

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**GENİŞLEME İLE EŞ YAŞLI BATI ANADOLU VE KİKLAD
GRANİTOYİTLERİNE AİT JEOKİMYASAL VERİLERİN
MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

Gizem GÖNCÜ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AĞUSTOS 2025

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**GENİŞLEME İLE EŞ YAŞLI BATI ANADOLU VE KİKLAD
GRANİTOYİTLERİNE AİT JEOKİMYASAL VERİLERİN
MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

Gizem GÖNCÜ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AĞUSTOS 2025

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GENİŞLEME İLE EŞ YAŞLI BATI ANADOLU VE KIKLAD
GRANİTOYİTLERİNE AİT JEOKİMYASAL VERİLERİN
MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Gizem GÖNCÜ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

AĞUSTOS 2025

Evrak Tarih ve Sayısı: 28.07.2025-794

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GENİŞLEME İLE EŞ YAŞLI BATI ANADOLU VE KIKLAD
GRANİTOYİTLERİNE AİT JEOKİMYASAL VERİLERİN
MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Gizem GÖNCÜ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 24/07/2025 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Fuat ERKÜL (Danışman)
Prof. Dr. Tamer RIZAOĞLU
Doç. Dr. Selin KARADİREK

ÖZET

GENİŞLEME İLE EŞ YAŞLI BATI ANADOLU VE KIKLAD GRANİTOYİTLERİNE AİT JEOKİMYASAL VERİLERİN MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Gizem GÖNCÜ

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Fuat ERKÜL

Ağustos 2025;56 sayfa

İkili değişim diyagramları geleneksel olarak kayaç örneklerinden alınan jeokimyasal veriler kullanılarak farklılıkları ve benzerlikleri ortaya çıkarabilmek amacı ile kullanılır. Ancak bu yaklaşım çok sayıda değişkenle yapılmak istenildiğinde birçok sınırlama meydana gelmektedir. Makine öğrenmesi yöntemi son yıllarda çok değişkenli verileri analiz etmek için bir alternatif olarak kullanılmaktadır. Jeokimyasal verilerin açıklanabilmesi için makine öğrenmesi yöntemleri denetimli ve denetimsiz öğrenme yöntemleri şeklinde uygulanabilmektedir. Bu çalışmada, önceki çalışmalarda farklı araştırmacılar tarafından ortaya konulan Batı Anadolu ve Kiklad'larda yüzeyleyen Miyosen yaşlı granitoidlere ait jeokimyasal veriler değerlendirilmiştir. Makine öğrenmesi yöntemi, granitoidlere ait analiz sonuçları ile oluşturulan veri kümesine uygulanmış ve özellikle aynı yaş konağındaki Batı Anadolu ve Kikladlardaki granitoidlerin ana, eser ve nadir toprak element jeokimyasal karakteristikleri karşılaştırılmış, benzerlikleri ve farklılıkları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Denetimli ve denetimsiz öğrenme algoritmalarında sınıflandırma, bileşen etkileri vb için kullanılabilecek en iyi yöntemler tespit edilmiş ayrıca dünyadaki benzer jeokimyasal karakteristikler sunan granitoidler ile karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Denetimli öğrenme yönteminde, kullanılan karar ağaçları algoritması tarafından seçilen karakteristik elementler, ikili diyagramlarda Batı Anadolu ve Kiklad verileriyle seçilmiş eğitim verileri birlikte değerlendirildiğinde, bazı elementlerle korelasyon gösterdiği, ancak zaman zaman bulundukları alanların dışına çıktıkları da gözlemlenmiştir. Bu durum, makine öğrenmesinin birden fazla elementi aynı anda değerlendirebilme yeteneğinin önemli bir avantajını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, ikili diyagramlar eğitim verileriyle yapılan karşılaştırmalarda her zaman yeterli olmamakta; buna karşın, makine öğrenmesi daha güvenilir ve kapsamlı sonuçlar vermektedir. Denetimli öğrenme yönteminin ürettiği sonuçlar oldukça anlamlı ve güçlüdür. Batı Anadolu Bölgesi ve Kiklad birimlerinin korele oldukları eğitim verilerinin özellikleri göz önüne alındığında, bu birimlerin birbirine benzer jeokimyasal, petrojenez ve jeodinamik özellikler gösterdikleri görülmüştür. Güney Çin bloğu, Kuzey Çin kratonu ve Tarım kratonu (Kuzeybatı Çin) ile Ege bölgesi arasında doğrudan bir tektonik bağlantı olduğu ve bu sahalardaki granitoidlerin jeodinamik süreçler açısından benzer evrimsel özellikler gösterdiği görülmektedir.

Denetimsiz öğrenme yöntemi ise kendi içinde anlamlı kümeler oluşturabilmesine rağmen bu kümelerin birebir örtüşme açısından yetersiz kalmaktadır.

Tüm jeokimyasal değerlendirmeler sonucunda dünyada benzer jeokimyasal özellikler sunan granitoyidlerin benzer jeodinamik ortamlarda oluşup oluşmayacağı ortaya konulmuştur.

Tüm veriler değerlendirildiğinde, granitoyidlerinin sınıflandırılması ve jeokimyasal açıdan özelliklerinin ortaya konulmasında denetimsiz öğrenmeden çok denetimli öğrenme metodunun tercih edilmesi önerilmektedir.

ANAHTAR KELİMELE: AutoML, Çarpışma Sonrası Genişleme, Denetimli Öğrenme, Denetimsiz Öğrenme, Ege Bölgesi, Granitoyidler, Jeokimya, Kikladlar, Makine Öğrenmesi, Orojenik Kuşak Granitoyidleri

JÜRİ:

Prof. Dr. Fuat ERKÜL

Prof. Dr. Tamer RIZAOĞLU

Doç. Dr. Selin KARADİREK

ABSTRACT

COMPARISON OF GEOCHEMICAL DATA FROM WESTERN ANATOLIAN AND CYCLADIC SYN-EXTENSIONAL GRANITOIDS USING MACHINE LEARNING

Gizem GÖNCÜ

MSc Thesis in Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr.Fuat ERKÜL

August 2025; 56 pages

Binary variation diagrams are traditionally used to reveal differences and similarities by utilizing geochemical data obtained from rock samples. However, when this approach is applied to data sets with many variables, several limitations arise. In recent years, machine learning methods have emerged as an alternative for analyzing multivariate data. These methods can be applied to explain geochemical data through supervised and unsupervised learning approaches. In this study, geochemical data from Miocene-aged granitoids exposed in Western Anatolia and the Cyclades—previously published by various researchers—have been evaluated. The method was applied to a dataset formed from analytical results of these granitoids, and particularly the geochemical characteristics of major, trace, and rareearth elements of the granitoids from Western Anatolia and the Cyclades with in the same age range were compared to reveal their similarities and differences. The most suitable methods for classification, component effects, etc., in supervised and unsupervised learning algorithms were identified, and comparisons were also made with granitoids around the world that exhibit similar geochemical characteristics.

In the supervised learning approach, when the characteristic elements selected by the decision tree algorithm are evaluated together with the selected training data and the Western Anatolia and the Cyclades data and binary diagrams, it has been observed that they show correlations with certain elements, but occasionally deviate from their respective fields. This demonstrates a significant advantage of machine learning—its ability to evaluate multiple elements simultaneously. Therefore, binary diagrams are not always sufficient when compared with training data; in contrast, machine learning provides more reliable and comprehensive results. The results generated by the supervised learning method are highly meaningful and robust. Considering the characteristics of the training data correlated with the Western Anatolia and Cyclades units, it is evident that these units share similar geochemical, petrogenetic, and geodynamic properties. It has also been observed that there is a direct tectonic connection between the Aegean region and regions such as the South China Block, North China Craton, and Tarim Craton (North west China), and that the granitoids in these areas show similar evolutionary characteristics in terms of geodynamic processes.

Although the unsupervised learning method can create internally meaningful clusters, these clusters often fall short in terms of direct overlap. Based on all geochemical evaluations, it was investigated whether granitoids with similar geochemical characteristics worldwide were formed in similar geodynamic settings.

When all data are considered, it is recommended that supervised learning methods can be preferred over unsupervised ones for classifying granitoids and revealing their geochemical properties.

KEYWORDS: Aegean Region, AutoML, Cyclades, Geochemistry, Granitoids, Machine Learning, Supervised Learning, Unsupervised Learning, Orogenic Belt Granitoids, Post-Collisional Extension

COMMITTEE:

Prof. Dr. Fuat ERKÜL

Prof. Dr. Tamer RIZAOĞLU

Assoc. Prof. Dr. Selin KARADİREK

ÖNSÖZ

Günümüzde makine öğrenme yöntemleri her alanda kullanılmaktadır. Son yıllarda yerbilimleri alanında kullanılması yüksek bir ivme kazanan makine öğrenmesi metodu geleneksel sınıflandırma yöntemlerine göre daha çok tercih edilmektedir.

Bugüne kadar Ege Bölgesi ve Kiklad granitoyidlerinde jeokimyasal veriler kullanılarak yapılan çalışmalarda geleneksel yöntemlerle ilgili granitoyidlerin isimlendirilmesi, sınıflandırılması ve tektonomagmatik evrimleri açıklanmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada Ege Bölgesinde yüzlek veren Oligo-Miyosen yaşlı granitoyidlerin daha önce geleneksel yöntemlerle yapılmış ve elde edilmiş veriler ile benzerlikleri/farklılıkları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Ege Bölgesi granitoyidlerine ait literatürden alınan jeokimya verileri, dünyada yüzlek veren granitoyidlerin jeokimyası ile karşılaştırılmıştır.

“Genişleme ile Eş Yaşlı Batı Anadolu ve Kiklad Granitoyidlerine ait Jeokimyasal Verilerin Makine Öğrenmesi ile Karşılaştırılması” başlıklı yüksek lisans tez çalışmamın araştırılması, hazırlanması ve sonuçlandırılmasında bilgisinin ışığıyla yolumu aydınlatan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Fuat ERKÜL’e,

Bilgi ve tecrübeleriyle çalışmamızın mineralojik, petrografik ve jeokimyasal yorumlanmasında desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Sibel TATAR ERKÜL’e,

Jeokimya için AutoML for Geochemistry (Jeokimya için Otomatik Makine Öğrenmesi) programını kullanımımıza açan Prof. Dr. Harvey Alferez Salinas ve ekibine,

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleri ile her zaman yanımda olan ve bana inanan sevgili eşime ve aileme teşekkür ve minnetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.2. Çalışmanın Amacı	3
1.3. Ege ve Batı Anadolu Granitoyidlerinin Jeolojisi	3
2. TEMEL BİLGİLER	6
2.1. Granitoyidlerin Sınıflandırılması	6
2.2. Granitoyidlerin Sınıflandırılması/Tanımlanmasında Kullanılan Yöntemler.....	8
2.2.1. Geleneksel diyagramlar ve tanımlamalar	8
2.2.2. Modern yöntemler ve tanımlamalar.....	9
3. YÖNTEMLER	13
3.1. Test Verilerinin Seçimi	13
3.2. Eğitim Verilerinin Seçimi	14
4. BULGULAR	16
4.1. Denetimli Öğrenme Uygulaması.....	16
4.2. Denetimsiz Öğrenme Uygulaması.....	19
5. TARTIŞMA	21
5.1. Denetimli Öğrenme	21
5.2. Denetimsiz Öğrenme	29
6. SONUÇLAR	30
7. KAYNAKLAR	31
8. EKLER.....	46
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “GENİŞLEME İLE EŞ YAŞLI BATI ANADOLU VE KIKLAD GRANİTOYİTLERİNE AİT JEOKİMYASAL VERİLERİN MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

20/08/2025

Gizem Göncü

İmzası

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al_2O_3 : Alüminyum oksit

As : Arsenik

Ba : Baryum

CaO : Kalsiyum oksit

Ce : Seryum

Co : Kobalt

Cr : Krom

Cs : Sezyum

Cu : Bakır

Dy : Disprosiyum

Er : Erbiyum

Eu : Evropiyum

FeO_t : Toplam demir oksit

Ga : Galyum

Ge : Germanyum

Gd : Gadolinyum

Hf : Hafniyum

Ho : Holmiyum

K : Potasyum

K_2O : Potasyum oksit

La : Lantanyum

Lu : Lutesyum

MgO : Magnezyum oksit

MnO : Manganez oksit

Mo	: Molibden
Nb	: Niyobyum
Na ₂ O	: Sodyum oksit
Nd	: Neodimyum
Ni	: Nikel
Pb	: Kurşun
P ₂ O ₅	: Difosfor pentaoksit
Pr	: Praseodim
Rb	: Rubidyum
Sc	: Skandiyum
SiO ₂	: Silisyum dioksit
Sm	: Samaryum
Sr	: Stronsiyum
Ta	: Tantal
Tb	: Terbiyum
Th	: Toryum
TiO ₂	: Titanyum dioksit
Tm	: Tulyum
U	: Uranyum
V	: Vanadyum
Y	: İttriyum
Yb	: İterbiyum
Zr	: Zirkonyum
Zn	: Çinko
±	: Artı – eksi
~	: Yaklaşık

% : Yüzde

. : Ondalık ayracı

Kısaltmalar

Alb : Albit

Ap : Apatit

Bio : Biyotit

COLG : Çarpışma Ürünü Granitoidlleri

Cpx : Klinopiroksen

CSV : Virgülle Ayrılmış Değer (CommaSeparated Value)

Ep : Epidot

Flo : Florit

Gd : Granodiyorit

Gr : Granit

HFSE : Yüksek Duraylılık Alanına Sahip Elementler

Hnb : Hornblend

IUGS : Uluslararası Jeoloji Bilimleri Birliği

İAESZ: İzmir-Ankara-Erzincan Sutür Zonu

İlm : İlmenit

Kal : Kalsit

K-feld : PotasyumFeldispat

KD : Kuzeydoğu

Klo : Klorit

km² : Kilometrekare

KNN : K-En Yakın Komşu

Ku : Kuvars

LILE : Büyük İyon Yarıçaplı Litofil Elementler

LREE : Hafif Nadir Toprak Elementleri

Man : Manyetit

MÇK : Metamorfik Çekirdek Kompleksi

Min : Mineral

Mik : Mika

MLP : Çok Katmanlı Algılayıcı

MORB: Okyanus Ortası Sırtı

Mon : Monazit

Mus : Muskovit

My : Milyon yıl

Mzdi : Monzodiyorit

NCC : Kuzey Çin Kratonu

Op : Opak

Or : Ortoklaz

ORG : Okyanus Ortası Sırtı Granitoidleri

Per : Perlit

PCA : Temel Bileşenler Analizi

Plj : Plajiyoklaz

Prx : Piroksen

QAP : Kuvars, Alkali Feldispat ve Plajiyoklaz Feldispat Üçgen Diyagramı

REE : Nadir Toprak Elementleri

RF : Rastgele Orman

San : Sanidin

Ser : Serpantin

SCB : Güney Çin Bloğu

SVM : Destek Vektör Makinesi

Sygr : Siyenogranit

TAS : Toplam Alkali-Silika diyagramı

Ti : Titanit

Tur : Turmalin

VAB : Ada Yay1 Bazaltı

VAG : Volkanik Yay Granitoyidleri

WPG : Levha İçi Granitoyidleri

WPRG: Kıta İçi Granitleri

Wt : Ağırlık

YSA : Yapay Sinir Ağı

Zir : Zirkon

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Ege Bölgesi ve Kikladlarda yüzeyleyen granitler (Ilıca-Şamlı, Çataldağ (1); Karabiga, Gönen, Kapıdağ, Sarıoluk, Kızıldam (2); Karaköy (3); Kuşçayır, Katrandağ, Kozak, Yenice (4); Orhaneli (5); Topuk (6); Yürükcaören, Topkaya, Kaymaz, Sivrihisar, Kadıncık, Dinek, Tekören, Karacaören (7); Nevruz-Çakıroba, Karadoru, Soğucak, Kurtlar-Hıdırlar, Namazgah, Eskiyaıyla-Zeybekçayırı, Avcılar-Kavlaklar (8); Uludağ (9); Kestanbol (10); Alacam (11); Baklan (12); Eğrigöz (13); Ezine (14); Kütahya (15); Solarya (16); Musalar, Turgutlu, Koyunoba (17); Boğazova (18); Eybek (19); Salihli (20); Ikaria, Kos, Naxos, Tinos, Mykonos (21); Lavrion, Serifos (22) Referanslar: (1) <i>Dağhan ve Köprübaşı (2014)</i> ; (2) <i>Karacık vd. (2008)</i> ; (3) <i>Öztürk vd (2005)</i> ; (4) <i>Delaloye vd. (2000)</i> ; (5) <i>Dağhan ve Köprübaşı (2014)</i> ; (6) <i>Harris ve Kelley (1994)</i> ; (7) <i>Demirbilek vd. (2018)</i> ; (8) <i>Aysal (2015)</i> ; (9) <i>Topuz vd. (2017)</i> ; (10) <i>Şahin vd. (2010)</i> ; (11) <i>Hasözbek vd. (2009)</i> ; (12) <i>Aydoğan vd. (2006)</i> ; (13) <i>Akay (2009)</i> ; (14) <i>Öztürk (2016)</i> ; (15) <i>Çoban vd. (2012)</i> ; (16) <i>Ünal ve Altunkaynak (2018)</i> ; (17) <i>Erkül vd. (2013)</i> ; (18) <i>Sendir ve Sarıiz (2009)</i> ; (19) <i>Black vd. (2013)</i> ; (20) <i>Erkül ve Erkül (2012)</i> ; (21) <i>Altherr ve Siebel (2002)</i> ; (22) <i>Skarpelis vd. (2007)</i>	2
Şekil 4.1. Batı Anadolu ve Kiklad granitoyidlerine ait jeokimyasal verilerin PC1-PC2 ve PC1-PC5 çoklu kümelenme diyagramlarında dağılımları.....	20
Şekil 5.1. Orta-Batı Anadolu, Kiklad granitoyidleri ve eğitim verilerinin Pearce (1984) tektonik ayırtman diyagramındaki dağılımı ve sembollerin açıklamaları.....	24
Şekil 5.2. Orta-Batı Anadolu, Kiklad granitoyidleri ve eğitim verilerinin Batchelor ve Bowden (1985) tektonik ayırtman diyagramındaki konumu	25
Şekil 5.3. Ege Bölgesi, Kikladlar ve eğitim verilerinin MgO'ya karşın SiO ₂ ikili değişim diyagramı.....	27
Şekil 5.4. Ege Bölgesi, Kikladlar ve eğitim verilerinin FeO _t 'e karşın SiO ₂ ikili değişim diyagramındaki değişimleri.....	28
Şekil 5.5. Ege Bölgesi, Kikladlar ve eğitim verilerinin Co'a karşın SiO ₂ ikili değişim diyagramındaki dağılımları	28

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. 20.yüzyılın ilk çeyreğinden günümüze kadar çeşitli ölçülere göre yapılan granitoyid sınıflandırmalarının topluca görünümü (Barbarin 1990, 1999; Pitcher 1993'ten yararlanarak hazırlanmıştır) (Boztuğ 1989).....	7
Çizelge 4.1. Karşılaştırma bir için eğitim verilerinin karar ağaçları yönteminde önemli olan 10 element ve değerleri (Alferez vd. 2022).....	16
Çizelge 4.2. Karşılaştırma iki için eğitim verilerinin karar ağaçları yönteminde önemli olan 10 element ve değerleri (Alferez vd. 2022).....	17
Çizelge 4.3. Karşılaştırma üç için eğitim verilerinin karar ağaçları yönteminde önemli olan 10 element ve değerleri (Alferez vd. 2022).....	18
Çizelge 4.4. Karşılaştırma dört için eğitim verilerinin karar ağaçları yönteminde önemli olan 10 element ve değerleri (Alferez vd. 2022).....	18
Çizelge 5.1. Eğitim verilerinin Batı Anadolu ve Kiklad verileri ile korelasyon sonuçları	22

1. GİRİŞ

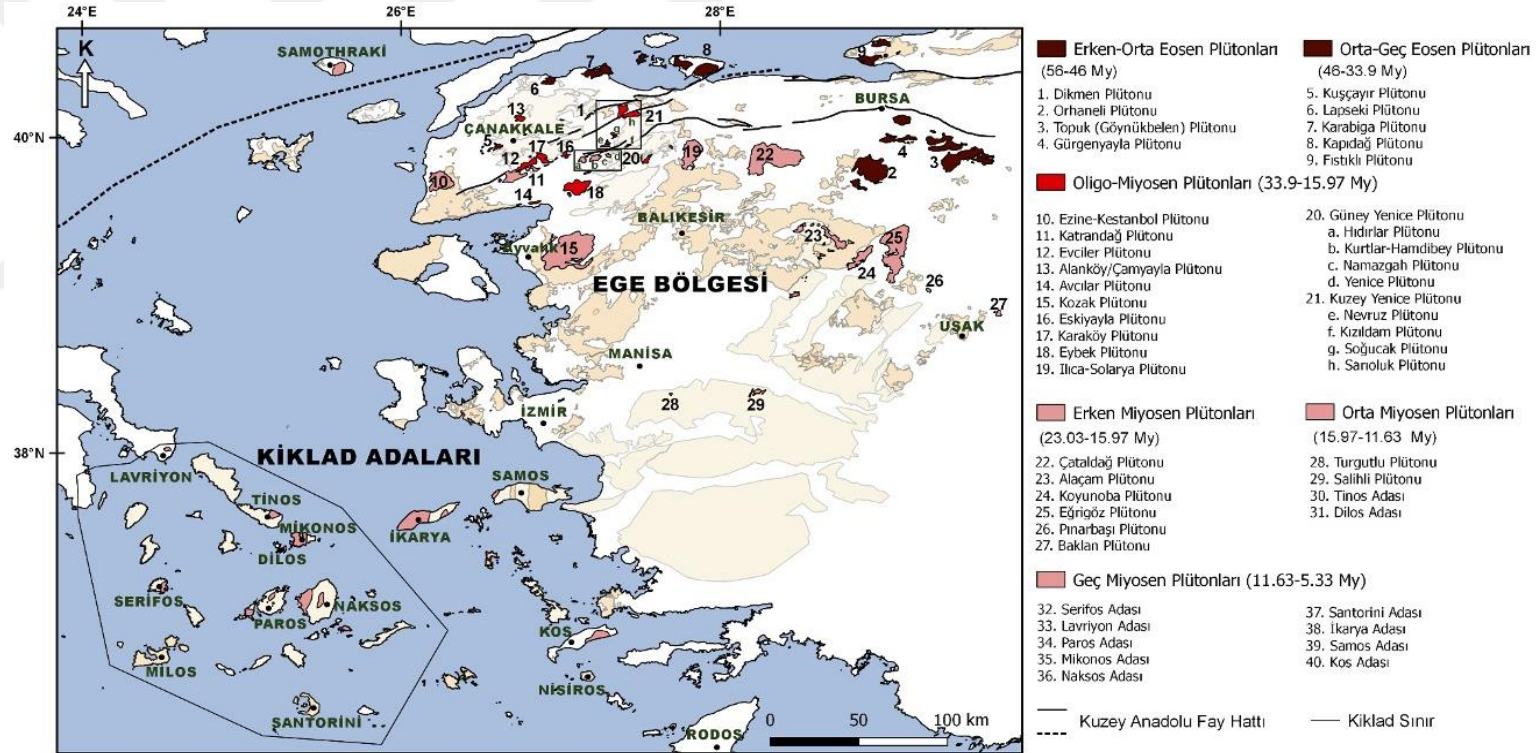
Türkiye'nin kuzeybatısında yüzlek veren plütonik kayaçlar, Ege Bölgesi boyunca güneye doğru gençleşen ve birbirlerinin üzerine gelişen magmatik kuşaklar içerisinde bulunmaktadır. Bu kuşaklar, genelde Geç Oligosen'den Erken Miyosen'e kadar yüzeyleyen Menderes ve Kiklad Metamorfik Çekirdek Kompleksleri (MÇK) ile Sakarya Zonu ve İzmir-Ankara Zonu kayaçlarını keserek yerleşmiştir. Çekirdek kompleks oluşumuna genişleme ile eş yaşlı granitoyid plütonlar, sıyrılma fayları ve transfer fayları eşlik etmektedir (Fytikas 1984; Hetzel vd. 1995a, 1995b, 1996; Seyitoğlu ve Scott 1996; Okay ve Satır 2000; Işık vd. 2003, 2004; Bozkurt ve Sözbilir 2004; Thomson ve Ring 2006; Erkül 2010; Aysal 2015).

Batı Anadolu'da genişleme ile eş yaşlı granitoyidlerin genellikle astenosferik bir ısı kaynağının yükselmesi ve ardından litosferin incelmesiyle oluşan hibrid magmalardan türediği varsayılmaktadır (Altunkaynak ve Yılmaz 1998; Altunkaynak ve Dilek 2006; Dilek ve Altunkaynak 2009; Erkül vd. 2013). Kikladlardaki genişleme ile eş yaşlı granitoyidlerin kökeninin, genellikle I ve S tipi granitoyidlerin kaynağını oluşturan alt kabuğun kısmi ergimesi sonucu olduğu öne sürülmüştür (Altherr ve Siebel 2002; Pe-Piper 2000). Ancak son tartışmalar bunların kökenini mafik ve feslik eriyiklerin değişen oranlarda karışımıyla açıklanmaktadır (Bolhar vd. 2012).

Batı Anadolu kıtasal kabuğunun altındaki heterojen manto kaynağı, genellikle dalma-batma bileşenlerinden etkilenen metasomatizmaya uğramış litosferik manto ile ilişkilendirilmektedir (Dilek vd. 2009; Ersoy vd. 2010, 2012; Prelević vd. 2010, 2012). Ancak dalma-batma bileşenlerinin aktif bir dalma-batma levhasından mı yoksa Geç Kretase'den bu yana Neotetis Okyanusu'nun kapanması sırasındaki dalma-batma süreçleri tarafından metasomatize edilmiş bir litosferik mantodan mı türetildiği konusu halen tartışılmaktadır. Batı Anadolu'da astenosferik yükselme, Ege litosferik levhasının batı Türkiye'nin altına geri çekilmesiyle veya aşırı kalınlaşmış kabuğun litosferik kökünün delaminasyonu ile gerçekleştiği öne sürülmektedir (Aldanmaz vd. 2000; Köprübaşı ve Aldanmaz 2004; Altunkaynak ve Dilek 2006). Son zamanlarda yapılan petrolojik ve jeofizik çalışmalar batı Türkiye'nin altında aktif bir litosferik dilimin varlığına dair güçlü kanıtlar sağlamıştır (Innocenti vd. 2005; Westaway 2006; Agostini vd. 2008, 2010; Hinsbergen vd. 2010).

Kiklad MÇK'de ise genişleme ile eş yaşlı plütonların gelişimi, dalan Ege litosferik diliminin geriye doğru hareketi ile ilişkilendirilmektedir. Batı Anadolu'daki en erken çarpışma sonrası magmatizma Eosen'de gerçekleşmiş ve zamanla giderek güneye doğru hareket etmiştir (Dilek ve Altunkaynak 2009). Batı Anadolu'nun kuzeybatısında Eosen ve Erken-Orta Miyosen yaşlı granitoyidler yaygın olarak yüzlek vermekte güneye doğru azalmakta iken, Geç Miyosen yaşlı granitoyidler ise yalnızca Kikladlarda görülmektedir (Şekil 1.1).

Menderes ve Kiklad MÇK üzerinde yer alan genişleme ile eş yaşlı granitoyidlerin petrojenetik özelliklerinin birbirine benzer olduğu görülmekle beraber dünyada petrojenez ve jeodinamiği iyi bilinen diğer granitoyid kütlelerinin makine öğrenmesi yöntemiyle karşılaştırılması hedeflenmiştir.



Şekil 1.1. Ege Bölgesi ve Kikladlarda yüzeyleyen granitler (Ilıca–Şamlı, Çataldağ (1); Karabiga, Gönen, Kapıdağ, Sarıoluk, Kızıldam (2); Karaköy (3); Kuşçayır, Katrandag, Kozak, Yenice (4); Orhaneli (5); Topuk (6); Yürükcaören, Topkaya, Kaymaz, Sivrihisar, Kadıncık, Dinek, Tekören, Karacaören (7); Nevruz–Çakıroba, Karadoru, Soğucak, Kurtlar-Hıdırlar, Namazgah, Eskiayla-Zeybekçayırı, Avcılar-Kavlaklar (8); Uludağ (9); Kestanbol (10); Alacam (11); Baklan (12); Eğrigöz (13); Ezine (14); Kütahya (15); Solarya (16); Musalar, Turgutlu, Koyunoba (17); Boğazova (18); Eybek (19); Salihli (20); Ikaria, Kos, Naxos, Tinos, Mykonos (21); Lavrion, Serifos (22) Referanslar:(1) Dağhan ve Köprübaşı (2014); (2) Karacık vd. (2008); (3) Öztürk vd (2005); (4) Delaloye vd. (2000); (5) Dağhan ve Köprübaşı (2014); (6) Harris ve Kelley (1994); (7) Demirbilek vd. (2018); (8) Aysal (2015); (9) Topuz vd. (2017); (10) Şahin vd. (2010); (11) Hasözbe vd. (2009); (12) Aydoğan vd. (2006); (13) Akay (2009); (14) Öztürk (2016); (15) Çoban vd. (2012); (16) Ünal ve Altunkaynak (2018); (17) Erkül vd. (2013); (18) Sendir ve Sarıiz (2009); (19) Black vd. (2013); (20) Erkül ve Erkül (2012); (21) Altherr ve Siebel (2002); (22) Skarpelis vd. (2007)

1.2. Çalışmanın Amacı

“Genişleme ile Eş Yaşlı Batı Anadolu ve Kiklad Granitoidlerine Ait Jeokimyasal Verilerin Makine Öğrenmesi ile Karşılaştırılması” başlıklı çalışma Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Magmatik kayalarda yapılan jeokimyasal çalışmalar sonucunda elde edilen ana, eser ve nadir toprak element verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan ikili değişim diyagramları bazen süreçlerin açıklanmasında ve karşılaştırmalarda yetersiz kalmaktadır. Son yıllarda petrolojik çalışmalarda kullanılmaya başlanan modern yöntemlerden bir tanesi makine öğrenmesi yöntemidir. Bu yöntem, ikiden fazla değişken kullanılarak çok fazla verinin aynı anda kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Geleneksel yöntemlerle jeokimyasal/petrolojik/petrojenetik özellikleri daha önce ortaya konulmuş granitoid yüzleklerinin, dünya üzerinde yüzlek veren diğer granitoidler ile özelliklerinin karşılaştırılması son derece önemlidir. Bu kapsamda, Batı Anadolu ve Kikladda, Oligosen-Geç Miyosen yaş aralığında yüzeyleyen ve jeokimyasal karakteristikleri ortaya konulmuş granitoidler ile dünyadaki granitoidler makine öğrenmesi yöntemi olan AutoML for Geochemistry (Alferez vd. 2022) programı ile karşılaştırılmış, iki ve daha fazla bileşen açısından değerlendirilmiş ve geleneksel yöntemlerle elde edilen verilerle makine öğrenmesinin sonuçlarının benzerlikleri/farklılıkları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

1.3. Ege ve Batı Anadolu Granitoidlerinin Jeolojisi

Batı Anadolu, Türkiye'nin en karmaşık jeolojik yapıya sahip bölgelerinden biridir. Bölgenin jeolojik karakteri büyük ölçüde tektonik hareketlere, kıtasal çarpışmalara ve bu çarpışmaları izleyen genişleme rejimlerine bağlı olarak şekillenmiştir. Özellikle Neotektonik Dönem boyunca, Batı Anadolu aktif bir gerilme rejiminin etkisi altında kalmıştır. Bu gerilme hareketi, kuzeyde Ege Denizi'nin açılması ile Afrika Levhası'nın kuzeye doğru hareketiyle ilişkilidir (Bozkurt 2001). Neo-Tetis Okyanusu'nun kapanması ve ardından gelişen kıta-yay çarpışması, Geç Kretase sonunda Doğu Akdeniz Bölgesi ve Anadolu'nun jeolojik evriminde önemli bir rol oynamıştır. Geç Kretase döneminde aktif olan magmatik yay, İstanbul'un kuzeyinden başlayarak Balkanlar'a kadar uzanan geniş bir alanı kapsamış ve bu durum tipik bir dalma-batma zonunun varlığına işaret etmiştir (Georgiev vd. 2012; Karacık ve Tüysüz 2010; VonQuadt vd. 2005). Bu yay magmatizmasını, Orta Eosen döneminde meydana gelen kıtasal çarpışma ile eş zamanlı ve çarpışma sonrasında gelişen magmatik kuşakların oluşumu izlemiştir (Altunkaynak vd. 2012a; Delaloye ve Bingöl 2000; Ersoy ve Palmer 2013; Köprübaşı ve Aldanmaz 2004; Harris vd. 1994; Ustaömer vd. 2009). Eosen yaşlı magmatik kayalar, ağırlıklı olarak İzmir-Ankara-Erzincan Sütur Kuşağı'nın kuzey kesiminde, kısmen de güney kesiminde yer almaktadır (Altunkaynak vd. 2012a). Geç Oligosen-Erken Miyosen'den itibaren genişlemeye başlayan Doğu Akdeniz Bölgesi (Avigad vd. 1997; Buick 1991; Jolivet vd. 1998; Le Pichon ve Angelier 1979; Meulenkamp vd. 1988; Thomson vd. 1998; Tirel vd. 2004), Ege Bölgesi'ndeki genişleme ile ilişkili provenslerde gelişen, sık yerleşimli ve sünümlü deformasyon

gösteren granitoidler ile volkanik kayalardan oluşan metamorfik çekirdek kompleksleriyle temsil edilmektedir. Bu kompleksler arasında Kikladlar, Rodoplar, Kazdağ, Girit ve Menderes Metamorfik Çekirdek Kompleksleri (MÇK) yer almaktadır (Dilek vd. 2009; Jolivet vd. 2010; Okay ve Satır 2000; Öner vd. 2010). Batı Türkiye’de gözlenen genişlemeli ve sünümlü deformasyon, Menderes Masifi’nin kuzey, güney ve orta kesimlerinde yaygın volkanizma ile gelişmiş granitoyitik kayalar ve makaslama zonları ile tanımlanmaktadır.

Ege Bölgesinde magmatizma kuzeyden güneye doğru gençleşen bir yaş dağılımına sahiptir. Anatolid-Torid ve Sakarya kıtalarının çarpışması sonucunda, Neotetis Okyanusu’nda ayrılma meydana gelmiş ve bu durum, İzmir-Ankara-Erzincan Sütur Zonu (İAESZ) ile Sakarya kıtasının altında bulunan metasomatize olmuş litosferik mantoda kısmi ergimelere yol açmıştır (Dilek ve Altunkaynak 2007, 2009; Altunkaynak 2007). Bu ergimeler, metasomatize olmuş litosferik mantoda gerçekleşen astenosferik yükselmelerle ilişkilendirilmektedir (Altunkaynak 2007; Gürarlan ve Altunkaynak 2019). Eosen dönemine ait granitoidlerin Kuzeybatı Anadolu’ya yerleşimi, bu çarpışma sonrasında gerçekleşmiştir. Söz konusu olay, Anatolid-Torid kuşağının Sakarya kıtasıyla, İzmir-Ankara-Erzincan Sütur Zonu boyunca çarpışmasıyla ilgilidir. Bu çarpışma sonucunda, İAESZ’nin kuzeyinde doğu-batı yönelimli iki farklı granitoid kuşağı gelişmiştir. Altunkaynak (2007), çarpışma sonrası gelişen güney kuşağındaki granitoidlerin 54–48 milyon yıl, kuzey kuşağında yer alan Marmara granitoidlerinin ise 48–35 milyon yıl arasında yerleştiklerini belirtmektedir. Orhaneli, Topuk ve Gürgenyayla gibi güney kuşağındaki sütur zonu granitoidleri ile Kuşçayır, Karabiga, Kapıdağ ve Fıstıklı gibi kuzey kuşağındaki Marmara granitoidleri, genel olarak I-tipi karakterlilerdir.

Batı Anadolu’da Oligosen ve Erken Miyosen’de gerçekleşen magmatik olayların yaygın olarak gözlenen granitik plütonları ve bunlarla ilişkili volkanik kayaları ürettiği bilinmektedir (Yılmaz 1989; Altunkaynak ve Yılmaz 1998, 1999; Genç 1998; Yılmaz vd. 2001; Özgenç ve İlbeyli 2008; Akay 2009; Karacık ve Yılmaz 1998). Bunlar, kuzeybatıdan güneydoğuya doğru sıralandığında Kestanbol, Evciler, Karaköy, Katrandag, Yenice, Hıdırlar, Ilıca-Şamlı, Kozak, Çataldağ, Eybek, Çamlık, Eğrigöz ve Salihli granitoidlerini kapsamaktadır. Bu birimlerden Katrandag, Yenice, Hıdırlar ve Salihli granitoidleri daha küçük ölçekli stoklar ile temsil edilirken, diğer granitoidler geniş alanlara yayılmış büyük plütonlar şeklinde gözlenmektedir. Kestanbol granitoidi, Rodop kuşağına ait Çamlıca mikasistleriyle birlikte tektonik bindirme ilişkisi gösteren Sakarya temel kayaları içerisine sokulmuştur (Karacık ve Yılmaz 1998). Benzer şekilde, Kozak, Evciler, Ilıca-Şamlı, Eybek, Çataldağ, Hıdırlar ve Katrandag granitoidleri de Sakarya Kıtası’nın metamorfik temel kayaları içerisine sokulmuşlardır. Kozak, Kestanbol, Evciler, Ilıca, Çataldağ ve Karaköy plütonlarının çarpışma sonrası ortamında, manto kaynaklı ergimelerin kalınlaşmış orojenik kabuk ve sıkışmalı bir tektonik rejim altında oluşmuş hibrid magma kaynaklarından türedikleri önerilmiştir (Altunkaynak ve Yılmaz 1998, 1999; Genç 1998; Karacık ve Yılmaz 1998; Yılmaz vd. 2001; Boztuğ vd. 2009; Yılmaz-Şahin vd. 2010). Çamlık, Eğrigöz ve Salihli granitoidleri, Anatolid-Torit Platformu’nu oluşturan Menderes Masifi’ne ait metamorfik kayaların içerisine sokulmuş granitik kütleler olarak tanımlanmaktadır (Altunkaynak ve Dilek 2012). Geç Oligosen–Orta Miyosen dönemine ait plütonlar, kabuğun sığ seviyelerine sokulmuş magmatik kütlelerdir. Bu kütleler, metamorfik ana

kayaçları kesmektedir. Geç Oligosen–Orta Miyosen granitoidlerinin birçoğu, eş zamanlı ve mekânsal olarak ilişkili volkanik kayaçlarla yakın ilişki gösteren sub-volkanik plütonlar olarak tanımlanmıştır (Yılmaz 1989; Altunkaynak ve Yılmaz 1998, 1999; Genç 1998; Yılmaz vd. 2001).

Kiklad Adaları ise büyük ölçüde yüksek dereceli metamorfik birimler (gnays, mermer, şist) ve bunlara sokulmuş granitoid kütlelerden oluşmaktadır. Oligosen–Miyosen dönemleri arasında (yaklaşık 30–15 milyon yıl önce) bölgede granitoid intrüzyonları meydana gelmiştir (Keay vd. 2001). Bu süreç, genişlemeli tektonik rejimin etkisi altında gelişmiştir (Jolivet vd. 1994). Kiklad granitoidleri, litosferik gerilmenin artması, kabuk kalınlığının azalması ve buna bağlı olarak gelişen hızlı soğuma süreçleri sonucunda oluşmaktadırlar. Genellikle S-tipi veya hafif I-tipi, peralümino karakter sergileyen granitoidler, %65–75 aralığında değişen orta ila yüksek SiO₂ içeriklerine sahiptir (Altherr vd. 1982; Pe-Piper vd. 2002). Kiklad granitoidlerinin oluşumu, başlıca 17 ila 14 milyon yıl önce gerçekleşmiş olup, bu zaman dilimi Ege Bölgesi’nde genişlemeye bağlı kabuksal incelmenin ve sıyrılma fayları boyunca gelişen hızlı deformasyon süreçlerinin etkisiyle ilişkilendirilmektedir (Keay vd. 2001; Faure vd. 1991; Jolivet vd. 2010).

2. TEMEL BİLGİLER

2.1. Granitoidlerin Sınıflandırılması

Granitoidler aşağıdaki sınıflamaya göre ayrılmaktadır (Çizelge 2.1)(Boztuğ 1989).

1. Granitoidlerin Petrojenetik, Tektonojenetik ve Metalojenetik Sınıflandırılması

1.1. Granitoidlerin Jeokimyasal ve Mineralojik Özelliklerine Göre Petrojenetik Sınıflandırılması

1. SIMA tipi granitoidler
2. Kafemik (CAFEM), Alümino-Kafemik (ALCAF) ve Alümino (ALUM) Karakterli Granitoid Toplulukları
3. Granitoidlerin Zirkon Minerallerine Göre Sınıflandırılması
 1. Kabuksal Kökenli veya Kabuksal Kökenin Hâkim Olduğu Granitoidler
 1. Otokton ve intruzifalüminolöko granitler
 2. Subotoktonmonzogranitler ve granodiyoritler
 3. İntruzif alüminomonzogranitler ve granodiyoritler
 2. Kabuk ve Manto Kökenli (Hibrid) Granitoidler
 1. Kalk-alkali granitoid serileri
 2. Subalkaligranitoid serileri
 3. Manto Kökenli veya Manto Kökeninin Hâkim Olduğu Granitoidler
 1. Alkali granit serileri
 2. Toleyitik granitoid serileri

1.2. Granitoidlerin İz Elementlerine Göre Tektonojenetik Sınıflandırılması

1. Granitoidlerin ana tektonojenetik grupları
 1. Okyanus sırtı granitoidleri (ORG)
 2. Volkanik yay granitoidleri (VAG)
 3. Levha içi granitoidleri (WPG)
 4. Çarpışma ürünü (Kollizyon) granitoidleri (COLG)
2. Granitoid tiplerinin iz element karakteristikleri

1.3. Granitoidlerin Metalojenetik Sınıflandırılması

1. Manyetit serisi granitoidler
2. İlmenit serisi granitoidler

Çizelge 2.1. 20.yüzyılın ilk çeyreğinden günümüze kadar çeşitli ölçülere göre yapılan granitoyid sınıflandırmalarının topluca görünümü (Barbarin 1990, 1999; Pitcher 1993'ten yararlanarak hazırlanmıştır) (Boztuğ 1989)

Parametre	Tanımlayan yazarlar	KÖKEN											
		Kabuksal	Kabuk+Manto Karışımı			Manto							
İlk kimyasal adlandırma	Shand (1943)	Pearalümino Kayaçlar	Metalümino kayaçlar							Peralkalin kayaç			
	Lacroix (1933)	Kalkalkalihiperalümino kayaç	Kalkalkali kayaçlar							Alkalin kayaçlar			
Petrografi	Capdevila vd. (1973)	Ortakabuk granitleri	Karışık granitler		Alt kabuk granitleri								
	Orsini (1976, 1979)		Subalkaliialümino		Kalkalkali								
	Yang Chaoquin (1982)	MM-tipi	CR-tipi		MS-tipi					MD-tipi			
	Tischendorf ve Palchen(1985)	Si	SS	Si	IKK	LOK		IMT		IMA			
Enklavlar	Didier ve Lameyre (1969); Didier vd. 1982	C-tipi (Kabuksal)				M-tipi (Manto veya karışık)							
Mineraloji	Lameyre (1980)Lameyre ve Bowden (1982)	Lökogranitler				Kalkalkalin seri					Toleyitik (Per)alkalin seri		
Mafik Min.	Rossi ve Chevrement (1987)			Alüminopotasik		Monzonitik		Kalkalkalin		Toleyitik			
Biyotit bil.	Nachit vd. (1985)			Alüminopotasik trend		Kalkalkalin ve subalkalin trend					Alkalin.hip.alkalin		
Zirkon Morf.	Pupin (1980, 1988)	Tip 1	Tip 2	Tip 3		Tip 4 ve 5		Tip 7		Tip 6			
Opak oksitler	Ishihara (1977); Czamanske vd. (1981)			İlmenit serisi				Manyetit serisi					
Ana element jeokimyası	Chappel ve White (1974); White ve Chappel (1983);Collins vd.1982;Whalen vd. (1987)			S-tipi		I-tipi		M-tipi		A-tipi			
	La Roche (1986); La Roche vd. (1980)	AK-L M.A.		AK-G M.A.		SA M.A.		CA M.A.		TH M.A. A-PA M.A.			
	Debon ve Le Fort (1983,1988)			Alümino		Altümino-kafemik ve kafemik							
	Maniar ve Piccoli (1989)	CCG		POG		CAG		IAG		OP	RRG	CEUG	
Eser element jeokimyası	Tauson ve Kozlov (1973)	Plümasitik	Ultra MM	Palinjenik granitler (normal ve subalkalin)				Plajiyö-				Agpaitik	
Cevherleşme	Pearce vd. (1984)			Çarpışma granitleri (COLG)				Volkanik yay		ORG		Levha içi	
	Xu Kequin vd. (1982)	Transformasyon tipi (kıtasal kabuk)		Synteksis tipi (manto-kabuk geçisi)		Mantodan türemiş tipler							
Tektonik	Pitcher (1983, 1987, 1993)	Hersinotip		Kaledoniyen tip		Andinotip		Batı Pasifik		Nijerya tipi			
Petrojenetik	Barbarin (1990)	C	C.CT	C.CI		H.CA		H.CA		T		A	
	Barbarin (1999)	MPG		CPG		ACG		ACG		ATG		PAG	

2.2. Granitoidlerin Sınıflandırılması/Tanımlanmasında Kullanılan Yöntemler

2.2.1. Geleneksel diyagramlar ve tanımlamalar

1. Toplam alkali-silis (TAS) diyagramı

TAS sınıflandırması, birleşik alkali ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) ve silis (SiO_2) içerikleri ile ilgili olup, IUGS tarafından alterasyona uğramamış ince taneli veya camsı volkanik kayaların sınıflandırılması amacıyla önerilmiştir (Le Bas vd.1986, 1992; Le Bas ve Streckeisen 1991). TAS diyagramı, içinde çok fazla K ve Mg bulunan kayaların sınıflandırılmasında ve alkali elementler değişim sırasında kolayca yer değiştirdiği için (Na, K) bozulmuş ya da metamorfizma geçirmiş volkanik kayalar için bu diyagram uygun değildir (Temel 2001).

2. QAP üçgen diyagramı

QAP üçgen diyagramı (Streckeisen 1976), kuvars (Q), alkali feldispat (A) ve plajiyoklaz feldispat (P) olmak üzere üç ana mineral grubunun hacimsel oranlarına dayanan, granit ve diğer asidik magmatik kayaların mineralojik bileşimini belirlemek amacıyla kullanılan bir petrografik sınıflama sistemidir. Bu mineral gruplarının oranları, granitlerin ve benzeri kayaların petrografik özelliklerini sistematik bir şekilde sınıflandırmak için kullanılmaktadır (Le Maitre 2002). QAP sisteminin eksikliği yalnızca felsik mineralleri dikkate alması ve diğer minerallerin bolluğunu adlandırmada hâriç tutmasıdır (Glazner vd. 2019).

3. Harker diyagramları

Bu diyagramlar, x ekseninde SiO_2 , y ekseninde ise ana ve eser element verilerinin kullanıldığı ikili değişim diyagramlarıdır (Harker 1909). İlgili elementler ile SiO_2 arasındaki korelasyon ortaya konulmaktadır.

4. AFM diyagramları

AFM diyagramları, özellikle toleyitik ve kalk-alkalin magmatik kayaç serilerinin ayırımında kullanılan önemli bir jeokimyasal araçtır (Harris 1986). Analizler sonucu, elde edilen alkali ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$), demir (FeO_t) ve MgO değerleri yeniden hesaplanarak %100'e tamamlanır ve üçgen bir diyagram üzerinde gösterilir. Bu üçlü diyagram normalize edilmiş oranları göstererek magmatik evrim sürecinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır (Irvine ve Baragar 1971; Rollinson 1993).

5. Debon ve Le Fort sınıflandırması

Debon ve Le Fort (1983, 1988) tarafından temeli QAP grafiğinin kimyasal eşdeğeri olan P–Q diyagramı, kuvars bolluğunun bir ölçüsü olan Q [$\text{Si}/3 - (\text{Na} + \text{K} + 2 \times \text{Ca}/3)$] ve feldispatlar arasındaki K-feldispat oranının bir göstergesi olan P [$\text{K} - (\text{Na} + \text{Ca})$] ile tanımlanmaktadır. Petrografik tanımlamanın yetersiz kaldığı durumlarda, özellikle alterasyona uğramış ya da yeniden kristallenmiş plütonik kayaların sınıflandırılmasında kullanılmaktadır (Debon ve Le Fort 1983).

6. Frost vd. (2001) magmatik kayaç sınıflama şeması

Frost vd. (2001) tarafından geliştirilen magmatik kayaç sınıflama şeması, magmatik kayaçların oksijen fugasitesi ve magmanın oksidasyon-indirgenme durumu temel alınarak kaya türlerinden bağımsız bir yaklaşımla tanımlanmasını amaçlamaktadır. Bu şema, kayaçların mineralojik, kimyasal ve oksijen fugasitesi özelliklerine dayanan çok katmanlı bir sınıflandırma sistemidir. Magmatik birlikteliklerin daha geniş ölçekli özelliklerini anlamak için temel ayırıcı özelliklere odaklanmak temel amaçtır.

7. CIPW norm sınıflaması

CIPW norm değerleri bir kayacın % oksit cinsinden verilen kimyasal bileşiminden hareketle, onun ideal mineral bileşimini hesaplamak amacıyla kullanılan bir yöntemdir (Cross vd. 1903; Kelsey 1965; Cox 1979). Bu yöntem, kayaçların mineralojik sınıflandırmasında ve magmatik evrim süreçlerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Streckeisen 1976; Rollinson 1993).

8. Pearce element diyagramları (Nb, Y, Zr, Ti, Th vs. Ta)

Pearce (1984), volkanik kayaçların jeokimyasal özelliklerine dayanarak, bunların olduğu tektonik ortamları ayırt etmeye yönelik bir sınıflama yöntemi geliştirmiştir. Özellikle yüksek duraylılık alanına sahip elementler (HFSE) ve büyük iyonlu litofil elementler (LILE) kullanılarak, volkanik kayaçların okyanus ortası sırtı (MORB), ada yayı (VAB) ve kıtasal iç (WPRG) gibi farklı tektonik ortamlarda nasıl farklılaştığı açıklanmaktadır. Sınıflama, kayaçların alkali ve bazik bileşen içerikleriyle doğrudan ilişkilidir (Pearce 1984).

9. Granitoid tektonik sınıflama diyagramı

Batchelor ve Bowden (1985), magmatik kayaçların özellikle de granitlerin (granitoidlerin) oluşum ortamlarını belirlemek amacıyla, jeokimyasal bileşimlerine dayalı bir sınıflama yöntemi önermişlerdir. Granitik kayaçlar; volkanik yay (VAG), kıtasal çarpışma (syn-COLG), okyanus içi rift (ORG) ve levha içi (WPG) gibi farklı tektonik ortamlara göre sınıflandırılmıştır. Sınıflama, özellikle SiO₂, K₂O, Na₂O gibi ana element oksitlerinin oranlarına dayanmaktadır (Batchelor ve Bowden 1985).

2.2.2. Modern yöntemler ve tanımlamalar

1. Makine öğrenmesi

Makine öğrenmesi, bilgisayarların geçmiş deneyimlerden öğrenerek farklı teknikler uygulamasına olanak sağlayan bir yapay zekâ dalıdır (Alpaydın 2010). Son dönemlerde jeolojide granitoidik kayaçların geleneksel sınıflandırma yöntemleri dışında makine öğrenmesiyle sınıflandırılmaları üzerine çalışılmıştır.

Alferez vd. (2021) çalışmasında, yerkabuğunda en çok bulunan plütonik kayalar olan granitoidlerin TensorFlow ile geliştirilen evrişimli sinir ağı ile sınıflandırılmasına

yönelik çeşitli modeller üretmiştir. Kombinasyonlar gabro, diyorit, tonalit, granodiyorit, monzodiyorit ve granit görüntülerini içermektedir. Kayaç görüntülerinin kombinasyonları doğruluk, kesinlik, hatırlanabilirlik ve F_1 puanı açısından değerlendirilmiştir. Gabro, diyorit, tonalit, granodiyorit, monzodiyorit ve granit görüntülerinin çeşitli kombinasyonları için farklı sınıflandırma modelleri eğitilmiştir. Gabro, diyorit, granodiyorit ve granit örneklerinin görüntüleri ile oluşturulan modelin bu metriklere göre en iyi model olduğu önerilmiştir.

Saha vd. (2021)'e göre, biyotit kimyası ana kayacın tektonik konumunu ayırt etmek için potansiyel olarak kullanılabilir. Bu çalışmada, kıta yayı, kıta içi levha içi, ada yayı, okyanus içi ile ilişkili olmak üzere beş tektonik ortamı ayırt etmek için biyotit ana element kimyasının geniş bir jeokimyasal veri kümesine iki makine öğrenme modeli XGBoost ve LightGBM uygulanmıştır. Modeller, tüm tektonik ortamlarda iyi sınıflandırma sonuçları elde edebilmektedir. XGBoost sınıflandırıcı için %76'nın üzerinde ve LightGBM sınıflandırıcı için %74'ün üzerinde doğruluk elde edilmiştir.

Alferez vd. (2022) bu çalışmada denetimli ve denetimsiz öğrenmenin jeokimyasal verilere uygulanması için otomatik bir yöntem önermişlerdir. Güney Kaliforniya'daki altı bloktan alınan granitik kaya numunelerinden oluşan bir veri kümesi kullanılmıştır. Denetimli öğrenme için Karar Ağaçları modeli ile bu bölgedeki örnekleri sınıflandırmak için doğruluk: %87, kesinlik: %89, geri çağırma: %89 ve F-puanı: %81 değerleri elde edilmiştir. Denetimsiz öğrenme için iki bileşenin basınç ve su ile ilgili olabileceği belirtilmiştir. Jeokimyada denetimli öğrenme denetimsiz öğrenmeden daha fazla kullanılabilir sonucuna varılmıştır.

Lei vd. (2024) bu çalışmada magmatik kayaların jeokimyasal verilerini analiz etmek ve tektonik ortamların anlaşılmasını geliştirmek için modern makine öğrenme tekniklerini uygulamaktadır. Karar Ağaçları, K-En Yakın Komşular, Destek Vektör Makineleri, Rastgele Ormanlar, Aşırı Gradyan Güçlendirme ve Yapay Sinir Ağları dahil olmak üzere çeşitli makine öğrenimi modelleri kullanılarak 23 tane ana ve eser elementle eğitim yapılarak yedi farklı tektonik ortam arasında başarılı bir şekilde ayırım yapılmıştır. Bu modeller arasında, Rastgele Orman, Aşırı Gradyan Güçlendirme ve Yapay Sinir Ağları sırasıyla %85, %87 ve %86 doğrulukla üstün sınıflandırma doğruluğu ve hatırlama oranları göstermiştir. Jeologların ve araştırmacıların makine öğrenimi bilgisine hâkim olmalarına gerek kalmadan magmatik kayaçların kökenlerini daha doğru bir şekilde anlamalarını ve tahmin etmelerini sağlamak için kullanıcı dostu bir yazılım olan GeoTectAI geliştirilmiştir.

Makine öğrenmesinde veriler iki grupta incelenmektedir:

Denetimli öğrenmede veriler etiketlenmektedir. Etiket, örneğin ait olduğu bir kategori veya sınıftır ve onu tanımlamaktadır. Birden fazla örnek aynı sınıfa (veya aynı etikete) ait olabilmektedir. Algoritmalar, yeni örnekleri tahmin etmek için her örneğin özelliklerinden öğrenmektedir. Özellikler, örneklerin ölçülebilir özellikleridir. Özellik değerlerine (bağımsız değişkenler) bağlı olarak ait olduğu sınıf (bağımlı değişken) olmaktadır (Alferez vd. 2022).

Sınıflandırma için kullanılan algoritmalar olan K-En Yakın Komşu yönteminde, veri noktasını en yakın K komşu noktasına göre sınıflandırmakla ilgilidir.

Algoritma, mevcut tüm verileri depolayarak ve ardından yeni bir veri noktası için bu depodaki mesafe açısından kendisine en yakın K veri noktasını bularak çalışmaktadır.

Bir diğer yöntem ise Lojistik Regresyon yöntemidir. Veri girdileri arasındaki ilişkileri tanımaya çalışmaktadır. Bir sonucun olasılığını bireysel özelliklere (bağımsız değişkenlere) göre modellemektedir. Özellikler bir sayı (ağırlık) ile çarpılır ve hepsi toplanır. Bu toplam bir lojistik fonksiyonunda 0 ile 1 arasında bir sonuç ile olayın gerçekleşme ihtimalini göstermektedir (Harrington 2012).

Karar Ağaçları ise, kümeyi farklı kılan en önemli özelliklere göre verileri alt kümelerle ayırmaktadır (bir ağaç oluşturmaktadır). Karar blokları ve sonlandırma blokları bulunmaktadır. Karar bloklarında, koşulun doğru veya yanlış olmasına bağlı olarak iki alternatif vardır, başka bir karar bloğuna veya sonlandırma bloğuna yol açabilmektedirler. Her bloğun entropi adı verilen bir ölçüsü bulunmaktadır. Entropi, bir örnek grubundaki düzensizliği veya belirsizliği ölçmektedir. Entropi ne kadar yüksekse, verinin o kadar dağınık olduğunu göstermektedir. Karar ağaçları algoritması, her blok ilerledikçe bu ölçüyü azaltmaya çalışmaktadır. Bir sonuca varıldığında (sonlanan bir blokta), entropi sıfır olmaktadır (Harrington 2012).

Bir diğer yöntem olan Destek Vektör Makinelerinde ise, veriler n boyutlu bir uzayda (özellik sayısı) çizilmektedir ve bir karar sınırı (veya hiper düzlem) verileri sınıflara ayırmaktadır. Çizilen veri noktaları karar sınırından ne kadar uzaksa algoritmanın tahmin konusunda o kadar emin olduğunu göstermektedir. Hiper düzleme en yakın veri noktalarına destek vektörleri denilmektedir (Harrington 2012).

Çok Katmanlı Algılayıcı ise en yaygın yapay sinir ağıdır (YSA). Ortama doğrudan bağlı iki katman bulunmaktadır (giriş katmanı ve çıkış katmanı). Bu iki katman arasındaki ara katmanlara gizli katmanlar denilmektedir. Her katman bir sonraki katmana bağlı nöronlar içermektedir. Nöronlar tarafından iletilen sinyal, döngüler oluşturmadan tek bir yönü (giriş katmanından çıkış katmanına) takip etmektedir. Bu yapıya ileri besleme denilmektedir (Marius vd. 2009).

Her modeli değerlendirmek için şu metrikler kullanılmaktadır:

(i) *Doğruluk*: Doğru sınıflandırılan örneklerin toplam örnekler içindeki yüzdesini temsil etmektedir;

(ii) *Kesinlik*: Pozitif olarak tanımlanan toplam numuneler içinde doğru şekilde pozitif olarak tanımlanan numunelerin yüzdesini temsil etmektedir;

(iii) *Geri Çağırma*: Toplam pozitif numuneler içinde doğru şekilde pozitif olarak tanımlanan numunelerin yüzdesini temsil etmektedir;

(iv) *F puanı*: Kesinlik ve geri çağırma arasındaki harmonik ortalamayı temsil etmektedir;

(v) *Destek*: Sınıf başına örnek sayısıdır;

(vi) *Özellik önemi*: Karar Ağaçları sınıflandırıcısı için ek bir metriktir. Bir özellik mevcut olmadığında model performansının ne kadar düştüğünün yüzdesi temsil edilmektedir (Feurer ve Hutter 2019; Alferez vd. 2022).

Denetimsiz öğrenme ise, kümelerin davranışını jeokimyasal elementler açısından gözlemlemek için uygulanmaktadır. Veriler etiketlenmemektedir. Algoritmalar, içindeki desenleri keşfetmek için örnekleri kümelere gruplandırmaktadır. Kullanılan yöntemlerden PCA analizinde (Principal Component Analysis/Temel Bileşenler Analizi), verilerdeki kayıp en aza indirilmektedir. Veri kümesi bir koordinat sistemine dönüştürülerek ilk eksen, verideki en büyük değişken yönünde seçilir. İkinci eksen, birinci eksene dik olacak şekilde ve mümkün olan en yüksek değişkeni içerecek şekilde seçilir. Bu işlem, tüm veri temel bileşenler (PC'ler) üzerinde kapsanana kadar tekrarlanır (Harrington 2012).

K-ortalamalarda ise, benzer özelliklere sahip kümeler (cluster) oluşturmak için kullanılan bir algoritmadır. Her kümenin merkezi, o kümedeki değerlerin ortalama uzaklığını temsil eden merkez (centroid) olarak adlandırılmaktadır. K-ortalama algoritması ile k tane benzersiz küme bulunmuş ve her örnek, en yakın merkeze sahip kümeye atanmıştır (Harrington 2012).

3. YÖNTEMLER

Bu çalışmada, granitoidlerin geleneksel sınıflandırmalardan farklı olarak makine öğrenme ile sınıflandırma yöntemleri üzerinde çalışılmıştır. Bu amaçla makine öğrenme yöntemiyle Batı Anadolu Bölgesi ve Kikladlarda yüzlek veren Oligo-Miyosen yaşlı granitoidlerin sınıflandırılması ve dünyadaki granitoidler ile benzerliklerinin/farklılıklarının çıkarılması için Alferez vd. (2022)'nin önerdiği "AutoML for Geochemistry (jeokimya için otomatik makine öğrenmesi)" yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, makine öğrenimi modellerinin oluşturma süresini azaltmak için makine öğrenimi süreçlerini otomatikleştirmekten oluşmaktadır. Ayrıca, hızlı uygulamaya izin vermekte ve makine öğrenimi tekniklerini gelişmiş programlama bilgisi olmadan daha erişilebilir hale getirmektedir (Alferez vd. 2022). Bu çalışmada, daha önce jeokimyasal özellikleri ortaya konulmuş granitoidlere ait veriler kullanılarak denetimli ve denetimsiz öğrenme yöntemleri uygulanmıştır.

Denetimli öğrenme yönteminde eğitim verileri olarak kullanılmak için Batı Anadolu Bölgesi ve Kiklad verilerini kapsayacak şekilde en uygun analizler, küresel ölçekte granit analizlerinin yer aldığı GeoRoc veri tabanından (<https://georoc.eu/georoc/new-start.asp>) derlenmiştir. Makine öğrenmesinde eğitim için kullanılan bu analizler örnek numarası, blok adı, 10 ana element (SiO_2 , Al_2O_3 , FeO_t , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , MnO ve P_2O_5), 37 eser element (Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Hf, Ta, Lu, Pb, Ga, Ge, As, Th ve U) ve değerlerini içeren 5220 adet örnekten oluşmaktadır. Bu analizler, csv (comma separated value/virgülle ayrılmış değerler) dosya formatında hazırlanarak programa yüklenmiştir. Yüklenen verilerden sınıflandırmalarda kullanmak için sadece blok adı ve elementler seçilerek, bloklara ayrılan örnekler K-En Yakın Komşular, Karar Ağaçları, Destek Vektör Makineleri, Lojistik Regresyon, Çok Katmanlı Algılayıcı algoritmalarına göre program tarafından değerlendirilerek, en iyi sonuç veren model yeni verileri sınıflandırmak için önerilmiştir. En iyi doğruluk veren algoritmayla sınıflandırmak için Batı Anadolu Bölgesi ve Kiklad granitoidlerini içeren Eosen'den Miyosen'e kadar yaşlı olan 802 örnek kullanılmıştır. Bu analizler sadece element isimleri ve değerlerini içerecek şekilde csv formatında hazırlanarak programa yüklenmiştir. Ve yeni sonuçlar csv formatında indirilmiştir. Böylece Batı Anadolu'da bugüne kadar çalışılan granitoidler ve dünyadaki granitoidler ile aralarındaki korelasyon makine öğrenmesi yöntemiyle elde edilmiş ve birbirleriyle uyumlu olup olmadıkları anlaşılmaya çalışılmıştır.

Denetimsiz öğrenme yöntemi için hazırlanan Batı Anadolu Bölgesi ve Kiklad granitoidlerini içeren 802 örnek csv formatında programa yüklenmiştir. Örnek adı olmadan sadece elementler seçilmiştir. Yüklenen verilere K-ortalama ve PCA teknikleri program tarafından uygulanmıştır. Bu yöntemler kullanılarak veri seti element özelliklerine göre gruplandırılmıştır. PCA grafikleri ve kümeleme sonuçları csv formatında indirilerek granitoid örneklerinin kendi içlerinde anlamlı kümeler oluşturup oluşturmadıkları değerlendirilmiştir.

3.1. Test Verilerinin Seçimi

Denetimli öğrenme yönteminde test edilecek yeni veri seti olarak Batı Anadolu ve Kiklad granitoidlerine ait jeokimyasal analizler kullanılmıştır. Batı Anadolu ve

Kikladrara ait Eosen, Oligosen ve Miyosen yaşı birimlerden toplam 802 örnek kullanılmıştır. Bu granitoidlere ait jeokimyasal ve petrojenetik özellikler Ek 1’de tablo halinde özetlenmiştir. Kullanılan bu birimlerin örnek sayıları şu şekildedir;

Eosen granitoidleri, Karabiga (7 örnek, Karacık vd. 2008), Karaköy (2 örnek, Öztürk vd. 2005), Kapıdağ (19 örnek, Karacık vd. 2008), Kuşçayır (3 örnek, Delaloye vd. 2000), Orhaneli (26 örnek, Daghan vd. 2014), Topuk (3 örnek, Harris ve Kelley 1994), Yürükcaören (4 örnek, Demirbilek vd. 2018), Topkaya (10 örnek, Demirbilek vd. 2018), Kaymaz (8 örnek, Demirbilek vd. 2018), Sivrihisar (10 örnek, Demirbilek vd. 2018), Kadıncık (15 örnek, Demirbilek vd. 2018), Dinek (7 örnek, Demirbilek vd. 2018), Tekören (6 örnek, Demirbilek vd. 2018) ve Karacaören (10 örnek, Demirbilek vd. 2018) granitoidleridir.

Oligosen granitoidleri, Katrandağ (4 örnek, Delaloye vd. 2000), Nevruz-Çakıroba (11 örnek, Aysal 2015), Kızıldam (14 örnek, Karacık vd. 2008), Soğucak (19 örnek, Aysal 2015), Sarıoluk (17 örnek, Karacık vd. 2008), Kurtlar-Hıdırlar (23 örnek, Aysal 2015), Namazgah (10 örnek, Aysal 2015), Eskiayla-Zeybekçayırı (4 örnek, Aysal 2015), Avcılar-Kavlaklar (10 örnek, Aysal 2015), Yenice (19 örnek, Delaloye vd. 2000), Karadoru (6 örnek, Aysal 2015), Eybek (10 örnek, Black vd. 2013), Uludağ (15 örnek, Topuz vd. 2017), Gönen (10 örnek, Karacık vd. 2008), Çataldağ (35 örnek, Dağhan ve Köprübaşı 2014; Öztürk 2016) ve Boğazova (30 örnek, Sendir ve Sarıiz 2009) granitoidlerinden oluşmaktadır.

Miyosen granitoidlerinden Erken Miyosen granitoidleri, Kestanbol (83 örnek, Şahin vd. 2010; Black vd. 2013), Kozak (21 örnek, Altunkaynak vd. 1998; Delaloye vd. 2000; Yılmaz vd. 2001; Black vd. 2013; Öztürk vd. 2016), Alacam (65 örnek, Hasözbek vd. 2009; Catlos vd. 2012), Baklan (16 örnek, Aydoğan vd. 2006), Eğrigöz (69 örnek, Akay 2009; Catlos vd. 2012; Erkül vd. 2013; Oyman vd. 2013), Ezine (6 örnek, Öztürk 2016), Koyunoba (25 örnek, Catlos vd. 2012; Erkül vd. 2013), Kütahya (7 örnek, Çoban vd. 2012), Solarya (28 örnek, Ünal ve Altunkaynak 2018), Musalar (17 örnek, Erkül vd. 2013), Ilıca – Şamlı (15 örnek, Dağhan ve Köprübaşı 2014) ve Ilıca (2 örnek, Karacık vd. 2008) granitoidleridir. Orta Miyosen granitoidleri, Salihli (43 örnek, Erkül ve Erkül 2012; Erkül vd. 2013) ve Turgutlu (5 örnek, Erkül vd. 2013) granitoidleridir. Geç Miyosen granitoidleri, Ikaria (4 örnek, Altherr ve Siebel 2002; Stouraiti vd. 2010), Kos (6 örnek, Altherr ve Siebel 2002), Lavrion (8 örnek, Altherr ve Siebel 2002; Skarpelies vd. 2007; Stouraiti vd. 2010), Serifos (4 örnek, Altherr ve Siebel 2002; Stouraiti vd. 2010) ve Mykonos (4 örnek, Altherr ve Siebel 2002; Stouraiti vd. 2010) granitoidleridir.

3.2. Eğitim Verilerinin Seçimi

Batı Anadolu bölgesi ve Kiklad granitoid örneklerinin dünyadaki diğer granitoidler ile benzerliklerinin belirlenebilmesi için GeoRoc küresel veri tabanında bulunan jeokimya veri setlerinin element değerleri tam olanlardan verilerin AutoML for Geochemistry (Alferez vd. 2022) programına yüklendiğinde örnek sayılarının üst örnekleme yöntemiyle çoğaltılacağı göz önünde bulundurularak üç karşılaştırma için; en az 5 en fazla 47 örneğe ve bir karşılaştırma için ise; en az 10 en fazla 35 örneğe sahip olan jeokimyasal örneklerin seçilmesi uygun bulunarak 100’den fazla birim seçilmiştir. Eğitim için kullanılan bu örneklerden karşılaştırmalarda sonuç olarak karşımıza en fazla

çıkan birimler; (1) Xucun dayk, (2) Tanghu plütonu, (3) Blue Tier batoliti, (4) North Hanjialing plütonu, (5) Anhui bölgesi, (6) Aishan plütonu, (7) Baoxing intrüzyonu, (8) Shadegai plütonu, (9) Madi graniti, (10) Tres Cerritos plütonu, (11) Shandong bölgesi, (12) Xinjiang bölgesi, (13) Simao siyeniti, (14) Huoshenmaio intrüzyonu, (15) Jingning intrüzyonu, (16) Yongziyu plütonu, (17) Mayubhanji formasyonu, (18) Nangodi kuşağı, (19) Guangdong bölgesi, (20) Baoxu plütonu, (21) Daliugou formasyonu, (22) Fengdingshan plütonu, (23) Muchen intrüzyonu, (24) Kezgar plütonu ve (25) Maronia magmatik koridorudur (Ek 1).



4. BULGULAR

4.1. Denetimli Öğrenme Uygulaması

Makine öğrenmesi yönteminde en iyi sonucu elde etmek için dört farklı karşılaştırma üzerinde çalışılmıştır. Denetimli öğrenmede kullanılan bu karşılaştırmaların özellikleri aşağıda verilmiştir.

Karşılaştırma bir için, denetimli öğrenme yönteminde eğitim verileri için seçilen 5220 örnek AutoML for Geochemistry (<http://216.249.119.85:8889/>) programına yüklenmiştir. Yüklenen örneklerin içerdiği elementler ve blok adı seçilmiştir. Örnek sayısına ve blok adına göre ayrılan bloklardan kullanılacak olanların seçilmesinde programın üst örnekleme yaparak örnek sayılarını dengelemesi/arttırması göz önünde bulundurularak en az 5 en fazla 47 örnek içeren bloklar seçilmiştir. Seçilen örnekler eğitim ve test verisi olarak kullanılmak üzere %80'e %20 olarak ayrılmıştır. Tüm bunların sonucunda karar ağaçları yönteminin %98 doğrulukla yeni verileri sınıflandıracak en iyi yöntem olduğu elde edilmiştir.

Diğer yöntemlerin verdiği doğruluklar ise; k-en yakın komşular için %98, lojistik regresyon için %3, destek vektör makineleri için %44 ve çok katmanlı algılayıcı algoritması için %95 olarak elde edilmiştir. Karar ağaçları yöntemi için önemli olan 10 element ve değeri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Karşılaştırma bir için eğitim verilerinin karar ağaçları yönteminde önemli olan 10 element ve değerleri (Alferez vd. 2022)

Element	Değeri	Element	Değeri
Co	0.51	Lu	0.16
Mo	0.44	TiO ₂	0.16
Ge	0.28	Cr	0.16
Cs	0.23	Sr	0.15
Ga	0.22	MgO	0.14

Yeni sınıflandırılacak veriler, Ege Bölgesi ve Kiklad granitoidlerini içeren 802 örnek, örnek isimleri olmadan sadece element isimleri ve değerleri seçilerek programa yüklenmiştir. Bu verilere en yüksek doğruluğu veren karar ağaçları yöntemi uygulanarak dünyadaki hangi birimlerle eşleştikleri sonucu elde edilmiştir.

Örneklerde çoğunlukla Shedegai plütonu, Anhui bölgesi, Xinjiang bölgesi, Simao siyeniti ve Huoshenmaio intrüzyonu birimlerinin çıktığı görülmektedir.

Karşılaştırma iki için, en iyi sonuca ulaşabilmek için tüm verilerden boş olan elementler (Sc, Cr, Ni, Cu, Zn, Mo, Pb, Ge, Li, Be, B ve As) silinerek, 5220 örnek üzerinde denetimli öğrenme yöntemindeki tüm adımlar tekrar uygulanmıştır ve %98 doğruluk veren karar ağaçları yöntemi Ege verilerini değerlendirmek için uygun görülmüştür. Ege Bölgesi ve Kiklad granitoidleri verilerinden ayrıca Eosen yaşlı örnekler, örnek sayısı az olan ve element değeri tam olmayan örnekler silinerek veriler daraltılmış ve 492 örnek (*Solarya, Çataldağ, Ilıca-Şamlı, Eğrigöz, Ezine, Musalar,*

Sarıoluk, Kızıldam, Nevruz–Çakırova, Koyunoba, Salihli, Turgutlu, Kozak, Eskiya- Zeybekçayırı, Lavrion, Namazgah, Sogucak, Karadoru, Yenice, Kurtlar-Hıdırlar, Naxos, Serifos, Tinos, Kütahya, Alacam, Eybek, Kestanbol, Baklan, İkeria, Mykonos, Kos, Uludağ, Avcılar–Kavlaklar, Gönen) için %98 doğruluk veren karar ağaçları yöntemi uygulanmıştır.

Örneklerin, Kezgar plütonu, Tres Cerritos plütonu, Xucun daykısı, Blue Tier batoliti ve en fazla olarak Maronia magmatik koridoru ile benzerlik gösterdiği görülmüştür.

Karar ağaçları yöntemi için önemli olan 10 element ve değeri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Diğer yöntemlerin verdiği doğruluklar ise; k-en yakın komşular için %98, lojistik regresyon için %23, destek vektör makineleri için %32 ve çok katmanlı algılayıcı algoritması için %59 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.2. Karşılaştırma için eğitim verilerinin karar ağaçları yönteminde önemli olan 10 element ve değerleri (Alferez vd. 2022)

Element	Değeri	Element	Değeri
Co	0.55	Rb	0.20
Cs	0.38	Ta	0.19
Sr	0.29	Lu	0.18
FeO _t	0.27	MgO	0.17
Ga	0.23	Na ₂ O	0.16

Karşılaştırma için sonucunda, çoğunluk Maronia magmatik koridoru sonucunu verdiği için blok içinden Maronia magmatik koridoru seçilmeyerek karşılaştırma üç olarak denetimli öğrenme yöntemi tüm adımları en az 5 en fazla 47 örnek içeren bloklar için tekrar uygulanmıştır. Karar ağaçları yönteminin %98 doğruluk ile en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

Diğer yöntemlerin verdiği doğruluklar ise; k-en yakın komşular için %98, lojistik regresyon için %22, destek vektör makineleri için %32 ve çok katmanlı algılayıcı algoritması için %9 olarak elde edilmiştir.

Karar ağaçları yöntemi için önemli olan 10 element ve değeri Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Ege verilerinin Karar ağaçları yöntemi sonucunda çoğunlukla Madi graniti, Xucun daykısı, Tanghu plütonu, Tres Cerritos plütonu ve Xinjiang bölgesi sonuçlarını verdiği görülmüştür.

Çizelge 4.3. Karşılaştırma üç için eğitim verilerinin karar ağaçları yönteminde önemli olan 10 element ve değerleri (Alferez vd. 2022)

Element	Değeri	Element	Değeri
Co	0.57	Al ₂ O ₃	0.23
Cs	0.35	Lu	0.22
FeO _t	0.30	TiO ₂	0.21
Rb	0.24	Nb	0.18
Sr	0.24	Ga	0.16

Karşılaştırma dört için, eğitim verilerinden As, Ge, Mo, Cr elementleri silinerek ve en az 10 en fazla 35 örnek içeren bloklar seçilerek AutoML for Geochemistry programında denetimli öğrenme yöntemi tüm adımları uygulanmıştır. Uygulanan beş algoritmanın sonucunda %93 doğrulukla K-en yakın komşular yönteminin yeni sınıflandırma için uygulanması uygun bulunmuştur.

Diğer yöntemlerin verdiği doğruluklar ise; karar ağaçları için %93, lojistik regresyon için %27, destek vektör makineleri için %36 ve çok katmanlı algılayıcı algoritması için %85 olarak elde edilmiştir. Karar ağaçları yöntemi için önemli olan 10 element ve değeri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Ege bölgesi verilerinden de element değeri sıfır (0) olan elementlerden Li, Be, B, çoğunluk değerleri sıfır (0) olan Cr, Mo, Ge, As elementleri silinerek 802 örnek programa yüklenmiştir.

Ege verilerinin K-en yakın komşular yöntemi sonucunda çoğunlukla Aishan plütonu, Huashani plütonu, Xinjiang bölgesi ve Tengchong bloğu birimlerinin sonuç olarak verildiği görülmüştür.

Çizelge 4.4. Karşılaştırma dört için eğitim verilerinin karar ağaçları yönteminde önemli olan 10 element ve değerleri (Alferez vd. 2022)

Element	Değeri	Element	Değeri
Rb	0.47	Tb	0.2
Co	0.37	Ba	0.18
Na ₂ O	0.27	V	0.15
Ga	0.23	MnO	0.12
Ni	0.2	Cs	0.12

Yapılan ilk denetimli öğrenme karşılaştırmasında Eosen granitoidlerinin Simao bloğu granitoidleriyle eşleştiği görülmektedir. Oligosen granitoidleri ise büyük oranda Maronia magmatik koridoru, Shedagai plütonu, Huoshenmaio intrüzyonu, Aishan plütonu ve Tanghu plütonu granitoidleriyle eşleştiği görülmektedir.

Özellikle ilk sorgulama sonucunda, başta Kurtlar-Hıdırlar, Kızıldam, Namazgah, Nevruz-Çakırova, Sarıoluk ve Soğucak olmak üzere Oligosen granitoidlerinin jeokimyasal özelliklerinin Maronia magmatik koridoru ile uyum içerisinde olduğu izlenmiştir. Maronia magmatik koridoru, Kuzeybatı Anadolu'daki Oligosen granitoid

kuşağının kuzeybatısında ve Rodop Metamorfik Çekirdek Kompleksi içerisinde yer almaktadır (Perkins vd. 2018).

Oligosen yaşlı Maronia magmatik koridoru, KD doğrultulu bir hat boyunca dizilmiş birkaç km²'lik harita alanına sahip stoklar ile temsil edilir. İkinci aşamada daraltılmış sorgulamada ise Batı Anadolu Oligosen granitoidleri Houshenmaio intrüzyonu, Aishan plütunu, Shedagai plütunu, Tanghu plütunu ile eşleşmektedir.

Tüm bu Oligosen granitoidlerine ait denetimli öğrenme sonuçları dikkate alındığında jeokimyasal verilerin bölgesel olarak birbirleri ile uyum içerisinde oldukları izlenmiştir.

Erken Miyosen granitoidlerinin Maronia magmatik koridoru, Madi graniti, Xucun dayk, Aishan plütunu, Tanghu plütunu, Guandong bölgesi granitoidleri, Tres Cerritos plütunu ve Jingning granitoidleri ile uyumluluk gösterdiği görülmektedir. Erken Miyosen granitoid kuşağının batısında yer alan Eybek, Ezine, Gönen, Kestanbol, Yenice, Kozak, Solarya granitoidlerinin jeokimyası, Maronia magmatik koridoru ve Madi granitleri ile korele iken doğudaki Alacam, Baklan, Eğrigöz, Koyunoba granitoidleri belirgin bir şekilde Tres Cerritos plütunu, Jingning intrüzyonu ve Guandong bölgesi granitoidleri ile benzerlik sunmaktadır.

Batı Anadolu'daki Salihli ve Turgutlu granitoidleri baskın bir şekilde Tres Cerritos plütunu ile benzerlik göstermektedir. Ancak gerek Ege gerekse Batı Anadolu Orta-Geç Miyosen granitoidleri birlikte değerlendirildiğinde Naxos, Kos, Lavrion, Mykonos ve Serifos granitoidlerine ait örneklerin büyük bir çoğunluğunun Madi graniti ve Maronia magmatik koridoru ile yakın benzerliğe sahip olduğu izlenmiştir. Bu özelliklere göre Geç Miyosen Kiklad granitoidlerinin birbirleri ile uyumlu jeokimyasal özelliklere sahip olduğu söylenebilir.

4.2. Denetimsiz Öğrenme Uygulaması

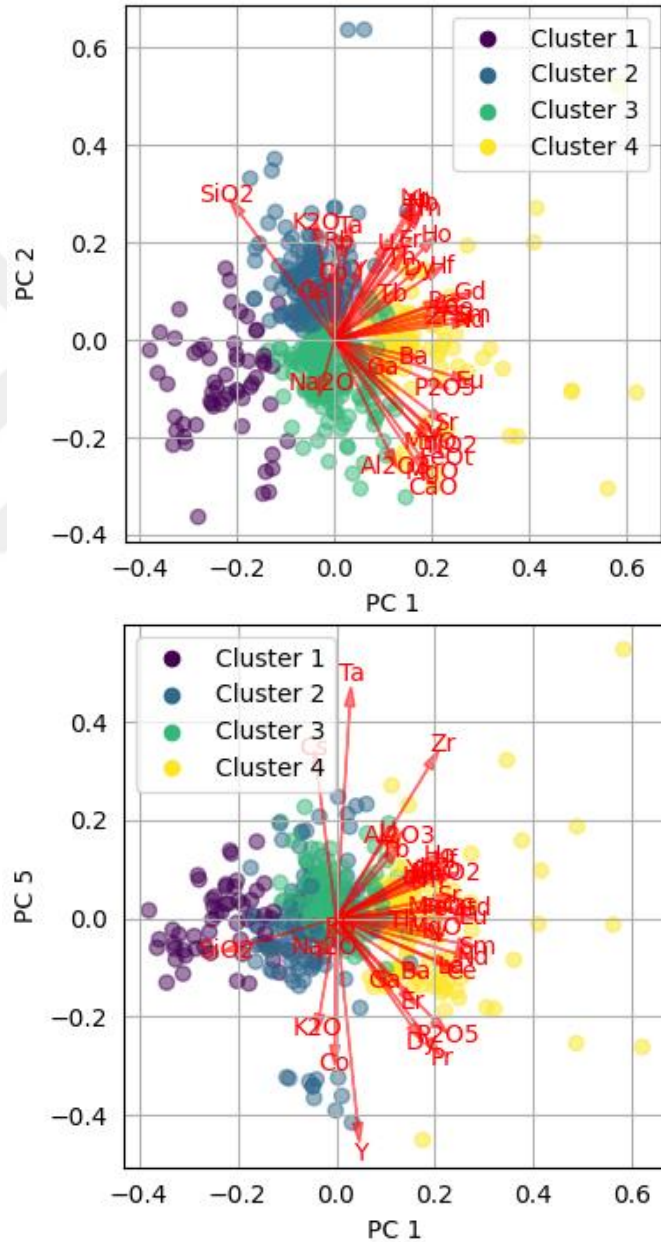
Her denetimli öğrenme için kullanılan Ege Bölgesi ve Kiklad granitoidlerinin jeokimyasal analizlerini içeren verilere denetimsiz öğrenme yöntemi uygulanmıştır. Denetimsiz öğrenme aşamasında sadece Ege Bölgesi granitoidlerinin jeokimyasal analizlerini içeren csv dosyası programa yüklenmiştir. Örnek adı ve numarası dışarıda bırakılarak sadece elementler seçilmiştir. PCA için kullanılacak temel bileşenlerin özdeğerleri, varyans yüzdeleri ve kümülatif varyans yüzdeleri elde edilmiştir. Örneklerin jeokimyasal elementleri arasındaki ilişkiyi gözlemlemek amacıyla K-ortalamlar kümeleme analizi uygulanmıştır. Örnek özellikleri ve atandıkları kümeleri içeren tablo csv formatında indirilebilmektedir.

Karşılaştırma bir için kullanılan Ege Bölgesi ve Kiklad granitoidlerini içeren 802 örnek AutoML for Geochemistry programına yüklenmiştir. PCA sonucunda verilerin %63.94'luk varyansını açıklayan ilk 5 PCA seçilmiştir. Dirsek (elbow) yöntemine göre, küme sayısı (k) için en uygun değer 4 olarak belirlenmiştir.

Karşılaştırma iki ve üç için, Ege Bölgesi ve Kiklad granitoidlerini içeren 492 örnek AutoML for Geochemistry programına yüklenmiştir. PCA sonucunda verilerin

%70.78'lik varyansını açıklayan ilk 5 PCA seçilmiştir. Dirsek (elbow) yöntemine göre, küme sayısı (k) için en uygun değer 4 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.1).

Karşılaştırma dört için, Ege Bölgesi ve Kiklad granitoidlerini içeren element değeri sıfır (0) olanların silindiği 802 örnek AutoML for Geochemistry programına yüklenmiştir. PCA sonucunda verilerin %66.79'luk varyansını açıklayan ilk 5 PCA seçilmiştir. Dirsek (elbow) yöntemine göre, küme sayısı (k) için en uygun değer 3 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Batı Anadolu ve Kiklad granitoidlerine ait jeokimyasal verilerin PC1-PC2 ve PC1-PC5 çoklu kümelendirme diyagramlarında dağılımları

5. TARTIŞMA

5.1. Denetimli Öğrenme

Batı Anadolu ve Kiklamlarda yüzlek veren granitoidlerin jeokimyasal karakteristiklerinin ortaya konulması amacı ile yapılan makine öğrenmesi (denetimli/denetimsiz öğrenme) sonucu elde edilen bulgular aşağıda tartışılmıştır. Bu amaçla, dünyada farklı yaş aralıklarında yüzlek veren granitoid örnekleri eğitim verileri olarak alınmış ve Batı Anadolu ve Kiklad granitoid örneklerine ait jeokimyasal veriler ile korele edilmiştir. Dünyadan farklı bölgelerden ve farklı yaşlardan alınan ve çalışmanın konusunu oluşturan granitoidler ve bu granitoidler ile eşleşen granitoidlerin jeokimyasal karakterleri kısaca özetlenmiştir.

Oligosen yaşlı granitoidlerin (Kızıldam, Kurtlar-Hıdırlar, Namazgah, Nevruz-Çakırova, Sarıoluk ve Soğucak) yapılan denetimli öğrenme karşılaştırılmaları sonucunda, Yunanistan'ın kuzeydoğusunda bulunan Maronia magmatik koridoru, Kuzey Çin kratonunda (NCC) bulunan Shadegai plütonu, Huoshenmaio intrüzyonu, Aishan plütonu, Madi graniti ve Güney Çin bloğunda (SCB) bulunan Tanghu plütonu ile korele oldukları tespit edilmiştir (Çizelge 5.1). *Tanghu plütonu*, metalüminoperalüminokarakterli, I-S tipi karakterli olup, kıta içi ortamında mantodan türemiş mafik magma ve kabuktan türemiş felsik magmanın karışımı ile oluştuğu belirtilmektedir (Xu ve Xu 2015). *Aishan plütonu*, metalüminodan peralüminoya kadar değişen, I- tipi monzogranit ve A- tipi karakterli alkali siyenitlerden oluşan Aishan plütonu litosferik incelmeye ile ilişkili olup (Goss vd. 2010) zayıf kabuk-manto etkileşimi ve kabuksal asimilasyon ve fraksiyonel kristalleşme sonucu gelişmiştir (Li vd. 2019). *Shadegai plütonu*, yüksek K'lu, şösonitik, kalk-alkali, metalüminokarakterli, I-tipi çarpışma sonrası genişleme ortamında hibrid/melez magma karakterlidir (Jia vd. 2019). *Maronia magmatik koridoru*, yüksek K'lu, şösonitik, kalk-alkali karakterli olup, çarpışma sonrası ortamında dalan levhanın üzerinde metasomatize olmuş manto kaması ve levha türevi sulu tortul eriyikler tarafından metasomatize olmuş bir manto kaynağından türemiştir (Perkins vd. 2018; Schaarschmidt vd. 2021). *Huoshenmaio intrüzyonu*, metalüminoperalüminokarakterli, yüksek K'lu, kalk-alkali ve şösonit ve I-tipi karakterlidir. Yay gerisi genişleme ortamında zenginleştirilmiş litosferik mantodan kısmi ergime sonucu oluşmaktadır (Wang vd. 2018). *Madi graniti* ise, yüksek K'lu, kalk-alkali, peralüminokarakterli, S-tipi karakterlidir. Çarpışmanın geç evresinde kabuktan türetilmekle birlikte derin bir granitik magma tarafından kirletilmiş bir kaynaktan oluştuğu öne sürülmüştür (Hou 2019).

Batı Anadolu Bölgesi Oligosen yaşlı granitoidler yüksek K'lu peralüminokarakterli, I-tipi ve kalk-alkali karakterlidir. Ege yayına ait litosferik dilimin geriye doğru hareketi sonucu yer kabuğunun incelmeye ve sonrasında sık magma odalarının yerleşimi sonucu oluştuğu öne sürülmektedir (Aysal 2015). Ayrıca, manto kökenli magmaların kabuk tarafından kirletildiği veya kabuk manto kaynaklarının hibrid magmaları oluşturduğu belirtilmektedir (Karacık vd. 2008; Aysal 2015; Delaloye vd. 2000; Altunkaynak vd. 2012; Genç, Altunkaynak 2007; Black vd. 2013; Dağhan, Köprübaşı 2014). Bu veriler, makine öğrenmesi ile tayin edilen granitoidlerin petrojenezi ve yay-gerisi jeodinamik ortamı ile belirgin bir uyumluluk sunmaktadır.

Çizelge 5.1. Eğitim verilerinin Batı Anadolu ve Kıklad verileri ile korelasyon sonuçları

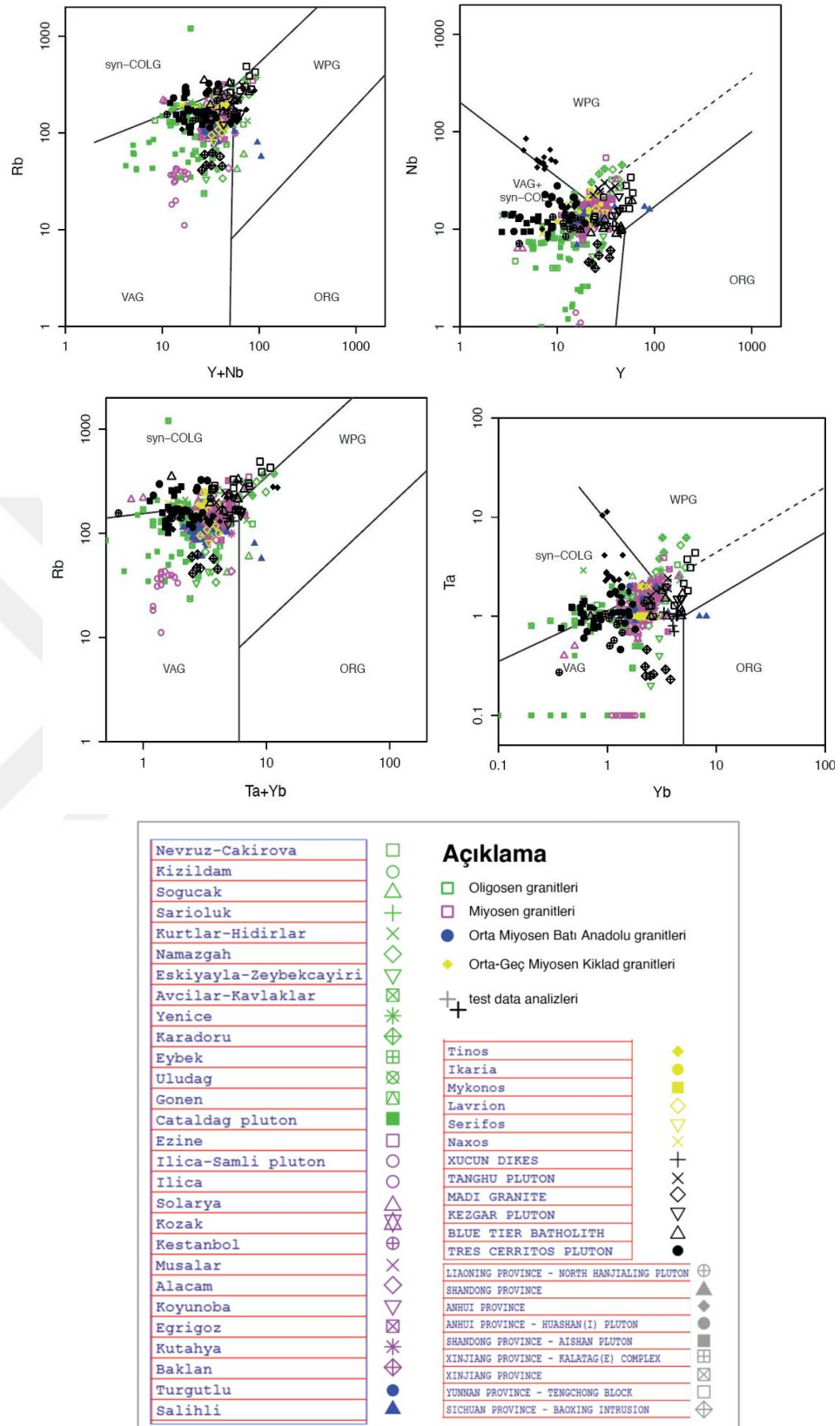
(O: Oligosen, E.M: Erken Miyosen, O.M: Orta Miyosen, G.M: Geç Miyosen, MMC: Maronia magmatik koridor)																				
Yaş	Birim	MMC	Madi gramit	Xinjiang	Xucun	Yongziyu	Shadeg ai	Huoshenmi hao	Aishan	Nangodi	Jingning	Tanghu	Tres Cerritos	Guangdo ng	Mayurbhan ji	Daliugo u	Anhui	Baoxu	Fengdings han	Muche n
O.	Avcılar-Kavlaklar	3	4																	
O.	Eskiyayla-ZeybekcaY1		3																	
O.	Kızıldam	8		3			4	5	9		3	9								
O.	Kurtlar-Hıdırlar	12					4	12	7			11								
O.	Namazgah	4	7				2	2	3											1
O.	Nevruz-	3					6		4			6								
O.	Sarıoluk	11					5	7	10			14								
O.	Sogucak	9					5	8	8			13								
O.	Katranda					4									4					
E.M	Kestenbol	24							26			25	2		2					
E.M	Çataldağ										1		5				5			
E.M	Kozak	9	10		2	5									7					
E.M	Eybek	3						2				6	2	2						
E.M	Gönen	5	5	2	1			6		1				3						
E.M	Yenice	5				8	2	2	3		2	6			8					
E.M	Solarya	14			14							2	3	3						
E.M	İlica-Şamlı													5		5				
E.M	Alacam			11	27		2			7	59		50	4						
E.M	Musalar		2		12					7				2		12		11		
E.M	Koyunoba		1		5					15	6		3	13						
E.M	Egrigöz				27			2		9	26		19	12			5			
E.M	Baklan			11									24							
E.M	Kütahya				1					6				7			3			
O.M	Salihli		5	11		2				2			22	6					10	21
O.M	Turgutlu									2	4		8							
O.M	Naxos	1	3																	1
O.M	Tinos																	1		
G.M	İkeria																	3		
G.M	Kos	2	6					2												
G.M	Lavrion	1	6					1										1		
G.M	Mykonos	2	3																	
G.M	Serifos	1	2											2				1		

Erken Miyosen yaşlı granitoidlerin denetimli öğrenme yönteminde iki farklı grubun kendi aralarında farklı korelasyonlar sunduğu görülmüştür.

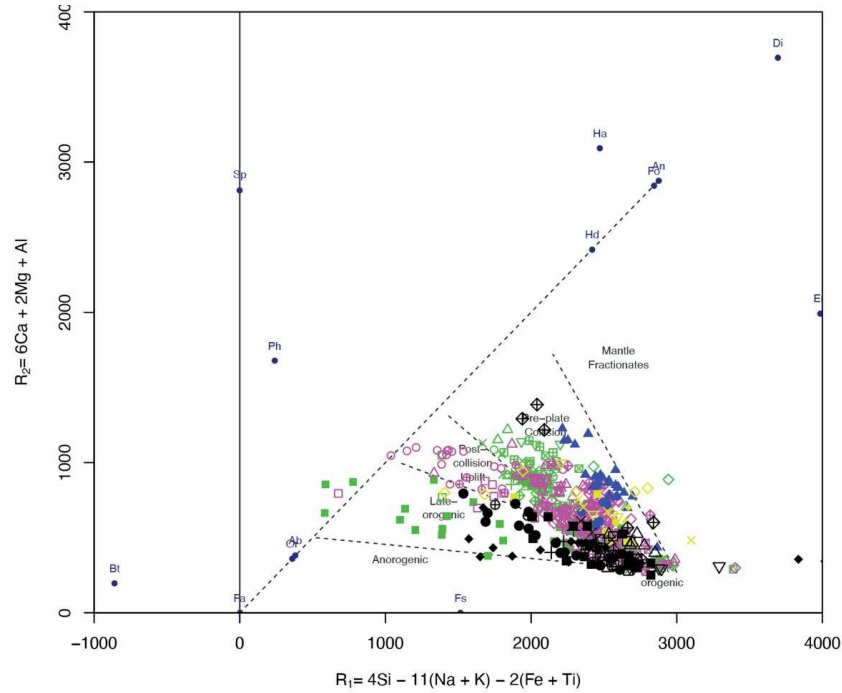
Grup 1: Kestanbol, Kozak, Gönen, Yenice, Eybek ve Çataldağ granitoidleridir. Doğu Sierras Pampeanas'ın en kuzeyindeki (Arjantin) Tres Cerritos plütunu, Doğu Singhbhum (Hindistan)'daki Mayubhanji formasyonu ile Kuzey Çin kratonundaki Yongziyu Plütunu ve Oligosen granitoidleri ile kısmen benzerlik göstererek Aishan plütunu, Madi graniti ve Güney Çin bloğundaki Tanghu plütunu ile koreledirler. *Tres Cerritos plütunu* peralümino, A-tipi, çarpışma sonrası ortamında genç manto kökenli magmalar ve eski kabuk kaynaklarını içeren uzun süreli bir bimodal kaynaktan türemiştir (Acosta-Nagle vd. 2022). *Yongziyu plütunu* sub-alkali, orta K'lu, metalümino-peralümino, I-tipi karakterli ve çarpışma sonrası genişleme ortamında hibrid magma kaynağını işaret etmektedir (Sun vd. 2021). *Mayurbhanji formasyonu*, zayıf-orta peralümino, A-tipi (Misra vd. 2002) karakterli, sık ve tükenmiş bir manto kaynağından türemiş, daha sonra kıtasal litosferik mantoda sedimanter kökenli akışkanlar ile metasomatizmaya uğradığı ve yerleşimleri sırasında daha yaşlı feslik magmalar ile kirletilmiştir (Manikyamba vd. 2020).

Grup 2: Alaçam, Koyunoba, Eğrigöz, Baklan ve Solarya granitoidleri, Güney Çin bloğundaki Xucun daykı, Jingning intrüzyonu, Guangdong bölgesi ve Baoxu plütunu, Kuzey Çin kratonundaki Daliugou formasyonu, Tarım kratonundaki (Kuzeybatı Çin) Xinjiang bölgesi, Kuzey Gana'daki Nangodi kuşağı, ve birinci grup gibi Tres Cerritos plütunu ile korelasyon sunmaktadır. *Xucun daykı*, kalk-alkali toleyitik, peralümino, I-tipi, orojenez sonrası genişleme ortamında genç kabuğun kısmi ergimesi sonucu oluşmuştur (Wang vd.2012). *Xinjiang bölgesi*, yüksek K'lu, kalk-alkali, I-tipi, çarpışma ve çarpışma sonrası süreçlerde metasomatize olmuş manto kaynağı, manto ve kabuk eriyiklerinin yay ortamında karışmasıyla oluşmaktadır (Zhang vd. 2017; Liu vd. 2020). *Jingning intrüzyonu*, metalümino-zayıf peralümino, yüksek K'lu, şoşonitik, kalk-alkali, I- ve A- tipindedir. Çarpışma sonrası genişleme ortamında aynı kabuksal kaynağın akışkan varlığı/yokluğunda kısmi ergimesi sonucu oluşmuştur (Pan vd. 2018). *Nangodi kuşağı*, metalümo-zayıf peralümino, yüksek K'lu, şoşonitik, kalk-alkali I-tipi karakterlidir. Kabuk kalınlaşmasını takip eden bir evrede yay ve çarpışma sonrası ortamlarda oluşmuş yay granitleri olarak tanımlanmaktadır (Sakı vd. 2020, Abitty vd. 2016). *Guangdong bölgesi*, metalümino zayıf peralümino, I-tipi, levha içi dağ oluşum ortamında orojenik çöküş sırasında eski orta-alt kabuğun kısmi ergimesinden türediği önerilmektedir (Huang vd. 2013). *Baoxu plütunu*, metalümo zayıf peralümino, I-tipi karakterli olup, orta-alt kabuğun dehidratasyonu sonucu filogopitin parçalanmasıyla zenginleştirilmiş bir litosferik mantodan düşük dereceli kısmi ergimeyle türemiştir (Yu vd. 2018). *Daliugou formasyonu*, yüksek K'lu, kalk-alkali, metalümino, A-tipi karakterlidir. Çarpışma sonrasında okyanusal kabuğun alt kesimindeki mafik magmaların kısmi ergimesiyle oluşmuştur (Wang vd. 2021).

Batı Anadolu'nun en kuzeyinde yüzlek veren Erken Miyosen granitoidleri yukarıda jeokimyasal özellikleri sunulan test verileri ile büyük benzerlikler sunmaktadır. Yüksek REE anomalisi ve yüksek Nb, Ta, Rb, Cs, U, Th, Hf, Ba, K, La ve Sr elementleri içeren negatif Ba, Nb, Ta, P, Ti ve Sr anomalileri ve HFSE'e göre HREE'lere kıyasla LREE'lerce zenginleşme gösteren bu granitoidlerin oluşumları için farklı görüşler sunulmaktadır:



Şekil 5.1. Orta-Batı Anadolu, Kiklad granitoyidleri ve eğitim verilerinin Pearce (1984) tektonik ayırtman diyagramındaki dağılımı ve sembollerin açıklamaları



Şekil 5.2. Orta-Batı Anadolu, Kiklad granitoidleri ve eğitim verilerinin Batchelor ve Bowden (1985) tektonik ayırtman diyagramındaki konumu

(1) çarpışma sonrası kıtasal genişleme ortamında (Şekil 5.1 ve Şekil 5.2) ergiyikler tarafından modifiye olmuş peridotitik bir kaynaktan (Şahin vd. 2010; Black vd. 2013), (2) Sıkışma rejimi altında hibrid magma kaynağından türemiş manto ve kabuk bileşenli bir kaynak tarafından oluştukları ve genç mafik alt kabuk kayalarlarının kısmi ergimesi sonucu türediği (Altunkaynak vd. 1998; Delaloye vd. 2000; Yılmaz vd. 2001; Oyman 2010; Akay 2008; Erkül ve Erkül 2012; Öztürk 2016; Çoban vd. 2012; Ünal ve Altunkaynak 2018; Bingöl vd. 1982; Hasözbek vd. 2009; Catlos vd. 2012; Bingöl vd. 1982; Aydoğan vd. 2006) önerilmiştir.

Orta Miyosen yaşlı Salihli ve Turgutlu birimlerinin çoğunlukla Erken Miyosen birimleri gibi Xinjiang bölgesi, Guangdong bölgesi, Tres Cerritos plütunu ve bunlardan farklı olarak Güney Çin bloğundaki Fengdingshan plütunu ve Muchen intrüzyonu ile koreledir. *Fengdingshan plütunu*, kalk-alkali, metalümino-peralümino, I-tipi karakterlidir. Kıta içi tektonik rejimin orojenik sonrası çöküş aşamasında, yalnızca küçük bir manto bileşeni ve manto kökenli bazaltik kaynakların asimilasyonu, fraksiyonel kristalleşmesi ve magma karışımı süreçlerinden oluştukları önerilmektedir (Zhong vd. 2013). *Muchen intrüzyonu*, şoşonitik, alkali, metalümino-zayıf peralümino, I-tipi karakterlidir. Levha içi zenginleşmiş bir kabuk ile tüketilmiş mantodan türemiştir (Zhu vd. 2014, 2017).

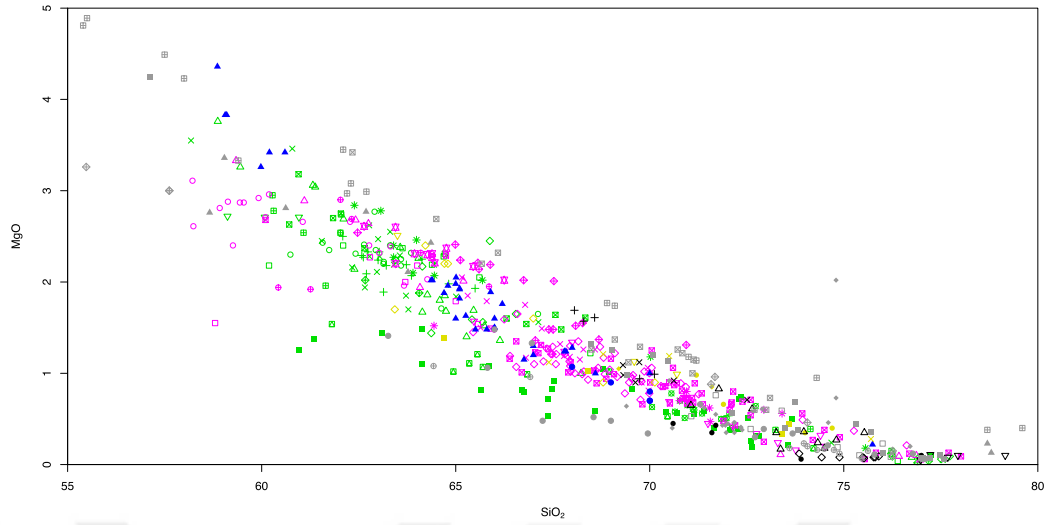
Batı Anadolu'nun merkez kısmında yeralan, Orta Miyosen yaşlı granitoidler ise, yüksek K'lu, kalk-alkali, melalümino, hafif peralümino, I-tipi karakterli olup, K, Rb, Cs, Th, U, Pb zenginleşmesi ve Ba, Nb, Sr, P ve Ti de güçlü negatif anomali gösterirler. Çarpışmayla eş zamanlı genişleme ortamında zenginleştirilmiş litosferik

manto ve asimile edilmiş ergimiş alt-orta kabuğun karışımı ile oluşmakta ve test verileri ile benzer jeodinamik ortamı yansıtmaktadırlar (Catlos vd. 2010; Erkül ve Erkül 2012; Erkül vd. 2013; Bingöl vd. 1982).

Geç Miyosen yaşlı Kiklad granitoidleri (Naxos, Ikeria, Kos, Lavrion, Mykonos) Madi graniti ile büyük benzerlik sunmaktadır. Bu granitoidler, I-tipi, negatif Eu anomalisi ve LILE, LREE, Nb, Zr, P, Ti ve Y elementlerince zenginleşme, P ve Ti, Nb için değişken negatif anomaliler gösteren ve fraksiyonlanmış HREE özelliği gösteren, kabuk genişlemesiyle eş zamanlı metasedimanter bir kabuk kaynağını işaret etmektedir (Altherr ve Siebel 2002; Stouraiti vd. 2010; Skarpelies vd. 2007).

Bulgular bölümünde bahsedildiği üzere, Batı Anadolu ve Kiklad granitoidlerinin eğitim verileriyle denetimli öğrenme yoluyla yapılan karşılaştırmasında en güvenilir sonuçların %98 gibi yüksek bir oranda karar ağacı olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda karar ağacının makine öğrenmesi ile tayin etmiş olduğu bileşenlerden olan ve en fazla ayırtman olarak tanımlanan MgO, FeO_t ve Co bileşenlerine karşın SiO₂ ikili diyagramları hazırlanmıştır. Makine öğrenmesinin sonuçlarından elde edilen veriler ve ikili değişim diyagramlarından elde edilen veriler karşılaştırılmış ve makine öğrenmesi yönteminin doğruluğu test edilmiştir. Çizilen ikili değişim diyagramlarında hem eğitim verileri (Xucun daykı, Tanghu plütunu, Blue Tier batoliti, North Hanjialing plütunu, Anhui bölgesi, Aishan plütunu, Baoxing intrüzyonu, Madi graniti, Tres Cerritos plütunu, Shandong bölgesi, Xinjiang bölgesi, Huashan plütunu, Katalag(e) kompleksi, Tengchong bloğu ve Kezgar plütunu) hem de Batı Anadolu ve Kiklad granitoidlerine ait ana, eser ve nadir toprak element analizleri değerlendirilmiştir (Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5).

MgO'ya karşın SiO₂ ikili diyagramında, Oligosen granitoidleri iki alanda dağılım sunmaktadır (Şekil 5.3). Birinci grupta MgO değerleri %1.5 ile 3 ağırlık arasında değişirken diğer grup % 0.3-1.5 ağırlık aralığında zenginleşmektedir. Birinci grupta, SiO₂ aralığı % 60-68 ağırlık arasında değişirken ikinci grupta ise %60-75 ağırlık arasında dağılım sunmakla birlikte daha asidik bileşime sahiptir. Birinci grubu Oligosen granitoid kuşağının kuzeybatısını oluşturan Avcılar, Kurtlar, Kızıldam, Namazgah, Eybek ve Sarıoluk granitoidleri oluşturmaktadır. İkinci grupta ise Gönen, Uludağ ve Çataldağ granitoidleri dağılım göstermektedir. Erken Miyosen'de ise artan SiO₂ içeriğine bağlı olarak azalan MgO değerlerine karşın üç farklı plüton tanımlanmıştır. Bunlardan birincisi yüksek MgO ve düşük SiO₂ içeriğine sahip Ilıca plütunu, nispeten daha düşük MgO ve yüksek SiO₂ içeriğine sahip Kozak ve Kestanbol Plütonları, üçüncüsü ise en düşük MgO ve en yüksek SiO₂ içeriğine sahip Alaçamdağ, Musalar, Eğrigöz, Baklan ve Koyunoba plütonlarından meydana gelmektedir. Batı Anadolu Orta Miyosen granitoid örnekleri ise belirgin şekilde iki farklı alanda dağılım göstermektedir. Orta Miyosen granitoidlerinden en yüksek MgO değerine sahip olanlar Salihli granitoidleridir. Yaklaşık olarak %3 ile 4.5 ağırlık arasında MgO değerlerine sahipken diğer Salihli granitoid örneklerinde MgO değerleri %1-2 ağırlık arasındadır. Orta-Geç Miyosen Kiklad granitoid örneklerinin MgO değeri ise genel olarak Batı Anadolu'daki Erken ve Orta Miyosen granitoidlerinin gidişini izleyecek şekilde dağılıma sahip olup yaklaşık olarak %0.5-2.5 ağırlık arasında değişen değerlere sahiptir. Özellikle, Kiklad granitoidlerinin Turgutlu ve Salihli granitoidlerinin MgO değerlerinin birbirlerine yakınlığı dikkat çekicidir.



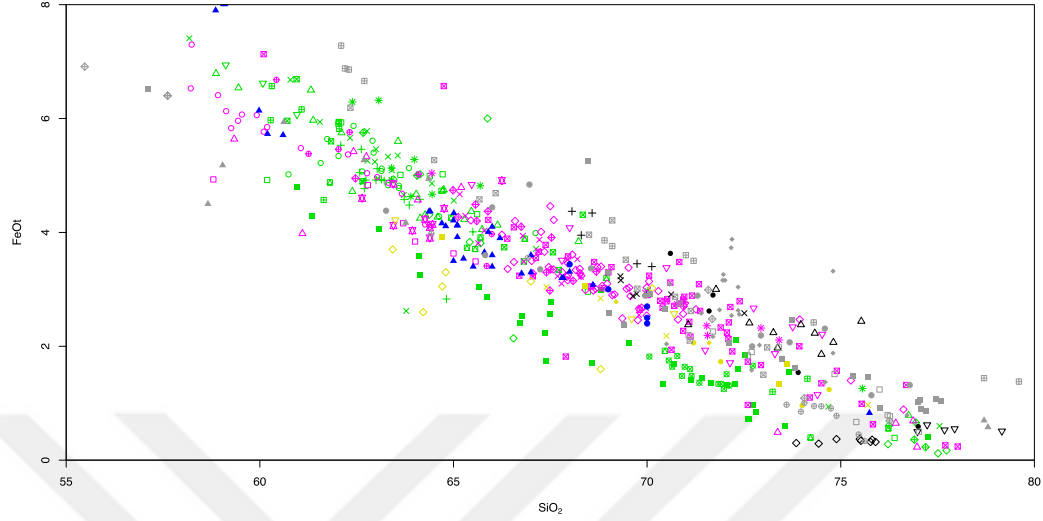
Şekil 5.3. Ege Bölgesi, Kikladlar ve eğitim verilerinin MgO'ya karşı SiO₂ ikili değişim diyagramı

FeO_t karşı SiO₂ değişim diyagramlarında, Oligosen granitoyid örneklerinin batıdan doğuya uzanan kuşak boyunca azalan FeO_t ve artan SiO₂ içeriğiyle temsil edildiği izlenmektedir (Şekil 5.4). Çataldağ ve Uludağ granitoyidleri diğerlerinden nispeten azalan FeO_t içeriği ile ayrılmaktadır. Genel olarak biga yarımadasında yüzlek veren granitoyidler benzer FeO_t içeriğine sahip olup ağırlıkça %4 ile %6 arasında değişim göstermektedir. Erken Miyosen granitoyidleri FeO_t bakımından geniş bileşimsel aralığa sahiptir. Ilıca ve Kozak granitoyidleri Batı Anadolu'nun iç kesimlerinde yer alan Alacam, Eğrigöz ve Koyunoba granitoyidlerinden yüksek FeO_t içeriği ile ayrılır. Orta Miyosen granitoyidleri ise nispeten daha dar FeO_t bileşim aralığına sahip olup yaklaşık ağırlıkça %3 ile %5 arasında değişim sunmaktadır. Özellikle Alaçam, Eğrigöz ve Baklan granitlerinin FeO_t bileşimlerine benzerlik sunar. Kikladlardaki Orta-Geç Miyosen yaşlı granitoyidlerin bileşim aralığı geniş olup örneklerin dizilimi Erken Miyosen granitoyid örneklerinin dizilimi ile paralellik sunar.

Co'a karşı SiO₂ ikili diyagramında, Oligosen granitoyidleri artan SiO₂ içeriğine karşı azalan Co içeriği ile temsil edilir. Oligosen granitoyidleri düşük ve yüksek Co içeriğine göre iki alanda kümelenmektedir (Şekil 5.5). Yüksek Co içeriği Soğucak, Kurtlar-Hıdırlar, Kızıldam, Sarıoluk, Yenice, Gönen, Nevruz-Çakırova ve Eybek granitoyidlerinde izlenmektedir. Çataldağ plütunu ve Uludağ granitoyidi düşük Co içeriğiyle diğer Oligosen granitoyidlerinden ayrılmaktadır.

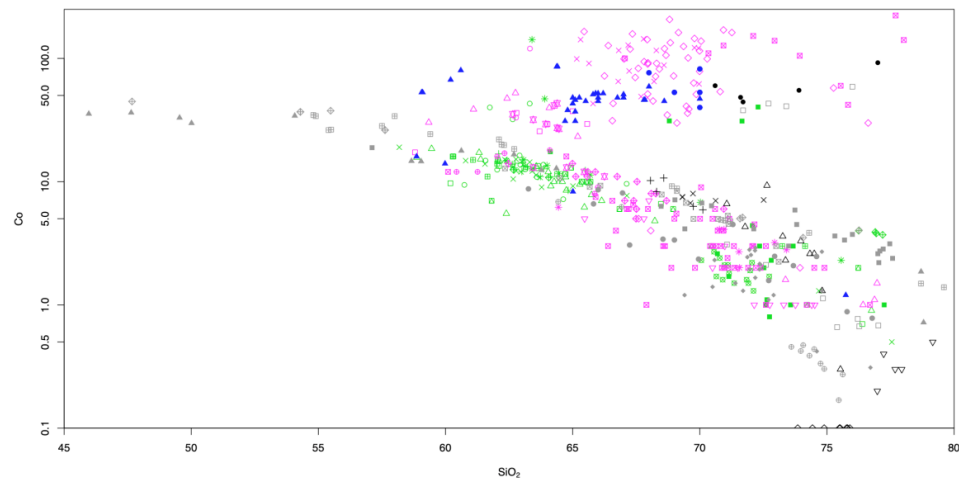
Erken Miyosen granitoyidleri Oligosen granitoyidlerine benzer şekilde iki farklı alanda grup oluşturmaktadır. Birinci grup artan SiO₂ içeriğine karşı azalan Co değerleri ile temsil edilir. Kestanbol, Kozak, Baklan, Koyunoba, Eğrigöz, Solarya örneklerinin büyük bir kısmı bu grup içerisinde yer alır. Erken Miyosenin düşük Co'lu granitoyidleri Oligosenin düşük Co'lu granitoyidleri ile aynı alanda dağılım göstermektedir. Erken Miyosende yüksek Co değerlerini ise Musalar, Alacam, Eğrigöz

ve Kestanbol granitoyidleri oluşturmaktadır. En yüksek Co değerleri gösteren bu grupta Co, 25 ile 200 ppm arasında değerlere sahiptir.



Şekil 5.4. Ege Bölgesi, Kikladlar ve eğitim verilerinin FeO_t’e karşı SiO₂ ikili değişim diyagramındaki değişimleri

Dikkat çekici bir diğer nokta ise Kestanbol, Ilıca ve Eğrigöz örneklerinin bir kısmında yüksek Co alanına düşmektedir. Bu bakımdan bu granitoyidlerin de yüksek ve düşük içerikli iki grup oluşturdukları izlenmektedir. Orta Miyosen Salihli ve Turgutlu granitoyidlerine ait örneklerin neredeyse tamamı yüksek Co içerikli Erken Miyosen granitoyidleri ile aynı alanda dağılım sunmaktadır. Yaklaşık 40 ile 90 ppm arasında Co içeriğine sahiptir.



Şekil 5.5. Ege Bölgesi, Kikladlar ve eğitim verilerinin Co’ya karşı SiO₂ ikili değişim diyagramındaki dağılımları

5.2. Denetimsiz Öğrenme

Batı Anadolu ve Kiklad granitoidlerine ait jeokimyasal verilerdeki desenleri bulmak için denetimsiz öğrenme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, veri boyutunun azaltılması ve kümeleme (clustering), doğruluğu artırmak amacıyla verinin boyutlarını azaltmak için PCA ve K-ortalama birlikte kullanılmıştır (Ding ve He 2004; Alferez vd. 2022).

PCA ve K-ortalama yöntemleri kullanılarak denetimsiz öğrenme metodu ile analiz edilen örnekler kümelendirilmiş ve toplam dört farklı küme oluşturulmuştur (Küme 1: Avcılar-Kavlaklar, Eskiya-ya-Zeybekçayırı, Karadoru, Kızıldam, Kurtlar-Hıdırlar, Namazgah, Nevruz-Çakırova; Küme 2: Sarıoluk, Soğucak, Musalar, Yenice, Çataldağ, Eybek, Ezine, Gönen, Ilıca-Şamlı, Kestanbol, Alaçam; Küme 3: Alaçam, Eğrigöz, Baklan, Koyunoba, Kozak, Kütahya, Musalar; Küme 4: Musalar, Eğrigöz, Solarya, Naxos, Salihli, Turgutlu, Tinos, Ikaria, Kos, Lavrion, Mykonos, Serifos granitoidleri).

PC1'e karşın PC2 diyagramında bu örnek kümelerinde SiO_2 , K_2O hariç diğer major oksitler, Ba, Ga, Eu ile negatif koralasyon göstermektedir (Şekil 4.1). SiO_2 kısmen K_2O ile Ta, Rb, Co, Y, Cs ile pozitif koralasyon göstermektedir. Bununla birlikte, diğer iz elementler ve nadir toprak elementleri birbirleri ile pozitif yönde koralasyon göstermektedir. Küme 1 herhangi bir element ile belirgin bir koralasyon göstermemekle birlikte kısmen SiO_2 ve Na_2O ile kontrol edildiği izlenmektedir. Küme 2 ise açık bir şekilde SiO_2 , K_2O , Ta, Rb, Co, Y, Cs ile tanımlanmaktadır. Küme 3 büyük oranda Na_2O ile kontrol edilmektedir. Küme 4 ise daha geniş bir element vektör aralığı ile temsil edilmektedir. Major elementlerin büyük bir kısmı, iz elementler ve nadir toprak elementleri bu küme ile pozitif koralasyon sunmaktadır (Şekil 4.1).

PC1'e karşın PC5 diyagramında, K_2O , Co ve Y, Cs ve Ta ile negatif koralasyona sahiptir (Şekil 4.1). Küme 1, SiO_2 ile belirgin bir koralasyon gösterirken Küme 2 hem SiO_2 hem de Cs, Ta, K_2O , Co, Y ve kısmen N_2O tarafından belirlenir. Küme 3 diyagram merkezinde yer almakla birlikte zayıf bir şekilde başta Zr olmak üzere Cs, Al_2O_3 ve Tb ile kontrol edilmektedir. Küme 4 ise geniş bir element vektör aralığı ile temsil edilmektedir.

6. SONUÇLAR

Granitoyidik kayaçların sınıflandırılması ve jeokimyasal karakteristiklerinin ortaya konulması amacı ile kullanılan ikili değişim diyagramları çok sayıda değişkenle karşı karşıya kalınması durumunda sınırlamalar oluşturmaktadır.

Makine öğrenimi son yıllarda birçok karmaşık problemin çözümünde kullanılmakta olup, jeokimyada da çok değişkenli verileri analiz etmek için bir alternatif yöntem olarak kullanılmaktadır.

Bu amaçla üzerinde uzun yıllardır çalışılan Oligosen-Üst Miyosen yaşlı Batı Anadolu ve Kiklad granitoidlerinin jeokimyasal verileri değerlendirilmiş, benzer jeokimyasal karakteristiklere sahip ve jeodinamik açıdan dünyadaki benzer tektonik ortamlarda oluşmuş granitoidler ile karşılaştırılma yapılmaya çalışılmıştır.

Makine öğrenmesi ile elde edilen verilere göre, denetimsiz öğrenme yöntemi kendi içinde anlamlı kümeler oluşturabilmesine rağmen, bu kümelerin birebir örtüşme açısından yetersiz kaldığı görülmüştür. Buna karşılık, denetimli öğrenme yönteminin ürettiği sonuçlar oldukça anlamlı ve güçlü sonuçlar vermektedir.

Denetimli öğrenme yönteminde, kullanılan karar ağaçları algoritması tarafından seçilen karakteristik elementler, daha sonra ikili diyagramlar içerisinde kullanılmış ve benzer veriler elde edilmiştir.

Batı Anadolu ve Kiklad verileriyle birlikte ikili diyagramlarda değerlendirilen seçilmiş eğitim verilerinin, bazı elementlerle korelasyon gösterdiği, ancak zaman zaman bulundukları alanların dışına çıktıkları da gözlemlenmiştir. Bu durum, makine öğrenmesinin birden fazla elementi aynı anda değerlendirebilme yeteneğinin önemli bir avantajını ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, ikili diyagramlar eğitim verileriyle yapılan karşılaştırmalarda her zaman yeterli olmamakta; buna karşın, makine öğrenmesi daha güvenilir ve kapsamlı sonuçlar vermektedir.

Batı Anadolu Bölgesi ve Kiklad birimlerinin korele oldukları eğitim verilerinin özellikleri göz önüne alındığında bu birimlerin birbirine benzer jeokimyasal, petrojenez ve jeodinamik özellikler gösterdikleri görülmüştür. Güney Çin bloğu, Kuzey Çin kratonu ve Tarım kratonu (Kuzeybatı Çin) ile Ege Bölgesi arasında doğrudan bir tektonik bağlantı olduğu ve bu sahalardaki granitoidlerin jeodinamik süreçler açısından benzer evrimsel özellikler gösterdiği görülmektedir. Özellikle Mezo-Proterozoik dönemde Rodinia süperkıtasının oluşumu ve parçalanması sürecinde bu kıtasal blokların birbirine yakın konumlarda yer aldığı ve zamanla ayrılarak günümüzdeki şekillerini aldıkları düşünülmektedir (Li vd. 2008; Wang vd. 2014). Çin'deki kratonlar ve Ege bölgesi, farklı dönemlerde benzer kıtasal çarpışma ve yay magmatizmasına maruz kalmıştır. Bu durum, söz konusu bölgelerin farklı zamanlarda benzer tektonik rejimlerde geliştiğini ve küresel ölçekteki kıtasal dinamiklerle şekillendiğini ortaya koymaktadır (Şengör ve Natal'in 1996; Melfos ve Voudouris 2012; Yang vd. 2015).

Tüm veriler değerlendirildiğinde, granitoidlerinin sınıflandırılması ve jeokimyasal açıdan özelliklerinin ortaya konulmasında denetimsiz öğrenmeden çok denetimli öğrenme metodunun tercih edilmesi önerilmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Abitty, E.K. Dampare, S.B. Nude, P.M. Asiedu, D.K. 2016. Geochemistry and petrogenesis of the K-rich 'Bongo-type' granitoids in the Paleoproterozoic Bole-Nangodi belt of Ghana. *J. Afr. Earth Sci.* 122: 47-62.
- Acosta-Nagle, A.E. Diaz-Alvarado, J. D'eraimo, F.J. Lopez, J.P. Bellos, L.I. Pinotti, L.P. Tassinari, C.C.G. Oliveros, V. Hanchar, J.M. 2022. Late Carboniferous intracontinental magmatism in the northernmost Sierras Pampeanas, Argentina: the case study of the Tres Cerritos pluton. *J.S. Amer. Earth Sci.* 117 (103884).
- Agostini, S. Ryan, J.G. Tonarini, S. Innocenti, F. 2008. Drying and dying of a subducted slab: coupled Li and B isotope variations in western Anatolia Cenozoic volcanism. *Earth and Planetary Science Letters* 272: 139–147.
- Agostini S. Doglioni C. Innocenti F. Manetti P. Tonarini S. 2010. On the geodynamics of the Aegean rift. *Tectonophysics*, 488: 7-21.
- Akal, C. 2013. Coeval shoshonitic-ultrapotassic dyke emplacements within the kestanbol pluton, Ezine-Biga Peninsula (NW Anatolia) Turkish. *J. Earth Sci.* 22: 220-238.
- Akay, E. 2009. Geology and petrology of the Simav Magmatic Complex (NW Anatolia) and its comparison with the Oligo-Miocene granitoids in NW Anatolia: implications on Tertiary tectonic evolution of the region. *Int. J. Earth Sci*, 98: 1655-1675.
- Aldanmaz, E. Pearce, J.A. Thirlwall, M.F. Mitchell, J.G. 2000. Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102: 67–95.
- Alferez, G.H. Vázquez, E.L. Martínez Ardila, A.M. Clausen, B.L. 2021. Automatic classification of plutonic rocks with deep learning. *Applied Computing and Geosciences*, 10: 100061.
- Alferez, G.H. Esteban, O.A Clausen B.L. Martinez Ardila, A.M. 2022. Automated machine learning pipeline for geochemical analysis, *Earth Science Informatics*, 15: 1683-1698.
- Alpaydin, E. 2010. Introduction to Machine Learning. MIT press, ch. What is Machine Learning? pp. 1–3.
- Altherr, R. Kreuzer, H. Wendt, I. Lenz, H. Wagner, G.A. Keller, J. Harre, W. Hohndorf, A. 1982. A Late Oligocene/Early Miocene high temperature belt in the anti-cycladic crystalline complex (SE Pelagonian, Greece). *Geologisches Jahrbuch*, 23: 97-164.
- Altherr, R. Siebel, W. 2002. I-type plutonism in a continental back-arc setting: Miocene granitoid and monzonites from the central Aegean Sea, Greece. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 143: 397–415.
- Altunkaynak, Ş. Yılmaz, Y. 1998. The Kozak magmatic complex; western Anatolia. *J. Volcanol. Geoth. Res.* 85 (1–4): 211-231.
- Altunkaynak, Ş. Yılmaz, Y. 1999. The Kozak Pluton and its emplacement. *Geol. J.* 34: 257-274.

- Altunkaynak, Ş. Dilek, Y. 2006. Timing and nature of post collisional volcanism in western Anatolia and geodynamic implications. *Geological Society of America Special Paper*, 409: 321–351.
- Altunkaynak, Ş. 2007. Collision-driven slab breakoff magmatism in northwestern Anatolia, Turkey. *Journal of Geology*, 115: 63–82.
- Altunkaynak, Ş. Sunal, G. Aldanmaz, E. Genç, Ş.C. Dilek, Y. Furnes, H. Foland, K.A. Yang, Y. Yıldız, M. 2012a. Eocene granitic magmatism in NW Anatolia (Turkey) revisited: new implications from comparative zircon SHRIMP U–Pb and ⁴⁰Ar–³⁹Ar geochronology and isotope geochemistry on magma genesis and emplacement. *Lithos*, 155: 289–309.
- Altunkaynak, Ş. Dilek, Y. Genç, C.Ş. Sunal, G. Gertisser, R. Furnes, H. Foland, K.A. Yang, J. 2012b. Spatial, temporal and geochemical evolution of Oligo-Miocene granitoid magmatism in western Anatolia, Turkey. *Gondwana Res.* 21: 961–986.
- Avigad, D. Garfunkel, Z. Jolivet, L. Azanon, J.M. 1997. Back arc extension and denudation of Mediterranean eclogites. *Tectonics*, 16: 924–941.
- Aydoğan, M.S. 2006. Baklan graniti (Murat Dağı, Banaz/Uşak) civarındaki bazı metal cevherleşmesinin mineral parajenezi, Metal Zonlaması ve Kökenlerinin İzotop Jeokimyası ile Saptanması. Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 238 s.
- Aysal, N. 2015. Mineral chemistry, crystallization conditions and geodynamic implications of the Oligo-Miocene granitoids in the Biga Peninsula, Northwest Turkey. *J. Asian Earth Sci.* 105: 68–84.
- Batchelor, R. A. ve Bowden, P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chemical Geology*, 48(1–4): 43–55.
- Barbarin, B. 1990. Granitoids: main petrogenetic classifications in relation to origin and tectonic setting. *Geol. J.* 25: 227–238.
- Barbarin, B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos*, 46: 605–626.
- Bingöl, E. Delaloye, M. Ataman, G. 1982. Granitic intrusions in Western Anatolia: a contribution to the geodynamic study of this area. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 75: 437–446.
- Bolhar, R. Ring, U. Kemp, A.I.S. Whitehouse, M.J. Weaver, S.D. Woodhead, J.D. Uysal, I.T. Turnbull, R. 2012. An integrated zircon geochronological and geochemical investigation into the Miocene plutonic evolution of the Cyclades, Aegean Sea, Greece: part 2 — geochemistry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 164: 915–933.
- Bozkurt, E. 2001. Late Alpine evolution of the central Menderes Massif, western Turkey. *Int. J. Earth Sci.* 89: 728–744.
- Bozkurt, E. ve Sözbilir, H. 2004. Tectonic evolution of the Gediz Graben: field evidence for an episodic, two-stage extension in western Turkey. *Geological Magazine*, 141: 63–79.

- Boztuğ, D. 1989. Granitoyidler. MTA Eğitim Serisi, Ankara, 138 s.
- Boztuğ, D. Harlavan, Y. Jonckheere, R. Can, İ. Sarı, R. 2009. Geochemistry and K-Ar cooling ages of the Ilıca, Çataldağ (Balıkesir) and Kozak (İzmir) granitoyids, West Anatolia, Turkey. *Geol. J.* 44: 79-103.
- Black, L.P. McClenaghan, M.P. Korsch, R.J. Everard, J.L. Foudoulis, C. 2005. Significance of Devonian–Carboniferous igneous activity in Tasmania as derived from U–Pb SHRIMP dating of zircon. *Australian Journal of Earth Sciences*, 52: 807-829.
- Black, K.N. Catlos, E.J. Oyman, T. Demirbilek, M. 2013. Timing Aegean extension: evidence from in situ U–Pb geochronology and cathodoluminescence imaging of granitoyids from NW Turkey. *Lithos*, 180: 92–108.
- Buick, I. S. 1991. The late Alpine evolution of an extensional shear zone, Naxos, Greece. *Journal of the Geological Society of London*, 148: 93-103.
- Cai, K.D. Sun, M. Yuan, C. Zhao, G.C. Xiao, W.J. Long, X.P. Wu, F.Y. 2011a. Geochronology, petrogenesis and tectonic significance of peraluminous granites from the Chinese Altai, NW China. *Lithos*, 127: 261-281.
- Cai, K.D. Sun, M. Yuan, C. Zhao, G.C. Xiao, W.J. Long, X.P. Wu, F.Y. 2011b. Prolonged magmatism, juvenile nature and tectonic evolution of the Chinese Altai, NW China: evidence from zircon U–Pb and Hf isotopic study of Paleozoic granitoids. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42: 949-968.
- Capdevilla, R. Corretge, G. Floor, P. 1973. Les granitoides varisques de la Meseta Iberique. *Bull. Soc. Geol. France*, 15: 209-228.
- Catlos, E.J. Baker, C. Sorensen, S.S. Çemen, İ. Hançer, M. 2010. Geochemistry, geochronology, and cathodoluminescence imagery of the Salihli and Turgutlu granites (central Menderes Massif, western Turkey): Implications for Aegean tectonics. *Tectonophysics*, 488: 110–130.
- Catlos, R. Jacob, L. Oyman, T. Sorensen, T. 2012. Long-Term exhumation of an Aegean Metamorphic Core Complex granitoyids in the Northern Menderes Massif, Western Turkey. *Am. J. Sci.* 312: 534-571.
- Chappell, B.W. White, A.J.R. 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, 8: 173–174.
- Chen, M. Li, L. Kan, T. Liu, H. Zhao, X.L. Li, J. Han, X. 2022. Geochemistry and Sr–Nd isotopes of the Late Mesozoic lamprophyres in the Chaohu Area, Eastern China: petrogenesis and tectonic implications. *The Island Arc*, 31 (E12438).
- Collins, W.J. Beams, S.D. White, A.J.R. Chappel, B.W. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia. *Contrib. Mineral. Petrol*, 80: 189-200.
- Cox, K.G. Bell, J.D. Pankhurst, R.J. 1979. The interpretation of igneous rocks. George Allen and Unwin, London, 450 p.
- Cross, W. Iddings, J.P. Pirsson, L.V. Washington, H.S. 1903. Quantitive classification of igneous rocks. Univ. Chicago Press.

- Czamanske, G.K. Ishihara, S. Atkin, S.A. 1981. Chemistry of rock-forming minerals of the Cretaceous-Palaeocene batholits in south-western Japan and implications for magma genesis. *J. Geophys. Res.* 86: 10431-10469.
- Çoban, H. Karacık, Z. Ece, Ö.I. 2012. Source contamination and tectono magmatic signals of overlapping Early to Middle Miocene orogenic magma associated with shallow continental subduction and asthenospheric mantle flows in Western Anatolia: a record from Simav (Kütahya) region. *Lithos*, 140–141: 119–141.
- Dağhan, Ç. Köprübaşı, N. 2014. The geochemical and Sr–Nd isotopic characteristics of Eocene to Miocene NW Anatolian granitoids: Implications for magma evolution in a post-collisional setting. *J. Asian Earth Sci.* 93: 275-287.
- Debon, F. Le Fort, P. 1983. A chemical–mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. Transactions of the Royal Society of Edinburgh, *Earth Sciences*, 73: 135–149.
- Debon, F. Le Fort, P. 1988. A cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations: principles, method, applications. *Bulletin de Minéralogie*, 111: 493–510.
- Demirbilek, M. Mutlu, H. İlbeyli, N. Orhan, A. Kara, M. 2018. Tavşanlı Zonu doğusunda yer alan (Yürükcaören, Topkaya) Eosen granitoidlerinin petrojenezi ve petrolojisi (Proje No: 2018-40-BAP). Dumlupınar Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, Kütahya.
- Delaloye, M. Bingöl, E. 2000. Granitoids from western and northwestern Anatolia: geochemistry and modeling of geodynamic evolution. *Int. Geol. Rev.* 42: 241–268.
- Didier, J. Lameyre, J. 1969. Les granites du Massif Central Français: Etude comparee des leucogranites et granodiorites. *Contrib. Mineral. Petrol.* 24: 219-238.
- Didier, J. Duthou, J.L. Lameyre, J. 1982. Mantle and crustal granites: Genetic classification of orogenic granites and the nature of their enclaves. *J. Volc. Geotherm. Res.* 14: 125-132.
- Dilek, Y. Altunkaynak, Ş. 2007. Cenozoic crustal evolution and mantle dynamics of post-collisional magmatism in western Anatolia. *Int. Geol. Rev.* 49 (5): 431-453.
- Dilek, Y. Altunkaynak, Ş. 2009. Geochemical and temporal evolution of Cenozoic magmatism in western Turkey: mantle response to collision, slab break-off, and lithospheric tearing in an orogenic belt. *Geological Society, London, Special Publications*, 311(1): 213–233
- Dilek, Y. Altunkaynak, Ş. Öner, Z. 2009. Syn-extensional granitoids in the Menderes core complex and the late Cenozoic extensional tectonics of the Aegean province. In: Ring, U. Wernicke, B. (Eds.), *Extending a Continent: Architecture, Rheology and Heat Budget*. Geological Society, London, Special Publications, pp. 197–223.
- Ding, C. ve He, X. 2004. K-means clustering via principal component analysis. In: *Proceedings, Twenty-First international conference on machine learning. ICML*, 1.

- Erkül, F. 2010. Tectonic significance of syn extensional ductiles hear zones with in the Early Miocene Alacamdag granites, Northwestern Turkey. *Geological Magazine*, 147: 611–637.
- Erkül, S.T. 2012. Petrogenetic evolution of the Early Miocene Alaçamdağ volcano-plutonic complex, North western Turkey: implications for the geodynamic framework of the Aegean region. *Int. J. Earth Sci*, 101. 197–219.
- Erkül, S.T. ve Erkül, F. 2012. Magma interaction processes in syn-extensional granitoyids: theTertiary Menderes metamorphic core complex, western Turkey. *Lithos*, 142–143: 16–33.
- Erkül, S.T. Erkül, F. 2013. Comment on Al-in-Hornblende thermobarometry and Sr–Nd–O–Pb isotopic compositions of Early Miocene Alaçam granite in NW Anatolia (Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22: 354–358.
- Erkül, S. T. Erkül, F. Ersoy, Y. Uysal, İ. Klötzli, U. 2013. Petrology, mineral chemistry and Sr–Nd–Pb isotopic compositions of granitoyids in the central Menderes metamorphic core complex: Constraints on the evolution of Aegean lithosphere slab. *Lithos*, 180-181: 74-91.
- Ersoy, E.Y. Helvacı, C. Palmer, M.R. 2010. Mantle source characteristics and melting models for the Early-Middle Miocene mafic volcanism in Western Anatolia: implications for enrichment processes of mantle lithosphere and origin of K-rich volcanism in post-collisional settings. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 198:112–128.
- Ersoy, Y.E. Helvacı, C. Uysal, İ. Karaoğlu, Ö.Palmer, M.R. Dindi, F. 2012. Petrogenesis of the Miocene volcanisma long the İzmir–Balıkesir Transfer Zone in western Anatolia, Turkey: Implications for origin and evolution of potassic volcanism in post collisionalareas. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 241–242: 21–38.
- Ersoy, E.Y. Palmer, M.R. 2013. Eocene-Quaternary magmatic activity in the Aegean: Implications for mantle metasomatism and magma genesis in an evolving orogeny. *Lithos*, 180–181: 5-24.
- Faure, M. Bonneau, M. Pons, J. 1991. Ductile deformation and syntectonic granite emplacement during the late Miocene extension of the Aegean (Greece). *Bull. Soc. Géol. France*, 162: 3-12.
- Feurer, M. Hutter, F. 2019. Hyperparameter Optimization. In: Hutter, F. Kotthoff, L. and Vanschoren, J. (Eds). *Automated Machine Learning: Methods, Systems, Challenges*, Springer International Publishing Cham. pp. 3–33.
- Frost, B.R. Barnes, C.G. Collins, W.J. Arculus, R.J. Ellis, D.J. Frost, C.D. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, 42: 2033–2048.
- Fytikas, M. Giuliani, O. Innocenti, F. Marinelli, G. Mazzuoli, R. 1976. Geochronological data on recent magmatism of the Aegean Sea. *Tectonophysics*, 31: T29-T34.
- Fytikas, M. Innocenti, F. Manetti, P. Mazzuoli, R. Peccerillo, A. Villari 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, Geological Society Special Publication pp. 687-699.
- Genç, Ş, C. 1998. Evolution of the Bayramic, magmatic complex, Northwestern Anatolia. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 85: 233-249.
- Genç, Ş.C. Altunkaynak Ş. 2007. On the Eybek granite (Biga peninsula, NW Anatolia): A new evaluation in the light of new geochemical data. *J. Earth Sci. Appl. Res. Cent. Hacett. Univ.* 28 (2): 75-98.
- Georgiev, S. van Quadt, A. Heinrich, C.A. Peytcheva, I. Marchev, P. 2012. Time evolution of a rifted continental arc: integrated ID-TIMS and LA-ICPMS study of magmatic zircons from the Eastern Srednogorie, Bulgaria. *Lithos*, 154: 53-67.
- GeoRoc (resmi web sayfası), (<https://georoc.eu/georoc/new-start.asp> sitesinden düzenlenerek alınmıştır), Max Planck Kimya Enstitüsü, Göttingen, Almanya.
- Goss, S.C. Wilde, S.A. Wu, F.Y. Yang, J.H. 2010. The age, isotopic signature and significance of the youngest Mesozoic granitoids in the Jiaodong Terrain, Shandong Province, North China Craton. *Lithos*, 120: 309-326.
- Güraslan, I, N. Altunkaynak, Ş. 2019. Role of mantle and lower continental crust in the genesis of Eocene post-collisional granitoids: Insights from the Topuk pluton (NW Turkey). *J. Asian Earth Sci.* 179: 365-384.
- Gromet, P. Silver, L.T. 1987. REE variations across the peninsular ranges batholith: implications for batholithic petrogenesis and crustal growth in magmatic arcs. *J. Petrol*, 28 (1): 75-125
- Glazner, A.F. Bartley, J.M. Coleman, D.S. 2019. A more informative way to name plutonic rocks. *GSA Today*, 29.
- Harker, A. 1909. The natural history of igneous rocks. London: Macmillan and Co.
- Harrington, P. 2012. Machine Learning in Action. Manning.
- Harris, N. B. 1986. The use of geochemical data in the classification of volcanic rocks. *Geological Society Special Publication*, 33(1): 23-32.
- Harris, N.B.W. Kelley, S. Okay, A.I. 1994. Post-collision magmatism and tectonics in Northwest Anatolia. *Contrib Mineral Petrol*, 117: 241-252.
- Hasözbek, A. Satır, M. Erdoğan, B. Akay, E. Siebel, W. 2009. Magmatic evolution of the northwestern edge of Tauride-Anatolide platform: Geochronological and isotopic implications, Goldschmidt Conference Abstracts, Davos, pp. A499.
- Hasözbek, A. Satır, M. Erdoğan, B. Akay, E. Siebel, W. 2010. Early Miocene post-collisional magmatism in NW Turkey: geochemical and geochronological constraints. *International Geology Review*, 1-22.
- Hasterok, D. Gard, M. Bishop, C. M. B. Kelsey, D. 2019. Chemical identification of metamorphic protoliths using machine learning methods. *Computer Geoscience*, 132: 56-68.
- Hetzl, R. Passchier, C.W. Ring, U. Dora O.O. 1995a. Bivergent extension in orogenic belts; the Menderes Massif (southwestern Turkey). *Geology*, 23: 455-458.

- Hetzel, R. Ring, U. Akal, C. Troesch, M. 1995b. Miocene NNE-directed extensional unroofing in the Menderes Massif, southwestern Turkey. *Journal of the Geological Society, London*, 152: 639-654.
- Hetzel, R. Passchier, C.W. Ring, U. Dora, O.Ö. 1996. Bivergent extension in orogenic belts: the Menderes massif (southwestern Turkey). *Reply Geology*, 24: 94-95.
- Hinsbergen, D.J.J.V. Kaymakci, N. Spakman, W. Torsvik, T.H. 2010. Reconciling the geological history of western Turkey with plate circuits and mantle tomography. *Earth Planet Sci. Lett.* 297: 674–686.
- Hong, W. Cooke, D.R. Huston, D.L. Maas, R. Meffre, S.J. Thomson, J.E. Zhang, L. Fox, N. 2017. Geochronological, geochemical and Pb isotopic compositions of Tasmanian granites (Southeast Australia): controls on petrogenesis, geodynamic evolution and tin mineralisation. *Gondwana Research*, 46: 124-140.
- Hou, J. Iang, B. Dai, H. 2019. Geochemistry, monazite U-Pb dating, and Li-Nd isotopes of the Madi rare metal granite in the northeastern part of the North China craton. *Acta Geol. Sinica (Dizhi-Xuebao)*, 93: 901-911.
- Huang, X.L. Yu, Y. Li, J. Tong, L.X. Chen L.L. 2013. Geochronology and petrogenesis of the Early Paleozoic I-type granite in the Taishan area, South China: middle-lower crustal melting during orogenic collapse. *Lithos*, 177: 268-284.
- Innocenti, F. Agostini, S. 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*, 221: 397–421.
- Irvine, T. N. Baragar, W.R.A. 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8(5): 523-548.
- Ishihara, S. 1977. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geology*, 27: 293–305.
- Işık, V. Seyitoğlu, G. Çemen, İ. 2003. Ductile-brittle transition along the Alasehir detachment fault and its structural relationship with the Simav detachment fault, Menderes massif, western Turkey. *Tectonophysics*, 374: 1-18.
- Işık, V. Tekeli, O. Seyitoğlu, G. 2004. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of extensional ductile deformation and granitoid intrusion in the northern Menderes core complex: implications for the initiation of extensional tectonics in western Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23: 555-566.
- Jia, L. Wang, L. Wang, G. Lei, S. Wu, X. 2019. Petrogenesis of the late Triassic shoshonitic Shadegai Pluton from the Northern North China Craton: Implications for crust-mantle interaction and post-collisional extension. *Geoscience Frontiers*, 10: 595-610.
- Jolivet, L. Daniel, J.M. Truffert, C. Goffé, B. 1994. Exhumation of deep crustal metamorphic rocks and crustal extension in back-arc regions. *Lithos*, 33 (1/2): 3-30.
- Jolivet, L. Faccenna, C. Goffe, B. Mattei, M. Rosetti, F. Brunet, C. Storti, F. Funicello, R. Cadet, J.P. D'Agostino, N. Parra, T. 1998. Midcrustal shear zones in postorogenic extension: example from the northern Tyrrhenian Sea. *Journal of Geophysical Research*, 103: 12123-12160.

- Jolivet, L. Lecomte, E. Huet, B. Denèle, Y. Lacombe, O. Labrousse, L. Le Pourhiet, L. Mehl, C. 2010. The North Cycladic detachment system. *Earth and Planetary Science Letters*, 289: 87-104.
- Karacık, Z. Yılmaz, Y. 1998. Geology of the ignimbrites and the associated volcano-plutonic complex of the Ezine area, northwestern Anatolia. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 85: 251-264.
- Karacık, Z. Yılmaz, Y. Pearce, J.A. 2008. Petrochemistry of the south Marmara granitoids, northwest Anatolia, Turkey. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*, 97: 1181-1200.
- Karacık, Z. Tüysüz, O. 2010. Petrogenesis of the Late Cretaceous Demirköy Igneous Complex in the NW Turkey: Implications for magma genesis in the Strandja Zone. *Lithos*, 114: 369-384.
- Keay, S. Lister, G. Buick, I. 2001. The timing of partial melting, Barrovian metamorphism and granite intrusion in the Naxos metamorphic core complex, Cyclades, Aegean Sea, Greece. *Tectonophysics*, 342: 275-312.
- Kelsey, C.H. 1965. Calculation of the CIPW norm. *Mineral. Mag*, 34: 276-282.
- Köprübaşı, N. Aldanmaz, E. 2004, Geochemical constraints on the petrogenesis of Cenozoic I-type granitoids in northwest Anatolia, Turkey: evidence for magma generation by lithospheric delamination in a post-collisional setting. *Int. Geol. Rev.* 46(8): 705-729.
- Lacroix, A. 1933. Classification des roches eruptives. Nancy, Berger-Levrault.
- Lameyre, J. 1980. Les magmas granitiques: Leurs comportements, leur associations et leur sources. *Mem. Hors- serie Soc. Geol.* 10: 51-62.
- Lameyre, J. Bowden, P. 1982. Plutonic rock types series: Discrimination of various granitoid series and related rocks. *J. Volc. Geotherm. Res.* 14: 169-186.
- La Roche, H. Leterrier, J. Grandclaude, P. Marchal, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major element analyses. Its relationships with current nomenclature. *Chem. Geol.* 29: 183-210.
- La Roche, H. 1986. Classification et nomenclature des roches ignees: Un essai de restauration de la convergence entre systematique quantitative, typologie d'usage et modelisation genetique. *Bull. Soc. Geol.* 2: 337-353.
- Le Bas, M.J. Le Maitre, R.W. Streckeisen, A. Zanettin, B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27: 745-750.
- Le Bas, M.J. Streckeisen, A. 1991. The IUGS systematics of igneous rocks. *Journal of the Geological Society (London)*, 148: 825-833.
- Le Bas, M.J. Le Maitre, R.W. Woolley, A.R. 1992. The construction of the total alkali-silica chemical classification of volcanic rocks. *Mineralogy and Petrology*, 46: 1-22.
- Le Maitre, R.W. 2002. Igneous Rocks: a Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences,

- Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lei, M. Cai, W. Liu, X. Zhang, C. Cui, Q. Li, J. 2024. A new approach to dividing the tectonic setting of igneous rocks: machine learning and GeoTectAI software. *Earth Sci Inform*, 17: 4183–4196.
- Le Pichon, X. Angelier, J. 1979. The Aegean arc and trench system: a key to the neotectonic evolution of the Eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, 60: 1-42.
- Liu, X.Q. Zhang, C.L. Hao, X.S. Zou, H. Zhao, H.X. Ye, X.T. 2020. Early Cretaceous gneissoids in the southern Pamir: Implications for the Meso-Tethys evolution of the Pamir Plateau. *Lithos*, 362-363 (105492).
- Li, Z.X. Bogdanova, S.V. Collins, A.S. Davidson, A. De Waele, B. Ernst, R.E. Fitzsimons, I.C.W. Fuck, R.A. Gladkochub, D.P. Jacobs, J. Karlstrom, K.E. Lu, S. Natapov, L.M. Pease, V. Pisarevsky, S.A. Thrane, K. Vernikovsky V. 2008. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: a synthesis. *Prec. Research*, 160: 179-210
- Li, X.H. Fan, H.R. Hu, F.F. Hollings, P. Yang, K.F. Liu, X. 2019. Linking lithospheric thinning and magmatic evolution of late Jurassic to early cretaceous granitoids in the Jiaobei terrane, southeastern North China Craton. *Lithos*, 324-325: 280-296.
- Maniar, P.D. Piccoli, P.M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Am. Bull.* 101: 635-643.
- Manikyamba, C. Pahari, A. Santosh, M. Ray, J. Sindhuja, C.S. Subramanyam, K.S.V. Singh, M.R. 2020. Mesoarchean gabbro-anorthosite complex from Singhbhum craton India. *Lithos*, 366-367 (105541).
- Marius, P. Balas, V. Perescu-Popescu, L. Mastorakis, N. 2009. Multilayer perceptron and neural networks. *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, 8.
- Meng, E. Liu, F. Du, L. Liu, P. Liu, J. 2015. Petrogenesis and tectonic significance of the Baoping granitic and mafic intrusions, Southwestern China: evidence from zircon U-Pb dating and Lu-Hf isotopes, and whole rock geochemistry. *Gondwana Res.* 28: 800-815.
- Melfos, V. Voudouris, P. C. 2012. Geological, mineralogical and geochemical characteristics of the porphyry Cu–Mo±Au systems in Greece: Examples from Pagoni Rachi and Skouries deposits. *Geosciences*, 2 (2): 89–114.
- Meulenkamp, J.E. Wortel, M.J.R. Van Wamel, W.A. Spakman, W. Hoogerduyn Strating, E. 1988. On the Hellenic subduction zone and the geodynamic evolution of Crete since the late Middle Miocene. *Tectonophysics*, 146: 203-215.
- Miao, Z. Zhao, Z. Niu, Y. Lei, H. Tong, X. Wu, J. Yang, Y. Liu, D. Wang, Q. Zhu, D.C. Dong, G. Zhou, S. 2021. Petrogenetic Evolution of the Zhuopan Palaeozoic Alkaline Complex, Western Yunnan, SW China: Implications for heterogeneous metasomatism of lithospheric mantle beneath Simao and western Yangtze block *Lithos*, 400-401 (106354).
- Nachit, H. Razafimahefa, N. Stussi, J.M. Carron, J.P. 1985. Composition chimique des biotites et typologie magmatique des granitoïdes. *C.R. Acad. Sci.* 301: 813-818.

- Okay, A.I. Satır, M. 2000. Coeval plutonism and metamorphism in a latest Oligocene metamorphic core complex in northwest Turkey. *Geological Magazine*, 137: 495-516.
- Orsini, J.B. 1976. Les granitoides hereyniens corso- sardes: mise en evidence de deux associations magmatiques. *Bull. Soc. Geol. France*, 18: 1203-1206.
- Orsini, J.B. 1979. Existence de trois associations magmatiques dans les granitoides postviséen moyen (group des granodiorites-monzogranites) de la chaîne varisque française. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 289: 981-984.
- Oyman, T. 2010. Geochemistry, mineralogy, and genesis of the Ayazmant Fe–Cu skarn deposit in Ayvalik, (Balıkesir), Turkey. *Ore Geology Reviews*, 37: 175-201.
- Oyman, T. Özgenç, İ. Tokçer, M. Akbulut, M. 2013. Petrology, geochemistry, and evolution of the iron skarns along the northern contact of the Eğrigöz Plutonic Complex, Western Anatolia, Turkey. *Turkish J. Earth Sci.* 22: 61-97.
- Öner, Z. Dilek, Y. Kadioğlu, Y.K. 2010. Geology and geochemistry of the synextensional Salihli granitoid in the Menderes core complex, western Anatolia, Turkey. *International Geology Review*, 52: 336-368.
- Özgenç, İ. ve İlbeyli, N. 2008. Petrogenesis of the Late Cenozoic Eğrigöz Pluton in Western Anatolia, Turkey: implications for magma genesis and crustal processes. *International Geology Review*, 50: 375-391.
- Öztürk, Y. Helvacı, C. Satır, M. 2005. Genetic relations between skarn mineralization and petrogenesis of the Evciler granitoid, Kazdağ, Çanakkale, Turkey and comparison with world skarn granitoids. *Turkish J. Earth Sci.* 14: 255-280.
- Öztürk, Y.Y. 2016. O, Sr and Nd isotopic constraints on Cenozoic granitoids of Northwestern Anatolia, Turkey: Enrichment by subduction zone fluids. *Journal of African Earth Sci.* 117: 12-28.
- Pan, F. B. Liu, R. Jin, C. Jin, B. J. He, X. Gao, Z. Tao, L. Zhou, X. Zhang, L. 2018. Petrogenesis of Early Cretaceous granitoids from South West Zhejiang, NE South China Block and its geodynamic implication. *Lithos*, 308-309: 196-212.
- Pan, X. Hou, Z. Zhao, M. Chen, G. Rao, J. Li, Y. Wei, J. Ouyang, Y. 2018. Geochronology and geochemistry of the granites from the zhuxi W-Cu ore deposit in South China: implication for petrogenesis, geodynamical setting and mineralization. *Lithos*, 304-307: 155-179.
- Pe-Piper, G. Kotopouli, C.N. Piper, D.J.W. 1997. Granitoid rocks of Naxos, Greece: regional geology and petrology. *Geological Journal*, 32: 153-171.
- Pe-Piper, G. 2000. Origin of S-type granites coeval with I-type granites in the Hellenic subduction system, Miocene of Naxos, Greece. *European Journal of Mineralogy*, 12: 859–875.
- Pe-Piper, G. Piper, D.J.W. Matarangas, D. 2002. Regional implications of geochemistry and style of emplacement of Miocene I-type diorite and granite, Delos, Cyclades, Greece. *Lithos*, 60: 47-66.
- Perace, M. 1984. Petrographic and geochemical classification of volcanic rocks. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 13(1): 21-40.

- Perkins, R.J. Cooper, F.J. Condon, D.J. Tattitch, B.C. Naden, J. 2018. Post-collisional Cenozoic extension in the northern Aegean: the high-K to shoshonitic intrusive rocks of the Maronia Magmatic Corridor, northeastern Greece. *Lithosphere*, 10: 582-601.
- Pitcher, W.S. 1983. Granite: Typology, geological environment and melting relationships. In: Atherton, M.P. Gribble, C.D. (Eds.), *Migmatites, Melting and Metamorphism*. Shiva, Cheshire, pp. 277-287.
- Pitcher, W.S. 1987. Granites and yet more granites forty years on. *Geol. Rundschau*, 76: 51-79.
- Pitcher, W.S. 1993. The nature and origin of granite. Blackie Academic and Professional, London, 321 p.
- Prelević, D. Akal, C. Romer, R.L. Foley, S.F. 2010. Lamproites as indicators of accretion and/or shallow subduction in the assembly of south-western Anatolia, Turkey. *Terra Nova*, 22: 443-452.
- Prelević, D. Akal, C. Foley, S.F. Romer, R.L. Stracke, A. Van Den Bogaard, P. 2012. Ultrapotassic mafic rocks as geochemical proxies for post-collisional dynamics of orogenic lithospheric mantle: the case of South western Anatolia, Turkey. *Journal of Petrology*, 53: 1019-1055.
- Pupin, J.P. 1980. Zircon and granite petrology. *Contrib. Mineral. Petrol*, 73: 207-220.
- Pupin, J.P. 1988. Granites as indicators in paleogeodynamics. *Rend. Soc. It. Mineral. Petrol*, 43: 237-262.
- Quan, Y. Yang, D. Yang, H. Yan, X. Xu, W. 2022. Petrogenesis of Jurassic granitic plutons in Liaodong peninsula, NE China: insights into the subduction of Paleopacific plate. *J. Asian Earth Sci.* 236 (105310).
- Rollinson, H. R. 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Longman Scientific and Technical.
- Rossi, P. Chevrement, P. 1987. Classification des associations magmatiques granitoides. *Geochronique*, 21: 14-18.
- Saha, R. Upadhyay, D. Mishra, B. 2021. Discriminating Tectonic Setting of Igneous Rocks Using Biotite Major Element chemistry—A Machine Learning Approach. *AGU. Research Article*.
- Sakyi, P.A. Addae, R.A. Su, B.X. Dampare, S.B. Abitty, E. Su, B.C. Liu, B. Asiedu, D.K. 2020. Petrology and geochemistry of TTG and K-rich paleoproterozoic Birimian granitoids of the West African craton (Ghana): petrogenesis and tectonic implications. *Prec. Research*, 336 (105492).
- Schaarschmidt, A. Klemm, R. Regelous, M. Voudouris, P.C. Melfos, V. Haase, K.M. 2021. The formation of shoshonitic magma and its relationship to porphyry-type mineralisation: the Maronia pluton in NE Greece. *Lithos*, 380-381.
- Sendir, H. Sarıöz, K. 2009. Boğazova Granitoidinin (Kütahya) jeokimyasal özellikleri. *AUBTD-B*, 2: 431-445.

- Seyitoğlu, G. ve Scott, B.C. 1996. The cause of N–S extensional tectonics in western Turkey: tectonic escape vs back-arc spreading vs orogenic collapse. *Journal of Geodynamics*, 22: 145-153.
- Shand, S.J. 1943. Eruptive rocks. Their genesis, composition, classification, and their relation to ore deposits. Wiley, New York, 444 p.
- Skarpelis, N. 2007. The Lavrion deposit: geology, mineralogy and minor elements chemistry. *Neues Jahrbuch Mineralogie, Abhandlungen*, 183/3: 722–94.
- Stouraiti, C. Mitropoulos, P. Tarney, J. Barreiro, B. McGrath, A.M. Baltatzis, E. 2010. Geochemistry and petrogenesis of late Miocene granitoids, Cyclades, southern Aegean: Nature of source components. *Lithos*, 114 (3-4): 337-352.
- Streckeisen, A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth-Science Reviews*, 12: 1–33.
- Sun, J.F. Zhang, J.H. Yang, J. Zhu, Y. Chen, J.Y. Ling-hu, M.M. 2021. Multi-stage Jurassic magmatism in the Liaodong peninsula: constraints on crustal evolution beneath the eastern North China craton. *Lithos*, 402-403 (105897).
- Şahin, S.Y. Orgun, Y. Güngör, Y. Göker, A.F. Gültekin, A.H. Karacık, Z. 2010. Mineral and whole-rock geochemistry of the Kestanbol granitoid (Ezine-Çanakkale) and its mafic microgranular enclaves in Northwestern Anatolia: evidence of felsic and mafic magma interaction. *Turkish J. Earth Sci.* 19: 101-122.
- Şengör, A. M. C. Natal'in, B. A. 1996. Paleotectonics of Asia: Fragments of a synthesis. In A. Yin, M. Harrison (Eds.), *The tectonic evolution of Asia*. Cambridge University Press, pp. 486–640.
- Tauson, L.V. Kozlov, Y.D. 1973. Distribution function and ratios of trace element concentrations as estimators of the ore bearing potential of granites. *Proceedings of the International Geochemical Exploration Symposium*, 4: 37-44.
- Temel, A. 2001. Volkanik kayaçların jeokimyasal özellikleri. In: Boztuğ, D. ve Otlı N. (Eds.), *Magmatik Petrojenez*. TÜBİTAK Lisans Üstü Yaz Okulu, Akçakoca-Düzce, pp. 196-219.
- Thomson, S.N. Stockhert, B. Brix, M.R. 1998. Thermochronology of the high-pressure metamorphic rocks of Crete, Greece: implications for the speed of tectonic processes. *Geology*, 26: 259-262.
- Thomson, S.N. Ring, U. 2006. Thermochronologic evaluation of postcollision extension in the Anatolide orogen, western Turkey. *Tectonics*, 25.
- Tirel, C. Gueydan, F. Tiberi, C. Brun, J.P. 2004. Aegean crustal thickness inferred from gravity inversion. Geodynamical implications. *Earth and Planetary Science Letters*, 228: 267-280.
- Tischendorf, G. Palchen, W. 1985. Zur klassifikation von granitoiden. *Z. Geol. Wiss.* 13: 615-627.
- Tong, Y. Wang, T. Hong, D.W. Dai, Y.J. Han, B.F. Liu, X.M. 2007. Ages and origin of the early Devonian granites from the north part of Chinese Altai Mountains and its tectonic implications. *Acta Petrologica Sinica*, 23: 1933-1944.

- Topuz, G. Okay. A.I. 2017. Late Eocene–Early Oligocene two-mica granites in NW Turkey (the Uludağ Massif): Water-fluxed melting products of a mafic metagreywacke. *Lithos*, 268-271: 334-350.
- Ustaömer, P.A. Ustaömer, T. Collins, A.S. Reischpeitsch, J. 2009. Lutetian arc-type magmatism along the southern Eurasian margin: new U-Pb LA-ICPMS and whole-rock geochemical data from Marmara Island, NW Turkey. *Mineral. Petrol*, 96: 177-196.
- Ünal, A. Altunkaynak, S. 2018. Nature and genesis of potassic high Ba Sr granitoids associated with syn-convergent extension in NW Turkey. *Lithos*, 316: 261–277.
- Von Quadt, A. Moritz, R. Peytcheva, I. Heinrich, C.A. 2005. Geochronology and geodynamics of Late Cretaceous magmatism and Cu–Au mineralization in the Panagyurishte region of the Apuseni–Banat–Timok–Srednogie belt, Bulgaria. *Ore Geology Reviews*, 27: 95-126.
- Wang, Y.J. Yuan, C. Long, X.P. Sun, M. Xiao, W.J. Zhao, G.C. Cai, K.D. Jiang, Y.D. 2011. Geochemistry, zircon U–Pb ages and Hf isotopes of the Paleozoic volcanic rocks in the northwestern Chinese Altai: petrogenesis and tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42: 969-985.
- Wang, X. Shu, L. Xing, G. Zhou, J. Tang, M. Shu, X.J. Qi, L. Hu, Y.H. 2012. Post-orogenic extension in the eastern part of the Jiangnan orogen: evidence from Ca 800-700 Ma volcanic rocks. *Prec. Research*, 222-223: 404-423.
- Wang, X. C. Li, Z. X. Li, X. H. Li, Q. L. Li, W. X. Zhou, H. Y. 2014. A global synthesis of mid-Neoproterozoic magmatic events: Correlation with the breakup of Rodinia. *Prec. Research*, 245: 388–428.
- Wang, S. Zhang, Y. Zhang, H. Zhu, A. Wang, H. Shi, X. Ye, H. Yang, Y. 2018. Petrogenesis and tectonic setting of the Mesozoic Huoshenmiao intrusion in the Luanchuan ore district, Henan province, North China. *J. Asian Earth Sci.* 160: 239-257.
- Wang, Q. Zhao, G. Han, Y. Yao, L. Liu, Q. Guo, Y. Zhao, Y. Zhang, H. 2021. Late Paleozoic tectonic transition in east Junggar, NW China: insights from I- and A-type granitic magmatism in the Karamaili Region. *Lithos*, 404-405 (106481).
- Westaway, R. 2006, Cenozoic cooling histories in the Menderes Massif, western Turkey, may be caused by erosion and flat subduction, not low-angle normal faulting. *Tectonophysics*, 412: 1-25.
- Whalen, J.B. Currie, K.L. Chappel, B.W. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol*, 95: 407-419.
- White, A.J.R. Chappel, B.W. 1983. Granitoid types and their distribution in the Lachlan Fold belt, southeastern Australia. *Geol. Soc. Am. Mem.* 159: 21-34.
- Wu, H. He, Y. Teng, F.Z. Ke, S. Hou, Z. Li, S. 2018. Diffusion-driven magnesium and iron isotope fractionation at a gabbro-granite boundary. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 222: 671-684.
- Xu, K. Sun, N. Wang, D. Hu, S. Liu, Y. Ji, S. 1982. On the origin and metallogeny of the granites in South China. In: Xu, K. Tu, G. (Eds.), *Geology of Granites and*

- Their Metallogenic Relations. Proceed. Internat. Symp, Nanjing Univ. Sci. Press. Beijing, pp. 1-3.
- Xu, H. Ma, C. Ye, K. 2007. Early cretaceous granitoids and their implications for the collapse of the Dabie orogen, eastern China: SHRIMP zircon U-Pb dating and geochemistry. *Chem. Geol.* 240: 238-259.
- Xu, W. Xu, X. 2015. Early Paleozoic intracontinental felsic magmatism in the South China block: Petrogenesis and geodynamics. *Lithos*, 234-235: 79-92.
- Yang, C. 1982. The genetic types of the granitoids in South China. In: Xu, K. Tu, G. (Eds.), *Geology of Granites and their Metallogenic Relations*. Proceed. Internat. Symp. Nanjing Univ. Sci. Press, Beijing, pp. 253-276.
- Yang, J. H. Wu, F. Y. Wilde, S. A. Liu, X. M. Zhou, J. B. 2015. Petrogenesis of Early Mesozoic high-K calc-alkaline I-type granites in southeastern China: Geochronological and geochemical constraints and implications for the tectonic evolution of the region. *Chemical Geology*, 391: 41–53.
- Yılmaz, Y. 1989. An approach to the origin of young volcanic rocks of western Turkey. In: Şengör, A.M.C. (Ed.), *Tectonic Evolution of the Tethyan Region: The Hague*, Kluwer Academic, pp. 159-189.
- Yılmaz, Y. Genç, Ş.C. Karacık, Z. Altunkaynak Ş. 2001. Two contrasting magmatic association of NW Anatolia and their tectonic significance. *J. Geodyn.* 31: 243-271.
- Yılmaz, Ş. S. 2008. Geochemistry of mafic microgranular enclaves in The Tamdere quartzmonzonite, South of Dereli/Giresun, eastern Pontides, Turkey. *Chemie der Erde –Geochemistry*, 68, 81–92.
- Yılmaz-Şahin, S. Örgün, Y. Güngör, Y. Göker, A.F. Gültekin, A.H. Karacık, Z. 2010. Mineral and whole-rock geochemistry of the Kestanbol Granitoid (Ezine-Çanakkale) and its mafic microgranular enclaves in northwestern Anatolia: evidence of felsic and mafic magma interaction. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 19: 101-122.
- Yu, Y. Huang, X.L. Sun, M. Santos De Campos, A. 2018. Petrogenesis of granitoids and associated xenoliths in the early Paleozoic Baoxu and Enping plutons, South China: implications for the evolution of the Wuyi-Yunkai intracontinental orogen. *J. Asian Earth Sci.* 156: 59-74.
- Zhang, X. Zhao, G. Sun, M. Han, Y. Liu, Q. 2017. Triassic magmatic reactivation in eastern tianshan, NW China: Evidence from geochemistry and zircon U-Pb-Hf isotopes of granites. *J. Asian Earth Sci.* 145: 446-459.
- Zhang, Q. Wang, Q.F. Li, G. Cui, X. 2018. Fractionation process of high-silica magmas through the lens of zircon crystallization: a case study from the Tengchong block, SW China. *Chem. Geol.* 496: 34-42.
- Zhang, Q. Wang, Q. Li, G. Sun, X. Shu, Q. Deng, J. 2022. Crucial control on magmatic-hydrothermal Sn deposit in the Tengchong block, SW China: evidence from magma differentiation and zircon geochemistry. *Geoscience Frontiers*, 13 (101401).

- Zhao, S.W. Lai, S. Pei, X. Qin J. Coltorti, M. Tao, N. Gao, L. 2019. Compositional variations of granitic rocks in continental magrin arc: constraints from the petrogenesis of Eocene granitic rocks in the Tengchong Block, SW China. *Lithos*, 326-327: 125-143.
- Zhong, Y.F. Ma, C. Zhang, C. Wang, S.M. She, Z. Liu, L. Xu, H. 2013. Zircon U-Pb age, Hf isotopic compositions and geochemistry of the Silurian Fengoingshan I-type granite pluton and Taoyuan mafic-felsic complex at the southeastern magrin of the Yangtze block. *J. Asian Earth Sci*, 74: 11-24.
- Zhu, K.Y. Li, Z.X. Xu, X.S. Wilde, S.A. 2014. A Mesozoic Andean-type orogenic cycle in southeastern China as recorded by granitoid evolution. *American Journal of Science*, 314: 187-234.
- Zhu, R.Z. Lai, S. Qin, J. Zhao, S.W. 2015. Early-Cretaceous highly fractionated I-type granites from the Northern Tengchong block, Western Yunnan, SW China: petrogenesis and tectonic implications. *J. Asian Earth Sci*. 100: 145-163.
- Zhu, K.Y. Li, Z.X. Xia, Q.K. Xu, X. Wilde, S.A. Chen H. 2017. Revisiting Mesozoic felsic intrusions in eastern South China: Spatial and temporal variations and tectonic significance. *Lithos*, 294-295: 147-163.
- Zou, S. Xu, D. Deng, T. Huang, Q. Yu, D. Zhao, Z. Ye, T. 2019. Geochemical variations of the Late Mesozoic granitoids in the Southern magrin of North China craton: a possible link to the tectonic transformation from compression to extension. *Gondwana Res*. 75: 118-133.

8. EKLER

EK-1. Makine öğrenmesi ile karşılaştırılan granitoidlerin mineralojik, petrografik, jeokimyasal ve petrojenetik özellikleri



Birim	Yaş (My)	Kaya Türü	Mineraloji-Petrografi	Jeokimya	Kaynak	Jeodinamik	Referans
Nevruz- Çakırova (Kazdağları ve Yenice)	27.89±0.17	Gr	Pembemsi gri-koyu gri renkli, orta-iri taneli, İnce taneli MME, Porfirik-hipidiyomorfik ve granüler dokulu, nadiren foliyasyonlu ku, plj, or, hnb, bi, prx, ti, man, zir, ep, klo, akt, ser, kal, kil min.	Yüksek K'lu peralümino, I-tipi, kalk-alkali Sr, K, Rb, Ba, Th ve La, Ce ve Nd zenginleşme, Tb, Ti, Y, Yb tüketilme, pozitif Th, negatif Nb, Ta, Hf, Rb, Eu anomalileri, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları= 0.705168-0.708357 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ =0.512425-0.512614 $\epsilon\text{Nd}(t)$ =-3.5-0.2	Helen levhasının geriye doğru hareketi sonucu yerkabuğunun incelmesi, sıg magma odalarına yerleşmesi ve evrimleşmesi	Delaminasyon ve/veya çarpışma sonrası genişleme	Aysal 2015
Kızıldam (Güney Marmara)	22.87±0.35	Gd, Gr	Granodiyoritik ve monzonitik, aplogranitik sınır zonu, yarı yuvarlak, yarı köşeli, diyoritik mikrogranüler anklav ve mikro granit anklav, Porfirik-hipidiyomorfik ve granüler doku, ku, plj, or, hnb, bi, prx, ti, man, zir, ep, klo, akt, ser, kal, kil min.	Yüksek K'lu kalk-alkali, metalümino, SiO_2 = >64% wt LREE zenginleşmesi, daha düşük MREE ve HREE	Manto kökenli magmaların kabuk tarafından kirlenmesi	Çarpışma sonrası granitoidler	Karacık vd. 2008, Aysal 2015
Soğucak (Kazdağları ve Yenice)	25.03±0.31	Gr	Pembemsi gri-koyu gri renkli, orta-iri taneli, ince taneli MME Porfirik-hipidiyomorfik ve granüler dokulu, nadiren foliyasyonlu ku, plj, or, hnb, bi, prx, ti, man, zir, ep, klo, akt, ser, kal, kil min.	Yüksek K'lu, kalk-alkali, Sr, K, Rb, Ba ve Thve daha azLa, Ce ve Nd zenginleşmesi, Tb, Ti, Y ve Yb'da tüketilme. Pozitif Th anomalileri ve negatif Nb, Ta, Hf ve daha az ölçüde K, Rb, Eu anomalileri $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları= 0.705168-0.708357 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ =0.512425-0.512614 $\epsilon\text{Nd}(t)$ =-3.5-0.2	Helen levhasının geriye doğru hareketi sonucu yerkabuğunun incelmesi, sıg magma odalarına yerleşmesi ve evrimleşmesi	Delaminasyon ve/veya çarpışma sonrası genişleme	Aysal 2015
Sarıoluk (Güney Marmara)	22.6±0.8	Gd, Gr	Granodiyoritik ve monzonitik, aplogranitik sınır zonu, yarı yuvarlak, yarı köşeli, diyoritik mikrogranüler anklav ve mikro granit anklav, Porfirik-hipidiyomorfik ve granüler doku, ku, plj, or, hnb, bi, prx, ti, man, zir, ep, klo, akt, ser, kal, kil min.	Yüksek K'lu kalk-alkali,metalümino, SiO_2 =60-67% wt Yüksek La, Th, Ce ve Pb $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları= 0.70730 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ =0.51247; $\epsilon\text{Nd}(t)$ = -2.8 LREE zenginleşmesi, daha düşük MREE-HREE	Manto kökenli magmaların kabuk tarafından kirlenmesi	VAG-Syn-COLG	Karacık vd. 2008, Aysal 2015
Kurtlar-Hıdırlar (Kazdağları ve Yenice)	25.39±0.55	Gr	Pembemsi gri-koyu gri renkli, orta-iri taneli, ince taneli MME, Porfirik-hipidiyomorfik ve granüler dokulu, nadiren foliyasyonlu ku, plj, or, hnb, bi, prx, ti, man, zir, ep, klo, akt, ser, kal, kil min.	Yüksek K'lu, kalk-alkali, Sr, K, Rb, Ba, Th ve daha az La, Ce ve Nd zenginleşme, Tb, Ti, Y ve Ybtüketilme. Pozitif Th anomalileri ve negatif Nb, Ta, Hf ve daha az ölçüde K, Rb, Eu anomalileri, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları=0.705168-0.708357 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ =0.512425-0.512614 $\epsilon\text{Nd}(t)$ =3.5-0.2	Helen levhasının geriye doğru hareketi sonucu yerkabuğunun incelmesi, sıg magma odalarına yerleşmesi ve evrimleşmesi	Delaminasyon ve/veya çarpışma sonrası genişleme	Aysal 2015

Birim	Yaş (My)	Kaya Türü	Mineraloji-Petrografi	Jeokimya	Kaynak	Jeodinamik	Referans
Namazgah (Kazdağları ve Yenice)	24.79±0.38	Gr	Pembemsi gri-koyu gri renkli, orta-iri taneli, ince taneli MME, Porfirik-hipidiyomorfik ve granüler dokulu, nadiren foliyasyonlu ku, plj, or, hnb, bi, prx, ti, man, zir, ep, klo, akt, ser, kal, kil min.	Yüksek K'lu, kalk-alkali, Sr, K, Rb, Ba, Th ve daha az La, Ce ve Nd zenginleşmesi, Tb, Ti, Y ve Yb tüketilme. Pozitif Th anomalileri ve negatif Nb, Ta, Hf ve daha az ölçüde K, Rb, Eu anomalileri, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları= 0.705168-0.708357, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ =0.512425-0.512614 $\epsilon\text{Nd}(t)$ =-3.5-0.2	Helen levhasının geriye doğru hareketi sonucu yerkabuğunun incelenmesi, sıg magma odalarına yerleşmesi ve evrimleşmesi	Delaminasyon ve/veya çarpışma sonrası genişleme	Aysal 2015
Eskiyayla-Zeybekçayırı (Kazdağları ve Yenice)	26.53±0.29	Gr	Pembemsi gri-koyu gri renkli, orta-iri taneli, ince taneli MME, Porfirik-hipidiyomorfik ve granüler dokulu, nadiren foliyasyonlu ku, plj, or, hnb, bi, prx, ti, man, zir, ep, klo, akt, ser, kal, kil min.	Yüksek K'lu kalk-alkali, Sr, K, Rb, Ba, Th ve daha az La, Ce ve Nd zenginleşme, Tb, Ti, Y ve Yb tüketilme. Pozitif Th anomalileri ve negatif Nb, Ta, Hf ve daha az ölçüde K, Rb, Eu anomalileri, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları= 0.705168-0.708357, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ =0.512425-0.512614 $\epsilon\text{Nd}(t)$ =-3.5-0.2	Helen levhasının geriye doğru hareketi sonucu yerkabuğunun incelenmesi, sıg magma odalarına yerleşmesi ve evrimleşmesi	Delaminasyon ve/veya çarpışma sonrası genişleme	Aysal 2015
Avclar-Kavlaklar (Kazdağları ve Yenice)	26.33±0.38	Gr	Pembemsi gri-koyu gri renkli, orta-iri taneli, ince taneli MME, porfirik-hipidiyomorfik ve granüler dokulu, nadiren foliyasyonlu ku, plj, or, hnb, bi, prx, ti, man, zir, ep, klo, akt, ser, kal, kil min.	Yüksek K'lu, kalk-alkali, Sr, K, Rb, Ba, Thve daha azLa, Ce ve Nd zenginleşme, Tb, Ti, Y ve Yb tüketilme. Pozitif Th anomalileri ve negatif Nb, Ta, Hf ve daha az ölçüde K, Rb, Eu anomalileri, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları= 0.705168-0.708357, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ =0.512425-0.512614 $\epsilon\text{Nd}(t)$ = 3.5-0.2	Helen levhasının geriye doğru hareketi sonucu yerkabuğunun incelenmesi, sıg magma odalarına yerleşmesi ve evrimleşmesi	Delaminasyon ve/veya çarpışma sonrası genişleme	Aysal 2015
Yenice (Güney Marmara)	21.9±1.10	Gd, Gr	Granodiyoritik ve monzonitik, aplogranitik sınır zonu, yarı yuvarlak ila yarı köşeli, diyoritik mikrogranüler ve mikrogranitik anklav	Yüksek K'lu, kalk-alkali şoşonitik metalümino, I-tipi, SiO_2 = 52.74-66.77% wt, Rb, Ba, Th, U, K, La ve Ce zenginleşme, Nb, Ta, Ti, P ve Zr'de tüketilme	Manto kökenli magmaların kabuk tarafından kirlenmesi	VAG-Syn-COLG	Delaloye vd. 2000, Karacık vd. 2008, Altunkaynak vd. 2012a, Aysal 2015

Birim	Yaş (My)	Kaya Türü	Mineraloji-Petrografi	Jeokimya	Kaynak	Jeodinamik	Referans
Karadoru (Kazdağları ve Yenice)	23.3±1.3	Gr	Pembemsi gri-koyu gri renkli, orta-iri taneli, ince taneli MME. Porfirik-hipidiyomorf ve granüler dokulu, nadiren foliyasyonlu ku, plj, or, hnb, bi, prx, ti, man, zir, ep, klo, akt, ser, kal, kil min.	Yüksek K'lu, kalk-alkali, Sr, K, Rb, Ba ve Th ve daha az La, Ce ve Nd zenginleşme, Tb, Ti, Y ve Yb tüketilme, Pozitif Th anomalileri ve negatif Nb, Ta, Hf ve daha az ölçüde K, Rb, Eu anomalileri, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları= 0.705168-0.708357, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ =0.512425-0.512614 $\epsilon\text{Nd}(t)$ = 3.5-0.2	Helen levhasının geriye doğru hareketi sonucu yerkabuğunun incelenmesi, sıg magma odalarına yerleşmesi ve evrimleşmesi	Delaminasyon ve/veya çarpışma sonrası genişleme	Aysal 2015
Eybek (Kazdağı Masifinin doğu yamacı)	23.9±0.31	Gd, Gr	Holokristalen hipidiyomorf granüler doku Plj, ku, K-feld, bio, hnb, op. min.	SiO_2 =54.88-74.71% wt, Yüksek K'lu, kalk-alkali, magnezyumlu, metalüminli, I-tipi, HREE'lere kıyala LREE'lerde zenginleşme, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ =0.707313, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ =0.512453	Manto bileşeninin baskın olduğu, kabuk ve manto karışımı hibrid magma kaynağı	WPG	Genç, Altunkaynak 2007, Altunkaynak vd. 2012a, Black vd. 2013
Uludağ (Uludağ Masifi)	35±1	Gr	Ku, plj, mik, bi, mus, ap, zir, ilm, mon	SiO_2 =70–74% wt, S-tipi, Yüksek Al_2O_3 , Sr, Ba, LREE, düşük Rb, Y, Sc ve HREE bolluğu, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ =0.7052-0.7080, $\epsilon\text{Nd}(t)$ =0.7-3.6	Daha eski bir kabuk bileşeni ve daha genç bir bazik bileşen içeren heterojen bir kaynak	Çarpışma sonrası	Topuz 2017
Gönen (Güney Marmara)	18.4±1.1 23.9±0.6	Gd	Plj, hnb, bio, san fenokristalleri	Metalümino, kalk-alkali, orta-yüksek K, SiO_2 =63–75% wt, Yüksek La, Th, Ce ve Pb. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları= 0.70730, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ =0.51247, $\epsilon\text{Nd}(t)$ =-2.8, REE zenginleşmesi ve daha düşük MREE ve HREE	Manto kökenli magmaların kabuk tarafından kirlenmesi	Çarpışma sonrası	Karacık vd. 2008
Çataldağ (KB Anadolu kuzeyi)	20.4	Gd, Gr	Orta taneli, holokristalin doku, Ku, plj, K-feld, hnb, bi, zir, ap, ti, op. min.	Sub-alkali, metalümino, I-tipi, SiO_2 =60.95-72.28wt% LILE ve LREE'de belirgin zenginleşmeler ve HFSE'de tükenme, negatif Eu anomalisi $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları=0.706283- 0.707392 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ =0.512293-0.512477, ϵNd =-7.1—3.5	Çarpışma sonrası genişlemeli ortamda kabuksal ve metasomatize olmuş manto malzemesi de dahil olmak üzere çeşitli kaynakların kısmi ergimesiyle oluşan farklı magma kaynakları	VAG-Syn-COLG	Altunkaynak vd. 2012a, 2012b Dağhan-Köprübaşı, 2014

Birim	Yaş (My)	Kaya Türü	Mineraloji-Petrografi	Jeokimya	Kaynak	Jeodinamik	Referans
Ezine (KB Anadolu kuzeyi)	21	Gd, Gr	Ku, K-feld, bio	Yüksek K'lu kalk-alkali, I-tipi negatif Ba, Nb, Ta ve Sr anomalileri ve K, La ve Rb zenginleşmesi, Nb ve Ta gibi HFSE'e göre Ba, K ve Sr bollukları, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları 0.70720–0.70940, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.51233-0.51241$, $\epsilon\text{Nd}(t)=-3.48-1.20$	Sıkışma rejimi altında hibrid magma kaynağından türemiş	Çarpışma sonrası	Öztürk 2016
Ilıca- Şamlı (KB Anadolu kuzeyi)	21.9	Gr, Gd	Orta taneli, Holokristalinporfirik dokulu, Ku, plj, K-feld, hnb, bi, zir, ap, ti, opak min.	SiO_2 58.22-64.27 wt%, Kalk-alkali, metalümino, I-tipi, LILE ve LREE'de belirgin zenginleşme ve HFSE'de tüketilme (negatif Nb ve Ta anomalileri), negatif Eu, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.706842-0.707193$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.512473-0.512492$, $\epsilon\text{Nd}=3.6-3.2$	Mafik-kabuk kökenli magmaların fraksiyonlaşması ve yükselmesiyle oluşan hibrid magmaların çarpışmadan sonra kabuğun üst seviyelerine yükselmesi ve kabuk kirlenmesine maruz kalması	VAG-Syn-COLG	Altunkaynak vd. 2012a, 2012b Daghan-Köprübaşı, 2014
Ilıca (Güney Marmara)	22.8±0.5	Gr, Gd	Granodiyoritik ve monzonitik, aplogranitik sınır zonu, yarı yuvarlak ila yarı köşeli, diyoritik mikrogranüler anklav ve mikrogranit anklav	Yüksek K'lu-kalk-alkali, metalümino, I-tipi, LILE zenginleşme, negatif Nb, Ta, Ti, P anomalileri $\text{SiO}_2=60-67\%$ wt	Manto kaynaklı eriyikler ve kısmi kabuk eriyikleri	VAG-Syn-COLG	Karacık vd. 2008 Altunkaynak vd. 2012a
Solarya (KB Anadolu)	21	Gd, Mikgr,	Holokristalin porfirik doku, Plj, ku, K-feld, bio, hnb	Yüksek K'lu, kalk-alkali, şoşonitik, metalümino, I-tipi, LILE zenginleşmesi ve negatif Nb, P ve Ti $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70702-0.70805$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.51235-0.51250$, $\epsilon\text{Nd}=-4.9-2.05$	Genç mafik alt kabuk kayaçlarının kısmi erimesi	Syn-convergent	Unal-Altunkaynak 2018
Kozak (KB Anadolu)	20.3±0.1	Gr, Gd	İnce taneli holokristalin porfirik dokulu, Plj, K-feld, hnb, bio, cprx, ti, zir, ap.	Magnezyumlu, kalk-alkali, metalümino, I-tipi, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları= 0.7075-0.7094, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.512312-0.512588$	Sıkışma rejimi altında hibrid magma kaynağından türemiş manto+kabuk bileşenleri	Eş-zamanlı ve eş-kökenli çarpışma sonrası	Altunkaynak vd. 1998, Delaloye vd. 2000, Yılmaz 2001, Oymacı 2010,
Kestanbol (KB Anadolu)	28.0±0.9 20.5±0.6	Gr, Gd, Qmz	Holokristalin iri-orta taneli, Ku, K-feld, plj, bio, hnb, cpx, ap, ti	Yüksek K'lu alkali-kalsik, metalümino, I-tipi $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}= (0.7075-0.7094)$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=(0.512312-0.512588)$ Dik REE desenleri ve daha yüksek miktarda Nb, Rb, Th, Ba ve Sr eser elementleri	Ergiyikler tarafından modifiye olmuş peridotitik kaynak	Çarpışma sonrası kıtasal genişleme	Fytikas vd. 1976 Delaloye ve Bingöl 2000 Yılmaz 2001, Şahin vd. 2010, Akal 2013

Birim	Yaş (My)	Kaya Türü	Mineraloji-Petrografi	Jeokimya	Kaynak	Jeodinamik	Referans
Alacam (Kuzey Menderes)	20.9	Gr, Gd	Milonitik, ultramilonitik ve protomilonitik, K-feldispat megakristalleri içeren ince-orta taneli, taneseli ve orta-iri taneli porfiritik doku, K-feld, plj, ku, bi, hnb, ti, ap, zir, al, opak, min	Yüksek K'lu kalk-alkali, metalümino-peralümino, I-tipi, SiO ₂ =65.16–71.26wt%, ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr=0.709107–0.709801, ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd=0.512300–0.512400, εNd (t)=-5.55- 6.51	Alt kabuk ve kıta altı metasomatizmaya uğramış litosferik manto karışımı	Genişleme ile eş zamanlı	<i>Bingöl vd. 1982</i> <i>Hasozbek vd. 2009,</i> <i>Erkül ve Erkül 2012,</i> <i>Catlos vd. 2012</i>
Koyunoba (Kuzey Menderes)	21	Gr, Gd	Orta-iri taneli porfirik, İri K-feldispat megakristalleri, Holokristalin hipidiyomorf, yuvarlak, elipsoidal MME, Plg, K-feld., ku, bi, hnb, cpx, zir, ap, ti, tur, op	Yüksek K'lu, kalk-alkali, metalümino-peralümino, I-tipi, SiO ₂ : 67.5–76.6wt% HREE'lere kıyasla LREE lerde zenginleşme,	Kabuk+manto	Çarpışma sonrası genişleme	<i>Thomson ve Ring 2006</i> <i>Erkül ve Erkül 2012</i>
Eğrigöz (Kuzey Menderes)	21	Gr, Gd	Holokristalin Hipidiyomorf taneseli-porfiritik Orta-iri taneli porfirik, İri K-feldispat megakristalleri, yuvarlak, elipsoidal MME, Plg, K-feld., ku, bi, hnb, cpx, zir, ap, ti, tur, op	Yüksek K'lu, kalk-alkali, metalümino-peralümino, I-tipi, SiO ₂ : 60.1–76.5wt%, HREE'lere göre LREE'lerde zenginleşme	Kabuk+manto	Çarpışma sonrası genişleme	<i>Akay 2009,</i> <i>Erkül ve Erkül 2012</i> <i>Öztürk, 2016</i>
Kütahya (Batı Anadolu)	22.8–12.5	Gr	K-feld, plg., ku, bi, hnb	Orta-yüksek-K'lu, kalk-alkali, Rb, Th, U ve Hf zenginleşmesi, Değişken REE desenleri, değişken zenginleştirilmiş LILE, düşük HFSE, yüksek LILE/HFSE Zayıf negatif Eu anomalileri	Kabukla kirlenilmiş heterojen Manto kaynağı	Çarpışma sonrası	<i>Çoban vd. 2012</i>
Baklan (Muratdağı)	23.9	Gr, Gd	Orta taneli, Holokristalin hipidiyomorf taneseli-porfiritik, yuvarlak, elipsoid MME, Ku, plg, K-feld., bi, cpx, hnb, zir, ap, ti, op. min.	Yüksek K'lu, kalk-alkali, metalümino-peralümino, I-tipi, SiO ₂ : 62-71wt%, Nb, Ti ye göre Cs, K, Rb, U ve Th zenginleşme, ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr= 0.704521–0.705720, ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd: 0.512305-0.512336, εNd (t)-5.0—5.61	Genç alt kabuğun ve mantodan türeyen magmaların karışımı	Çarpışma ile eşzamanlı genişleme	<i>Bingöl vd. 1982</i> <i>Aydoğan vd. 2006,</i>

Birim	Yaş (My)	Kaya Türü	Mineraloji-Petrografi	Jeokimya	Kaynak	Jeodinamik	Referans
Turgutlu (Orta Menderes)	16.01	Gd	Holokristalin hipidiyomorfik tanesel-porfiritik, Orta taneli, Yuvarlak, elipsoidal MME, Ku, plg, K-feld, bio, hnb, ap, zir, ti, al, op. min.	SiO ₂ : 65.25–75.69 wt%, I-tipi, Yüksek K, Rb, Nb, Ba, Ce/Y, Zr/Ba, Th/Yb, Ba/Nb Kalk-alkali melalümino-hafif peralümino, K, Rb, Cs, Th, U, Pb zenginleşme ve Ba, Nb, Sr, P ve Ti de güçlü negatif anomali, ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr= 0.711631–0.711935, ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd: 0.512281–0.512297, ϵ Nd (t)=-6.48–6.81	Zenginleştirilmiş litosferik manto ve asimile edilmiş ergimiş alt-orta kabuğun karışımı	Çarpışma ile eşzamanlı genişleme	<i>Catlos vd. 2010, Erkül ve Erkül 2012, 2013</i>
Salihli (Orta Menderes)	16.6	Gr	İnce-orta taneli, milonitik ve kırılğan biçimde deforme, Yuvarlak, elipsoid ve ince uzun MME, Ku, plg, K-feld., bi, hnb, zir, ap, ti, al, op. min.	SiO ₂ : 64.37–69.46wt% Kalk-alkali, metalümino-peralümino, I-tipi, Yüksek K, Rb, Nb, Ba, Ce/Y, Zr/Ba, Th/Yb, Ba/Nb oranları, K, Rb, Cs, Th, U, Pb'da zenginleşme ve Ba, Nb, Sr, P ve Ti de güçlü negatif anomali, ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr=0.712008–0.712408, ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd=0.512188–0.512217, ϵ Nd (t)=-8.03–8.61	Zenginleştirilmiş litosferik manto ve asimile edilmiş erimiş alt-orta kabuğun karışması	Sıkışma-eşzamanlı genişleme	<i>Bingöl vd. 1982, Erkül ve Erkül 2012, 2013</i>
Tinos (Kiklad Metamorfik Kompleksi)	16–14	Gr, Gd	Mu, bio, pl, K-feld, ±granat, tur, ap, zir, man, ilm, al	I tipi, negatif Eu anomalileri ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr = 0.71003 ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd = 0.512223, ϵ Nd = - 7.5–10.1	Metasedimanter kabuk	Kabuk genişlemesiyle eşzamanlı	<i>Altherr vd. 1982, Altherr ve Siebel 2002, Stouraiti vd. 2010,</i>
İkeria (Kiklad Metamorfik Kompleksi)	~ 8–10	Gr, Gd	Mu, bio, pl, K-feld, ±granat, tur, ap, zir, man, ilm, al	I-tipi, negatif Eu anomalileri ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr=0.71587–0.71277 ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd=0.512205, ϵ Nd = -7.5—10.1	Metasedimanter kabuk kaynağı	Kabuk genişlemesiyle eşzamanlı	<i>Altherr ve Siebel 2002, Stouraiti vd. 2010</i>
Mykonos (Kiklad Metamorfik Kompleksi)	~ 11	Gr, Gd	Ku, hnb, bio, ti, al	I-tipi, negatif Eu anomalileri, Fraksiyonlanmış HREE, LILE ve LREE'de daha fazla zenginleşme, ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr = 0.711519–0.71184 ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd = 0.512098, ϵ Nd=-6,3- -9.3	Metasedimanter bir kabuk kaynağı	Kabuk genişlemesiyle eşzamanlı	<i>Altherr ve Siebel 2002, Stouraiti vd. 2010</i>

Birim	Yaş (My)	Kaya Türü	Mineraloji-Petrografi	Jeokimya	Kaynak	Jeodinamik	Referans
Lavrion (Kiklad Metamorfik Kompleksi)	8.3	Gd	Ku, hnb, bio, ti, al	I tipi, LREE, HFSE (Nb, Zr, P, Ti ve Y), LILE (Rb, Ba, K, Th ve Sr) zenginleşme, P ve Ti de negatif anomaliler, Nb için değişken negatif anomaliler $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.711519-0.71184$, $\epsilon_{\text{Nd}} = -6.3 \text{ -- } 9.3$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512161$	Metasedimanter bir kabuk kaynağı	Kabuk genişlemesiyle eşzamanlı	<i>Altherr ve Siebel 2002, Skarpelies vd. 2007, Stouraiti vd. 2010</i>
Serifos (Kiklad Metamorfik Kompleksi)	~ 9	Gd	Ku, hnb, bio, ti, al	I-tipi, Negatif Eu anomalileri $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70909$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512233$, $\epsilon_{\text{Nd}} = -8.5 \text{ -- } 9.9$	Metasedimanter bir kabuk kaynağı	Kabuk genişlemesiyle eşzamanlı	<i>Altherr ve Siebel 2002, Stouraiti vd. 2010, Iglseder vd. 2010,</i>
Naxos (Kiklad Metamorfik Kompleksi)	14–12	Gd	Ku, hnb, bio, ti, al	I-tipi, Negatif Eu anomalileri, HREE tüketilme, LILE ve LREE'de daha fazla zenginleşme $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.708$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512210$, $\epsilon_{\text{Nd}(t)} = -2.2$	Metasedimanter bir kabuk kaynağı	Kabuk genişlemesiyle eşzamanlı	<i>Altherr vd. 1982, Pe-Piper vd. 1997, Altherr ve Siebel 2002, Stouraiti vd. 2010,</i>
Xucun daykı (Jiangnan orojenezinin doğu bölümü)	805±4	Gr	Porfiritik doku Plj, prx, plj, ap, kuvars	$\text{SiO}_2 = 68.06-70.12\text{wt}\%$, Kalk- alkalitoleiyitik, I-tipi, Yüksek LILE, güçlü pozitif Pb anomalileri, çoğu örnekte pozitif Sr anomalilerinin olmaması ve Zr ve Hf pozitif anomaliler, Nb ve Ta negatif anomaliler, LREE zenginleşmesi, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} (0.512205-0.512356)$, $\epsilon_{\text{Nd}(t)} = -5.5 \text{ -- } 8.4$	Genç kabuğun kısmi ergimesi	Orojenez sonrası genişleme	<i>Wang vd. 2012</i>
Tanghu Plüton (Güney Çin Bloğu)	437±3 439±3	Gd, Gr	biyotit granitler, amfibol taşıyan granodiyoritik, MME, duvar kaya ksenolitleri, MME lerelipsoidal ve 2–30 cm uzunluğunda	$\text{SiO}_2 = 67.72-72.51\text{wt}\%$, I-S tipi, Orta-güçlü negatif Eu anomalisi, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.710409-0.717753$ $\epsilon_{\text{Nd}(t)} = -7.9 \text{ -- } -6.4$	Mantodan türemiş mafik magma+kabuktan türemiş felsik magmanın karışımı	Kıta içi	<i>Xu ve Xu 2015</i>
Kezgar Plüton (Altay Güney doğusu)	411±11	Gr	Lökogranitler, zayıffoliasyonlu Ku, plj, K-feld, bi, mu, man, ap, zir	$\text{SiO}_2 > 75\text{wt}\%$ Peralümino, I-tipi, Yüksek SiO_2 , Na_2O , K_2O ve düşük Al_2O_3 , CaO , MgO , Fe_2O_3 ve P_2O_5 , LILE'de zenginleşme ve Nb, Ta ve Titüketilme, negatif Eu anomalisi, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512035-0.511977$, $\epsilon_{\text{Nd}(t)} = -2.2 \text{ -- } -0.6$	Mafik alt kabuğun dehidratasyon ergimesinden türemiş	Magmatik yay	<i>Tong vd. 2007, Cai vd. 2011a, 2011b, Wang vd. 2011,</i>

Birim	Yaş (My)	Kaya Türü	Mineraloji-Petrografi	Jeokimya	Kaynak	Jeodinamik	Referans
Blue Tier Batoliti (Tasmanya)	405±5	Gr	Orta-iri taneli, tanesal dokulu, Ku, plj, K-feld, bi, hnb, ap, ti, man, zir, mon, al	SiO ₂ = 67–72.7wt%, Yüksek K'lu, şösonitik, metalümino, I-tipi, Yüksek toplam REE değerleri, orta sağa eğimli, LREE ve düz HREE fraksiyonlaşma desenleri,	Mafik meta-magmatik kayaların kısmi erimesi ve ardından bol miktarda üst kabuk tortul kayalarının asimilasyonu	Çarpışma öncesi	Black vd. 2005, Hong vd. 2017
	403±4	Gr	Orta- iri taneli,porfirik doku, Ku, plj, K-feld, bi, mu, zir, mon, ilm, man.	SiO ₂ : 71.1–72.6wt% Yüksek K'lu şösonitik, Orta düzey toplam REE değerler, orta düzey LREE ve HREE fraksiyonlaşma	Mafik meta-magmatik kayaların kısmi erimesi ve ardından bol miktarda üst kabuk tortul kayalarının asimilasyonu	Çarpışma öncesi	Black vd. 2005, Hong vd. 2017
	396±5	gr	Kaba-iri taneli, tanesal-porfirik, Ku, plj, K-feld, bi, zir, mon, ap, man.	SiO ₂ = 73.3–74wt% Yüksek K'lu, şösonitik, Yüksek toplam REE değerleri, orta sağa eğimli LREE ve düz HREE fraksiyonlaşma desenleri, orta Eu anomalileri	Mafik meta-magmatik kayaların kısmi erimesi ve ardından bol miktarda üst kabuk tortul kayalarının asimilasyonu	Çarpışma öncesi	Black vd. 2005, Hong vd. 2017
	381±3	Gr	İri taneli,tanesal, porfirik, Ku, mu, bi, plj, tur, zir, ap, ilm, mon, kse, gra, kor	SiO ₂ 73.4–74.5wt%, Düşük toplam REE değerleri, ortaderecede sağa eğimli LREE fraksiyonlaşma desenleri, HREE'lerdebelirgin tüketilme	Mafik meta-magmatik kayaların kısmi erimesi ve ardından bol miktarda üst kabuk tortul kayalarının asimilasyonu	Çarpışma sonrası	Black vd. 2005, Hong vd. 2017
	388±7	Gr	Orta-iri taneli, tanesal, porfiritik, Ku, K-feld, alb, bio, mu, zir, mon, ap, flo, tur.	SiO ₂ =77.2–77.5wt%, Yüksek toplam REE değerleri, belirgin azalan LREE ve düz HREE desenleri, güçlü negatif Eu anomalileri	Mafik meta-magmatik kayaların kısmi erimesi ve ardından bol miktarda üst kabuk tortul kayalarının asimilasyonu	Çarpışmayla eşzamanlı	Black vd. 2005, Hong vd. 2017
North Hanjialng Plüton Kuzey Xiuyan bölgesi	153±1	Gd	Ku, K-feld, per, plj, hnb, bi, ap, ti, zir	SiO ₂ =73.60–75.62wt%, Yüksek K kalk-alkali, I-tipi HREE'lerde zenginleşme, LREE'lerde tüketilme, pozitif Ce ve zayıf negatif Eu, P, Ti ve pozitif Rb, K ve Pb anomalileriyle LREE'ler ve LILE'ler bakımından zenginleşme ve HREE'ler ve HFSE'ler bakımından tüketilme, negatif Eu anomalileri, ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr = 0.7166–0.7171, ε _{Hf} (t)=-34.4–14.8, ε _{Nd} (t)=-24.2–23.0	Mafik alt kabuğunun kısmi erimesi	Genişleme	Sun vd. 2021, Quan vd. 2022

Birim	Yaş (My)	Kaya Türü	Mineraloji-Petrografi	Jeokimya	Kaynak	Jeodinamik	Referans
Anhui Bölgesi <i>Çin Dabie Orojeni</i>	130 150–154	Gd, Gr	Granitler; İnce-orta-iri taneli, Ku, plj, K-feld, bi Biyotit granitler; ince taneli, Ku, K-feld, plj, mu, bio	Biyotit granitler; I-S tipi, SiO ₂ =70.38-72.58 wt%, Yüksek K'lu, kalk-alkali, peralümino, LREE zenginleşme, negatif Eu anomalileri, Rb, Th, U, K, Ta, Nd, Hf ve Tb zenginleşmesi ve Ba, Sr, Nb, Zr, Ti tüketilme, HFSE kıyasla LILE'nin orta düzeyde zenginleşmesi, pozitif Rb, Th, U ve K anomalileri ve negatif Ba, Nb ve Ti anomalileri	Genç kabuğun kısmi ergimesi	Çarpışma sonrası Syn-COLG	<i>Xu vd. 2007,</i> <i>Wu vd. 2018, Pan</i> <i>vd. 2018,</i> <i>Chen vd. 2022</i>
Anhui Bölgesi- Huashan Plüton <i>Kuzey Çin</i> <i>Krotonunun</i> <i>(NCC'nin) doğusu</i>	132-125	Gr	Kaba taneli monzonitik granitler; K-feld, ku, plj, bio, man, ti, zir ap Orta taneli monzonitik granitler; K-feld, İnce taneli monzonitik granitler; Plj, K-feld, ku, bio, ap, ti, zir Eş taneli kuvars monzonitler; Plj, K-feld, ku, bio, am, ap, ti, zir	Yüksek K'lu, kalk-alkali, metalümino, Kuars monzonit ve ince taneli monzonitik granitleri; SiO ₂ =63.26–72.71 wt%, Zayıf Eu anomalileri Eu*/Eu = 0.71–1.12 LILE'lerde zenginleşme HFSE'lerde tüketilme, zayıf Ba, ihmal edilebilir P, belirgin Ti negatif anomalileri Orta taneli monzonitik granitler; ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr=0.708496-0.708577, εNd(t)= -16,37-19,91 Kuars monzonit ve ince taneli monzonitik granitleri; ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr=0.706690-0.70844, εNd(t)= -9.90—10.05	Kalınlaşmış alt kabuğun (>45 km) kısmi ergimesi	Litosferik incelme ve genişleme	Zou vd. 2019
Aishan Plüton <i>Kuzey Çin</i> <i>Kratonu (NCC)</i> <i>Jiaobei Terrane</i> <i>Jiaodong</i> <i>Yarımadası</i>	118±1	Gd, Gr	Ku, K-feld, plj, bi, hnb, zir, man, ap	Metalümino-peralümino, SiO ₂ =57–77 wt%, Rb, Th, U ve Nd açısından zenginleşmiş ve Nb, Ta, P ve Ti açısından fakirleşmiş, pozitif Pb anomalisi ile Nb, Ta, P ve Ti'da güçlü negatif anomaliler ve LREE ve LILE'de zenginleşme ancak HFSE'de tüketilme, zayıf negatif Eu, ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr=0.70982-0.746754, ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd=0.51169-0.511703, εNd(t)= -17.9–16.3	Kıtasal kabuk kaynağı, zayıf kabuk-manto etkileşimi ve kabuksal asimilasyon ve fraksiyonel kristalleşme	Pasifik levhasının batıya doğru dalmasıyla ilişkili litosferik incelme	Lı vd. 2019

Birim	Yaş (My)	Kaya Türü	Mineraloji-Petrografi	Jeokimya	Kaynak	Jeodinamik	Referans
Tengchong Blok <i>Çin'in Güneybatı Yunnan Eyaleti</i>	55-50	Gd	Ku, K-feld, plj, hnb, bi, zir, man, ilm, ap, ti	Yüksek K'lu kalk-alkali, I-tipi, Negatif Eu anomalileri pozitif Rb, Th, U ve Pb Negatif Ba, Nb, Sr, P ve Ti anomalileri, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.708502-0.709175$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -5.2--6.5$,	Felsik magmanın erken kristalleşmiş mafik magmayla karışması	Çarpışma sonrası	Zhu vd. 2015, Zhao vd. 2019, Zhang vd. 2018,2022
Baoxing İntrüzyon <i>(YangtzeBloğu'nun kuzeybatı kenarı Güneydoğu Çin)</i>	773±5	Gr	Gabro-diyorit koyugri, orta-iri taneli,plj, hnb, ku, bi, klo, ep, man, Granit,turuncu-soluk beyaz, orta-iri taneli, Anhedral ku, plj, K-feld, bi, mu, op. min.	Gabro-diyorit; $\text{SiO}_2=47.67-57.62$ wt%, subalkali, orta-toleyitik kalk-alkali, LREE'ler de zenginleşme, HREE'lerde belirgin bir fraksiyonlaşma göstermez, $\text{Eu} = 0.87-1.10$, LILE'ler (Rb, Ba, Th ve U) açısından nispeten zengin, HFSE'ler (Nb, Ta, Zr ve Hf) açısından tükenme ve pozitif Pb ve negatif Ti anomalileri Granitler; $\text{SiO}_2=71.58-76.26$ wt%, Sub-alkali ve orta-K'lutoleyitik, kalk-alkali, HREE zenginleşmesi, LREE'lerde tüketilme ve belirgin pozitif Ce ve negatif Eu anomalileri, $\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.77-0.87$, Rb, Ba, Th ve Pb açısından zengin ve Nb, Ta ve Ti açısından tükenmiş	Litosferik manto kaynağı dalma-batma kökenli ergiyikler tarafından metasomatize olmuş, çok az kabuk kirlenmesine uğramış tüketilmiş litosferik mantoların kısmi erimesi, Genç kabuğun kısmi erimesi	VAG- Syn-COLG	Meng vd. 2015
Shadegai Plüton <i>Kuzey Karolina Orojenik Kuşağı'nın batısı, Wulashan bölgesi</i>	222±1 221±1	Sygr	İnce-orta taneli, Ku, K-feld, plj, bi, ap, zir, ti, ser, ep, klo	$\text{SiO}_2=70.42-72.30$ wt%, Şoşonitik, yüksek-K'lu, kalk-alkali, I-tipi, LILE'ler ve LREE'lerde zenginleşme, HFSE ve HREE'lerde tüketilme, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70532-0.70547$, $\epsilon_{\text{Nd}}(t)=12.54-11.86$	Çarpışma sonrası ortamda oluşan hibrid magma	Çarpışma sonrası	Jia vd. 2019
Maronia Magmatik Koridoru <i>KD Yunanistan</i>	29.8	Mzdi, Gr	Ku, plj, K-feld, prx, hnb, bi, ap, zir, man, ilm, ti	$\text{SiO}_2=49-76$ wt%, Yüksek K'lu, kalk-alkali, şoşonitik, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7058-0.7073$ $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.51243-0.51253$	Dalan levhanın üzerinde metasomatize olmuş manto kaması, levha türevi sulu tortul ergiyikler tarafından metasomatize olmuş manto kaynağı	Çarpışma sonrası	Perkins vd. 2018, Schaarschmidt vd. 2021

ÖZGEÇMİŞ

Gizem GÖNCÜ



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2022-2025	Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Selçuk Üniversitesi
2009-2014	Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Konya