Anadolu bloğunun bu fay hatları boyunca batıya doğru tektonik olarak hareket ettiğini belirtmiştir. Anadolu-Ege bloğu Girit merkezli Helenik yayına doğru kaçmaktadır. Bu yanal kaçış hareketinin kuzey sınırını Kuzey Anadolu fayı belirlemektedir. Anadolu bloğunun batıya kaçışı Ege Bölgesi'ndeki Helenik Dalma-Batma zonunda sınırlanarak D-B sıkışmalara ve K-G yönlü gerilmelere neden olmuştur (Şengör ve Yılmaz, 1981). Anadolu bloğunun tektonik haritası ve temel yapısal unsurları **Şekil 2.6**'da gösterilmektedir.

İzmir-Ankara-Erzincan suture zonu Geç Kretase (Erken Meastrihtiyen)'de meydana gelen Anatolid-Torid ve Rodop-Pontid bloklarının çarpışmasını takiben oluşmuştur. Bu suture boyunca oluşan ofiyolit napları güneyde Anatolid-Torid platformu üzerine ötelenmiştir.

Oligosen-Miyosen arasında magmatik intrüzyonlar (Bingöl ve diğ, 1982) ve Erken Miyosen'de de geniş yayımlı volkanik aktiviteler görülmektedir (Innocenti ve diğ, 1982; Keller, 1983; Şengör ve Yılmaz, 1981; Ercan ve diğ, 1985; Güleç, 1991). Oligosen yaşlı magmatik intrüzyonlarda ve Erken Miyosen yaşlı volkaniklerinde yapılan jeokimya ve izotop çalışmaları ile bu kayaların kalk-alkalen özellikte olduğu ve yüksek derecede kabuksal kirlenmeye maruz kalarak melez bir nitelik

kazandığı belirlenmiştir (Ercan ve diğ, 1984; 1985; 1990; 1995; Genç, 1998; Altunkaynak ve Yılmaz, 1998; Karacık ve Yılmaz, 1998; Yücel Öztürk ve diğ, 2005; Dilek ve Altunkaynak, 2007).

Batı Anadolu'da Geç Miyosen-Pliyosen kıtasal genişleme tektonizması ile karakterize olunur. Doğrultu atımlı faylar ve bu fayların asılı duvar bloklarından oluşan düşük açılı listrik normal faylar D-B yönlü bölgesel bir kabuksal gerilmeye ve litosferik incelmeye neden olmuştur (Angelier ve diğ, 1981; Şengör ve diğ, 1985; Aldanmaz ve diğ, 2000). Geç Miyosen-Pliyosen gerilme rejimine bağlı oluşan volkanizmanın ürünleri üzerinde yapılan jeokimya ve izotop çalışmaları ile bu volkanik kayaların alkali karakterli olduğunu göstermektedir. Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı alkali volkanizmanın heterojen bir manto malzemesinin kısmi ergimesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. (Ercan ve diğ, 1984; 1985; 1990; 1995; Güleç, 1991; Seyitoğlu ve diğ, 1997; Altunkaynak ve Yılmaz, 1998; Karacık ve Yılmaz, 1998; Aldanmaz ve diğ, 2000; Dilek ve Altunkaynak, 2007).



**Şekil 2.6 :** Türkiye'nin tektonik haritası ve temel yapısal unsurları (Bozkurt, 2001).



### 3. İNCELEME ALANI GENEL JEOLJİSİ

#### 3.1 Bölgenin Tanıtılması

İnceleme alanındaki birimler stratigrafik olarak tabandan itibaren Paleozoyik Kocadere Metamorfikleri, Mesozoyik Kayacıklar Kireçtaşları, Üst Kretase renkli melanj ve Tersiyer Çataldağ Graniti ile temsil edilmektedir.

Bazik katkılar içeren ve şistozitenin yoğun olarak görüldüğü Kocadere Metamorfiklerinin tahmini yaşı Alt Triyas'tır (Akdeniz ve diğ., 1977). Tektonizma nedeniyle bol kırıklı ve kıvrımlı bir yapı sergilerler. Hidrotermal sıvıların getirimi ile oluşan aplitik, pegmatitik damarlar ve yer yer demir birikimleri yaygındır. Birimde Çataldağ Graniti'ne yaklaşıldıça kontak metamorfizma etkilerinin arttığı görülmektedir.

Kocadere Metamorfikleri üzerine diskordans ile gelen Kayacıklar Kireçtaşları tahmini olarak Jura-Erken Kretase yaşlıdır. Bölgesel termo-dinamo metamorfizma ve kontak metamorfizmanın etkisiyle kristalize olan birim alt seviyelerde ince bantlı, siyah-beyaz renkli mermerler üst seviyelere doğru giderek beyazlaşarak kalın tabakalı, iri kristalli, kristalize kireçtaşına geçiş yapmaktadır. Kristal tane boyutlarının Çataldağ Graniti'ne yaklaştıkça büyüdüğü gözlenmektedir. Birimin yaşı Akdeniz ve diğ. (1977) tarafından Jura-Erken Kretase olarak saptanmıştır.

Üst Kretase yaşlı renkli melanj Kayacıklar Kireçtaşları'nın üzerine bindirme ile yerleşmiştir. Başlıca radyolarit, çamurtaşı, split, splitik tuf, diyabaz, serpantin, gabro, dunit ve harzburgit gibi kayalardan oluşan birim tektonizma nedeniyle bol kırıklı ve eklemlili bir yapı sergiler.

Tersiyer yaşlı Çataldağ Graniti bölgede en üstte görülür. Kayacıklar Kireçtaşları ile geniş dokanak sunan birim aplitik ve pegmatitik damarlar ile kesilmiş ve kontak zonlarında metamorfizmaya uğramıştır. Kayacıklar Kireçtaşları ile olan dokanaklarda kontak metamorfizma etkisiyle Fe ve Cu minerallerince zengin skarn zonlarının oluştuğu görülmektedir.

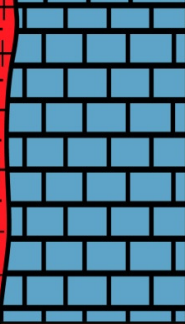
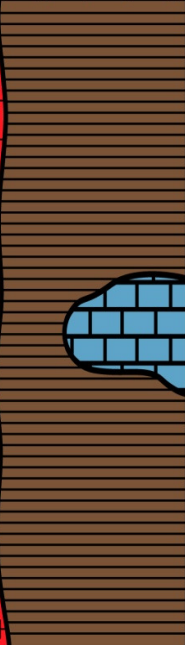
Melanjin yerleşme yaşı Akat ve diğ. (1978) tarafından Üst Kretase olarak bildirilmiştir. Yerleşme esnasında gerçekleşen bindirmeye bağlı oluşan ters ve doğrultu atımlı faylar ile genç tektonizmaya bağlı, bölgenin yükselimi sırasında kazanılmış düşey faylar gözlenmektedir. Bölgenin yoğun tektonizma etkisi altında kalması ve granit yerleşiminin yerel dislokasyonlara yol açması sebebiyle kıvrım stil ve izlerinin tespiti zordur. Ancak metamorfitletler içerisinde sınırlı alanlarda küçük boyutlarda gözlenebilen devrik simetrik-asimetrik ve devrik izoklinal kıvrımlara rastlanılmaktadır. Birimler düşük seviyeli metamorfizma ile birlikte lokal ve düşey hareketlere bağlı olarak gelişen açısız diskordanslar sergiler. Melanj oluşumunun uzun süre gerektirmesi bölgede üstelenen tektonizmanın varlığını işaret eder (İvak ve diğ, 1977). İnceleme alanının genelleştirilmiş litostratigrafik kesiti **Şekil 3.1** 'de verilmiştir.

### **3.2 Kocadere Metamorfitletleri (Pzk)**

İnceleme alanında stratigrafik olarak temeli oluşturan metamorfitletler; muskovitli kuvarsit, kuvars-albit-serisit-klorit şist, kuvars-albit-muskovit şist, kalkşist ve biyotitşist bileşiminden oluşmaktadır. Bu dizinin kuzeyden güneye amfibol ve glokofan karakterinde bazik şistler içerdiği gözlemlenmiştir.

Temeli oluşturan bu birim derin bir vadi içerisinde yer alan Kocadere çevresinde içerdiği çeşitli şistlerin tümünün görülmesi nedeniyle Akat ve diğ. (1978) tarafından Kocadere Metamorfitletleri olarak adlandırılmıştır. Üstelenmiş metamorfizma nedeniyle içerisinde herhangi bir fosile rastlanmayan birim üzerinde yer alan Kayacıklar Formasyonu (Kütahya çevresinde Simav Metamorfitletleri olarak adlandırılan) ile korale edilerek yaşlandırılırken Simav jeoloji kampı yaş verileri kullanılmış ve olası yaşı Alt Triyas olarak belirlenmiştir (Akdeniz ve diğ, 1977). Belirgin bir uzanım sunmayan, düzensiz yüzeylenen, sık orman örtüsü nedeniyle tam kesit sunmayan ve tabanının görülmemesi nedeniyle tip kesiti çıkarılamayan birimin tahmini kalınlığı 400-500 m olarak belirlenmiştir (Akat ve diğ, 1978).

Yerel farklılıklar sunan birimin tanıtılmasına mostra verdiği yerleşim yerlerinde yapılan incelemeler olarak sağlamıştır. Kocadere Metamorfitletlerinin yüzeylendiği Karayağmazlar Köyü'nde metamorfikler içerisinde gözlenen glokofan şist koyu mor-mavi rengi ile belirgindir.

| ÜST SİSTEM | SİSTEM   | SERİ | KAT | FORMASYON               | ÜYE | RUMUZ | SÜTUN KESİTİ                                                                        | L İ T O L O J İ                                                                                                                                                                                                                                |
|------------|----------|------|-----|-------------------------|-----|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SENOZOYİK  | Tersiyer |      |     | Çataldağ Graniti        |     | Tmç   |    | GRANİT, GRANODİYORİT: Tabakalanmayı andırır eklemliler, küresel, ayrışmış, aplitik pegmatitik damarlarla kesilmiş, dokanakta metamorfizma                                                                                                      |
| MESOZOYİK  | Kretase  | ÜST  |     | Renkli Melanj           |     | Km    |    | MELANJ: Kuvvetli tektonikle karışmış çok renklilik sunan harzburgit, dunit, serpantinit, tabakalı gabbro, diyabaz, split, radiolarit, çamurtaşı, grovak mermer, şist blokları; reyonel metamorfizma sonucu gelişen klivaj                      |
|            | Jura     |      |     | Kayacıklar Kireçtaşı    |     | Jk    |   | — Tektonik Dokanak —<br>KRİSTALİZE KİREÇ TAŞI: Beyaz krem renkli çok belirgin ince orta tabakalı, iri taneli, tanelerde uzama ve yönelme, üst düzeylerde silis bantları gelişkin eklemliler, kübümü ayrışma ift tektonizma sonucu karışık yapı |
| PALEOZOYİK |          |      |     | Kocadere Metamorfitleri |     | Pzk   |  | KUARSİT<br>KUARS-ALBİT-SERİSİT-KLORİT ŞİST<br>KALKŞİST<br>KUARS-ALBİT-MUSKOVİT ŞİST<br>BİYOTİT ŞİST<br>BAZİK ŞİSTLER<br>GRANAT ŞİST                                                                                                            |

**Şekil 3.1 :** İnceleme alanı geliştirilmiş litostratigrafik kesiti (Akat ve diğ. (1978)'den yararlanılarak revize edilmiştir.).

Kayaç; amfibol, glokofan, lavsonit, muskovit ve feldspatlı kuvarstan oluşmaktadır. Belirgin bir yönlenme göstermeyen porfiroblastların birbirine dik geliştiği, ince ve kaba tanelerin bir arada gözleendiği kesitte glokofan fanero-kristalleri ve lavsonit temiz amfiboller ise bozunarak tümüyle metamorfizma geçirmiş bazik tüf görünümündedirler (Akat ve diğ, 1978).

Birim Çakallar Köyü'nde hidrotermal sıvıların etkisiyle ayrılmış, yer yer değişen koyu boz yeşilimsi kuvars-albit-serisit-klorit şistler olarak yüzeylenmektedir. Bu şistler içerisinde ince şeritler halinde kuvarsit seviyeleri tespit edilmiştir. Kuvarsitlerin büyük kısmının kuvarstan oluştuğu ve tanelerin belirgin bir yönlenme ve buna bağlı olarak dalgalı yanıp sönme gösterdiği görülmüştür. Kuvarslar arasında yer alan serisit ve muskovit pulcukları şistoziteyi daha belirgin kılan unsurlardır.

Güvenköy civarında ise kuvars-albit-serisit-klorit şistler içerisinde yer yer kuvarsit bantlarına rastlanmaktadır. Birimin doğusunda yer alan Çataldağ granit-granodioritine yaklaşıldıkça kontak metamorfizmanın artması nedeniyle feldspat ve kuvars tanelerinde büyüme gözlenmektedir.

Kocabelen Tepe'de metamorfitlerin içerisinde kahverengi, boz, yer yer pembemsi, kirli sarı renklerde kuvarsitler gözlenmektedir. Birim içerisindeki kuvarsitlerde belirgin bir boylanmaya ve mekanik deformasyon sonucu oluşan belirgin rebon yapısı dalgalı yanıp sönmeye rastlanmaktadır. Şistozitenin varlığını çok az görülen serisit ve muskovit pulcukları belirgin kılar. Birim ikincil bir deformasyona bağlı olarak kıvrım ve kırılanma sergilemektedir (Akat ve diğ, 1978).

Birim Tokmaklı Tepe civarında kuvars-albit-klorit-talk şist ve kuvarsit bileşimindedir. Akneri ve Çatalarla Tepe'yi oluşturan Kayacıklar Kireçtaşları'na doğru karbonatça zenginleştiği tespit edilmiştir (Akat ve diğ, 1978). Şistozitenin az belirgin olduğu kayaçta kuvars, talk, albit ve klorit ile birlikte ikincil mineral olarak piritin varlığı tespit edilmiştir. Kuvars taneleri mekanik deformasyon nedeniyle dalgalı yanıp sönme gösterir ve çok kırıklı yapıdadır. Tanelerin arasını demirce zengin hidrotermal sıvıların bıraktığı demir mineralleri doldurmaktadır. Üst seviyelere doğru karbonat oranının artmasıyla kireçtaşına geçen birim hidrotermal safhada oluşan aplik ve pegmatit damarları tarafından kesilmiştir. Karbonat miktarının giderek artması sebebiyle doğuda Manastır Tepe, batıda Tokmaklı Tepe civarında Kayacıklar Kireçtaşları'na petrografik geçiş sunmaktadır (Şekil 3.2; 3.3).



**Şekil 3.2 :** Çaltarla Tepe mevkiinde yüzeylenen Kocadere Metamorfitleri.



**Şekil 3.3 :** Çaltarla Tepe civarındaki metamorfitlerin genel görünümü.

### 3.3 Kayacıklar Kireçtaşı (Jk)

Kayacıklar Kireçtaşları, bölgesel termo-dinamo metamorfizma ve kontak metamorfizmanın etkisiyle kristalize olduğundan içerisinde organik kalıntıya rastlanılamamıştır. Birim bu nedenle Akat ve diğ. (1978) tarafından Mesozoyik karbonatları ile temsil edilmiştir. Bununla birlikte, Simav Jeoloji Kampı verileri ışığında Simav metamorfitleri ile korale edilerek tahmini yaşı Jura-Erken Kretase olarak saptanmıştır (Akdeniz ve diğ, 1977). Birbirine dik iki ayrı kıvrım yapısının görüldüğü birimin tahmini kalınlığı 400-500 m civarındadır.

Birimin sahada gözlenen en belirgin özellikleri; taze yüzeyinin beyaz, krem ve boz renklerde değişmesi, ayrışma yüzeylerinin ise siyah-yeşil-kırmızı lekeli oluşudur (Şekil 3.4). Tabakalanma yer yer ince-orta laminalı ve tabakalı olup, üst seviyelere doğru masif özelliktedir. Sakkaroid dokulu kayaç ince-kaba tanelidir. Mekanik deformasyona uğramış taneler belirgin dizilim ve uzama gösterir. Deformasyon düzlemlerinde gözlenen mika pulcukları şistoziteyi belirgin kılan unsurlardır.

Alt seviyelerde görülen ince bantlı, siyah-beyaz renkli mermerler üst seviyelere doğru giderek beyazlaşarak kalın tabakalı, iri kristalli, kristalize kireçtaşına geçiş yapmaktadır (Şekil 3.5; 3.6). Makaslama kaya diliminin sık görüldüğü birimde gerilmeye bağlı eklem takımlarının oluştuğu gözlenmektedir.



Şekil 3.4 : Manastır Tepe civarında yüzeylenen kireçtaşları.



İnceleme alanı içerisinde Yağolankırı Tepe ve civarında birim açık gri renkli, laminalı ve kumlu düzeyler içerir. Manastır Tepe ve civarında ise sakkaroid dokulu, beyaz renkli, yer yer boz bantlı kireçtaşları göze çarpmaktadır. Bununla birlikte Çataldağ Graniti'ne yaklaştıkça deforme olmuş mermerlerin çatlaklarında galenit dolgularına rastlanmaktadır. Birim Çakallar Köyü kuzeyine doğru boz renkli, masif bir yapıya dönüşmektedir.

Akneri Tepe'de Akat ve diğ. (1978) tarafından incelenen örneklerde basınç izleri ve belirgin yönlenme görülmüştür; yönlenmiş kristaller yanında aykırı gelişmiş ve ikizlenme gösteren kalsitin varlığı kayacın basınç kalktıktan sonra kristallenmeye ettiğinin göstergesidir.

Mekanik deformasyon izlerinin yoğun olarak gözlemlendiği Çakallar Köyü'nde birim çok iri kristalli, sakkaroid dokuda ve belirgin dilinimli kalsit kristallerinden oluşmaktadır. Çataldağ Graniti'ne yaklaşıldıkça birim içindeki kristallerin tane boylarının arttığı gözlemlenmiştir.

### **3.4 Renkli Melanj (Km)**

Magmatik özellikteki melanjın içeriği başlıca radyolarit, çamurtaşı, spilit, spilitik tüf, diyabaz, serpantin, gabro, dunit ve harzburgit gibi kayalardan oluşmaktadır. Kayalar tektonizma nedeniyle çoğunlukla birbiri ile ilksel ilişki içermezler. Birim içerisinde irili ufaklı bloklar halinde bulunan kayalar tektonik dokanaklı olup, istifler düşey ve yanallı geçişler göstermemektedir. Kayacıklar Kireçtaşları üzerine uyumsuz olarak oturan melanjın tahmini yaşı Üst Kretase'dir (Akat ve diğ, 1978).

En belirgin gabro blokları Uzuncaalan Tepe ve civarında yüzeylenmiştir. Yer yer tabakalı, sert ve zor kırılan gabrolar koyu yeşil, yeşilimsi siyah ve yeşilimsi beyaz renklidirler. Melanj içerisindeki serpantinler koyu ve açık yeşil renklerde olup, makaslanmaya bağlı olarak oluşan çatlaklarında kalsitleşme görülmektedir. Spilitik bazaltlar ise genellikle koyu renkli, yer yer boşluklu ve beyaz benekli dirler. Makaslanma nedeniyle bol kırıklı ve eklemlili bir yapı sergilerler (**Şekil 3.7; 3.8**).

İnceleme alanında Sarımustafalar Köyü'nde yüzeylenen melanjın içeriği olivin, amfibol, feldspat ve opak mineraller olarak saptanmıştır. Kayacın yaklaşık %50'sini oluşturan amfibol dilinimli yapıdadır ve dilinimler arasındaki Fe dolgusu belirgindir. Akat ve diğ. (1978) tarafından yapılan çalışmada kayaç içerisinde albit ikizlenmesi

gösteren feldspatların labrador olduğu, ikiz düzlemlerinin kırılma ve görelî hareketleri hafif ondülasyon göstermesi ve minerallerin iç içe bir yapı sunmaları nedeniyle kayacın mekanik deformasyon geçirdiği tespit edilmiştir.

Süleler civarında kromit parçacıkları içeren serpantinleşmiş peridotitler ve çatlaklardaki Fe oksit dolguları yaygındır. Karahaliller ve civarında ise peridotit kökenli korunmuş olivinlerin yüzeylendiği görülmektedir.

Dışkaya batısında feldspat, az olivin ve piroksen ile karakterize olan kayaçlarda feldspatlar labrador-bitovnit arası bileşimde olup, albit ikizlenmesi sunarlar (Akat ve diğ., 1978). Feldspatlar kayacın yaklaşık %60' ını oluştururken boşluklarda albit ve kalsit minerallerine rastlanmaktadır. Serpantinleşmenin başlangıç safhasında görüldüğü olivinlerde opak minerallere ve manyetite rastlamak mümkündür.

Avcıderni Tepe civarında kayacın tamamen monoklinal amfibolden oluştuğu görülmektedir. Mineraller belirgin bir yönlenme sunmazken çatlaklarda dalgalı yanıp sönen kuvarsa rastlanılmaktadır. Renkli melanj içersinde yer yer kireçtaşı blokları ve marn ile birlikte ince tabakalanmalı kömür seviyeleri görmek mümkündür.



**Şekil 3.7 :** Tokmaklı Tepe civarında görülen melanj-kireçtaşı bindirmesi.



**Şekil 3.8 :** Tokmaklı Tepe civarındaki karbonatlı kayaçlar ile melanj dokanağı.

### **3.5 Çataldağ Graniti (Tmç)**

İnceleme alanında Tersiyer yaşlı volkanizma Çataldağ granit-granodiyoriti ile temsil edilmektedir. Susurluk'un doğusunda Çataldağı'nda yaygın olarak yüzeylenen birim Bürküt (1966) tarafından "Çataldağ Graniti" olarak adlandırılmıştır. Birimin yaşı Çağlayan ve diğ. (1990) tarafından Üst Mesozoyik-Alt Tersiyer, Boztuğ ve diğ. (2008) tarafından K-Ar soğuma yaşlandırmasına göre yaklaşık 21,2-25,9 m.y (Alt Miyosen-Oligo Miyosen) olarak belirlenmiştir.

Birim arazide genellikle beyazımsı, yer yer koyu siyah-yeşil ve grimsi renklerde gözlenmektedir. Kayacıklar Kireçtaşları ile geniş dokanak sunan intrüzyonun dış zonlarında belirgin foliasyonlar göze çarpmaktadır (**Şekil 3.10**). Granit-granodiorit bileşimli birim tabakalanmayı andırır eklemli, küresel ayrışmalı, aplitik ve pegmatitik damarlar ile kesilmiş ve kontak zonlarında metamorfizmaya uğramıştır (Çağlayan ve diğ, 1977). Kayacıklar Kireçtaşları ile olan dokanaklarda kontak metamorfizma etkisiyle skarn zonlarının oluştuğu görülmektedir. Bu zonlar Fe ve Cu mineralleri bakımından zengindir (**Şekil 3.11; 3.12**). Manastır Tepe skarn cevherleşmeleri düzensiz oluşumlar şeklinde olup granit ile mermer veya granit ile skarn mineralleri arasındaki dokanaklar keskin geçişlidir. Skarn zonlarının gelişimi; granit içerisinde, granit ile mermer arasında ve mermer içerisinde düzenli

zonlanmalar/bantlaşmalar ve yer yer genişliği birkaç metreyi bulan düzensiz damarlar şeklinde oluşmuştur. Bu zonlardaki birincil mineral manyetit olup, alterasyon nedeniyle yüzeye doğru hematitleşme görülmektedir. Birimde gözlenen yoğun arenalaşma nedeniyle bölgede birden fazla granitik intrüzyonun varlığından söz etmek mümkündür (**Şekil 3.9**).

Çataldağ granit-granodiyoriti inceleme alanında Manastır Tepe ve Kuzguncuk Tepe civarında yüzeylenmiştir. Manastır Tepe civarında yapılan çalışmalarda kayacın az kırıklı kuvars, zonal yapı gösteren ortoklas, az miktarlarda albit ikizli feldspat ile biotit içerdiği tespit edilmiştir. Deformasyon izleri taşımayan granitlerin temiz ve sağlam yapıda oldukları görülmüştür. Birim içerisinde alkali oranı yüksek kayalarda feldspatların bozunmadığı ve eser miktarda epidot ile sfen içerdiği saptanmıştır. İç basınç sonucu zonlanma gösteren kayaların çatlaklarında mikrokristalen granit, lamprofir ve spilitik oluşumlar göze çarpar.

Granitin oluşum sıcaklığı tahminen 450-600 °C arasındadır. Birimin kenar zonlarında gözlenen granit tektoniğinin iç kısımlarda görülmemesi ve olası vollastonit varlığı nedeniyle granitin sıg oluşum olduğu düşünülmektedir (Akat ve diğ, 1978).



**Şekil 3.9** : Manastır Tepe’de granit arenalaşmasının görünümü.



**Şekil 3.10 :** Manastır Tepe civarındaki deforme granitler.



**Şekil 3.11 :** Manastır Tepe hematit ve manyetitçe zengin skarn zonu.



**Şekil 3.12 :** Manastır Tepe hematit-manyetit cevherleşmesi ile kireçtaşları geçişi.

### **3.6 Yapısal Jeoloji**

Çalışma alanında melanjin yerleşmesi esnasında gerçekleşen şariyaja bağlı olarak oluşan ters ve doğrultu atımlı faylar ile genç tektonizmaya bağlı, bölgenin yükselimi sırasında kazanılmış düşey faylar gözlenmektedir. Kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı en büyük bindirme fayı Kayacıklar Kireçtaşları ile renkli melanjin dokanağını oluşturmaktadır. Bu nedenle melanjin kireçtaşları üzerine bindirme ile itildiği anlaşılmaktadır.

Bölgenin yoğun tektonizma etkisi altında kalması ve granit yerleşiminin yerel dislokasyonlara yol açması sebebiyle kıvrım stil ve izlerinin tespiti zordur. Ancak metamorfitle içerisinde sınırlı alanlarda küçük boyutlarda gözlenebilen devrik simetrik- asimetrik ve devrik izoklinal kıvrımlara rastlanılmaktadır. Melanj oluşumunun uzun süre gerektirmesi bölgede üstelenen tektonizmanın varlığını işaret etmektedir (İvak ve diğ, 1977).

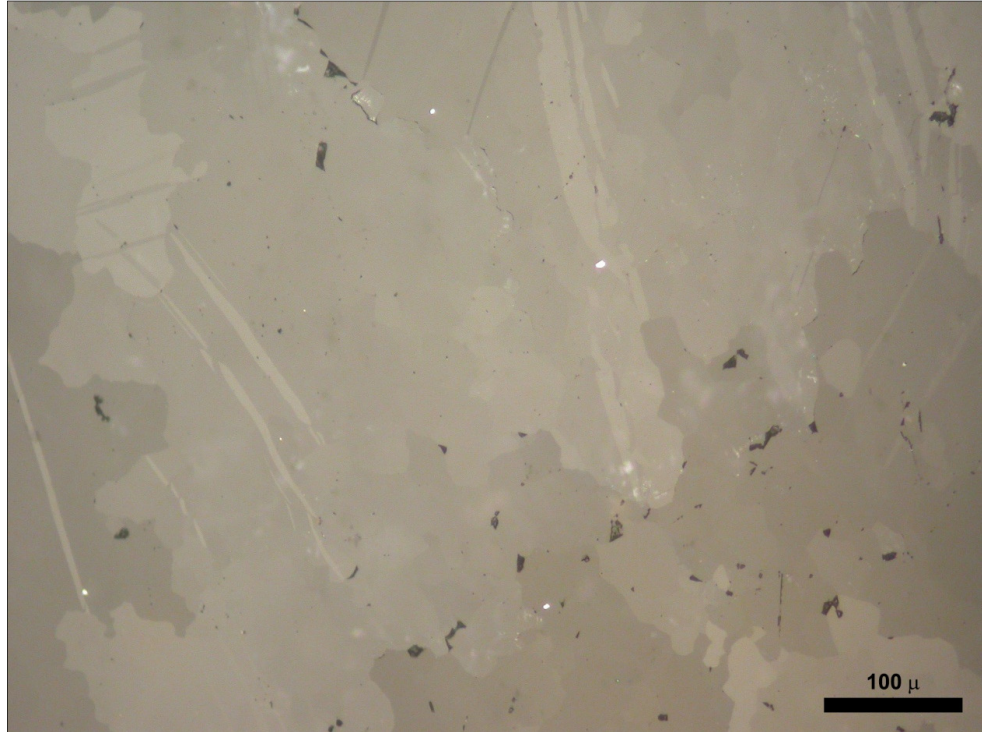
İnceleme alanındaki birimler levha tektoniği açısından yüksek metamorfizma veya açısal uyumsuzluk sergilemezler. Uyumsuzlukların büyük bir kısmı lokal ve düşey hareketlere bağlı olarak gelişen açısız diskordanslardır.

#### 4. ÇALIŞMA ALANINDAKİ KAYAÇLARIN CEVHER MİKROSKOPİSİ

Çalışma alanındaki birimleri temsilen alınan ve cevherleşme açısından önem gösteren 8 örneğin parlak kesitleri hazırlanarak Cevher ve Petrografi mikroskopunda incelemeleri yapılmıştır. Elde edilen bulgular jeolojik birimlere göre gruplandırılmıştır.

##### 4.1 Kayacıklar Kireçtaşı

Çalışma alanından Kayacıklar Kireçtaşlarını temsilen alınan 222 numaralı örnekte yapılan mineralojik ve petrolojik incelemeler neticesinde kalsitli matriks içerisinde  $<5 \mu$  boyutlarında eser miktarda pirit saçınımlarına rastlanmıştır (Şekil 4.1).



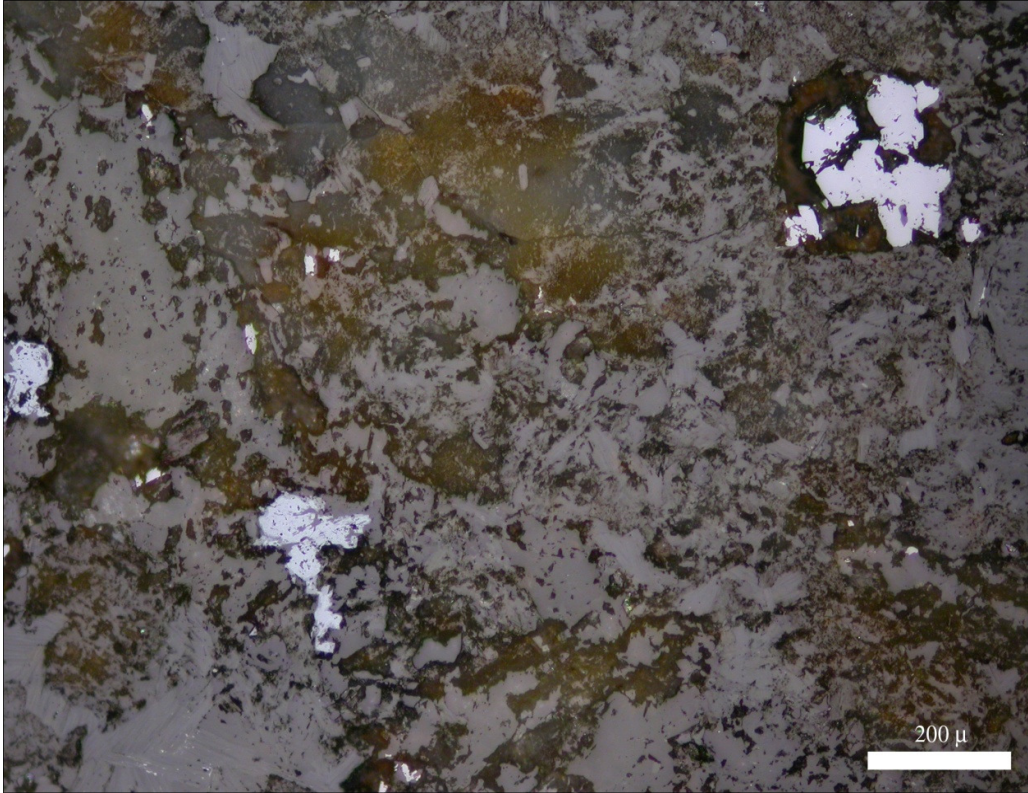
**Şekil 4.1 :** Kayacıklar Kireçtaşı mikroskopik görüntüsü.

Mermerleşmenin gözlemlendiği 246 numaralı örnekte ise silisli matriks içerisinde  $<20 \mu$  boyutlarında saçınımlı monazit, ilmenit ve Fe-oksihidroksitler görülmektedir.

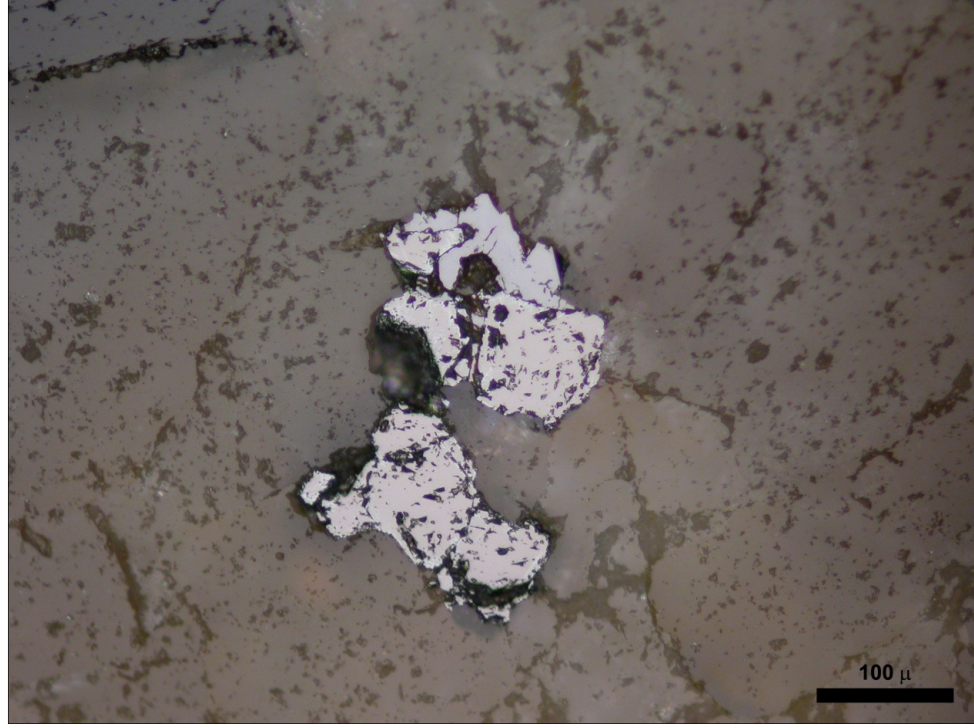
## 4.2 Çataldağ Graniti

Çataldağ Graniti'ne ait örneklerde özellikle skarn zonlarına yakın alanlarda mineral bolluklarının ve dokusal özelliklerinin farklılık gösterdiği saptanmıştır. Örneklerde gözlenen mikroskopik değişimler **Şekil 4.2, 4.3, 4.4, 4.5** ve **4.6**'da gösterilmektedir.

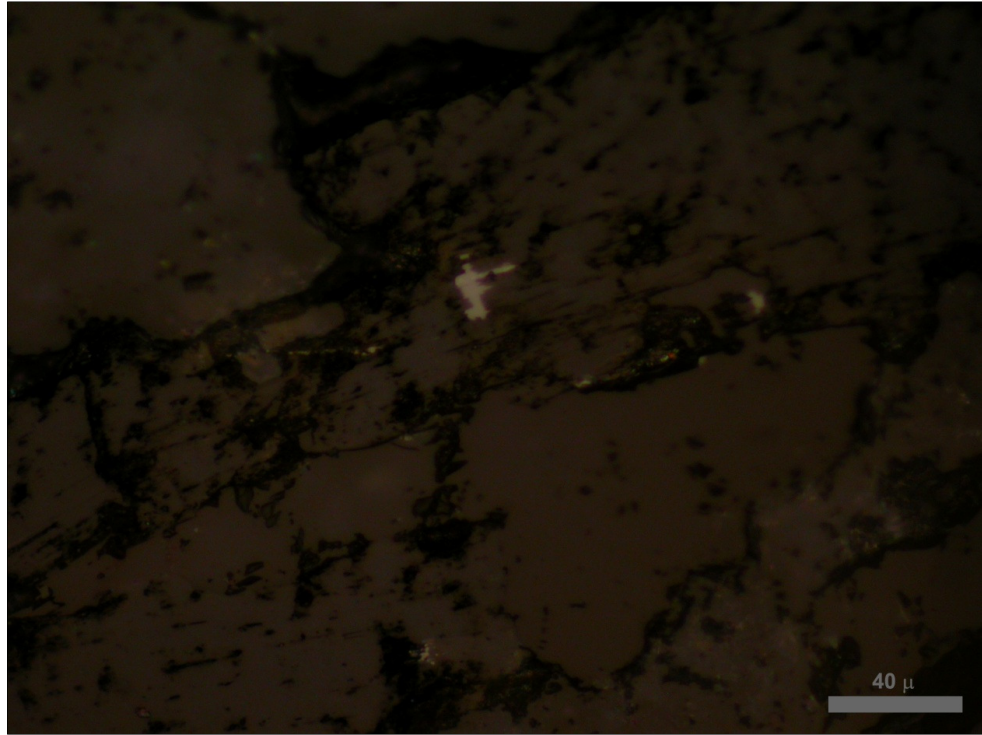
Manastır Tepe civarından alınan örnekte (örnek no: 241, **Şekil 4.2**) kısmen arenalaşmanın görüldüğü granit-granodiyorit silisik ve silikat matriks içerisinde limonitleşmiş piritler, zirkon, monazit ve ilmenit içerdği saptanmıştır. Kayaç içerisindeki metalik fazların tümü hacmen <%1 civarındadır. Yine Manastır Tepe civarından alınan bir diğer örnekte (örnek no: 242) silisli matriks içerisinde saçınımlı, 40-50  $\mu$ 'a varan boyutlarda kısmen martitleşmiş magnetitlerin varlığı dikkat çekicidir (**Şekil 4.3**). Magnetitler örneğin hacmen <%1'ni oluşturmaktadır. Martitlerin kısmen limonite dönüştüğü de gözlenmektedir. Numune içerisindeki biyotit düzlemleri arasında biyotit-klorit dönüşümü ürünü magnetitler saptanmıştır (**Şekil 4.4**). Bununla birlikte, Çataldağ Graniti'ne ait örneklerde Cu minerallerine rastlanmamıştır.



**Şekil 4.2 :** Çataldağ Graniti (Örnek no: 241) mikroskopik görüntüsü.

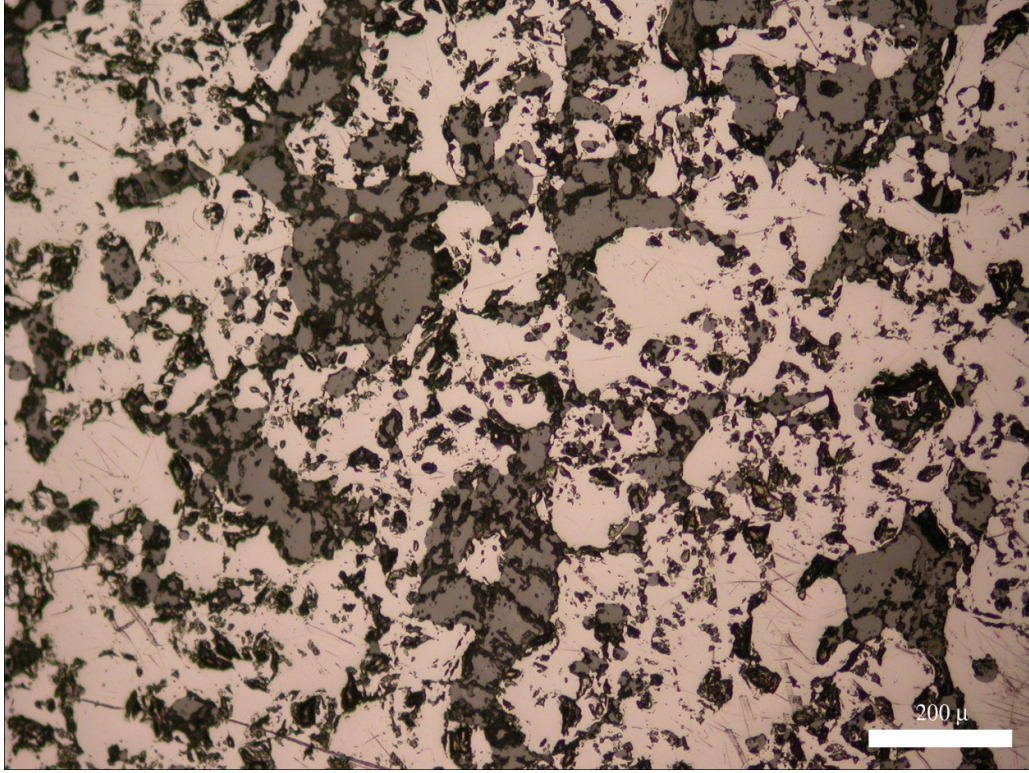


Şekil 4.3 : Çataldağ Graniti'nde martitleşen magnetitlerin mikroskopik görünümü.



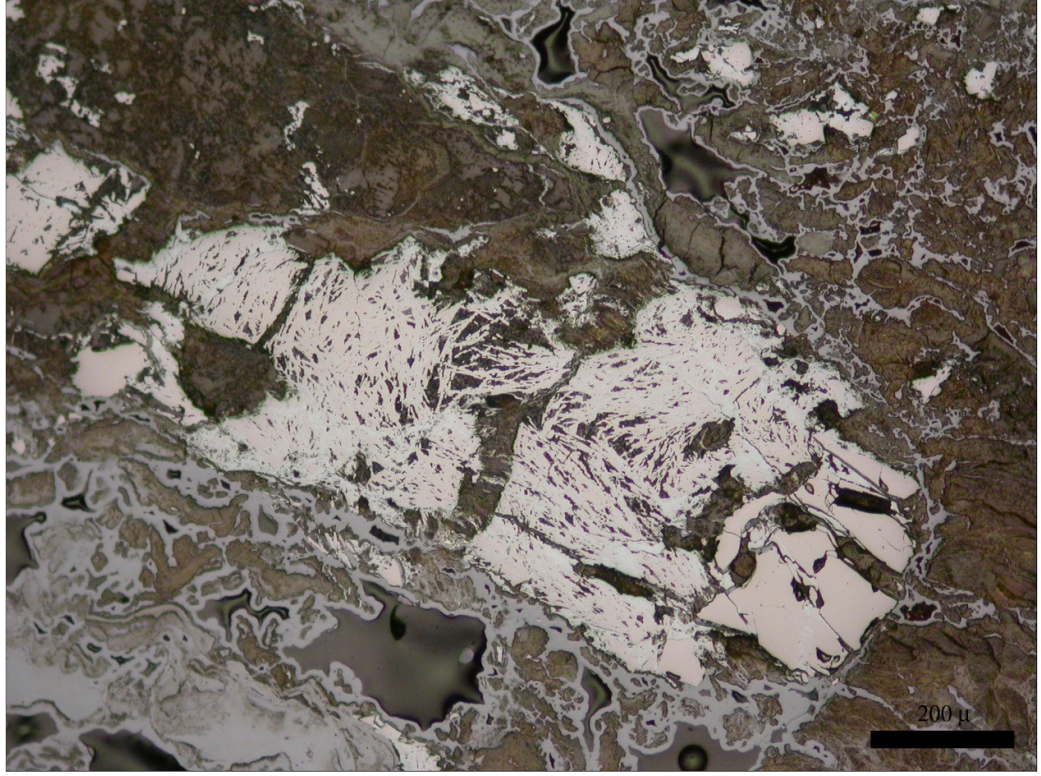
Şekil 4.4 : Çataldağ Graniti'nde biyotit-klorit dönüşümünün mikroskopik görünümü.

Manastır Tepe skarn zonundan alınan granit-granodiyorit örneklerinde (Örnek no: 258 B, 258 B2) magnetit, hematit, limonit ve götit gibi metalik fazlar, silisik-silikat gang mineralleri ile eser miktarda piritin varlığı dikkat çekicidir. Bozunma belirtileri göstermeyen magnetitler metalik fazın büyük kısmını oluşturmaktadır (**Şekil 4.5**).

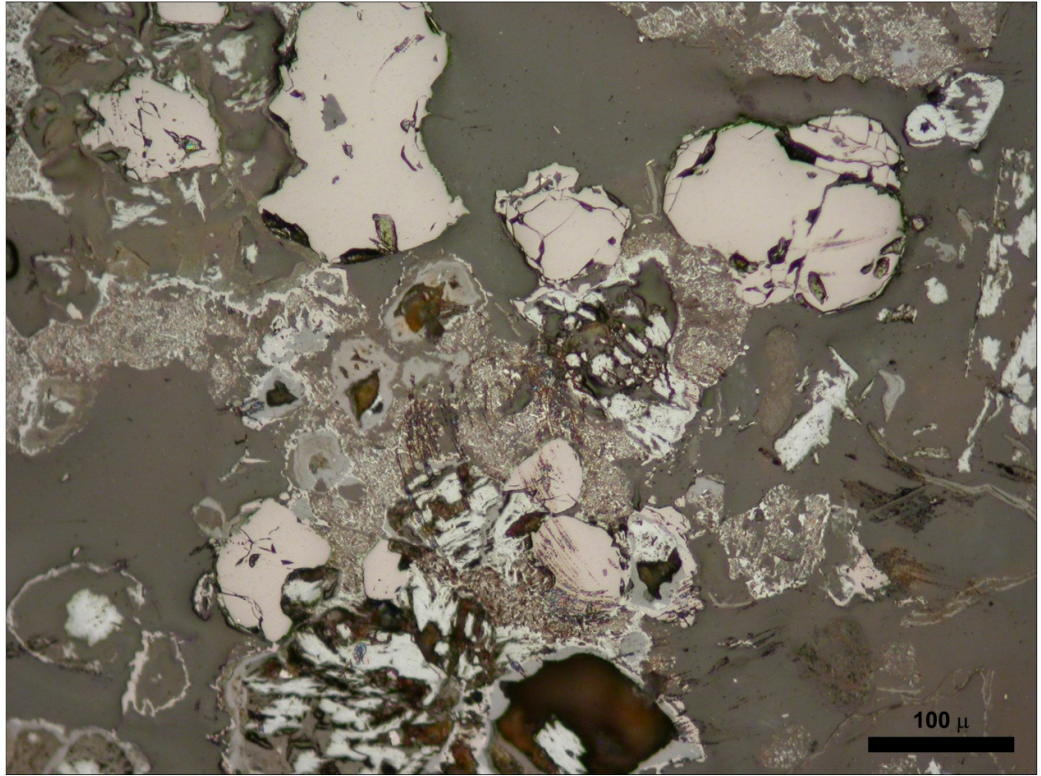


**Şekil 4.5 :** Manastır Tepe skarn zonundan alınan granit örneğinin (Örnek no: 258 B) mikroskopik görünümü.

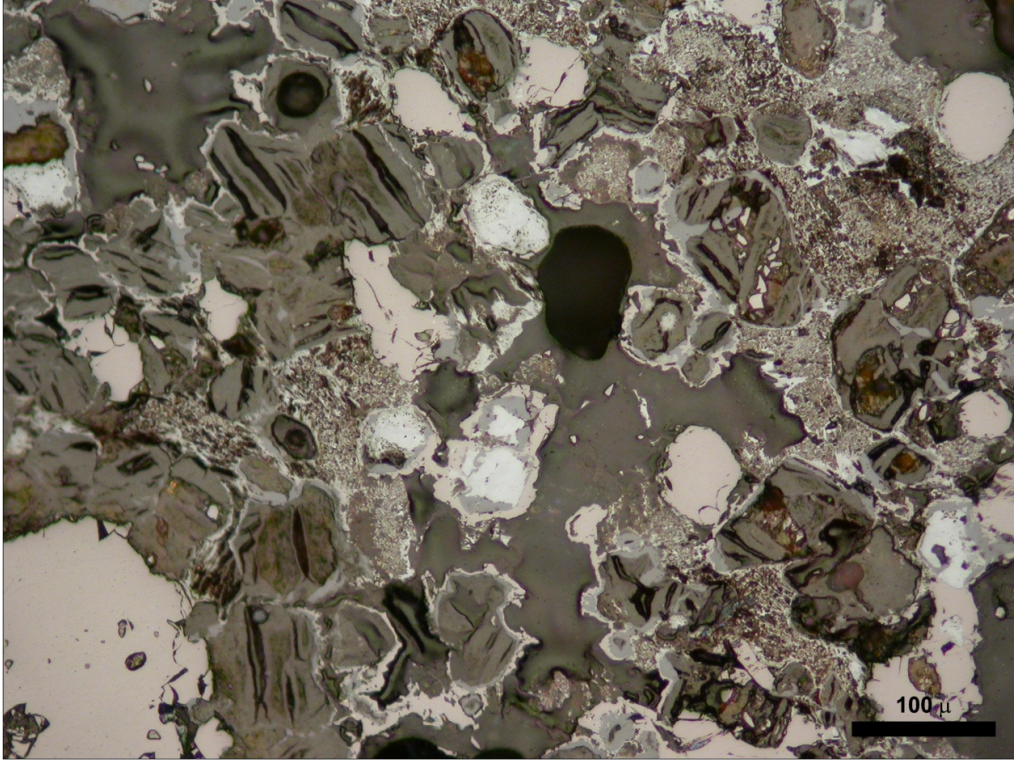
Manastır Tepe skarn zonundan alınan bir diğer granit-granodiyorit örneğinde ise (örnek no: 258 B2) magnetit, hematit, limonit ve götit gibi Fe-oksit ve Fe-hidroksitler yaygın olarak görülmektedir. Magnetitlerin martitleşmeye uğrayarak hematite dönüştüğü gözlenmiştir (**Şekil 4.6**). Bununla birlikte hematitlerin magnetitlere dönüşmesi sonucu oluşmuş prizmatik magnetitlerin varlığı saptanmıştır. Yer yer limonitleşmenin yaygın olduğu örnekte eser miktarda pirit mevcuttur (**Şekil 4.7; 4.8**). Manastır Tepe skarn zonundan alınan 301 M örneğinin ise pirotit ve yer yer kalkopitten oluştuğu ve gang olarak kuvars içerdiği görülmüştür. Pirotitler içerisinde kırık ve sınırlar boyunca limonitleşmenin gerçekleştiği izlenmektedir (**Şekil 4.9**). Ayrıca pirotitler içerisinde kuşgözü dokusu mevcuttur (**Şekil 4.10**).



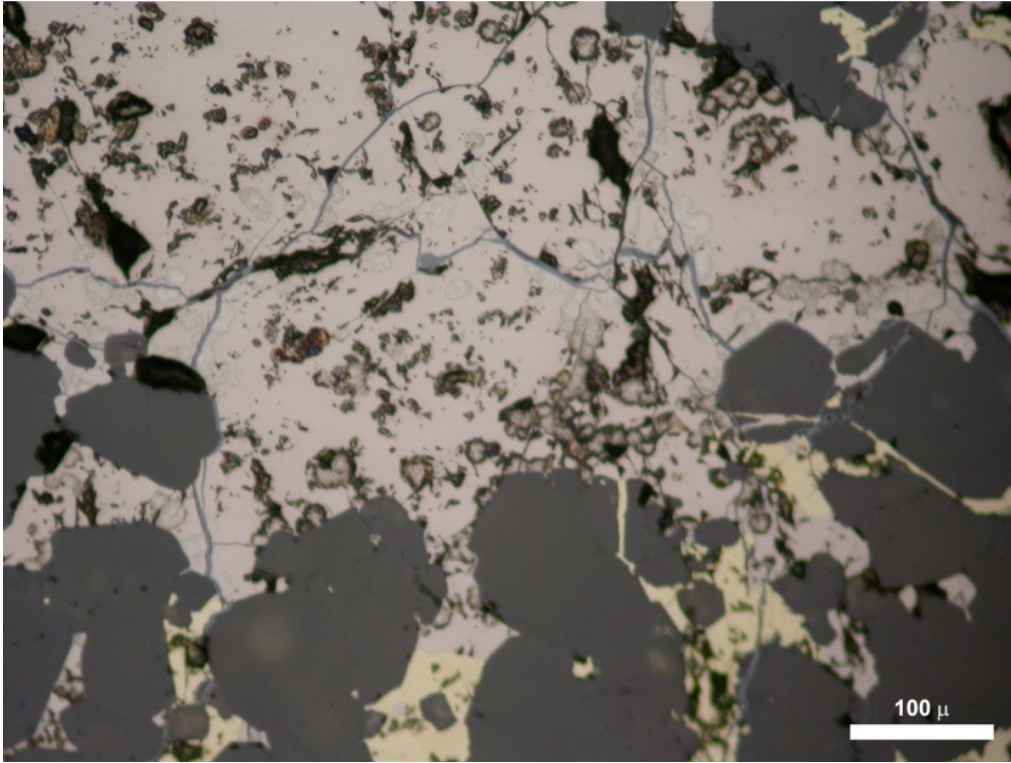
**Şekil 4.6 :** Magnetit-hematit dönüşümünün mikroskopik görünümü.



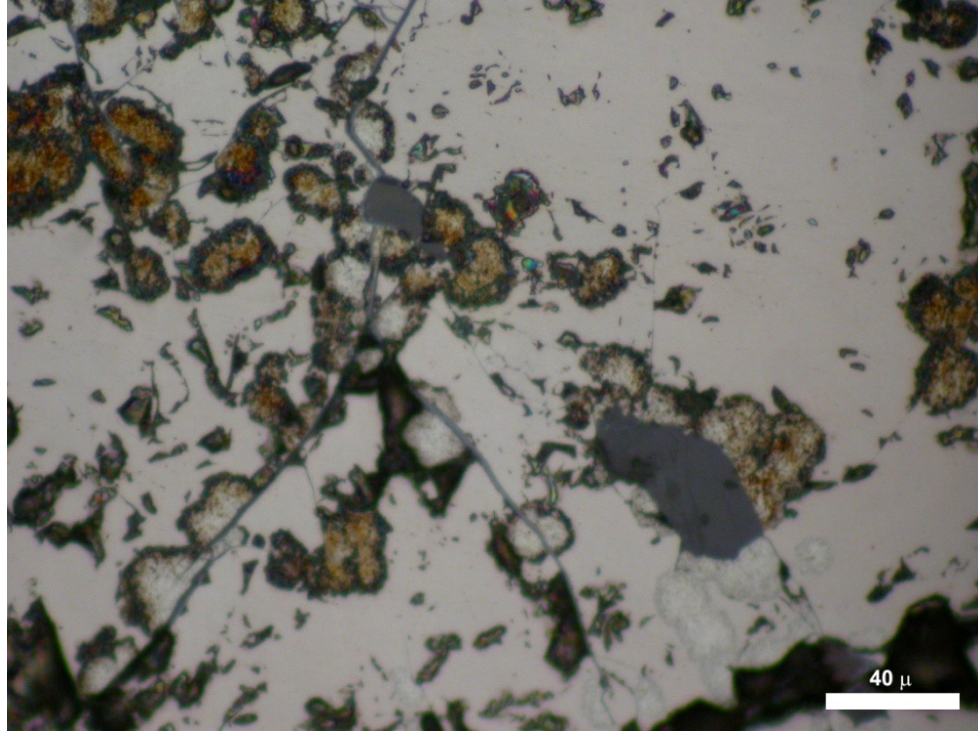
**Şekil 4.7:** Çataldağ Graniti'nde limonitleşmenin mikroskopik görünümü-1.



Şekil 4.8 : Çataldağ Graniti'nde limonitleşmenin mikroskopik görünümü-2.



Şekil 4.9 : Pirotitler içerisindeki limonitleşmenin mikroskopik görünümü.

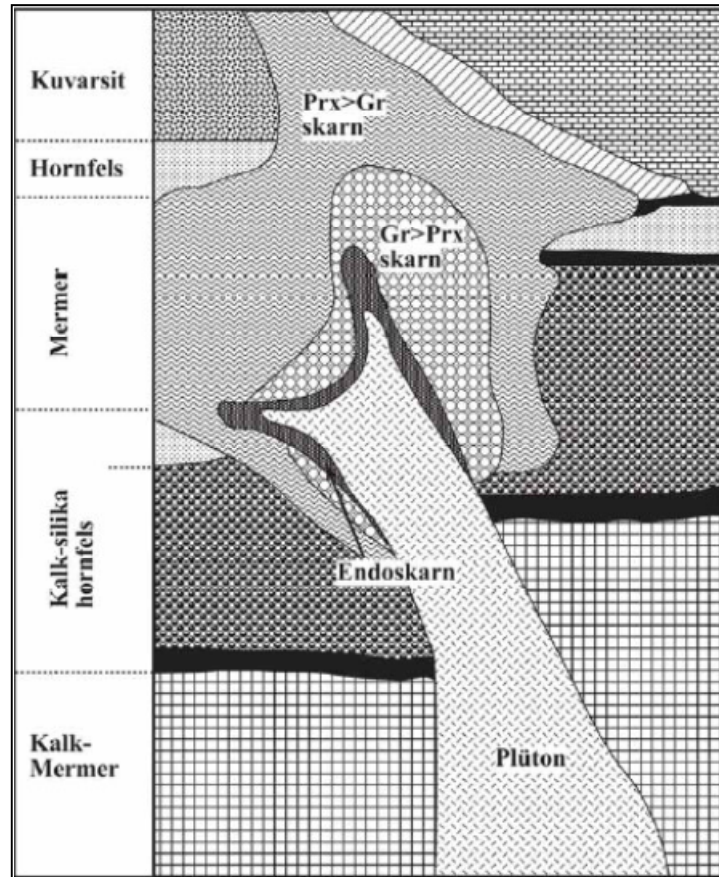


**Şekil 4.10 :** Pirotitler içerisindeki kuşgözü dokusunun mikroskopik görünümü.

#### **4.3 Skarn Yatakları ve Mineralojik Özellikleri**

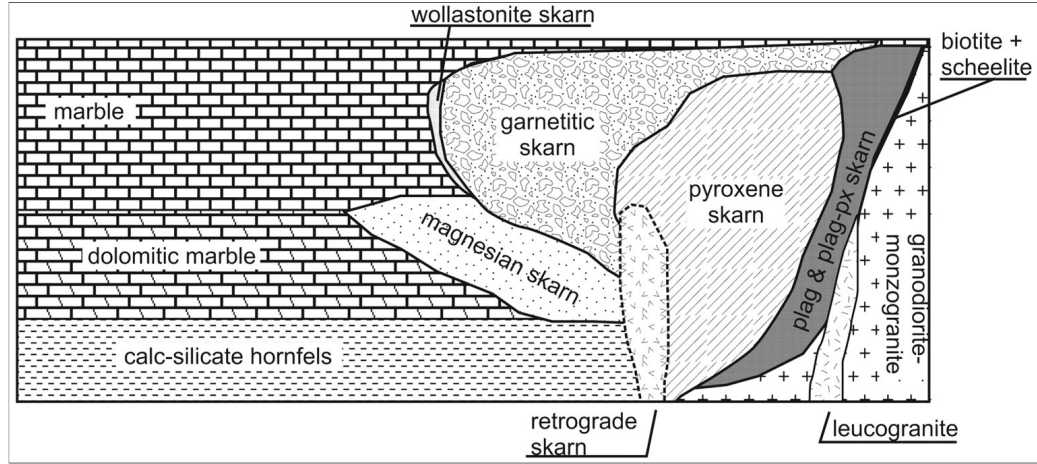
Ekonomik açıdan önemli cevherleşmeler sunan skarn yatakları pek çok araştırmacı tarafından maden yatakları, mineralojik ve jeokimyasal açılardan incelenmiştir. Skarn kayaçları, genellikle kalk-silika mineralleri olan granat ve piroksen ile karakterize olunur (Einaudi ve diğ, 1981; Ray ve Webster, 1991; Meinert, 1992; 1997; Meinert ve diğ, 2005). Bölgesel veya kontakt metamorfizma esnasındaki magmatik, meteorik ve/veya denizel kökenli akışkanların etkisi skarn oluşumunda önemli rol oynar. Başta plüton kontakları olmak üzere faylanma-makaslanma zonları boyunca, sıg jeotermal sistemlerde ve bölgesel metamorfizmanın sıg kesimlerinde oluştukları görülmektedir. Hemen hemen tüm jeolojik zamanlarda ve ortamlarda yaygınca görülebilen skarn yatakları ekonomik önemleri göz önüne alınarak Fe, Cu, Pb, W, Au, Mo ve Sn olmak üzere yedi ana grupta toplanmakta, bu cevherleşmeler ile birlikte Ag, Zn, U, NTE, B ve F gibi zenginleşmeler de içerebilmektedirler (Einaudi ve diğ, 1981; Einaudi ve Burt, 1982; Burt, 1982; Meinert, 1983; 1992; Meinert, 1997; Meinert ve diğ, 2005). Skarn cevherleşmesi gözlenen yatakların genel özellikleri **Çizelge 4.1**'de verilmiştir.

Skarnlar başta kontak zonundaki kayalarla ilişkileri olmak üzere pek çok kritere göre kendi içerisinde zonlara ayrılabilir. Skarn zonunun magmatik veya sedimanter kayalarla olan ilişkilerine göre ekzo ve endoskarn zonları tanımlanmaktadır (**Şekil 4.11**). Endoskarn zonu intrüzif kayaların kontağında oluşur ve skarn oluşturunca akışkanların intrüzyon kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Plütonlar, derinliğinin yüksek olduğu bölgelerde daha az kırıklı bir yapıdadır bu sebeble akışkan dolaşımının daha sınırlı bir alanda gerçekleştiği görülür. Bu tür sistemlerde endoskarn zonu doğrudan sokulum kayaları kontağında dar bir zonda oluşur (Einaudi ve diğ., 1981; Einaudi ve Burt, 1982; Meinert, 1992; Meinert ve diğ., 2005). Skarn yataklarında karakteristik mineral birlikteliği piroksen-plajiyoklaz ve granattan oluşmaktadır. Birçok W skarn ve bazı Cu skarnlar için Piroksen-plajiyoklaz mineral zonu, Fe skarnlar için ise garnet-piroksen ve albit-(skapolit) zonları karakteristik özellik taşır (Einaudi ve Burt, 1982).



**Şekil 4.11** : Skarn zonlarının oluşumunu gösteren şematik kesit (Meinert ve diğ. (2005)'den alınmıştır).

Ekzoskarn zonu ise karbonat kayaçlarının kontağında oluşmaktadır. Ekzoskarn zonları karbonat kayaçların bileşimi ve oluşan skarn mineralleri göz önüne alınarak magnezyumlu ve kalsik skarnlar olarak sınıflandırılmaktadır. Dolomitik kayaç içerisinde oluşan magnezyumlu ekzoskarnların forsterit–diyopsit–flogopit gibi skarn minerallerini içerdiği görülmektedir. Skarnın kontak zonundaki kayaçlarla ilişkisine göre oluşan skarn türleri **Şekil 4.12**'de gösterilmektedir.



**Şekil 4.12 :** Kontak zonundaki kayaçlar ile ilişkisine göre skarn oluşumları.

Granat ve piroksen gibi Ca-Fe skarn mineralleri ile wollastonit kalsik skarnlar için ayırt edicidir. Kalay ve tungsten skarnların büyük bir kısmında, Al bakımından aşırı derecede zengin iseler, piroksen veya wollastonit ile birlikte vezüvyanit de oluşabilir (<http://www.science.smith.edu/departments/Geology/Skarn/index.html>; Meinert ve diğ., 2005; Einaudi ve Burt, 1982; Orhan, 2008). Birçok skarn yatağında skarn ve mermer arasındaki kontakta proksimal granat, distal piroksen ve vezüvyanit (veya wollastonit, bustamit veya rodonit gibi) şeklinde genel bir zonlanma izlenmektedir (Orhan, 2008). Magma ve yan kayacın bileşimi, oluşum derinliği ve oksidasyon derecesi mineral bileşiminde büyük farklılıklar yaratmaktadır. Örneğin kalsik Fe-skarnları demirce zengin plütonların kireçtaşları içerisine sokulumuyla oluşur ve garnet, piroksen, epidot ve aktinolit gibi mineral birliktelikleri sergiler. Magnezyen Fe-skarnları ise plütonun dolomitik kayaçları içine sokulumuyla oluşarak forsterit, diopsit, talk ve serpantin gibi mineral birlikteliklerinin oluşmasına neden olur. Bu tür sistemlerde çözeltideki Fe andradit-hedenberjit yerine manyetit oluşturma eğilimindedir.

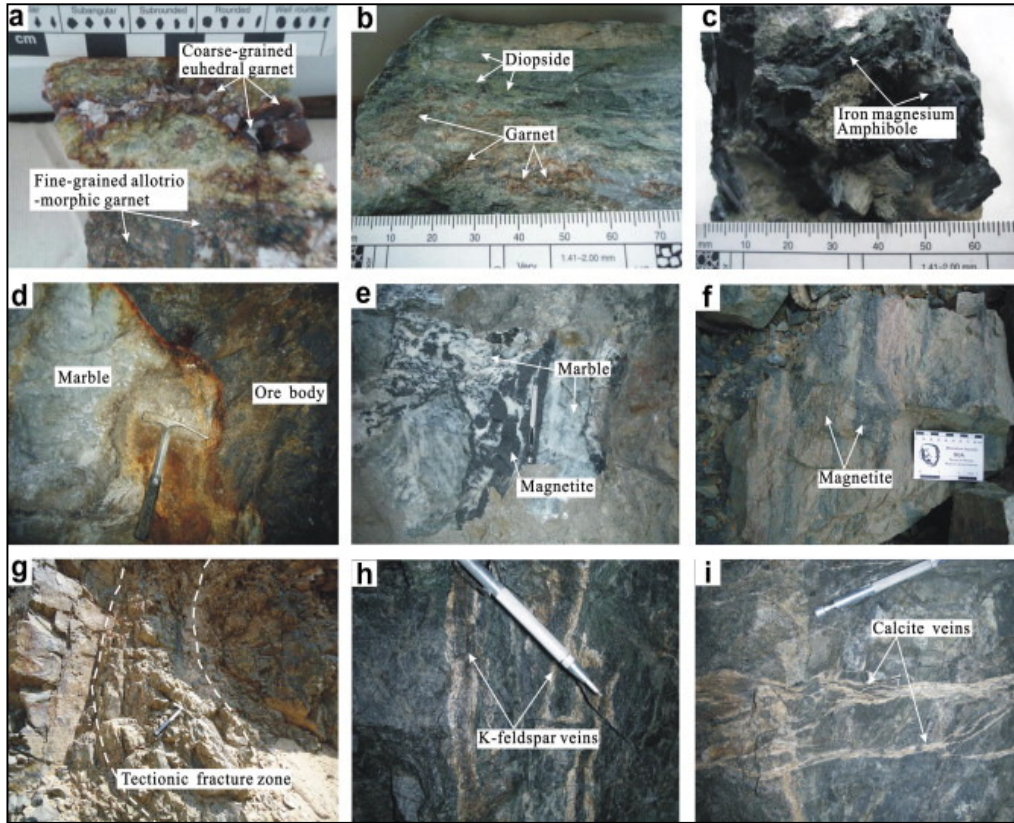
**Çizelge 4.1 :** Skarn cevherleşmesi gözlenen yatakların genel özellikleri (Einaudi ve diğ, 1981; Einaudi ve Burt, 1982; Burt, 1982; Newberry, 1998 ve Orhan, 2008’den alınmıştır).

| Cevher tipi                             | Kalsik<br>Cu                                          | Kalsik<br>Fe                                      | Magnezyen<br>Fe                                             | Kalsik<br>Tungsten                                         | Kalsik<br>Pb, Zn                                                            | Kalsik<br>Mo                                   | Kalsik<br>Sn                                               | Magnezyen<br>Sn                                                      |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Cevher metalleri                        | Cu, Mo<br>(W, Zn)                                     | Fe<br>(Cu, Co, Au)                                | Fe<br>(Cu, Zn)                                              | W, Mo, Cu<br>(Zn, Bi)                                      | Pb, Zn, Ag<br>(Cu, W)                                                       | Mo, W<br>(Sn, Bi, Zn)                          | Sn (Be, W)                                                 | Sn (Be)                                                              |
| Metal içeriği                           | Kalkopirit,<br>Pirit, Bornit,<br>Hematit,<br>Manyetit | Manyetit<br>(Kalkopirit,<br>Kobaltit,<br>Pirotin) | Manyetit<br>(Pirit,<br>Kalkopirit,<br>Sfalerit,<br>Pirotin) | Şeelit,<br>Molibdenit,<br>Kalkopirit,<br>Pirotin, Pirit    | Sfalerit,<br>Galen,<br>Kalkopirit,<br>Arsenopirit                           | Molibdenit,<br>Şeelit,<br>Pirit,<br>Kalkopirit | Kasiterit,<br>Arsenopirit,<br>Stannit<br>Pirotin           | Kassiderit,<br>Arsenopirit,<br>Pirotin,<br>Stannit,<br>Sfalerit      |
| Ekzoskarnda<br>görülen<br>mineraller    |                                                       |                                                   |                                                             |                                                            |                                                                             |                                                |                                                            |                                                                      |
| Erken evre<br>mineralleri<br>(Evre 1-2) | Andradit,<br>Diyopsit,<br>Vollastonit                 | Ferrosalit<br>Epidot,<br>Manyetit,<br>Granat      | Forsterit,<br>Kalsit, Spinel<br>Diyopsit,<br>Manyetit       | Granat,<br>Hedenberjit,<br>Vezüvyanit,<br>Vollastonit      | Mn-<br>hedenberjit,<br>Andradit<br>Bustamit,<br>Rodonit                     | Hedenberjit<br>Granat,<br>Kuvars               | Malahit,<br>Danburit,<br>Daktolit<br>Granat,<br>Vezüvyanit | Spinel,<br>Fassait,<br>Forsterit,<br>Flogopit,<br>Manyetit,<br>Hümit |
| Geç evre<br>mineralleri<br>(Evre 3)     | Aktinolit,<br>Diyopsit,<br>Vollastonit                | Ferrosalit,<br>Granat,<br>Epidot,<br>Manyetit     | Forsterit,<br>Kalsit,<br>Spinel,<br>Diyopsit,<br>Manyetit   | Horblend,<br>Biyotit,<br>Plajiyoklaz,<br>Epidot,<br>Granat | Mn-aktinolit,<br>İlvait,<br>Epidot,<br>Klorit,<br>Dannemorit,<br>Rodokrozit | Amfibol,<br>Klorit                             | Amfibol,<br>Mika, Klorit,<br>Turmalin,<br>Florit           | Kassiderit,<br>Fluoborit,<br>Manyetit,<br>Mikalar,<br>Florit         |
| Endoskarnda<br>görülen<br>mineraller    | Epidot<br>Piroksen<br>Granat                          | Epidot<br>Piroksen                                | Epidot<br>Piroksen                                          | Piroksen<br>Plajiyoklaz                                    | Epidot<br>Piroksen<br>Granat                                                |                                                | Çok nadir                                                  |                                                                      |

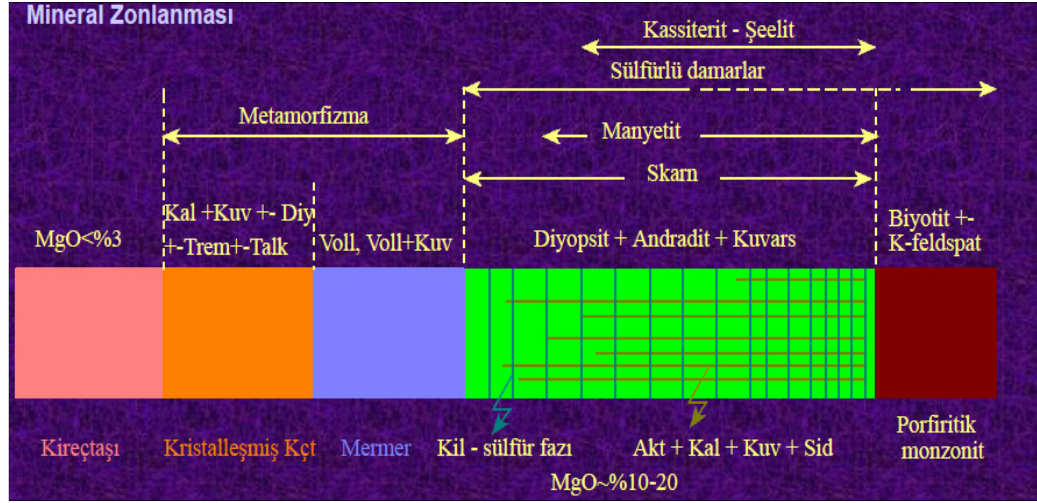
Çizelge 4.1 (devam) :

|                            |                                                              |                                                    |                       |                                                    |                                                                  |                                           |                                                  |                                                  |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Sokulum kayacının bileşimi | Granodiyorit - Monzogranit                                   | Gabro-Siyenit, Diyorit çoğunlukla Diyorit          | Granodiyorit -Granit  | Granodiyorit -Granit                               | Plüton genellikle görülmez. Eğer varsa, Diyorit, Siyenit, Granit | Monzogranit ve Siyenogranit               | Granit                                           | Granit                                           |
| Sokulum morfolojisi        | Stok dayk                                                    | Küçük-büyük stok-dayklar                           | Küçük stok, dayk, sil | Büyük plütonlar, batolitler                        | Genellikle görülmez, görülürse küçük stok, dayk                  | Stok                                      | Stok, batolit                                    | Stok, batolit                                    |
| Tektonik ortam             | Kıta kenarı oky. ada yayları, eş-geç yaşlı orojenik kuşaklar | Oky. ada yayları, riftleşmeye bağlı kıta kenarları | Kıta kenarı yayları   | Kıta kenarı yaylar, eş-geç yaşlı orojenik kuşaklar | Kıta kenarı yaylar, eş-geç yaşlı orojenik kuşaklar               | Kıta kenarı yaylar, geç orojenik kuşaklar | Kıta kenarı yaylar, geç - post orojenik kuşaklar | Kıta kenarı yaylar, geç - post orojenik kuşaklar |

Skarnlar pek çok farklı ortam ve litolojiler içerisinde oluşabilmektedir. Bu ortam ve koşulların ilişkilendirilmesi skarn mineralojisi yardımıyla yapılmaktadır. Skarn mineralojisi, skarn kökenini ve skarn minerallerinin ekonomik önemini belirlemede kullanılır (<http://www.science.smith.edu/departments/Geology/Skarn/index.html>; Meinert, 1992; Meinert ve diğ, 2005; Orhan 2008). Arazide haritalandırılabilen skarn zonları, mineral birliktelikleri ve alterasyon özellikleri cevher aramalarında yol göstericidir. Bir Sn-Fe skarn yatağına ait örnek mineral zonlanmaları ve birliktelikleri **Şekil 4.13'** de gösterilmektedir. Genel olarak skarn yataklarında öncelikle silikatlar, sonra oksitler ve daha sonra da sülfürlü mineraller gelişir. Silikatlar kendi aralarında bir zonlanma gösterirler. Bu durum Ca'un yerini önce Mg, daha sonra Fe'in almasıyla gözlenir. Böylece kalsit-vollastonit-diyopsit-hedenberjit-andartid zonlanması gelişmektedir (**Şekil 4.14**).



**Şekil 4.13 :** Great Hinggan bölgesindeki Sn-Fe tipi skarn yatağına ait skarn mineral ve cevher türleri ile yapısal unsurları (a-c): skarn mineralleri; (d): cevher ve komşu kayaların dokanağı; (e ve f): cevher türleri; (g): skarnın tektonik kesme zonu; (h): K-feldspar damarları; (i): kalsit damarları (Zhou ve diğ, 2012).



**Şekil 4.14 :** Skarn yataklarında mineral zonlanması

Skarn genişliği, geometrisi, alterasyon stili gibi önemli parametreler oluşumun derinliği ile yakından ilgilidir. Derin skarn oluşumlarında, kayaçlar kırılmadan ziyade sünümlü davranış gösterirler. Sokulum kayacının ile sedimanter birimlerin kontağında gelişen skarnlarda sokulum kayacı sedimanter kayacın tabakalanmasına uyumlu olarak katmanlar arasına yerleşir veya sedimanter kayaçlar intrüzyon kontağında kıvrımlanır (Orhan, 2008). Bu tür oluşumlarda, skarnların yanal yönde genişlediği görülmektedir. Sığ oluşumlarda ise komşu kayaçlar kırılma ve faylanma eğilimi gösterirler. Basınç etkisiyle oluşan çatlak ve kırıklardan penetre eden sıvılar komşu kayacın permeabilitesinin artmasına neden olur. Bu tür sığ ortamlarda magmatik kökenli metasomatik akışkanlar ile birlikte meteorik akışkanlar da sisteme dâhil olurlar (Shelton, 1983; Clechenko ve Valley, 2003; Meinert ve diğ, 2005).

Mineral birliktelikleri skarn oluşum koşullarını (derinlik, sıcaklık, akışkan ve komşu kayaç bileşimi) belirlemede en önemli yol göstericidir. Skarn oluşumundaki alterasyon evreleri prograd ve retrograd terimleri ile tanımlanır. Prograd (ilerleyen) ve retrograd (gerileyen) evredeki mineral birliklerinin saptanması skarn türünü belirlemede büyük rol oynar. Prograd evre granat, piroksen gibi susuz ve yüksek sıcaklık mineralleri ile karakterize olurken, retrograd evre epidot, amfibol ve klorit gibi sulu mineraller ile temsil edilir (Einaudi ve Burt, 1982; Meinert, 1992; 1997; Meinert ve diğ, 2005). Sulu mineraller genellikle kırıklar boyunca taşınarak prograd evreye ait granat ve piroksenler üzerinde büyüyerek gelişirler (Einaudi, 1982; Murakami, 2005; Orhan, 2008).

Sığ skarn oluşumlarında retrograd evre mineralleri yaygın olarak görülmektedir. Bu evreye ait mineralleşmelerin bazen damarlar şeklinde gelişirken, kuvars ve kalsit damarlarının prograd evreye ait masif granatları kestiği görülmektedir (Murakami, 2005). Bu nedenle cevher ve skarn mineralleri arasındaki ilişki cevherleşmenin hangi evrede olduğu belirlemeye yardımcı olmaktadır (Murakami, 2005).

## 5. ÇALIŞMA ALANINDAKİ KAYAÇLARIN JEOKİMYASAL İNCELEMESİ

İnceleme alanından alınan 29 adet numunenin major oksit ve iz element analizleri İTÜ Maden Fakültesi Aletsel Analiz Laboratuvarında, S8-Tiger/Bruker cihazı ile yapılmıştır. Analiz sonuçları **Çizelge 5.1**, **Çizelge 5.2** ve **Çizelge 5.3**'de verilmiştir.

**Çizelge 5.1** : Numunelerin major oksit analiz sonuçları (%).

| Numune No | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO   | CaO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | MnO  | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SO <sub>3</sub> |
|-----------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|------|--------------------------------|-----------------|
| 222       | 2,52             | 0,09                           | 0,05                           | 0,11  | 55,63 | 0,00              | 0,01             | 0,00             | 0,01                          | 0,01 | 0,00                           | 0,00            |
| 223 A     | 47,90            | 0,55                           | 9,25                           | 39,24 | 0,49  | 0,00              | 0,03             | 0,02             | 0,00                          | 0,13 | 0,44                           | 0,00            |
| 223 B     | 0,43             | 0,10                           | 0,07                           | 0,20  | 55,90 | 0,02              | 0,01             | 0,00             | 0,00                          | 0,00 | 0,00                           | 0,00            |
| 224       | 1,99             | 0,75                           | 0,22                           | 0,28  | 54,43 | 0,00              | 0,21             | 0,03             | 0,02                          | 0,01 | 0,00                           | 0,00            |
| 226       | 0,07             | 0,02                           | 0,03                           | 0,14  | 56,24 | 0,00              | 0,00             | 0,00             | 0,00                          | 0,03 | 0,00                           | 0,00            |
| 232       | 77,33            | 13,22                          | 2,42                           | 1,02  | 0,08  | 0,09              | 3,00             | 0,27             | 0,14                          | 0,12 | 0,00                           | 0,00            |
| 233 C     | 31,49            | 5,63                           | 38,53                          | 0,89  | 10,76 | 0,21              | 1,70             | 0,17             | 0,44                          | 9,78 | 0,01                           | 0,00            |
| 235       | 0,30             | 0,15                           | 0,03                           | 0,23  | 55,76 | 0,00              | 0,02             | 0,00             | 0,02                          | 0,00 | 0,00                           | 0,00            |
| 239       | 59,81            | 21,87                          | 6,31                           | 1,54  | 0,39  | 0,40              | 5,22             | 0,62             | 0,12                          | 0,12 | 0,02                           | 0,00            |
| 240       | 69,33            | 16,34                          | 1,76                           | 0,64  | 1,49  | 3,01              | 5,45             | 0,29             | 0,14                          | 0,04 | 0,00                           | 0,00            |
| 241       | 64,91            | 19,10                          | 5,58                           | 1,62  | 0,08  | 0,20              | 4,63             | 0,75             | 0,12                          | 0,05 | 0,01                           | 0,00            |
| 242       | 58,76            | 13,63                          | 7,54                           | 0,70  | 1,04  | 2,97              | 4,73             | 0,25             | 0,15                          | 0,05 | 0,00                           | 9,99            |
| 246 O     | 48,16            | 26,03                          | 2,80                           | 2,36  | 10,87 | 1,36              | 2,87             | 1,29             | 0,06                          | 0,14 | 0,01                           | 0,00            |
| 246 SF    | 52,53            | 24,82                          | 7,08                           | 2,26  | 0,75  | 0,16              | 6,28             | 0,88             | 0,11                          | 0,11 | 0,01                           | 0,00            |
| 246 SM    | 2,78             | 2,10                           | 0,40                           | 1,80  | 52,25 | 0,10              | 0,06             | 0,13             | 0,01                          | 0,03 | 0,00                           | 0,00            |
| 248       | 0,22             | 0,07                           | 0,12                           | 0,14  | 55,94 | 0,00              | 0,01             | 0,00             | 0,00                          | 0,03 | 0,00                           | 0,00            |
| 249       | 73,74            | 13,80                          | 3,49                           | 1,37  | 0,29  | 1,28              | 2,90             | 0,46             | 0,14                          | 0,10 | 0,01                           | 0,00            |
| 252       | 69,46            | 15,14                          | 2,17                           | 0,94  | 1,80  | 3,67              | 5,03             | 0,39             | 0,19                          | 0,07 | 0,00                           | 0,00            |
| 258 B     | 52,69            | 0,33                           | 6,37                           | 16,62 | 17,63 | 0,06              | 0,04             | 0,00             | 0,00                          | 2,96 | 0,00                           | 0,00            |
| 258 B2    | 42,83            | 5,56                           | 19,07                          | 7,08  | 22,03 | 0,05              | 0,12             | 0,11             | 0,07                          | 2,39 | 0,01                           | 0,00            |
| 258 NH    | 38,90            | 15,43                          | 8,16                           | 2,13  | 32,59 | 0,08              | 0,10             | 0,08             | 0,04                          | 1,70 | 0,00                           | 0,00            |
| 259 A     | 4,52             | 0,50                           | 80,29                          | 0,70  | 0,27  | 2,42              | 0,05             | 0,01             | 0,05                          | 0,66 | 0,00                           | 0,00            |
| 290       | 51,73            | 24,38                          | 7,51                           | 2,40  | 0,26  | 0,98              | 6,19             | 1,20             | 0,09                          | 0,10 | 0,01                           | 0,00            |
| 291       | 63,90            | 19,09                          | 4,34                           | 1,89  | 0,17  | 0,94              | 5,49             | 0,56             | 0,09                          | 0,09 | 0,00                           | 0,00            |
| 296       | 88,10            | 6,20                           | 0,96                           | 0,29  | 0,16  | 3,26              | 0,14             | 0,21             | 0,06                          | 0,02 | 0,00                           | 0,00            |
| 300 C     | 12,27            | 2,28                           | 78,49                          | 0,74  | 1,62  | 0,17              | 0,53             | 0,07             | 0,22                          | 0,70 | 0,01                           | 0,00            |
| 301       | 54,96            | 19,94                          | 5,48                           | 2,61  | 7,74  | 1,69              | 3,43             | 0,91             | 0,29                          | 0,25 | 0,01                           | 0,00            |
| 301 M     | 8,22             | 0,14                           | 41,04                          | 0,74  | 4,06  | 0,00              | 0,02             | 0,00             | 0,00                          | 0,60 | 0,00                           | 44,73           |
| 302 Z     | 66,45            | 15,48                          | 4,76                           | 3,13  | 1,49  | 1,23              | 3,75             | 0,67             | 0,25                          | 0,09 | 0,01                           | 0,00            |

**Çizelge 5.2** Numunelerin iz element analiz sonuçları (ppm).

| Numune Adı | Ag  | As | Ba  | Bi  | Cl  | Co  | Cu   | Ga | Ge | Mo | Nb |
|------------|-----|----|-----|-----|-----|-----|------|----|----|----|----|
| 222        | -   | -  | -   | -   | -   | -   | 24   | -  | -  | 8  | -  |
| 223 A      | -   | -  | -   | -   | 419 | 169 | 38   | -  | -  | -  | -  |
| 223 B      | -   | -  | -   | -   | 100 | -   | -    | -  | -  | -  | -  |
| 224        | -   | -  | -   | -   | 96  | -   | -    | -  | -  | -  | -  |
| 232        | -   | 51 | 386 | -   |     | 28  | 92   | -  | -  | -  | 7  |
| 233 C      | -   | -  | 808 | -   | 134 | -   | -    | -  | -  | -  | -  |
| 239        | -   | 43 | 662 | -   | -   | -   | 52   | 19 | -  | -  | -  |
| 240        | -   | -  | 662 | -   | 256 | 27  | 21   | 13 | -  | -  | 23 |
| 241        | -   | 17 | 722 | -   | 77  | -   | 35   | 17 | -  | -  | 10 |
| 242        | -   | 16 | 698 | -   | 235 | -   | 50   | 10 | -  | -  | 10 |
| 246 O      | -   | 13 | 436 | -   | 155 | -   | 24   | 38 | -  | -  | 24 |
| 246 SF     | -   | 48 | 719 | -   | 164 | -   | 57   | 30 | -  | -  | 14 |
| 246 SM     | -   | 18 | -   | -   | -   | -   | 38   | -  | -  | -  | -  |
| 248        | -   | 4  | -   | -   | -   | -   | 19   | -  | -  | -  | -  |
| 249        | -   | 10 | 486 | -   | 80  | -   | 35   | -  | -  | -  | 6  |
| 252        | -   | 1  | 908 | -   | 391 | 47  | 17   | 14 | -  | -  | 17 |
| 258 B      | 101 | -  | -   | 117 | 120 | -   | 93   | -  | 21 | -  | -  |
| 258 B2     | -   | 23 | -   | -   | 339 | -   | 413  | -  | -  | 53 | -  |
| 258 NH     | -   | -  | -   | -   | 390 | -   | 33   | 20 | -  | 22 | 33 |
| 259 A      | -   | -  | -   | -   | 161 | -   | 1042 | -  | -  | -  | -  |
| 290        | -   | 15 | 848 | -   | -   | -   | 66   | 22 | -  | -  | 12 |
| 291        | -   | 15 | 860 | -   | -   | -   | 45   | 14 | -  | -  | 9  |
| 296        | -   | 4  | -   | -   | -   | 34  | 29   | -  | 4  | -  | -  |
| 300 C      | -   | 47 | -   | -   | 169 | -   | 1169 | -  | -  | -  | -  |
| 301        | -   | -  | 742 | -   | 290 | -   | 103  | 27 | -  | -  | 14 |
| 301 M      | -   | -  | -   | 87  | 82  | 254 | 2551 | -  | -  | -  | -  |
| 302 Z      | -   | 15 | 809 | -   | 302 | -   | 30   | 16 | -  | -  | 9  |

**Çizelge 5.3** Numunelerin iz element analiz sonuçları-2 (ppm).

| Numune Adı | Ni   | Pb   | Rb  | S    | Se | Sn  | Sr  | Th | V   | W    | Y  | Zn   | Zr  |
|------------|------|------|-----|------|----|-----|-----|----|-----|------|----|------|-----|
| 222        | -    | -    | -   | 44   | -  | -   | 164 | -  | -   | -    | -  | -    | -   |
| 223 A      | 3333 | -    | -   | 175  | -  | -   | -   | -  | -   | -    | -  | 56   | -   |
| 223 B      | 23   | -    | -   | 66   | -  | -   | 156 | -  | -   | -    | -  | -    | -   |
| 224        | -    | -    | -   | 63   | -  | -   | 139 | -  | -   | -    | -  | 24   | 7   |
| 226        | -    | -    | -   | 75   | -  | -   | 148 | -  | -   | -    | -  | -    | -   |
| 232        | 38   | 20   | 77  | 102  | -  | -   | 9   | -  | -   | 233  | -  | 55   | 51  |
| 233 C      | -    | -    | 34  | 508  | -  | 303 | 282 | -  | 96  | 170  | -  | 357  | 37  |
| 235        | -    | -    | -   | 53   | -  | -   | 141 | -  | -   | -    | -  | -    | -   |
| 239        | 50   | 99   | 175 | -    | -  | -   | 37  | -  | 123 | 96   | 26 | 205  | 129 |
| 240        | 17   | 41   | 211 | 63   | -  | -   | 131 | -  | -   | 257  | 27 | 27   | 124 |
| 241        | 33   | -    | 148 | 30   | -  | -   | 26  | -  | 127 | 86   | 21 | 87   | 252 |
| 242        | 21   | 34   | 136 | -    | 11 | -   | 95  | -  | -   | 183  | -  | 23   | 90  |
| 246 O      | 37   | -    | 107 | 295  | -  | -   | 301 | -  | 194 | 71   | 62 | 62   | 457 |
| 246 SF     | 52   | -    | 297 | 51   | -  | -   | 37  | -  | 179 | -    | -  | 90   | 170 |
| 246 SM     | 24   | -    | -   | 121  | -  | -   | 336 | -  | -   | -    | -  | 19   | 39  |
| 248        | -    | 35   | -   | 88   | -  | -   | 105 | -  | -   | -    | -  | -    | 3   |
| 249        | 33   | -    | 103 | 40   | -  | -   | 47  | -  | -   | 225  | 14 | 60   | 134 |
| 252        | 14   | 40   | 194 | 337  | 10 | -   | 206 | 16 | -   | 327  | 24 | -    | 151 |
| 258 B      | -    | 5266 | -   | 169  | -  | -   | -   | -  | 38  | 32   | -  | 2874 | -   |
| 258 B2     | -    | -    | -   | 89   | -  | -   | -   | -  | 41  | 143  | -  | 216  | 64  |
| 258 NH     | -    | -    | -   | 43   | 59 | 290 | -   | -  | -   | 1264 | 24 | 3    | 88  |
| 259 A      | 58   | -    | -   | 8840 | -  | -   | -   | -  | -   | -    | -  | 1917 | -   |
| 290        | 48   | -    | 202 | 80   | -  | -   | 39  | -  | 242 | 44   | 25 | 113  | 233 |
| 291        | 30   | 34   | 140 | 226  | -  | -   | 23  | -  | 93  | 138  | 30 | -    | 205 |
| 296        | 18   | 29   | -   | 58   | -  | -   | 14  | -  | -   | 292  | -  | 27   | 187 |
| 300 C      | 66   | -    | 17  | 2624 | -  | -   | 20  | -  | -   | 217  | -  | 261  | 19  |
| 301        | 31   | -    | 123 | 272  | -  | -   | 99  | -  | 137 | 132  | -  | 96   | 243 |
| 301 M      | -    | -    | -   | -    | 26 | -   | -   | -  | -   | 586  | -  | 113  | -   |
| 302 Z      | 41   | -    | 131 | 92   | -  | -   | 66  | -  | -   | 108  | 20 | 77   | 187 |

## 5.1 Skarn Oluşumları ile İlişkili Plutonların Genel Özellikleri

Skarn oluşumlarındaki metal içeriği plutonların bileşimi, major ve iz element içeriği, ayrımlaşma derecesi ve tektonik ortamı ile yakından ilişkilidir (Zharikov, 1970; Shimazaki, 1975; 1980; Einaudi ve diğ, 1981; Kwak ve White, 1982; Meinert, 1983; Newberry ve Swanson, 1986; Newberry, 1987; Blevin ve Chappel, 1995; Ray ve diğ, 1995; Newberry, 1998; Meinert ve diğ, 2005).

Plütonların bileşimi ile skarnın metal içeriği arasındaki ilişki şu şekilde özetlenebilir. Kalsik Fe, Cu, Au, Mo, W, Zn ve Sn skarn oluşumları ile ilişkili plütonların tamamı sub-alkalen ve kalk-alkalen karakterlidir (Ray ve diğ, 1995; Meinert ve diğ, 2005). Bunun yanı sıra Debon ve Le Fort (1983) granitoid sınıflamasına göre, Au skarnından Sn skarna doğru plüton bileşimlerinin gabro ve kuvars diyoritten granite doğru farklılaştığı gözlenmektedir (Ray ve diğ, 1995).

Plütonlardaki bileşimsel farklılıklar ile skarn tipindeki değişim pek çok jeokimyasal değerlendirme yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu değerlendirmelerden bazıları şu şekildedir. Fe-Au tipi skarnlarla ilişkili plutonların MgO içeriği Sn ve Mo tipi skarnlarla ilişkili plütonlardan daha yüksek iken  $K_2O$  içeriğinin ise daha düşük olduğu görülmektedir (Ray ve diğ, 1995; Meinert ve diğ, 2005). Au tipi skarn plutonlarının  $SiO_2$  ve toplam alkali ( $Na_2O+K_2O$ ) içerikleri düşük ancak Ca, Mg ve Al konsantrasyonları daha yüksektir (Orhan, 2008). Bununla birlikte, Sn ve W tipi skarnlarda plutonun  $SiO_2$  içeriğinin ortalama değerlerden daha yüksek ancak Fe, Mg, Al ve Ca içeriklerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu kimyasal değişimler Fe-Au tipi skarn plütonlarının daha az derecede kabuksal kirlenmeye uğradığının göstegesidir (Meinert ve diğ, 2005; Orhan, 2008). Ray ve diğ. (1995), skarn plutonlarının Al doygunluğuna göre sınıflandırıldığında metalüminyumlu ve peralüminyumlu alana düştüğünü belirtmişlerdir.

Plutonik kayaçların oksitlenme ve indirgenme koşulları da skarnın metal içeriğinin değişkenlik göstermesinde önemli rol oynamaktadır (Ray ve diğ, 1995; Meinert ve diğ, 2005). Magmatik kayaçların oksitlenme derecesi  $Fe_2O_3/FeO$  oranları baz alınarak tespit edilir (Ishihara, 1977, 1981; Newberry, 1998; Meinert ve diğ, 2005). Sn tipi skarnlarda magmatik intrüzyonlar daima indirgenmiş koşullarda, ilmenit serisi plutonlara bağlı olarak oluşurken, Cu tipi skarnlarda plutonlar daha oksitlenmiş koşullarda manyetit serisi plutonlara bağlı olarak oluşmaktadır (Orhan, 2008). Kwak

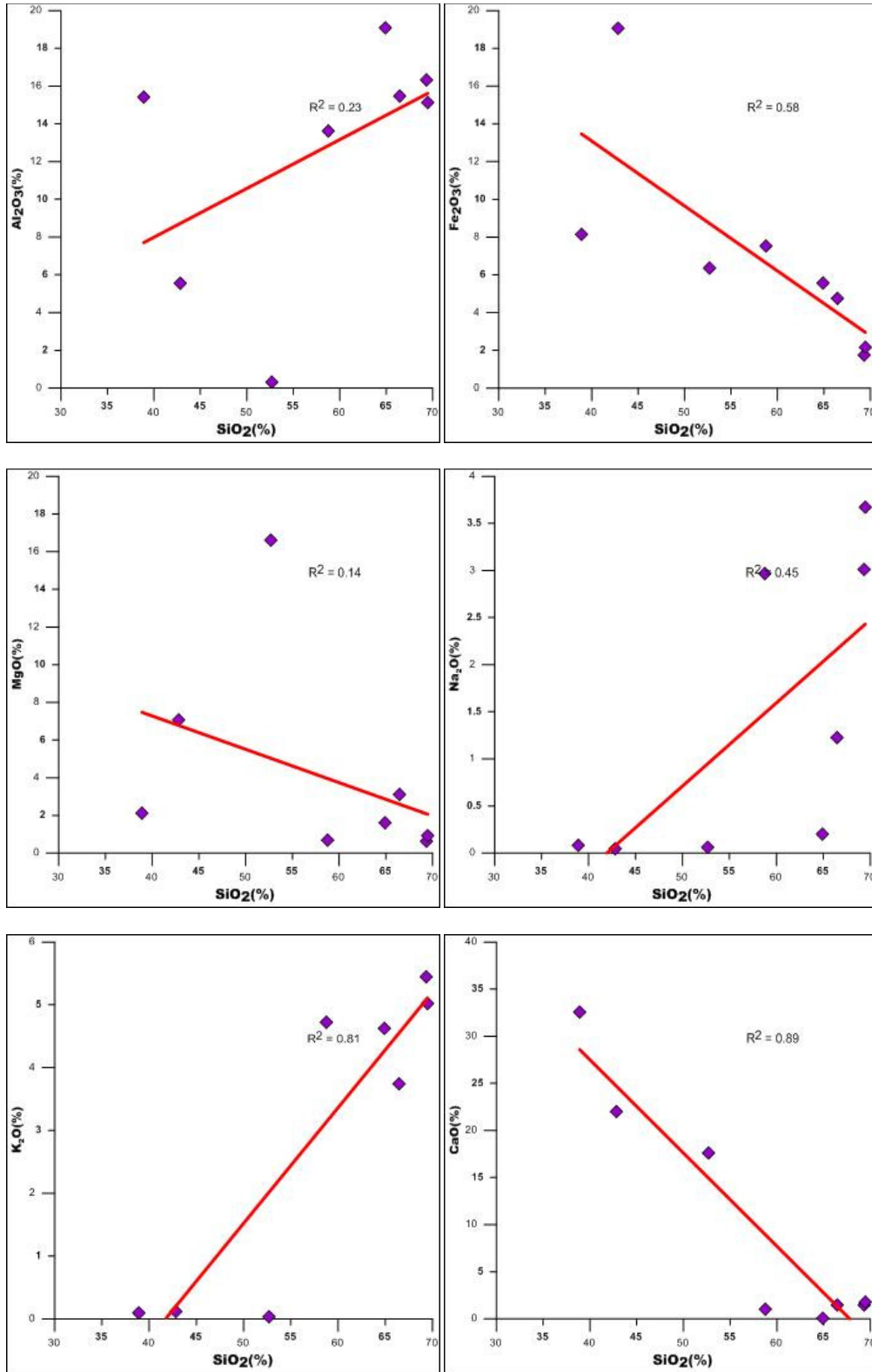
ve White (1982), W tipi skarnların oluşumunda oksitlenmiş, Keith ve diğ. (1989) ise indirgenmiş nitelikli plütonların aktif rol oynadığını ileri sürerken, Newberry (1982) W tipi skarnları oksitlenmiş ve indirgenmiş karakterli olmak üzere iki grupta incelemiştir. Newberry ve Swanson (1986), ayrışma ve kabuksal kirlenmeye maruz kalan plütonların I ve S tipi şeklinde net olarak ayrılmayacağını ileri sürmüşlerdir.

Skarn karakterine etki eden diğer bir faktör de magmanın farklılaşma derecesidir. Farklılaşma derecesine göre bazı iz elementlerin iyonik yarıçaplarının yakınlığı nedeniyle major oksitlerin yerini aldığı görülmektedir. K ile aynı yük ve iyonik yarıçapa sahip R'un K-feldspat ve mikaların yapısına girmesi, Sc'un özellikle piroksende bolca bulunması bu durumun en iyi örneğidir (Orhan, 2008). Magmatik farklılaşma mineralizasyon tipi ve potansiyel mineralizasyonların tespiti açısından önem taşır. Farklılaşma derecesi pek çok farklı yöntem ile tespit edilebilir. Bunlardan bazıları uyumlu-uyumsuz element oranları (K/Rb), belirli iz elementlerin (Ba, Zr, Y) kristalizasyon süresince gösterdiği hareketlerdir. Granitik magmanın kristalizasyonu ve farklılaşması ile Rb artarken Sc azalır. Skarn plütonların Rb ve Sc içerikleri karşılaştırıldığında, Fe tipi skarnlarda Sc içeriği yüksek iken Rb'un düştüğü gözlenir. Fe, Au, Cu, Zn, W, Mo ve Sn skarnlara doğru Sc içeriğinin azaldığı Rb ise arttığı saptanmıştır (Orhan, 2008). V ve Ni de kristalizasyon ve farklılaşma süresince azalan elementlerdir (Meinert ve diğ, 2005). Nb, Y ve Rb tektonik ve jeolojik ortam tespitinde kullanılan önemli iz elementlerdir (Pearce ve diğ, 1984). Skarnlaşmaya yol açan plütonların özellikle kıta kenarlarındaki volkanik yaylarda ve kıta içi alanlarda oluştuğu görülmektedir. Fe, Au, Cu, Zn ve Mo ile ilişkili plütonlar volkanik yay alanına düşerken, W skarn plütonların volkanik yay ve kıta içi alanlara düştüğü görülmektedir (Ray ve diğ, 1995; Meinert ve diğ, 2005).

## **5.2 Çataldağ Graniti'nin Jeokimyası**

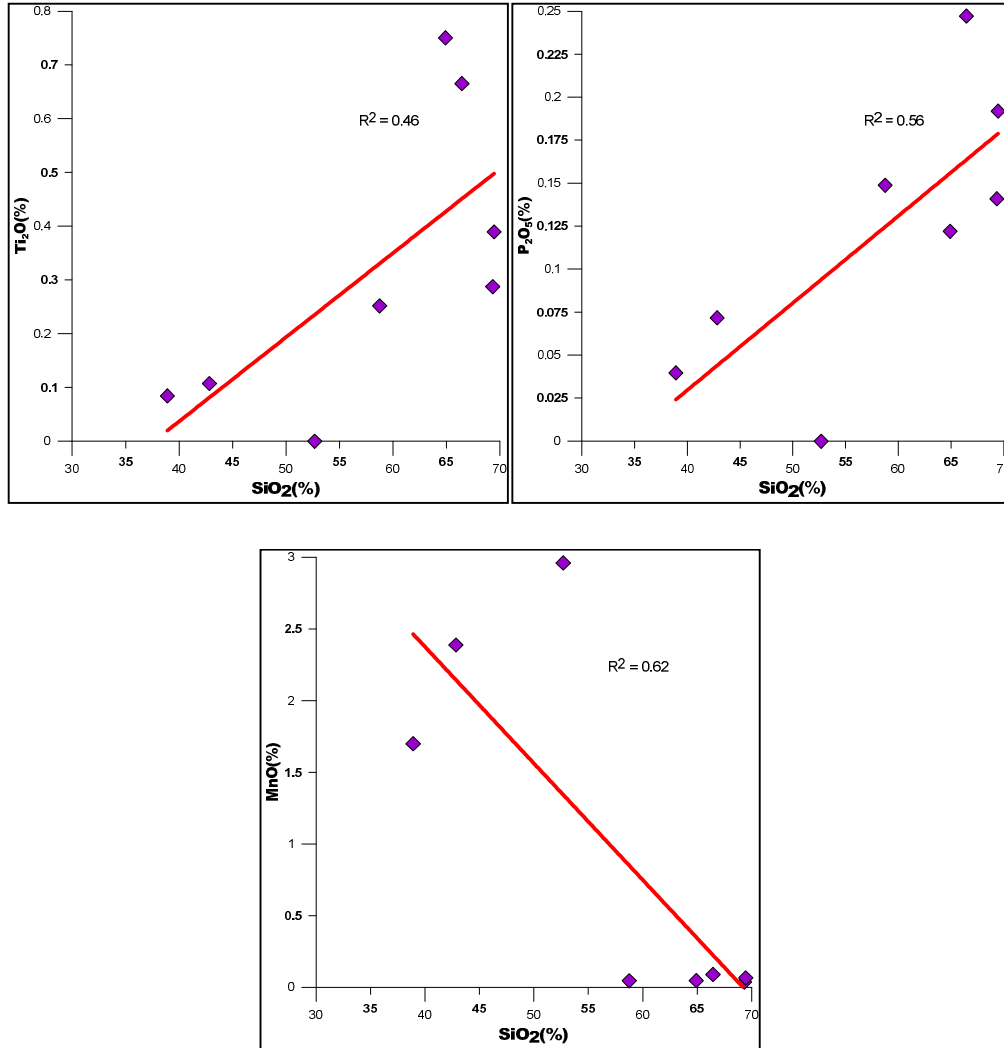
### **5.2.1 Major oksitler**

Harker diyagramları major oksitlerin karşılaştırılmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu diyagramların yorumlanmasıyla magmatik kayaların fraksiyonel kristallenme, kısmi ergime, magma karışımı ve kirlenme gibi özellikleri tespit edilebilmektedir. Çataldağ Graniti'ne ait örneklerin Harker değişim diagramları **Şekil 5.1'** de verilmiştir.



Şekil 5.1 : Çataldağ Graniti'ne ait örneklerin Harker değişim diagramları.

Şekil 5.1 (devam) :



Çataldağ Graniti'nden alınan örneklerde SiO<sub>2</sub> içeriğinin % 38,9-69,4 arasında değiştiği görülmektedir. Manastır Tepe skarn zonundan alınan 258 B örneği %16,62 MgO içeriği ile dikkat çekmektedir. Örneklerin major oksit değişimleri Harker diyagramlarında incelendiğinde SiO<sub>2</sub> artışı ile Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO ve MnO konsantrasyonlarının azaldığı, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, Ti<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> konsantrasyonlarının arttığı gözlenir. Azalan korelasyonları magmanın fraksiyonel kristalleşme süreci ile açıklamak mümkündür. Skarn zonlarından alınan örneklerde CaO bileşimindeki artış karbonatlı kayalarla etkileşime, MgO ve MnO bileşimindeki artış ise kontak metasomatizma varlığına işaret etmektedir.

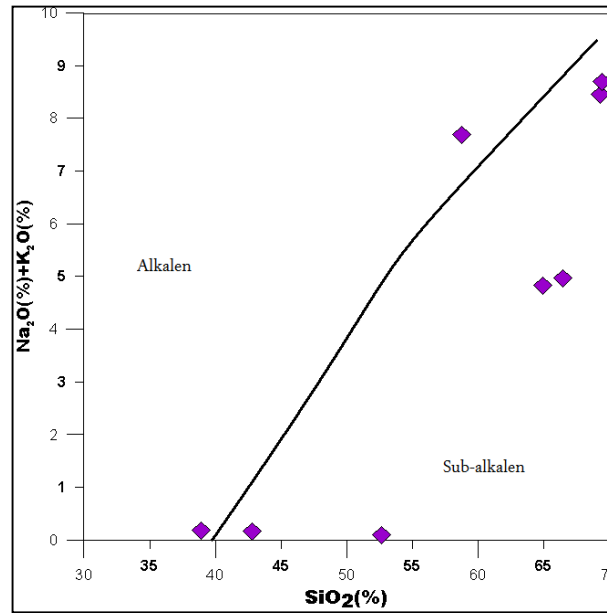
İyonik potansiyel, minerallerin H<sub>2</sub>O içeriği, ortamdaki CO<sub>2</sub> varlığı gibi faktörler major oksitlerin davranışları üzerinde önemli rol oynar. Ca iyonik potansiyeli düşük

bir element olduğu için serbest olarak çözülebilir ve çözelti içinde taşınabilirken iyonik potansiyeli düşük olan Al ve geçiş elementi olan Fe daha zor çözüldüğünden mineral yüzeylerine tutunarak nispeten daha hareketsiz davranmaktadır (Orhan, 2008).

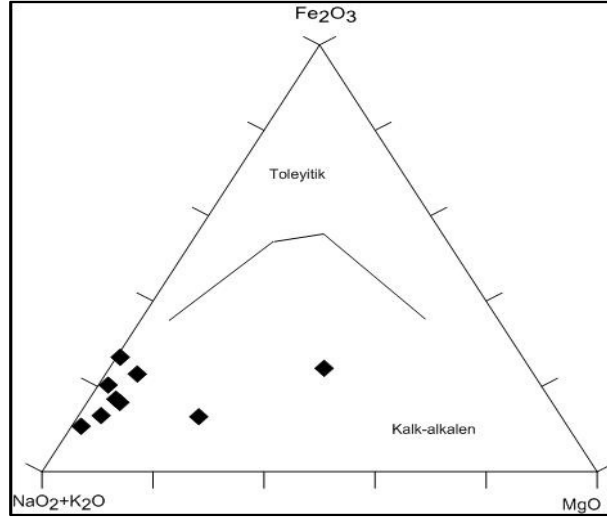
CO<sub>2</sub>'in sistemde H<sub>2</sub>O ile birlikte bulunması, CO<sub>2</sub> çözünürlüğünü pozitif olarak etkilemektedir. Ağırlıkça yaklaşık %5 CO<sub>2</sub> içeren çözelti magmada element çözünürlüklerinin Si>Al>>K>Na>>Ca sırasıyla gerçekleştiği görülmektedir (Burnham, 1967). Si ve Al çözünürlüklerinin magma çözeltisindeki CO<sub>2</sub> konsantrasyonu ile yakından ilişkili olduğunu söylemek mümkündür. Kuşcu (2001)'e göre Si, Al, K, Na, Ca elementlerin skarn zonları ve plüton içindeki bulunurlukları doğrudan magmanın CO<sub>2</sub> konsantrasyonu ile ilişkilidir.

Bir elementin herhangi bir hidrotermal akışkan içinde taşınma mesafesi, o elementin akışkan içindeki çözünme miktarı ile yakından ilişkilidir; yüksek çözünürlüklere sahip olan Si ve Al gibi elementler, akışkan içerisinde devamlı çözünme eğiliminde olduğu için çözeltide kalarak daha uzak zonlara kadar taşınabilmektedirler (Orhan, 2008).

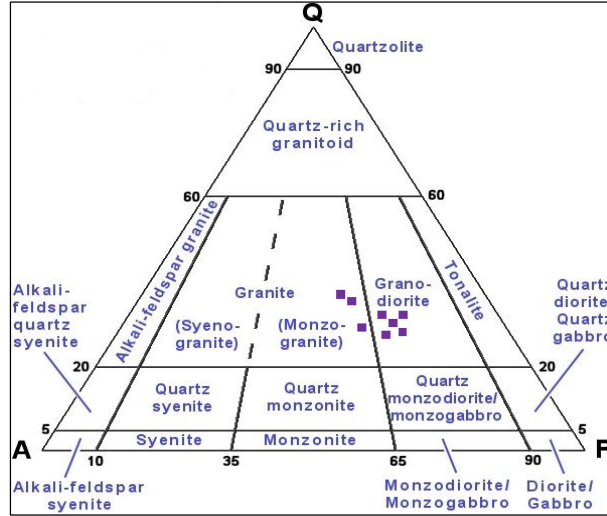
Çataldağ Graniti TAS diyagramında sub-alkalen, AFM diyagramında kalk-alkalen ve QAP diyagramında monzogranit-granodiyorit alanlarına düşmektedir (Şekil 5.2; Şekil 5.3; Şekil 5.4).



Şekil 5.2 : Çataldağ Graniti'nin TAS diyagramına göre sınıflandırılması.

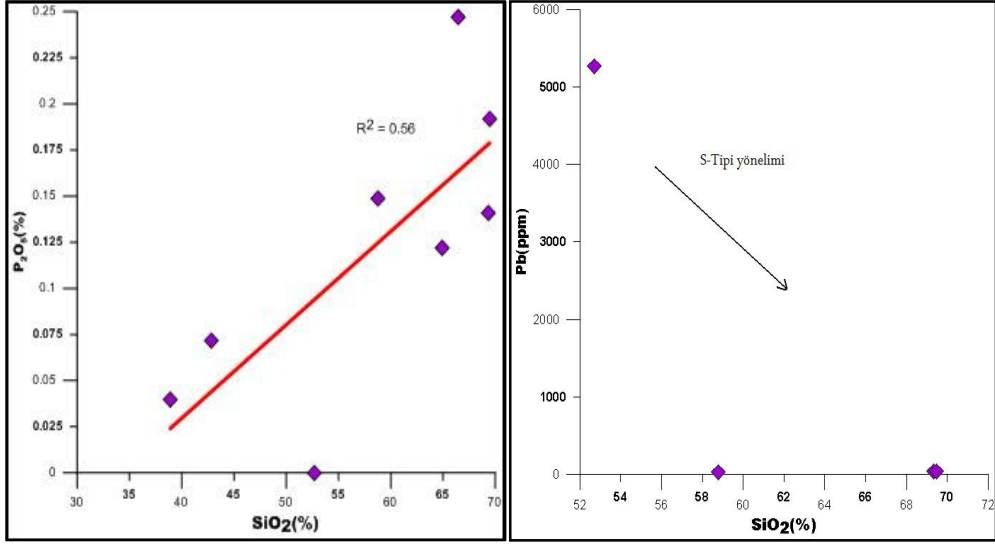


Şekil 5.3 : Çataldağ Graniti'nin magma karakteristiğine göre sınıflaması.



Şekil 5.4 : Çataldağ Graniti QAP (Streckeisen, 1976) sınıflaması.

Çataldağ Graniti mafik mineral kimyasına göre yapılan sınıflamada I-S tipi ayrım çizgisine yakın ve peralümino alanına düşmektedir (Erdağ, 1976; Akyüz, 1995; Orhan, 2008). Granitoidlerde I-tipi ve S-tipi ayrımının yapılmasında  $\text{SiO}_2$ 'e karşı  $\text{P}_2\text{O}_5$  ve Pb'nin davranışları önemli kriterlerdir (Chappel ve White, 1992). I-tipi granitoidlerde  $\text{SiO}_2$ 'in artışı ile  $\text{P}_2\text{O}_5$ 'de azalma, Pb'de ise artış gözlenirken S-tipi granitoidlerde azalan bir davranış görülmektedir. Farklı davranışların bir arada görüldüğü granitlerde alüminyum/alkali oranındaki artışın ayrımlaşma indeksi (DI) ve hidrotermal alterasyonlara bağlı olduğu ileri sürülmüştür (Newberry ve Swanson, 1986; Orhan, 2008).

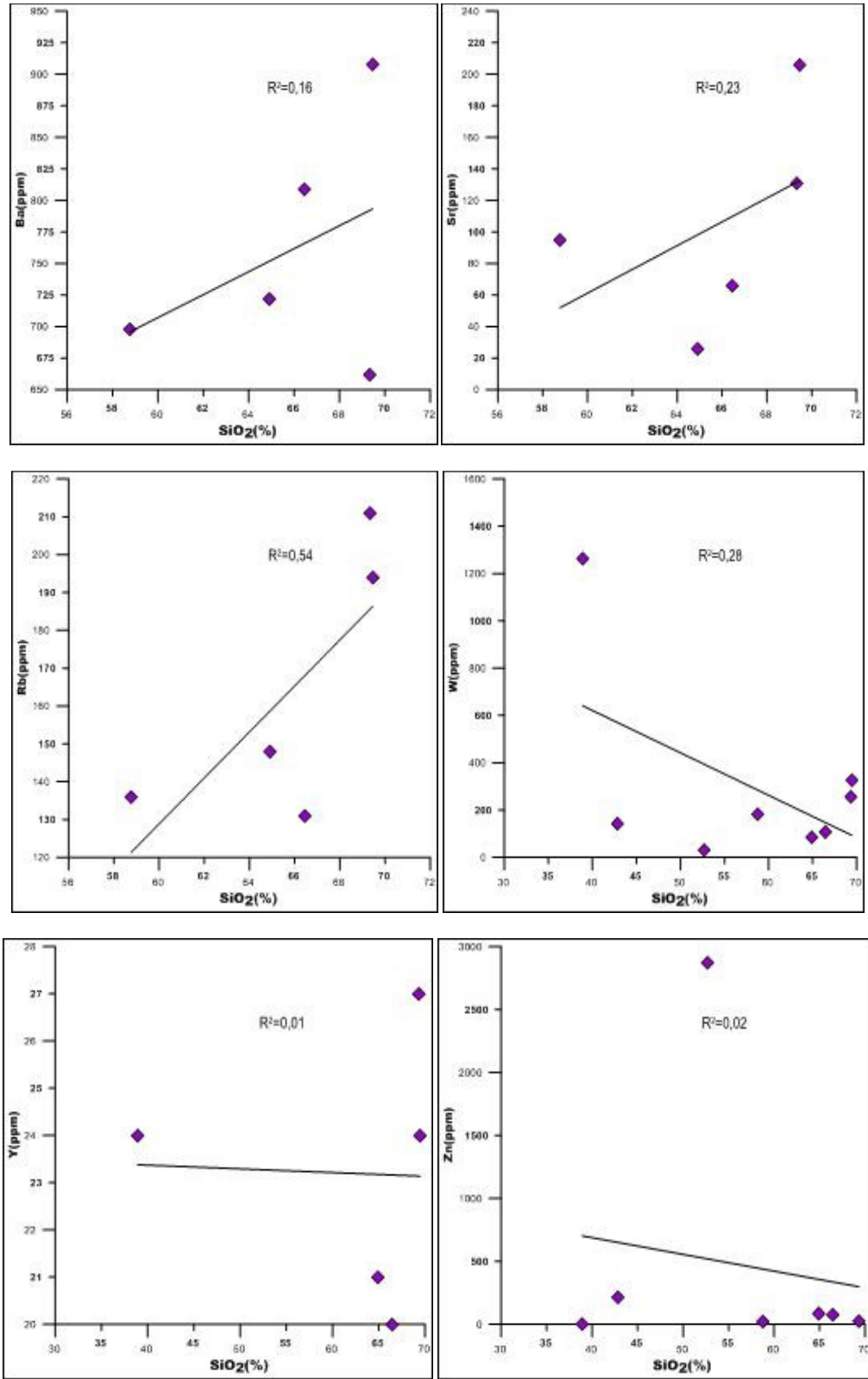


**Şekil 5.5 :** Çataldağ Graniti'nin  $\text{SiO}_2$ 'ye karşılık  $\text{P}_2\text{O}_5$  ve Pb grafikleri (Chappel ve White, 1992).

$\text{SiO}_2$ 'ye karşı oluşturulan  $\text{P}_2\text{O}_5$  ve Pb diyagramlarında S-tipi yönelimin baskın olduğu görülmektedir. Alüminyum/alkali oranındaki artış fraksiyonel kristalleşmenin yanı sıra hidrotermal alterasyonların varlığını da işaret etmektedir. Skarn zonlarına yakın bölgelerden alınan örneklerin alüminyum/alkali oranındaki değişiklikler hidrotermal alterasyonların etkili olduğunu destekler niteliktedir.

### 5.2.2 İz elementler

İz elementler major oksitler ile birlikte fraksiyonel kristallenme süreci ve sürece etki eden koşulları belirlemek için kullanılmaktadır. İz elementler major oksitlerinden farklı olarak kayacı oluşturan ana mineraller ile birlikte aksesuar minerallerin de bünyesine katılırlar. Nb, Zr, Y, Th ve Hf gibi iz elementlerin konsantrasyonu magmatik farklılaşmanın erken evrelerinde düşük iken, son evrelerine doğru giderek zenginleşir ve belirli bir seviyeye ulaştığında aksesuar minerallerinin yapısına katılırlar. Bir ağır toprak elementi gibi davranan Y granat, piroksen ve amfibolün bünyesine katılır ancak fraksiyonlanma nedeniyle kristallenmenin son evresinde bolluğu azalır. Magmatik farklılaşmaya bağlı olarak oluşan silikanın artışıyla birlikte Rb artan, Ba ve Sr ise azalan bir trend sergilerler. Ayrıca Na ve Th'un iyonik yarıçapları birbirine çok yakın olduğundan benzer davranışlar sergilemektedirler. Çataldağ Graniti'ne ait iz element Harker değişim diyagramları **Şekil 5.6**'daki gibidir.



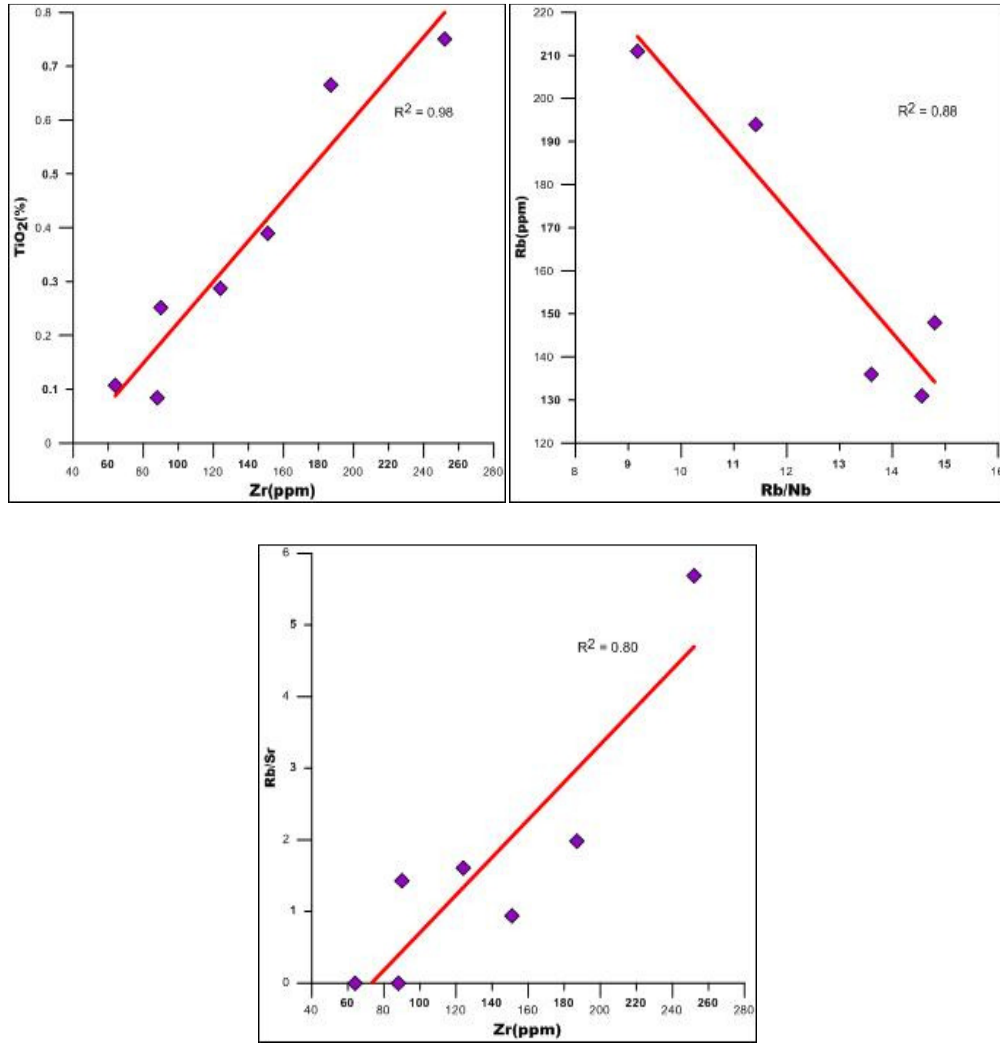
Şekil 5.6 : Çataldağ Graniti'ne ait iz element Harker değişim diyagramları.

Çataldağ Graniti'ne ait iz elementler Harker diyagramları incelendiğinde major oksitler gibi iz elementlerin de skarn zonlarına doğru farklı davrandıkları tespit edilmiştir. Örneklerde  $\text{SiO}_2$  değerindeki artışla W, Zn ve Nb'nin azaldığı gözlenirken; Y, S ve Ni'de ise düzenli bir ilişki gözlenmez. Bununla birlikte Ba, Sr ve Rb,  $\text{SiO}_2$  değerindeki artışla birlikte pozitif bir trend izlenmektedir.

Fraksiyonel kristalleşme sırasında K-feldspat, hornblend, biyotit gibi mineraller geç evrelerde kristalleştiğinden bu minerallerin bünyesine giren Ba, Sr ve Rb gibi elementler  $\text{SiO}_2$  ile artan bir yönelim gösterir. Sr elementi Ca gibi davranarak, Ca'ca zengin plajiyoklazların yapsına katılırken, Ba ve Rb elementleri benzer davranışlar sergiler. Ancak Ba ve Rb' un yüksek sıcaklık feldspatlarında daha fazla bulunmasından dolayı eş kökenli bir magmanın ayrımlaşması esnasında yüksek sıcaklık feldspatlarından daha düşük sıcaklık içerenlere doğru, yani silika içeriğinin azaldığı yöne doğru azalma eğilimindedirler (Orhan, 2008). Bu durumda eş kökenli magmatik farklılaşmanın ilk aşamalarında oluşan kayaçlarda  $\text{SiO}_2$  ile artan, son aşamalarında oluşan kayaçlarda ise azalan bir trend gösterirler.

Granitlerin fraksiyonlanma derecesi skarn mineralizasyon türünü tespit etmek açısından önemli bir yol göstericidir. Örneğin Fe-tipi skarnlarda Sc içeriğinin yüksek Rb içeriğinin düşük olduğu gözlenirken, Au, Cu, Zn, W, Mo ve Sn tipi skarnlara doğru Sc içeriğinin azaldığı Rb'un ise arttığı belirlenmiştir (Meinert ve diğ, 2005). V'un manyetit ve ilmenitin gibi minerallerin, Ni ise sadece bazik bileşimli olivinlerin yapısına girmeleri nedeniyle magmatik ayrımlaşma ile birlikte Sc gibi azalan eğilim göstermektedirler. Skarn tipi pluton ilişkisi göze alındığında V ve Ni konsantrasyonlarının Fe-tipi skarnlardan itibaren Au, Cu, Zn ve W skarnlara doğru azaldığı görülmektedir (Meinert ve diğ, 2005). Skarnlarla ilişkili plutonların Rb içerikleri oldukça yüksek olup, farklı magmaların karışımıyla özellikle de kıta kabuğu tarafından kirletilmiş magmalardan oluşmaktadır (Meinert ve diğ, 2005).

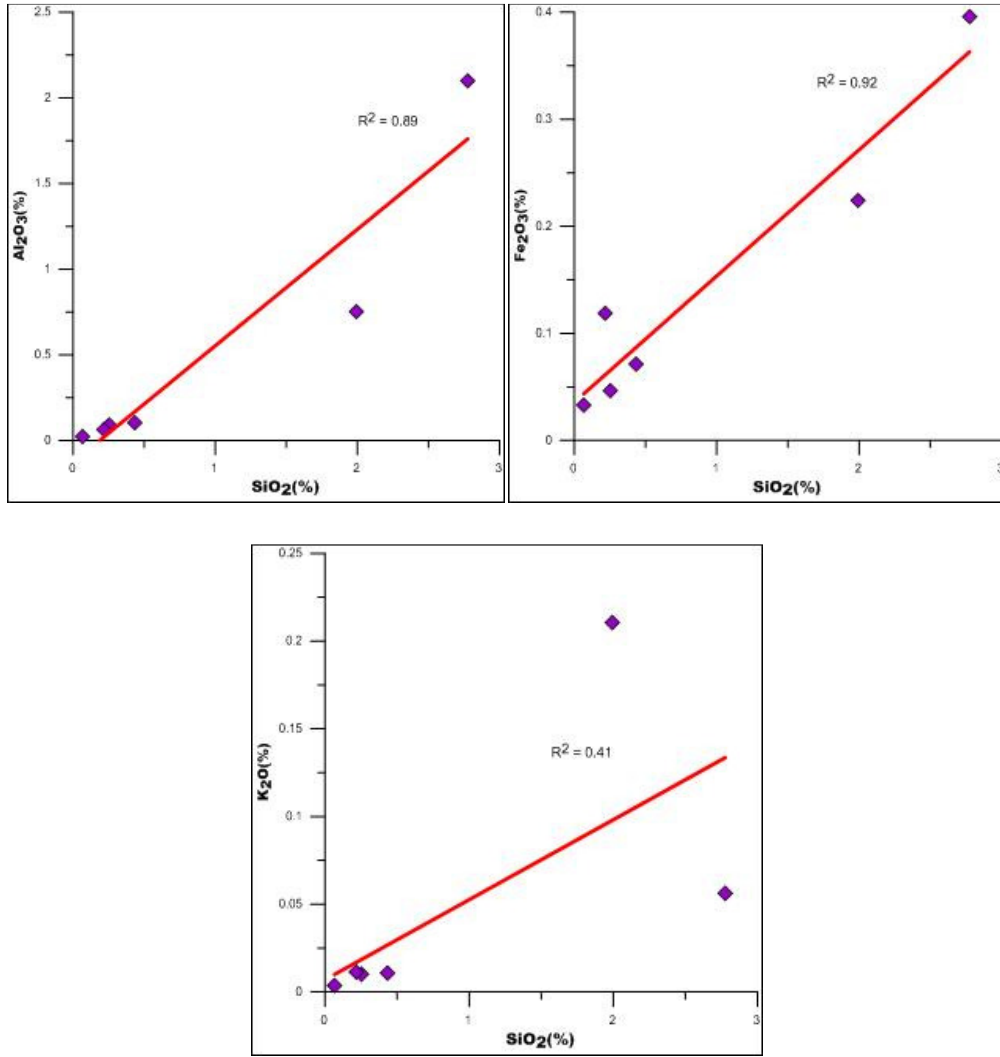
Çataldağ Graniti'ne ait yüksek Rb ile düşük V ve Ni içerikleri plütunun magmatik farklılaşmanın geç evrelerinde oluştuğunu göstermektedir (Orhan, 2008). Bununla birlikte Çataldağ Graniti'ne ait  $\text{TiO}_2$ -Zr, Rb-Rb/Nb ve Rb/Sr-Zr değişim diyagramları Meinert (1995), pluton-skarn tipi kıyaslamasına göre incelendiğinde;  $\text{TiO}_2$ -Zr değişim diyagramı Fe-tipi, Rb-Rb/Nb değişim diyagramı tüm skarn oluşumları, Rb/Sr-Zr değişim diyagramı ise Fe-Cu-Zn tipi skarn oluşumları ile uyumluluk göstermektedir (**Şekil 5.7**).



**Şekil 5.7 :** Çataldağ Graniti TiO<sub>2</sub>-Zr, Rb-Rb/Nb ve Rb/Sr-Zr değişim diyagramları.

### 5.3 Kayacıklar Kireçtaşı'nın Jeokimyası

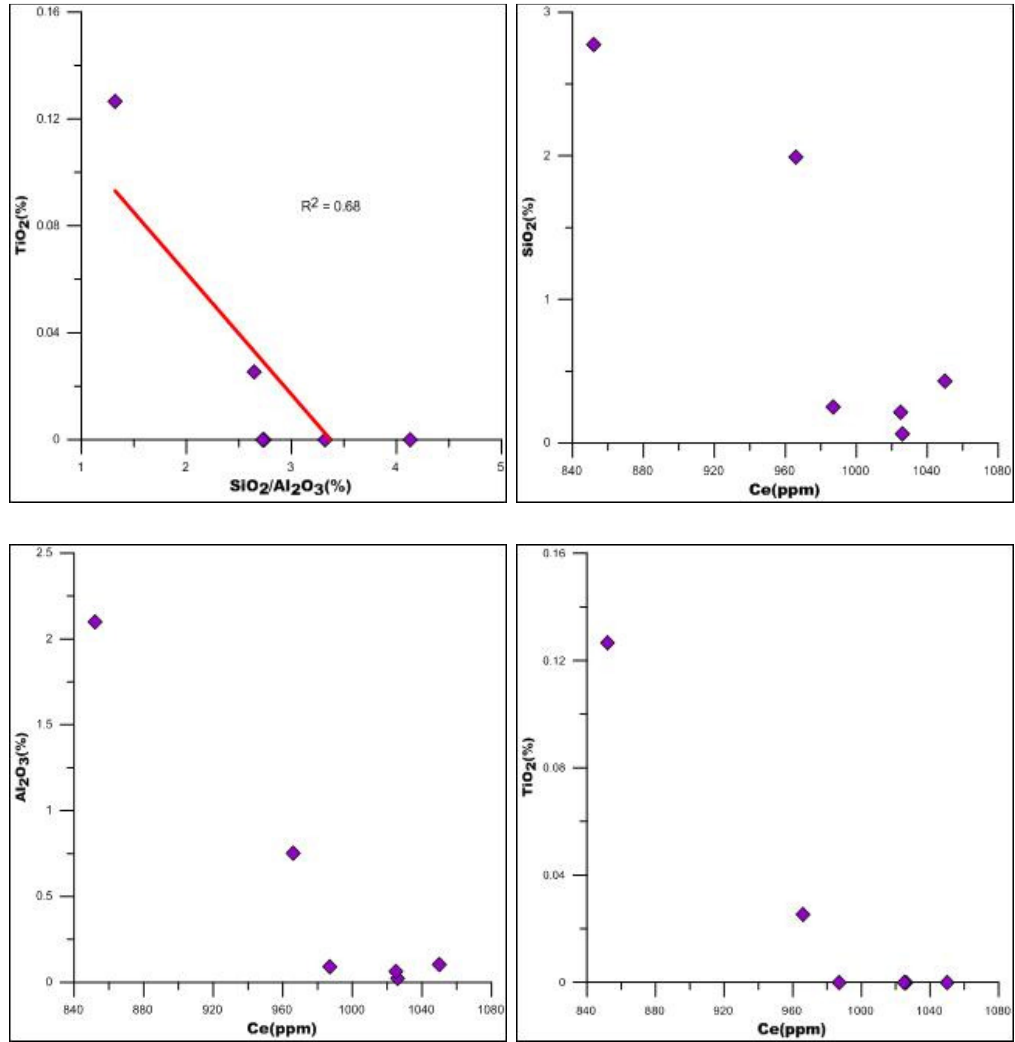
Kayacıklar Kireçtaşları ve mermerlerinden alınan örneklerde SiO<sub>2</sub> içeriğinin % 0.07-2,78 arasında değiştiği görülmektedir. Manastır Tepe skarn zonundan alınan 246 SM örneği %0.13 TiO<sub>2</sub> içeriği ile dikkat çekmektedir. Örneklerin major oksit-SiO<sub>2</sub> değişimleri diyagramlarında incelendiğinde SiO<sub>2</sub> artışı ile Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve K<sub>2</sub>O konsantrasyonlarının arttığı gözlenmektedir (**Şekil 5.8**). CaO konsantrasyonunun %52,5-56.24 arasında değiştiği kireçtaşlarında P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Na<sub>2</sub>O ve Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içerikleri oldukça düşüktür. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> diyagramındaki pozitif trend kireçtaşındaki silikanın ayrışmaya bağlı ikincil kökenli olduğunu göstermektedir (Slack ve diğ, 2004). Yüksek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> oranı ayrıca pasif iz element zenginleşmesinin hidrotermal aktivitelerden kaynaklandığının göstergesidir.



**Şekil 5.8 :** Kayacıklar Kireçtaşları'na ait major oksit-SiO<sub>2</sub> değişim diyagramları.

Bunula birlikte özellikle iki örnekte görülen Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> konsantrasyonundaki artış Fe zenginleşmesinin hidrotermal akışkanlar ile gerçekleştiğine işaret etmektedir.

TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, La, Ce ve Nd değişim diyagramları kayaç içindeki en düşük mobiliteye sahip elementleri saptamak ve sisteme eklenen veya sistemden atılan bileşenleri göstermek için kullanılır. Lantanidler düşük mobiliteye sahip olmaları ve eş dağılım göstermeleri nedeniyle sedimanter kayaçların kökeninin saptanmasında önemli rol oynarlar (Zhang ve diğ, 2001). Kayacıklar Kireçtaşlarına ait TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>-Ce, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ce ve TiO<sub>2</sub>-Ce değişim diyagramları (Şekil 5.9) net bir ilişki sergilememekle birlikte karbonat çözülümünün Al ve Ce mobilitesine etki edebilecek sıcaklıklarda gerçekleşmediğini göstermektedir (Leitch ve Lentz, 1994).



**Şekil 5.9 :** Kayacıklar Kireçtaşları'na ait  $TiO_2$ - $SiO_2/Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ -Ce,  $Al_2O_3$ - Ce ve  $TiO_2$ -Ce değişim diyagramları.

#### 5.4 Cevherleşmeye ait Jeokimyasal Veriler

İnceleme alanında Manastır Tepe civarındaki skarn zonundan alınan cevher örnekleri %4,52-8,22  $SiO_2$ , %41,04-80,29  $Fe_2O_3$  içeriğine sahiptir. Örnekler 1042-2551 ppm arasında değişen kuvvetli Cu anomalisi sergilemektedir. 259 A örneği 1042 ppm Cu, 8840 ppm S ve 1917 ppm Zn anomalisi ile dikkat çekmektedir. Cevher numunelerindeki diğer anomaliler Co (254 ppm) ve W (586 ppm) olarak tespit edilmiştir.

Manastır Tepe skarn zonundaki kayalardan alınan örnekler Fe-Cu dışında Mo, Ni, Sn, Zn, Zr, Rb, Pb, W ve Ag gibi zenginleşmeler sergilemektedir. Kontak zonundan

alınan granitik 258 B örneği 101 ppm Ag, 5266 ppm Pb, 2874 ppm Zn, 258 B2 örneği 413 ppm Cu, 53 ppm Mo ve 258 NH örneği 22 ppm Mo, 290 ppm Sn ile 1264 ppm W içeriğine sahiptir.

İnceleme alanı içerisinde Çataldağ Granit'ine ait 240 numaralı örnekte 211 ppm Rb, 241 numaralı örnekte 252 ppm Zr, 252 numaralı örnekte 194 ppm Rb, 16 ppm Th, 327 ppm W içeriği saptanmıştır. Kayacıklar Kireçtaşı ve mermerlerini temsilen alınan 223 A örneğinde 3333 ppm Ni varlığı dikkat çekmektedir. İnceleme alanındaki metamorfitlerde 232 numaralı örnekte 233 ppm W, 246 SM numaralı örnekte 336 ppm Sn, 246 SF numaralı örnekte 297 ppm Rb, 291 numaralı örnekte 205 ppm Zr varlığı dikkat çekmektedir.

## 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Balıkesir-Dursunbey bölgesinin doğusunda yer alan Tersiyer yaşlı Çataldağ Graniti sokulumu sonucunda çevre kayalarda kontakt metamorfizmaya neden olmuştur. Manastır Tepe'nin kuzeybatı ve güneydoğusunda karbonatlı kayalar içerisinde gelişen Fe, Cu cevherleşmeleri kontak metasomatik niteliktedir. Skarn olarak nitelendirilen bu oluşum metasomatik akışkanların evrimi ve jeokimyasal özelliklerini belirlemeye yönelik mineraloji ve petrografi incelemeleri, major ve iz element analizleri yapılarak şu sonuçlara ulaşılmıştır.

Çataldağ Graniti monzogranit-granodiyorit bileşimli, subalkalen ve kalk-alkalen karakterli I-S tipi bir plütondur. I-S tipi ayrımının net olarak yapılamadığı bu plütonda, skarn zonlarına yakın bölgelerden alınan örneklerin alüminyum ve alkali oranlarında artış gözlenmesi fraksiyonel ayrımlaşma ile birlikte hidrotermal alterasyonların da etkin olduğunu göstermektedir.

Manastır Tepe skarn cevherleşmeleri düzensiz oluşumlar şeklinde olup granit ile mermer veya granit ile skarn mineralleri arasındaki dokanak geçişleri keskindir. Skarnlar; granit içerisinde, granit ile mermer arasında ve mermer içerisinde düzenli zonlanmalar/bantlaşmalar ve yer yer genişliği birkaç metreyi bulan düzensiz damarlar şeklinde oluşmuştur. Skarn zonundaki birincil mineral manyetittir. Ancak yüzeye doğru yoğun alterasyon nedeniyle hematitleşme görülmektedir.

Çataldağ Graniti'ne ait örneklerin cevher mikroskopisi incelemelerinde metalik fazların <%1 civarında olduğu ve başlıca magnetit, hematit, limonit ve götitten oluştuğu tespit edilmiştir. Gang olarak pirit, kalkopirit ve zirkona rastlanmıştır. Martitleşmeye uğrayan magnetitler, yaygın magnetit-hematit dönüşümü ve limonitleşme birimdeki alterasyonun önemli göstergeleridir. Bununla birlikte Çataldağ Graniti'ne ait numunelerde Cu minerallerine rastlanmamıştır.

Çataldağ Graniti'ne ait örneklerin major oksit değişimleri Harker diyagramlarında incelendiğinde  $\text{SiO}_2$  artışı ile  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  ve  $\text{MnO}$  konsantrasyonlarının azaldığı,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Ti}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  konsantrasyonlarının arttığı gözlenir. Azalan

korelasyonları magmanın fraksiyonel kristalleşme süreci ile açıklamak mümkündür. Skarn zonlarından alınan örneklerde CaO bileşimindeki artış karbonatlı kayalarla etkileşime, MgO ve MnO bileşimindeki artış ise kontak metasomatizma varlığına işaret etmektedir.

TiO<sub>2</sub>-Zr değişim diyagramı Fe-tipi, Rb-Rb/Nb değişim diyagramı tüm skarn oluşumları, Rb/Sr-Zr değişim diyagramı ise Fe-Cu-Zn tipi skarn oluşumlarına işaret etmektedir.

Kayacıklar Kireçtaşlarına ait TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>-Ce, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ce ve TiO<sub>2</sub>-Ce değişim diyagramları net bir ilişki sergilememekle birlikte karbonat çözülümünün Al ve Ce mobilitesine etki edebilecek sıcaklıklarda gerçekleşmediğini göstermektedir.

Manastır Tepe civarındaki skarn zonu alınan cevher örnekleri %4,52-8,22 SiO<sub>2</sub>, %41,04-80,29 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriğine sahiptir. Örnekler 1042-2551 ppm arasında değişen kuvvetli Cu anomalisi sergilemektedir. 259 A örneği 8840 ppm S ve 1917 ppm Zn anomalisi ile dikkat çekmektedir. Cevher numunelerindeki diğer anomaliler Co (254 ppm) ve W (586 ppm) olarak tespit edilmiştir. Skarn zonu contağında Fe-Cu dışında tespit edilen Mo, Ni, Sn, Zn, Zr, Rb, Pb, W ve Ag gibi zenginleşmeler önem taşımaktadır.

## KAYNAKLAR

- Akat, U., Çağlayan, A. ve İvak, M.** (1978). Dursunbey-Orhaneli Susurluk-Kepsut arasındaki bölgenin jeolojisi, *MTA Raporu Der. no: 6618*, (yayımlanmamış).
- Akdeniz, N. ve Konak N.** (1979). Simav-Emet-Tavşanlı-Dursunbey-Demirci Yörelerinin Jeolojisi, *MTA. Rapor No: 6547* Ankara.
- Akyüz, S.** (1995). *Manyas-Susurluk-Kepsut (Balıkesir) Civarının jeolojisi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 239 s. (yayımlanmamış).
- Akyüz, S. ve Okay, A.** (1998). Manyas Güneyinin (Balıkesir) Jeolojisi ve Mavişistlerin Tektonik Konumu, *MTA Dergisi*, **120**, 105-120.
- Alderton, D. H. M., Pearce, J. A. and Potts, P. J.** (1980). Rare earth element mobility during granite alteration: Evidence from southwest England, *Earth Planet. Sci. Lett.*, **49**, 149-165.
- Aldanmaz, E., Pearce, J. A., Thirlwall, M. F. and Mitchell, J. G.** (2000). Petrogenetic evolution of the late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **102**, 67-95.
- Alpan, T.** (1994). Balıkesir-Balya-Kepsut-Dursunbey Civarı İ19, İ20, İ21 Paftaları Genel Jeokimya ve Ağır Mineral Çalışmaları, *MTA Rap. no: 9928*, 48 s. (yayımlanmamış).
- Altınlı, İ. B.** (1973). Orta Sakarya Jeolojisi: *Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi*, 159- 191.
- Altunkaynak, Ş. and Yılmaz, Y.** (1998). The Mount Kozak magmatic kompleks, Western Anatolia, *Journal of Geothermal Research*, **85**, 211-231.
- Altunkaynak, Ş., Dilek, Y., Genç, C. Ş., Sunal, G., Gertisser, R., Furnes, H., Foland K. A., Yang, J.** (2012). Spatial, temporal and geochemical evolution of Oligo–Miocene granitoid magmatism in western Anatolia, Turkey, *Gondwana Res.* (2012), doi:10.1016/j.gr.2011.10.010.
- Altunbey, M. and Sağiroğlu, A.** (2003). Skarn-Type Ilmenite Mineralization of the Tuzbai–Tunceli region, eastern Turkey, *Journal of Asian Earth Sciences*, **21**, 5, 481-488.
- Angelier, J., Dumont, J. F., Karamandereci, H., Poisson, A., Simsek, S. and Uysal, S.** (1981). Analysis of Fault Mechanisms and Expansion of Southwestern Anatolia since the Late Miocene, *Tectonophysics*, **75**: T1-T9.
- Arık, F.** (1995). *Serçeören-Örenli-Kansız (Kepsut-Balıkesir) yöresi vollastonit ve talk yatakları*, Yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 107 s. (yayımlanmamış).

- Ataman, G.** (1973). Gürgenyayla (Domanıç) granodiyoritik kütlelerinin radyometrik yaşı. *TJK Bült.*, **16**, 22-26.
- Atılğan, İ.** (1977). Balıkesir İli Dursunbey İlçesi Kulat Çiftliği Mevkii Pb-Zn-Cu Etüdü, MTA Rapor No: 6197, Ankara.
- Aysal, N., Öngen, S. ve Hanilçi, N.** (2006). Karadoru Granitoid Plütunu Yan Kayaçlarının Petrografisi ve Skarn Zonunun Özellikleri, Yenice-Çanakkale, *İÜ. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, **19**, **2**, 183-194.
- Barka, A. A. and Hancock, P. L.** (1984). Neotectonic deformation patterns in the convexnorthwards arc of the North Anatolian Fault Zone, J.E. Dixon, A.H.F Robertson (Eds.), The geological evolution of the Eastern Mediterranean, *Geological Society Special Publication* no. **17**, 763-774.
- Barton, M. D., Ilchik, R. P. and Marikos, M. A.** (1991). Metasomatizm, In Contact Metamorphism, *D.M. Kerrick (Ed.), Rev. Mineral*, **26**, 312-350.
- Baş, H.** (1987). Tavşanlı-Domanıç (Kütahya) volkanitlerinin özellikleri ve Batı Anadolu Senozoik Volkanizmasındaki Önemi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, **C. 30**, 67-80.
- Baybutoğlu B., Cengiz İ., Yıldırım, S., Yıldız, H., ve Çakır, C.** (2003). Dereharmanı (Dursunbey-Balıkesir) Altın Cevherleşmesinin Jeolojisi. *56. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, s.124, Ankara.
- Bingöl, E., Akyürek, B., Korkmazer, B.** (1973). Biga Yarımadasının Jeolojisi ve Karakaya formasyonunun bazı özellikleri, *Cumhuriyetin 50. yılı yerbilimleri kongresi*, MTA, 70-76.
- Bingöl, E.** (1976). Batı Anadolu'nun Jeotektonik Evrimi, *MTA Dergisi*, **86**, 14-34.
- Bingöl, E., Delaloye, M., Ataman, G.** (1982). Granitic intrusion in western Anatolia: a contribution to the geodynamic study of this area. *Eclogae geol. Helv*, **75**, **2**, 437-446.
- Blevin, P. L., Chappel, B. W.** (1995). Chemistry, Origin and Evolution of Mineralized Granites in the Lachlan Fold Belt, Australia: The Metallogeny of I- and S-Type Granites, *Economic Geology*, **90**, 1604-1619.
- Bozkurt, E.** (2001). Neotectonics of Turkey-a synthesis, *Geodinamica Acta*, **14**, 3-30.
- Boztuğ, D., Harlavan, Y., Can, İ., Sarı, R., Yılmaz, S. Y. ve Altunkaynak, Ş.** (2006). Kuzeybatı Anadolu'da Neo-Tetis çarpışma zonu boyunca litosferik dilim kopmasından türemiş Ilıca, Çataldağ (Balıkesir) ve Kozak (İzmir) Granitoidlerinin jeokimyası ve K-Ar soğuma yaşları, *59. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, **34**.
- Boztuğ, D., Harlavan Y., Jonckheere Can İ., Sarı R.** (2008). "Geochemistry and K-Ar cooling ages of the Ilıca, Çataldağ (Balıkesir) and Kozak (İzmir) granitoids, west Anatolia, Turkey", *Geological Journal*, **44**, **1**, ss. 79-103.

- Burnham, C. W.** (1959). Contact metamorphism of magnesian limestones at Crestmore, California. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **70**: 879-920.
- Burnham, C. W.** (1967). Hydrothermal fluids. *H.L. Barnes (ed), Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits 1st ed. John Wiley & Sons, NewYork.*
- Burt, D. M.** (1972). *Mineralogy and Geochemistry of Ca-Fe-Si Skarn Deposits*, Ph.D. thesis, Harvard University, 256 p. (unpublished).
- Burt, D. M.** (1982). Skarn deposits-historical bibliography through 1970, *Econ. Geol.*, **77**, 755-763.
- Bürküt, Y.** (1966). Kuzeybatı Anadolu'da yer alan plütonların mukayeseli jenetik etüdü: Doktora tezi, *İTÜ Maden Maden Fak.*, İstanbul, 272 s.
- Cengiz, İ., Bayburtoğlu, B., Çakır, C., Yıldız, H. ve Yıldırım, S.** (2001). Dereharmanı (Dursunbey-Balıkesir) Altın Cevherleşmesi Jeoloji ve Jeokimya Raporu, *MTA Genel Müd.*, Rap. No: 10529, 62 s. (yayımlanmamış).
- Chappell, B. W., White, A. J. R.** (1992). I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. *Trans. R. Soc Edinb. Earth Sci.* **83**, 1-26.
- Clarke, D. B.** (1992). Granitoid rocks, *Chapman and Hall*, 283 p.
- Clechenko, C. C. and Valley, J. W.** (2003). Oscillatory zoning in garnet from the Willsboro Wollastonite Skarn, Adirondacks Mts, New York: a record of shallow hydrothermal processes preserved in granulite facies terrane, *J. metamorphic Geol.*, **21**, 771-784.
- Collins, B. I.** (1977). Formation of scheelite-bearing and scheelite-barren skarns of Lost Creek, Pioneer Mountains, Montana, *Econ. Geol.*, **72**, 1505-1523.
- Çakır, A. ve Genç, H.** (1983). Balıkesir-Susurluk-Yaylaçayır Köyü, Bursa-Mustafakemalpaşa İlçesi Paşalar Köyü-Bıçkıdere-Farafat Alanındaki Wollastonit Maden Etüd Raporu, *MTA Rap.* No: 7299, 11 s. (yayımlanmamış).
- Çakır, A. ve Temiz, C.** (1989). Balıkesir-Kepsut-Örenli-Serçeören-Örencik-Soğucak- Yaylabaşı Civarının Jeoloji Etüdü ve Talk Prospeksiyon Raporu, *MTA Rap.* No: **8881**, 25 s. (yayımlanmamış).
- Çalık A. ve Öngen S.** (2000). Keban Skarn Oluşumu, KD Elazığ Bölgesi, *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, **13**, 12, 1-14.
- Çetinkaplan, M., Candan, O., Oberhänsli, R., Bousquet, R.** (2008). Pressure–temperature evolution of lawsonite eclogite in Sivrihisar; Tavşanlı Zone–Turkey. *Lithos*.
- Çoğulu, E.** (1965). Remarques sur les schistes à glaucophane et lawsonite de la region de Mihaliççık (Turquie). *Arch. d. Sciences. Soc. Phys. Hist. Nat. Genève*, **18**, 126-31.
- Çoğulu, E.** (1967). Etüde petrographique de la region de Mihaliççık: (Turquie), *Schweiz Mineral Petrogr. Mit.*, **47**, 683-824.

- Çoğulu, E. and Krummenacher, D.** (1967). Problèmes géochronométriques dans le partie NW de l'Anatolie Centrale (Turquie). *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mittl.*, **47**, 825-831.
- Davis, P. B. and Whitney, D. L.** (2006). Petrogenesis of lawsonite and epidote eclogites and blueschist, Sivrihisar Massif, Turkey. *Journal of Metamorphic Geology*, **24**, 823-849.
- Debon, F. and Le Fort, P.** (1983). A chemicalmineralogical classification of common plutonic rocks and associations. Trans. Royal Society of Edinburg, *Earth Sciences*, **73**, 135-149.
- Dericioğlu, H.** (1972). Balıkesir-Kepsut-Örenli-Sarıkaya Mevkii Jeolojik ve Maden Yatakları Etüdü, *MTA Rap. No: 4978*, 9 s. (yayımlanmamış).
- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Saroglu and F., Şengör, A. M. C.** (1986). Shortening of continental lithosphere: The neotectonics of Eastern Anatolia-a young collision zone, *M.P. Coward, A.C Ries (Eds.), Collision zone tectonics, Geology Society of London Special Publication*, **19**, 3-36.
- Dilek, Y. and Altunkaynak, Ş.** (2007). Cenozoic Crustal Evolution and Mantle Dynamics of Post-Collisional Magmatism in Western Anatolia, *International Geology Review*, **49**, 431-453.
- Dikmen H. ve Işık.** (1978). Balıkesir-Dursunbey Alaçam, Kulat Çiftliği ve Civarı ile Kütahya Dağardı, Ortaca köyü Civarında Jeokimya Çalışmaları, *M.T.A. Rapor No: 6937*, Ankara.
- Einaudi, M. T., Meinert, L. D. and Newberry, R. J.** (1981). Skarn Deposits, *Economic Geology*, **75**, 317-391.
- Einaudi, M. T.** (1982). Descriptions of skarn associated with porphyry copper plütons, southwestern North America, in *S.R., Titley, (ed.), Advances in geology of the porphyry copper deposists, southwestern North America, Tucson, University of Arizona*, 185-210.
- Einaudi, M. T. and Burt, D. M.** (1982). A Special Issue Devoted to Skarn Deposits, Introduction-Terminology, Classification and Compositionof Skarn Deposits, *Economic Geology*, **77**, **4**, 745-754.
- Erbayar, M. ve Pehlivanoglu, H.** (1995). Susurluk-Gönen Çevresinin Genel Jeokimya Etüdü Raporu, *MTA Rap. No: 9808*, 41 s. (yayımlanmamış).
- Ercan, T., Türkercan, A., Akyürek, B., Günay, E., Çevikbaş, A., Ateş, M., Can, B., Erkan, M. ve Özkirişçi, C.** (1984). Dikili-Bergama-Çandarlı (Batı Anadolu) Yöresinin Jeolojisi ve Magmatik Kayaçların Petrolojisi, *Jeoloji Müh.*, Mayıs, 47- 60.
- Ercan, T., Satır, M., Kreuzer, H., Türkercan, G., Günay, E., Çevikbaş, A., Ateş, M. ve Can, B.** (1985). Batı Anadolu Senozoyik volkanitlerine ait yeni kimyasal, izotopik ve radyometrik verilerin yorumu, *T.J.K. Bülteni*, **28**, 121-136.

- Ercan, T., Günay, E. ve Savaşın, M. Y.** (1987). Batı Anadolu'da Manisa-Balıkesir Arasındaki Tersiyer Yaşlı Yalancı Bazaltların Özellikleri. *Jeolojî Mühendisliği*, s. 30-31, 31.
- Ercan, T., Ergül, E., Akçaören, F., Çetin, A., Granit, S. ve Asutay, J.** (1990). Balıkesir- Bandırma Arasının Jeolojisi, Tersiyer Volkanizmasının Petrolojisi ve Bölgesel Yayılımı, *MTA Dergisi*, **110**, 113-130.
- Ercan, T., Satır, M., Steinitz, G., Dora, A., Sarıfakıoğlu, E., Adis, C., Walter, H.J. ve Yıldırım, T.** (1995). Bigayarımadası ile Gökçeada, Bozcada ve Tavşan Adalarındaki (KB Anadolu) Tersiyer Volkanizmasının Özellikleri, *MTA Dergisi*, **117**, 55-86.
- Ercan, T., Satır, M., Sevin, D., Türkecan, A.** (1996). Batı Anadolu'daki Tersiyer Ve Kuvaterner Yaşlı Volkanik Kayaçlarda Yeni Yapılan Radyometrik Yaş Ölçümlerinin Yorumu, *MTA Dergisi* **119**, 103-112.
- Erdağ, A.** (1976). *Balıkesir-Çataldağ Granodiyoritinin (Güney Alanı) Jeolojî ve Petrolojisi*, Doktora Tezi, İÜ, 94 s. (yayımlanmamış).
- Erdağ, A.** (1980). Balıkesir Çataldağ granodiyoritinin (güney alanı) jeolojisi ve petrolojisi: *İstanbul Univ. Yerbilimleri Fak.Yayl.*, **3**, 72s.
- Erdinç, H.** (1978). Kepsut-Serçeören Köyü (Balıkesir) Çevresinde Yer Alan Vollastonit Zuhurlarının Ön Etüdü, *MTA Rap. No: 6458*, 11 s. (yayımlanmamış).
- Ergül, E., Öztürk, Z., Akçaören, F. ve Gözler, M. Z.** (1980). Balıkesir İli Marmara Denizi Arasının Jeolojisi: *MTA Raporu Derleme No: 6760*, 57 s. (yayımlanmamış).
- Ergül, E., Gözler, Z. ve Akçaören, F.** (1986). 1:100000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeolojî Haritaları Serisi, Balıkesir-F6 Paftası, *MTA Genel Müdürlüğü*, 11 s. (yayımlanmamış).
- Fonteilles, M., Soler, P., Demange, M., Dere, C., Krier-Schellen, A. D., Verkaeren, J., Guy, B., Zham, A.** (1989). The scheelite skarn deposits of Salau (Ariege, French Pyrenees), *Econ. Geol.*, **84**, 1172-1209.
- Frietsch, R., Tuisku, P., Martinsson, O. and Perdahl, J. A.** (1997). Early Proterozoic Cu (Au) and Fe ore deposits associated with regional Na-Cl metasomatism in northern Fennoscandia, *Ore Geol. Rev.*, **12**, 1-34.
- Fytikas, M., Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Peccerillo, A., and Villarli, L.** (1984). Tertiary to Quaternary evolution of volcanism in the Aegean region. In: *Dixon, J.E., Robertson, A.H.F.(Eds), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. Geol. Soc. London, Spec. Publ. London*, pp.687-699.
- Gautier, Y.** (1984). *Déformations et métamorphismes associés à la fermeture téthysienne en Anatolie Centrale (Région de Sivrihisar, Turquie)*. Ph.D. thesis, University Paris-Sud, pp. 236 (unpubl.).

- Gemici, Ü., Tarcan G., Çolk, M. and Helvacı, C.** (2004). Hydrogeochemical and Hydrogeological Investigation of Thermal Waters in The Emet Area (Kütahya, Turkey). *Applied Geochemistry*, **19**, pp. 105-117.
- Genç, Ş. C.** (1998). Evolution of the Bayramic, magmatic complex, Northwestern Anatolia, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **85**, 233–249.
- Genç, Ş. C. ve Altunkaynak, Ş.** (2007). Eybek graniti (Biga yarımadası, KB Anadolu) üzerine: Yeni jeokimya verileri ışığında yeni bir değerlendirme, *H.Ü. Yerbilimleri Dergisi*, **28(2)**, 75-98.
- Güleç, N.** (1991). Crust–mantle interaction in western Turkey: implications from Sr and Nd isotope geochemistry of Tertiary and Quaternary volcanics, *Geol. Mag.*, **23**, 417–435.
- Gültekin, A. H., Örgün, Y., Yavuz, F.** (1998). Tumanpınarı (Balıkesir-Dursunbey) Fe-Mn cevherleşmesinin jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, Cilt **41**, no. 2, 13-30.
- Harris, N. B. W., Kelley, S. P. and Okay, A. I.** (1994). Post-collision magmatism and tectonics in northwest Turkey: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. **117**, p. 241-252.
- Haynes, F. M. and Kesler, S. E.** (1988). Compositions and sources of mineralizing fluids for chimney and manto limestone-replacement ores in Mexico, *Economic Geology*, **83**, 8, 1985-1992.
- Holness, M. B.** (1997). Fluid flow paths and mechanism of fluid infiltration in carbonates during contact metamorphism: the Beinn an Dubhaich aureole, Skye, *J. metamorphic Geol.*, **15**, 59-70.
- Innocenti, F., Kolios, N., Manetti, P., Rita, F. and Villary, L.** (1982). Acid and basic Late Neogene volcanism in central Aegean Sea: its nature and geotectonic significance, *Bull. Volcanol.*, **45**, 87-97.
- Innocenti, F., Agostini, A., Di Vincenzo G., Doglioni C., Manetti P., Savaşçın M. Y., Tonarini S.** (2005). Neogene and Quaternary volcanism in Western anatolia: magma sources and geodynamic evolution, *Marine Geology, Special Issue-Eastern Mediterranean*, **221**, 397– 421.
- Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A.** (1971). A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, **8**, 523-548.
- Ishihara, S.** (1977). The magnetite-series and ilmenite series granitic rocks, *Mining Geol.*, **27**., 293-305.
- Ishihara, S.** (1981). The granitoid series and mineralization , *Econ Geol.*, *75th Anniv.*, 458-484.
- Kaaden, V.D.** (1959). Anadolu'nun kuzeybatı kısmında yer alan metamorfik olaylarla magmatik faaliyetler arasındaki yaş münasebetleri: *Maden Tetkik ve Arama Derg.*, **52**, 31-42, Ankara.
- Kaaden, V. D.** (1966). Türkiye'deki glokofan kayaçlarının önemi ve dağılışı. *M.T.A. Derg.*, no. **67**, s. 36-67, Ankara.

- Kalafatoğlu, A.** (1962). Tavşanlı- Dağardı Arasındaki Bölgenin Jeolojisi ve Serpantin ve Kalkerlerin Yaşı Hakkında Not. MTA. Der. No:58 s. 38-46, 1964. Balıkesir-Kütahya Arasındaki Bölgenin Jeolojisi. *T.J.K. Bülteni*, Cilt 9 s. 47-62.
- Kalafatçioğlu, A.** (1964). Balıkesir Kütahya arasındaki bölgenin jeolojisi: *Türkiye Jeol. Kur. Bült.*, 9, 46-62.
- Karacık, Z. and Yılmaz, Y.** (1998). Geology of the ignimbrites and the associated volcano-plutonic complex of the Ezine area, northwestern Anatolia, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 251-264.
- Kaya, O.** (1981). Preliminary study on the paragenetic relationships in the polymetamorphic blueschist rocks of the Tavşanlı area, West Anatolia. *Aegean Earth Sc.*, 1, 27-43.
- Kayhan, F.** (1978). Balıkesir İli Dursunbey İlçesi Alaçam Dağları Jeolojisi, (1/10000 Ölçekli). *MTA Enstitüsü KB Anadolu Bölge Müd. Balıkesir*, Rapor No: 6456. Ankara.
- Keller, J.** (1983). Potassic lavas in the orogenic volcanism of the Mediterranean area, *J. Volcanol. Geoth. Res.*, 18, 321-335.
- Keith, J. D., Van Middelhaar, W. T., Clark, A. H. and Hodgson, C. J.** (1989). Granitoid textures, compositions and volatile fugacities associated with the formation of tungsten-dominated skarn deposits, *Reviews in Economic Geology*, 4, 235-250.
- Ketin İ.** (1959). Türkiyedeki Mağmatik Faliyet. *T.J.K.* No:1 Cilt 7, s 1- 15.
- Ketin, İ.** (1966). Anadolu'nun tektonik birlikleri, *MTA Dergisi*, 66, 20-34.
- Kuşcu, İ.** (2001). Magmatik ve Hidrotermal Akışkanlar: Geç Evre Magmatik Hidrotermal Süreçler, D. Boztuğ, N. Otlı (Ed.), Magmatik Petrojenez, *Tübitak Lisans Üstü Yaz Okulu*, 495-510.
- Kuşcu, İ., Gençalioglu Kuşcu, G. ve Göncüoğlu, M. C.** (2001). Karamadazı Demir Yatağının Skarn Zonlanması ve Mineralojisi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 44, 3, 1-14.
- Kuşcu, İ., Gençalioglu Kuşcu, G., Meinert, L. D. and Floyd, P. A.** (2002). Tectonic setting and petrogenesis of the Çelebi granitoid, (Kırıkkale-Turkey) and comprasion with world skarn granitoids, *Journal of Geochemical Exploration*, 76, 175-194.
- Kwak, T. A. P. and White, A. J. R.** (1982). Contrasting W-Mo-Cu and W-Sn-F skarn types and related granitoids, *Mining Geology*, 32, 339-351.
- Leitch, C. H. B., Lentz, D. R.** (1994). The Gresens approach to mass balance constraints of alteration systems: methods, pitfalls, examples. In: Lenz, D.R. (Ed.), Alteration and Alteration Processes Associated with Ore-forming Systems. *Geological Association of Canada, Short Course Notes*, vol. 11, pp. 161-192.
- Leo, G. W. ve Genç, M. A.** (1970). Balıkesir-Şamlı Sahasının Jeolojisi ve Demir Yatakları, *MTA*, Rapor no: 4928, Ankara.

- Linke, W. F.** (1965). Solubilities of Inorganic and Metal Organic Compounds. *American Chemical Society 2, Van Nostrand*, 1914 pp.
- Lünel, T.** (1967). *Geology af Subren-Karaalan-Yukarı Çağlayan area, Eskişehir county, Turkey*. Yayınlanmamış doktora tezi.
- McKenzie, D.,** (1972). Active tectonics of the Mediterranean Region, *Geophys. J.R. Astron. Soc*, **30**, 109-185.
- Meinert, L. D.** (1983). Variability of skarn deposits-guides to exploration, S.J. Boardman (Ed.), *Revolution in the earth sciences: Kendal-Hunt Publishing*, 301-316.
- Meinert, L.D.** (1992). Skarn and skarn deposits, *Geoscience Canada*, **19**, 145-162.
- Meinert, L. D.** (1995). Compositional variation of igneous rocks associated with skarn deposits-chemical evidence for a genetic connection between petrogenesis and mineralization: *Mineralogical Association of Canada Short Course Series*, **23**, 401-418.
- Meinert, L. D.** (1997). Application of Skarn Deposit Zonation Models to Mineral Exploration, *Explor. Mining Geol*, **6, 2**, 185-208.
- Meinert, L. D., Diple, G. M. and Nicolescu, S.** (2005). World Skarn Deposits, *Society of Economic Geologist, Inc. Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 299-336.
- Megaw, P. K. M., Ruiz, J., Titley, S. R.** (1988). High-temperature, carbonate-hosted Ag- Pb-Zn(Cu) deposits of northern Mexico. *Economic Geology*, **83**, p. 1856-1885.
- Monod, O., Andrieux, J., Gautier, Y. ve Kienast, J. R.** (1991). Pontides Taurides relationships in the region of Eskişehir (NW Turkey). *Bulletin of the Technical University of Istanbul*, **44**, 257-277.
- Nakamura, N.** (1974). Determination of REE, Ba, Mg, Na and K in carbonaceous and primary chondrites, *Geochim. et Cosmo. Acta*, **38**, 757-775.
- Newberry, R. J.** (1982). Tungsten-bearing skarns of the Sierra Nevada. I, the Pine Creek mine, California: *Economic Geology*, **77**, 823-844.
- Newberry, R. J. and Swanson, S. E.** (1986). Scheelite Skarn granitoids: An Evaluation of the Roles of Magmatic Source and Process, *Ore Geology Reviews*, **1**, 57-81.
- Newberry, R. J.** (1987). Use of intrusive and calc-silicate compositional data to distinguish contrasting skarn types in the Darwin polymetallic skarn district, California, USA, *Mineralium Deposita*, **22**, 207-215.
- Newberry, R. J.** (1998). W-and Sn-Skarn deposits: A 1998 status report, Mineralized Intrusion-Related Skarn Systems, D.R. Lentz (Ed.), *Mineralogical Association of Canada Short Course Series*, **26**, 289-335.
- Okay, A. I.** (1980a). Mineralogy, petrology and phase relations of glaucophane-lawsonite zone blueschists from the Tavşanlı region, northwest Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **72**, 243-255.

- Okay, A. I.** (1980b). Lawsonite zone blueschists and a sodic amphibole producing reaction in the Tavşanlı region, northwest Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **75**, 179-186.
- Okay, A. I.** (1981). Kuzeybatı Anadolu'daki ofiyolitlerin jeolojisi ve mavişist metamorfizması (Tavşanlı-Kütahya). (Geology and blueschist metamorphism of ophiolites in northwest Anatolia (Tavşanlı-Kütahya). *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, **24**, 85-95.
- Okay, A. I.** (1984). Distribution and characteristics of the northwest Turkish blueschists. In: The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean (ed. J.E. Dixon and A.H.F. Robertson), *Geological Society Special Publication* No. **17**, 455-466.
- Okay, A. I.** (1989). Tectonic units and sutures in the Pontides, northern Turkey. In: Tectonic Evolution of the Tethyan Region (ed. A.M.C. Şengör), *NATO Advanced ASI Series, Kluwer Academic Publications, Dordrecht*, 109-116.
- Okay, A. İ., Siyako, M. ve Bürkan K. A.** (1990). Biga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Tektonik Evrimi, *T.P.J.D.*, **2/1**, 83-121.
- Okay, A. I.** (2001). Stratigraphic and metamorphic inversions in the central Menderes Massif: a new structural model. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, **89**, 709-727.
- Okay, A. I.** (2002). Reply: Stratigraphic and metamorphic inversions in the central Menderes Massif: a new structural model. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, **91**, 173-178.
- Okay A. I. and Kelley, S. P.** (1994). Tectonic setting, petrology and geochronology of jadeite + glaucophane and chloritoid + glaucophane schists from northwest Turkey. *Journal of Metamorphic Geology*, **12**, 455-466.
- Okay, A. and Satır, M.** (2006). Geochronology of Eocene plutonism and metamorphism in northwest Turkey: evidence for a possible magmatic arc. *Geodinamica Acta*, **19**, 251-266.
- Okay, A. I., Satır, M., Shang, C. K.** (2008). Ordovician metagranitoid from the Anatolide-Tauride Block, northwest Turkey -geodynamic implications. *Terra Nova*, **20**, 280-288.
- Okay, A. I.** (2011). Tavşanlı Zonu: Anatolid-Torid Bloku'nun dalma-batmaya uğramış kuzey ucu. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, **142**, 195-226.
- Orhan, A.** (2008). Susurluk Skarn Yataklarının Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri (Balıkesir-Batı Anadolu). *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, 68-201.
- Orhan, A. ve Mutlu, H.** (2009). Susurluk (Balıkesir) Skarn Yatağının Jeokimyasal Özellikleri ve Kontakt Metasomatizma Esnasında Nadir Toprak Elementlerinin (NTE) Davranışları, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü*, sayfa 4-6.

- Orhan, A. Mutlu, H. ve Hanilçi, N.** (2010). Susurluk (Balıkesir) “Oksidan Tip” W-Skarnının Mikrotermometrik Özellikleri, *MTA Dergisi*, **141**, 55-71.
- Oygür, V.** (1997). Bir Epitermal Cevherleşmenin Anatomisi: Mumcu (Balıkesir-Sındırgı), İç-Batı Anadolu. *MTA Dergisi*, Sayı **119**, Sayfa 63-73.
- Özkoçak, O.** (1969). *Etude geologique du Massif Ultrabasique d'Orhaneli et de sa proche bordure (Bursa-Turquie)*: Tez, Univ. de Paris, 181.
- Özocak, R.** (1970). Balıkesir İli Dursunbey İlçesi Alaçam Dağı Madden Prospeksiyonu ve Anadolu Kurşun Madeni Jeolojik Etüdü, *MTA Rapor No.*: 4751, Ankara.
- Özocak, R.** (1971). Balıkesir İli Serçeören ve Örenli Köyleri Civarı Pb, Zn, Cu Prospeksiyon Etüdü, *MTA Maden Etüt Arşivi Rapor No.*: 1441, (yayımlanmamış).
- Pearce, J. A., Haris, N. B. W., Tindle, A. G.** (1984). Trace element discriminant diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, *Petrology*, **25**, 4, 956-983.
- Pearce, J. A., Bender, J. F., DeLong, S. E., Kidd, W. S. F., Low, P. J., Güner, Y., Saroglu, F., Yılmaz, Y., Moorbath, S., Mitchell, J. G.** (1990). Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **44**, 189-229.
- Pehlivanoğlu, A. N.** (1979). Uludağ (Bursa)-Orhaneli-Keles-İnegöl Yörelerinde Granit Kenar Zonlarındaki (W, Mo, Pb, Zn, Cu) Mineralizasyonları Ön Raporu, *MTA Rap. No.*: **1621**, (yayımlanmamış).
- Ray, G. E. and Webster, I. C. L.** (1991). An overview of skarn deposits, in Ore deposits, tectonics and metallogeny in the Canadian Cordillera, *British Columbia Ministry of Energy, Min. Petr. Res. Pap.*, **4**, 213-252.
- Ray, G. E., Webster, I. C. L., Ettlinger, A. D.** (1995). The distribution of skarns in British Columbia and the chemistry and ages of their related plutonic rocks, *Econ. Geol.*, **90**, 920-937.
- Rayleigh, J. W. S.** (1896). Theoretical considerations respecting the separation of gases by diffusion and similar processes, *Philos. Mag.* **42**, 493.
- Sağiroğlu, A.** (1984). Akdağmadeni (Yozgat) cevherleşmelerinde görülen değişik skarn oluşuklarının özellikleri ve irdelenmesi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, **27** (1), 69-81.
- Sarı, R. ve Küçükkefe, Ş.** (2000). Davutlar-Yalakkaya (Bigadiç-Balıkesir) Pb-Zn-Ag-Ba Sahasının Jeoloji ve Jeokimya Raporu, *MTA Genel Müd.*, Rap No: **10394**, 52 s. (yayımlanmamış).
- Savaşçın, M. Y.** (1990). Magmatic activities of Cenozoic compressional and extensional tectonic regimes in Western Anatolia. *IESCA-90 Proceedings (edit. Savaşçın and Eronat)* Vol.2, 420-434.
- Savaşçın, M. Y. ve Gülec, N.** (1990). The relationship between magmatic and tectonic activities in western Turkey. In: M.Y. Savaşçın, and H.Eronat (Editors) *IESCA-90, Proceedings*, Vol.2, 300-313.

- Savaşçın, M. Y., Erler, A., Özgenç, Y., Oyman, T. and Karaoğlu, Y.** (1994). Neogene- Quaternary magmatism and related ore deposits of western Anatolia, *ESCA-95, Güllük/Turkey, Excursion Guide*, 74 pp.
- Servais, M.** (1981). Donnees pre'liminaires sur la zone de suture medio-tethysienne dans la region d'eskişehir (NW Anatolie). *C.R. Acad. Sc. Paris*, **293**, ser. **II**, 83-86.p
- Seyitoğlu, G., Anderson, D., Nowell, G. and Scott, B.** (1997). The Evolution from Miocene Potassic to Quaternary Sodic Magmatism in Western Turkey: Implication for Enrichment Processes in the Lithospheric Mantle, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **76**, 127-147.
- Shelton, K. L.,** (1983). Composition and origin of ore-forming fluids in a carbonate-hosted porphyry copper and skarn deposit: A fluid inclusion and stable isotope study of Mines Gaspe, Quebec, *Economic Geology*, **78**, 387-421.
- Sherlock, S., Kelley, S. P., Inger, S., Harris N. and Okay, A. I.** (1999).  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  and Rb-Sr geochronology of high-pressure metamorphism and exhumation history of the Tavsanli Zone, NW Turkey. *Contrib. Min. Pet.*, **137**, 46-58.
- Shimazaki, H.** (1975). The ratios of Cu/Zn-Pb of pyrometasomatic deposits in Japan and their genetical implication: *Economic Geology*, **70**, 717-724.
- Shimazaki, H.** (1980). Characteristics of Skarn Deposits and Related Acid Magmatism in Japan, *Economic Geology*, **75**, 173-183.
- Slack, J. F., Kelley, K. D., Anderson, V. M., Clark, J. L., and Ayuso, R. A.,** (2004). Multistage hydrothermal silicification and Fe-Tl-As-Sb-Ge-REE enrichment in the Red Dog Zn-Pb-Ag district, northern Alaska: Geochemistry, origin, and exploration applications: *Economic Geology*, v. **99**.
- Streckeisen, A.** (1976). To each plutonic rock its proper name, *Earth Sci. Rev.*, **12**, 1-33.
- Streckeisen, A.** (1979). Classification and Nomenclature of Volcanic Rocks, Lamprophyres, Carbonatites and Melilitic Rocks, *Geology*, **2**, 331-335. Sun, S.S. and McDonough, W.F., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes. In: Magmatism in the ocean basins, A.D. Saunders, M.J. Norry (Eds.), *Geological Society of London*, 313-345.
- Şaşmaz, A.** (1999). Başçatak (Akdağmadeni-Yozgat) Zn-Pb skarnlarının mineralojik ve jeokimyasal özellikleri, *Yerbilimleri dergisi*, **34**, 107-117.
- Şener, M. ve Gevrek A. İ.** (1986). Simav-Emet-Tavşanlı Yörelerinin Hidrotermal Alterasyon Zonları. *Jeoloji Mühendisliği*, Temmuz, s. **28**, 43-49.
- Şengör, A. M. C.** (1980). Türkiye'nin neotektoniğinin esasları (Fundamentals of the neotectonics of Turkey), *Publication of Geological Society of Turkey*, 40p.

- Şengör, A. M. C. and Yılmaz, Y.** (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach, *Tectonophysics*, **75**, 181–241.
- Şengör, A. M. C., Satır, M. ve Akkök, R.** (1984). Timing of tectonic events in the Menderes massif, Western Turkey; implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey: *Tectonics*, **3/7**, 693-707.
- Şengör, A. M. C., Görür, N., Şaroğlu, F.** (1985), Strike-slip deformation basin formation and sedimentation: Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, *Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ.*, **37**, 227–264.
- Takahashi, M., Aramake, S and Ishihara, S.** (1980). Magnetite-series/ilmenite series vs. I-type/S-type granitoids, *Japanese Society of Mining and Geology*, **8**, 13-23.
- Takashima, K.** (1974). Dursunbey-Balıkesir Kurşun-Çinko Yataklarının Jeolojisi, *MTA*. Rapor no: 5388, Ankara.
- Taşkın, İ.** (1983). Kuzeybatı Anadolu Volfram Ağırlıklı Polimetal Arama Projesi (KAVAP) Bursa-İnegöl Yöresi Boğazova ve Domanıç Granodiyorit Masifleriyle İlgili W-Mo-Pb-Zn-Cu Cevherleşmelerine Ait Jeoloji Raporu, *MTA Der. Rap. No: 7675*, 75 s. (yayımlanmamış).
- Thompson, R. N.** (1982). Magmatism of the British Tertiary volcanic province, *Scott. J. Geol.*, **18**, 49-107.
- Toksöz, T. ve Arslanpay, D.** (1978). Balıkesir-Dursunbey-Kulat Çiftliği Sahası kurşun-Çinko-Bakır Aramaları Jeofizik I.P. Etüdü. *M.T.A Rapor no: 6197* Ankara.
- Turgay, I.** (1973). Balıkesir İli, Dursunbey İlçesi Kurşun Aramaları Demirboku Sırtı Sahası, I.P. Etüdü Raporu. *M.T.A Rapor no: 4802*, Ankara.
- Tüysüz, O.** (1990). Tectonic evolution of a part of the Tethyside orogenic collage: The Kargi massif, northern Turkey. *Tectonics*, **9(1)**: doi: 10.1029/89TC01475. issn: 0278-7407.
- Ürgün, S.** (1972). Jeotermik enerji sağlanması amacı ile Susurluk-Manyas-Bandırma (Balıkesir) Karacabey-Mustafakemalpaşa (Bursa) arasında kalan sahanın incelenmesi, *MTA Derleme Rap. no: 5249*, 41 s. (yayımlanmamış)
- White, A. J. R., Beams, S. D. and Cramer, J. J.** (1977). Granitoid types and Mineralization with special reference to tin, N. Yamada (Ed.), *Plütonism in Relation to Volcanism and Metamorphism, 7th CPPP Meeting, Toyama*, 89-100.
- Whitney, P. R. and Olmsted, J. F.** (1998). Rare earth element metasomatism in hydrothermal system: The Willsboro-Lewis wollastonite ores, *New York, USA, Geochimica et Cosmochimica Acta*, **62, 17**, 2965-2977.
- Yalçınkaya, S. ve Afşar, Ö. P.** (1980). Mustafakemalpaşa (Bursa) ve Dolayının Jeolojisi, *M.T.A Rap. No: 6717*, 98 s. (yayımlanmamış).

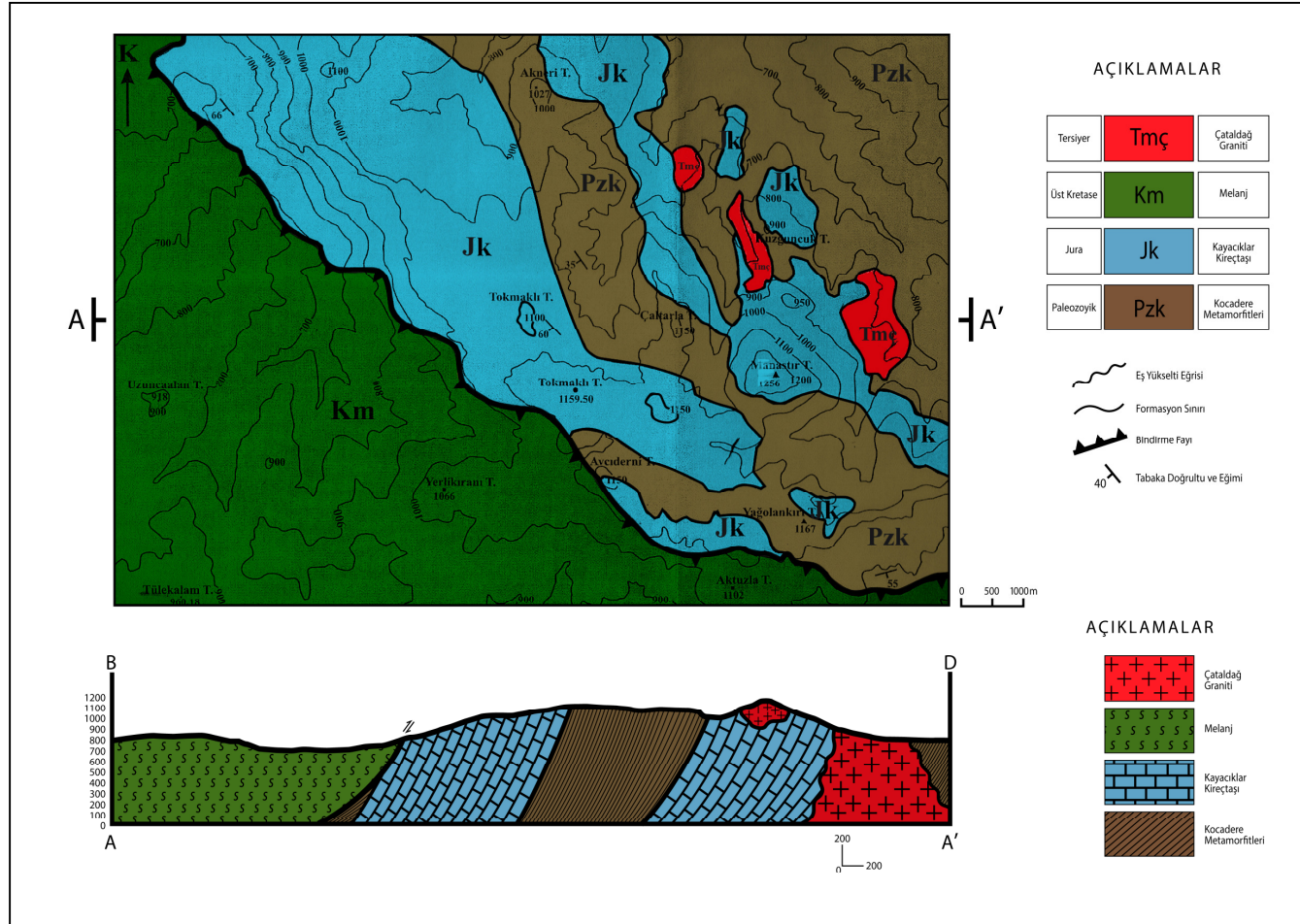
- Yanev, Y., Innocenti, F., Manetti, P., and Serri, G.** (1998). Upper Eocene-Oligocene collision-related volcanism in Eastern Rhodopes(Bulgaria)-Western Trace(Greece): petrogenetic affinity and geodynamic significance. *Acta Vulcanol.*, **10** (2), 279-291.
- Yıldırım, S., Demir, N., Küçükefe, Ş. ve Bayburtoğlu B.** (2001). Beyköy-Kobartkaşı (Kepsut-Balıkesir) Altın Sahası Güney Kesiminin Sondajlı Arama Raporu, *MTA Genel Müd.*, Rap. No: 10492, 55 s. (yayımlanmamış).
- Yılmaz, İ.** (1975). Alaçam Dağları granitlerinin petrojenetik etüdü. *Cumhuriyetin 50. Yılı kongresi tebliğleri*, 457-473.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Gözübol, A. M. ve Yiğitbaş, A.** (1981). Abant (Bolu)-Dokurcun (Sakarya) arasında Kuzey Anadolu Fay zonunun kuzey ve güneyinde kalan tektonik birliklerin jeolojik evrimi: *İstanbul Yerbilimleri Derg.*, **2**, 239-261.
- Yılmaz, Y., Genç, S. C., Karacık, Z., and Altunkaynak, S.** (2001). Two contrasting magmatic associations of NW Anatolia and their tectonic significance. *J. Geodyn.*, **31**, 243-271.
- Yücel Öztürk, Y., Helvacı, C. ve Satır, M.** (2005). Genetic relations between skarn mineralization and petrogenesis of the Evciler Granitoid, Kazdağ, Çanakkale, Turkey and comparison with world skarn granitoids, *Turkish Journal of Earth Sciences*, **14**, 255-280.
- Zhang, D. D., Zhang, Y., Zhu, A. and Cheng, X.** (2001). Physical mechanisms of river waterfall tufa (travertine) formation. *Journal of Sedimentary Research*, **71**, 205-216.
- Zharikov, V. A.** (1970). Skarns. *International Geology Reviews*, **12**, 541-559, 619-647, 760-775.
- Zhou, Z. H., Mao, J. W., Lyckberg, P.** (2012). Geochronology and isotopic geochemistry of the A-type granites from the Huanggang Sn-Fe deposit, southern Great Hinggan Range, NE China: Implication for their origin and tectonic setting. *Journal of Asian Earth Sciences*, Volume **49**, p. 272-286.
- Murakami, H.** (2005). How to Study skarn type Deposits, A short term expert seminar, submitted to: *Remote Sensing Center, MTA* (<http://staff.aist.go.jp/hmurakami/skarn.pdf>), 11 p.
- Url-1** <<http://www.science.smith.edu/departments/Geology/Skarn/index.html>>, alındığı tarih: 21.06.2012.
- Url-2** <<http://www.mta.gov.tr/v2.0/bolgeler/balikesir/index.php?id=bolgesel-jeoloji>>, alındığı tarih: 18.12.2011.



## **EKLER**

**EK-A :** İnceleme alanı 1/25000 ölçekli jeoloji haritası ve kesiti.





**Şekil A.1 :** İnceleme alanı 1/25000 ölçekli jeoloji haritası ve kesiti.



## **ÖZGEÇMİŞ**

**Adı:** Emre

**Soyadı:** İstanbullu

**Doğum tarihi:** 30-12-1984

**Lisans:** (İTÜ) Jeoloji Mühendisliği (2004-2009)

**Yüksek Lisans:** (İTÜ) Jeoloji Mühendisliği Yüksek Lisans Programı (2009-2013)

**Yabancı Dil:** İngilizce, Almanca

