



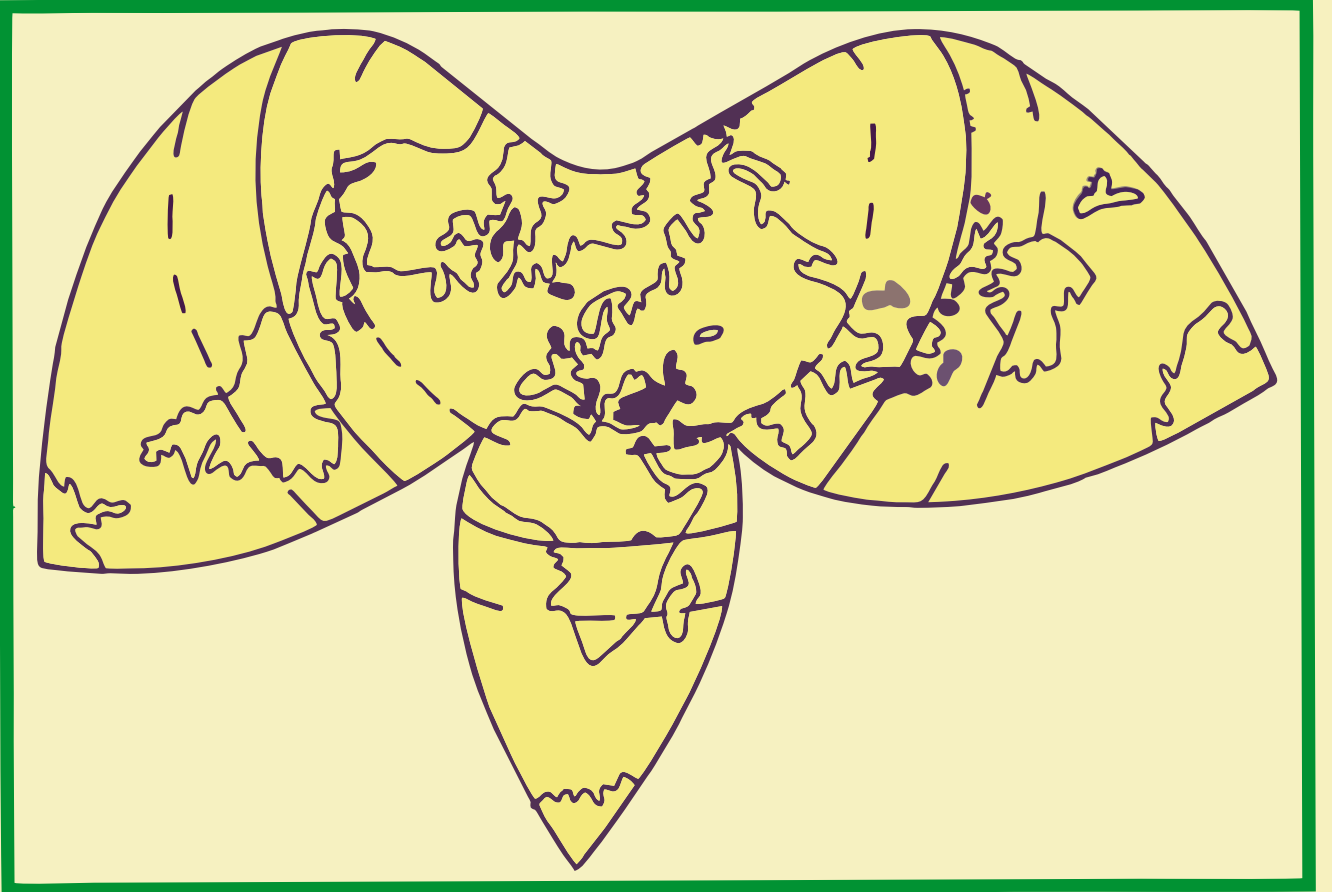
GEOSOUND



YERBİLİMLERİ

Science and Technology

Online Bulletin on Earth Science



SAYI
NUMBER **57**

HAZİRAN
JUN
2023

Dergi Kurulları

Editör Kurulu

Ulvi Can ÜNLÜGENÇ, ulvican@cu.edu.tr, ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

Ahmet Can AKINCI, acakinci@cu.edu.tr, ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

Nusret NURLU, nnurlu@cu.edu.tr, ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

Mustafa AKYILDIZ, akyildizm@cu.edu.tr, ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

Sedat TÜRKMEN, sturkmen@cu.edu.tr, ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

Kemal GÜRBÜZ, sedim@cu.edu.tr, ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

Yayın veya Danışma Kurulu

Prof. Dr. Ulvi Can ÜNLÜGENÇ

Prof. Dr. Yücel YILMAZ

Prof. Dr. Orhan TATAR

Prof. Dr. Kemal GÜRBÜZ

Prof. Dr. Ümit ŞAFAK

Prof. Dr. Atike NAZİK

Prof. Dr. Erol ÖZER

Prof. Dr. Kemal TASLI

Prof. Dr. Sedat TÜRKMEN

Prof. Dr. Ayşegül GÜNEY

Prof. Dr. Ömer Faruk ÇELİK

Prof. Dr. Semir ÖVER

Prof. Dr. İsmail DİNÇER

Prof. Dr. Mustafa Gürhan YALÇIN

Prof. Dr. Hasan SÖZBİLİR

Prof. Dr. Güldemin DARBAŞ

Prof. Dr. Yusuf URAS

Doç. Dr. Mustafa AKYILDIZ

Doç. Dr. Hakan GÜNEYLİ

Doç. Dr. Tamer RIZAOĞLU

Doç. Dr. Feyza DİNÇER

Doç. Dr. Hayati KOÇ

Doç. Dr. Ali ÖZVAN

Doç. Dr. Nusret NURLU

Doç. Dr. Mahmut ALTINER

Dr. Öğr. Üyesi. Erkan YILMAZER

Doç. Dr. Yasemin LEVENTELİ

Dr. Öğr. Üyesi Hatice KARAKILÇIK

Dr. Öğr. Üyesi Nil YAPICI

Dr. Ahmet Can AKINCI

Öğr. Gör. Mustafa AFŞİN

Dr. Öğr. Üyesi Deniz İBİLİOĞLU

Önsöz

Ülkemizde 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen ve günümüze kadar 40.000'in üzerinde artçı sarsıntılar oluşturan depremler yüzyılın en yıkıcı ve en fazla can kaybının yaşandığı karasal "ikili" depremler olarak nitelendirilmektedir. Depremlerin gerçekleştiği andan itibaren tüm kalbimiz, aklımız, dualarımız ve bedenimizle tek yürek olarak depremden etkilenen bölgelerdeydik. 57. sayımızı hazırlamaya başladığımız bu dönemde çalışmalarımızı sürdürdüğümüz Adana ilimizi de etkileyen depremler elbette ki hem bizim çalışmalarımızı hem de dergimize yapılan başvuruları olumsuz etkiledi. Bu zorlu süreçte büyük bir gayret göstererek dergimizin 2023 Haziran sayısını yayınlamaktan gurur duyuyoruz. Sayımızdaki ilk makale de özellikle yurdumuzu etkileyen bu iki büyük deprem nedeni ile "6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Gaziantep Depremleri; Adana İli ve Yakın Kesimlerine Yansımaları" başlığı altında okuyucularımızla buluşmaktadır. Sayımıza katkı koyan tüm yazarlara, hakemlere, editörlere teşekkür ediyor, deprem bölgelerindeki vatandaşlarımızın acılarını paylaşıyor ve hayatlarını kaybeden tüm vatandaşlarımızı bir kez daha rahmetle anıyoruz. Bu sayımızı da depremlerden etkilenen ve yaşamlarını yitiren vatandaşlarımıza ithaf ediyoruz.

GEOSOUND Editör Kurulu Adına

Prof. Dr. Ulvi Can ÜNLÜGENÇ

İÇİNDEKİLER

1. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Gaziantep Depremleri; Adana İli ve Yakın Kesimlerine Yansımaları

Ulvi Can ÜNLÜGENÇ, Ahmet Can AKINCI, Ali Gökhan ÖÇGÜN

Sayfa: 1-41

2. Mineralogical research using hyperspectral Hyperion data in the vicinity of the Turkish Antarctic Research Station

Mehmet Ali AKGÜL, Suphi URAL

Sayfa: 42-62

3. Silifke – Mut (Mersin) Karayolu T1-A Tünelinin Mühendislik Jeolojisi İncelemesi

Mevlüt ÇETİNKAYA, Sedat TÜRKMEN

Sayfa: 63-91

4. İzmir Civarındaki Bazı Jeotermal Alanların Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Depremsellik ile İlişkisi

Özkan ATEŞ, Suha OZDEN, Serkan ÖZDEN

Sayfa: 92-114

5. Yeşilyurt Polyesi (Muğla, GB Türkiye) Topraklarının Mineral İçeriklerine Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizi ile Yaklaşım

Ceren KÜÇÜKUYSAL, Murat GÜL

Sayfa: 115-132



6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Gaziantep Depremleri; Adana İli ve Yakın Kesimlerine Yansımaları

February 6, 2023 Kahramanmaraş-Gaziantep Earthquakes; Effects on Adana province and its close surroundings

Ulvi Can ÜNLÜGENÇ ¹ Orcid: 0000-0002-4092-7041

Ahmet Can AKINCI Orcid: 0000-0002-6608-6607

Ali Gökhan ÖÇGÜN Orcid: 0000-0001-6704-5260

¹İçukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş (received): 24.05.2023

Kabul (Accepted): 13.06.2023

ÖZ

Türkiye, Alp-Himalaya dağ kuşağı üzerinde çevresinin aktif faylarla sınırlandırılmış olduğu sismik olarak aktif, birinci derecede bir deprem ülkesidir. Ülkemiz oldukça uzun bir süredir 2023 yılında yaşamış olduğumuz büyüklüklerde bir depremle karşı karşıya kalmamıştır. Bu depremlerin oluşmasına neden olan jeolojik faktör yerkabuğu üzerinde yer alan levha ve levhacıkların kabuk üzerindeki bağıl hareketleridir. Afrika ve Arap levhalarının güneyde Ölü Deniz transform fay zonu sınırı boyunca kuzeye doğru farklı hızlarda hareket etmesi nedeniyle, bu levhalar çok uzun bir süredir kuzeyindeki Türkiye (Anadolu) levhacığını sıkıştırıp-itmektedir. Ayrıca, Türkiye levhacığı kuzeyindeki Avrasya Levhası tarafından da sıkıştırılmaktadır. Bu tektonik konumu nedeniyle ülkemizdeki Anadolu levhacığı Türkiye'deki Majör Sağ yanal Doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Sol Yanal doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu'nun Karlıova bölgesi civarında kesiştiği alanın batısına doğru yılda 2.1 cm hızla hareket etmektedir.

Ulvi Can ÜNLÜGENÇ

ulvican@cu.edu.tr

6 Şubat 2023 depremlerinin oluşmasının, ilksel nedeni olarak Afro-Arap levhasının sınırını oluşturan transform nitelikli Ölü Deniz Fay Zonu'nun ülkemizin sınırları içerisine kadar uzanması ve bu fay zonu boyunca çok uzun bir süre biriktirmiş olduğu potansiyel enerjinin Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde anlık olarak kinetik enerjiye dönüşmesidir. 7.8 büyüklüğündeki ilk deprem 6 Şubat 2023 tarihinde sabah saat 4.17'de Gaziantep'in yaklaşık 22 km batı-kuzeybatısında Sofalaca alanında meydana gelmiştir. Yüzlerce km uzaklıktaki 11 şehri yaklaşık 86 saniye boyunca ciddi bir şekilde sarsan ilk deprem onbinlerce insanın ölümüne ve onbinlerce binanın yıkılmasına neden olmuştur. Bu depremin artçısı, 6.8 büyüklüğünde olup, sadece 11 dakika sonra birinci depremin yaklaşık 10 km güneybatısında yine Karasu grabeni içerisinde Nurdağı'na yakın bir yerde meydana gelmiştir. Bu artçı da birinci deprem sonrası ayakta kalan binaları çok ciddi bir şekilde etkilemiş ve yıkmıştır. Bu depremler ile Doğu Anadolu Fay Zonunun yüzlerce km uzunlukta 5 segmenti kırılmıştır. Aynı gün yaklaşık 9 saat sonra ilk depremin olduğu yerin yaklaşık 100 km kuzeyinde saat 13:24'te Doğu Anadolu Fay Zonu'nun kuzey kesimlerinden uzanan Sürgü-Çardak Fay Segmenti ilk depremler tarafından tetiklenerek 7.6 büyüklüğünde ikinci büyük bir deprem ile Kahramanmaraş'ın Ekinözü civarında kırılmıştır. İkinci depremin artçısı da 98 dakika sonra aynı segmentin yaklaşık 65 km batı kesiminde Göksun İlçesinin yaklaşık 10 km kuzeyinde 6 büyüklüğünde meydana gelmiştir. Göksun'da yaşayan insanlar, birinci depremde yüzey kırığının oluşmadığını ancak, 7.6 büyüklüğündeki deprem ile bölgede yüzey kırıklarının oluştuğunu belirtmişlerdir. Bu depremlerin oluşması sonrasında Doğu Anadolu Fayı'nın güney segmentleri boyunca sahada ortalama 3,5 metre civarında sol yönlü yanal ötelenmeler ile genelde kuzey bloğun yükseldiği 1,5 metreye varan düşey atımlar tespit edilmiştir. Bu depremler sonrasında meydana gelen 12000'in üzerinde artçı sarsıntılar sonrasında da 20.2.2023 tarihinde Amanos Fayının uzantısında bulunan ve o tarihe kadar kırılmamış bulunan Antakya Fayı (Hatay) saat 20:04'te 6.4 büyüklüğünde bir depremle kırılmıştır. Bu artçı deprem bu zonda karada kırılan son parça olup, güneybatısında Akdeniz'in içinden bir transform faylı sınır ile Kıbrıs'ın güney kesimlerine ulaşmakta ve bu sınır da Afrika plakası-Anadolu levhacığının sınırını oluşturmaktadır. Yoğun yüzey deformasyonları bulunan esas depremlerin yer aldığı bölgelere nazaran Adana ili ve yakın çevresinde çok daha küçük yüzey deformasyonları gelişmiştir.

Anahtar Kelimeler: 6 Şubat 2023 Türkiye Depremleri, Kahramanmaraş, Hatay, Doğu Anadolu Fay Zonu, Yüzey deformasyonu

ABSTRACT

Türkiye is a seismically active earthquake country, where mainly bounded by active faults, located on the Alpine-Himalayan mountain belt. Our country has not experienced earthquakes of this magnitude for a very long time. The geological factor that causes these earthquakes to occur is the relative movements of the plates and platelets on the crust of the earth. As the

African and Arabian plates move northward along the boundary of the Dead Sea transform fault zone in the south, these plates have been compressing and pushing the Turkish Plate in the north for a very long time. In addition, the Turkish (Anatolian) platelet is compressed between the Eurasian Plate in the north. Due to this tectonic settlement of our country, the Anatolian platelet in Turkey moves at a rate of 2.1 cm per year towards the west of the area where the Major Right-lateral Strike-slip North Anatolian Fault Zone and the Left Lateral strike-slip East Anatolian Fault Zone intersect around Karlıova. The primary reason for the occurrence of this earthquake is that the Transform Dead Sea Fault zone, which forms the border of the Afro-Arabian plate, extends into the borders of our country and the potential energy that it has accumulated for a very long time along this left lateral Eastern Anatolian Fault zone is instantly transformed into kinetic energy. The first earthquake with a magnitude of 7.8 occurred on 6 February 2023 at 4:17 am in the Sofalaca area, approximately 22 km west-northwest of Gaziantep. The first earthquake, which shook 11 cities hundreds of kilometers away for about 86 seconds, caused the death of tens of thousands of people and the collapse of tens of thousands of buildings. The aftershock of this earthquake was 6.8 magnitude and occurred just 11 minutes later, about 10 km southwest of the first earthquake, again in the Karasu graben, close to Nurdağı. This aftershock also seriously affected and destroyed the buildings that were trying to stand. With these earthquakes, 5 segments of the East Anatolian Fault Zone with a length of hundreds of kilometers were broken. After these earthquakes, the Sürgü-Çardak Fault Segment extending from the northern parts of the Eastern Anatolian Fault Zone, approximately 100 km north of the first earthquake, approximately 9 hours later on the same day, at 13:24, was triggered by the first earthquakes and a second big earthquake of 7.6 magnitude hit Kahramanmaraş Ekinözü village. The aftershock of the second earthquake occurred 98 minutes later, approximately 65 km west of the same segment, approximately 10 km north of Göksun District with a magnitude of 6. People living in Göksun stated that there was no surface rupture in the first earthquake, but surface fractures occurred in the region with the 7.6 magnitude earthquake. After these earthquakes occurred, left lateral displacements were detected on average around 3,5 meters in the field along the southern segments of the Eastern Anatolian Fault, and vertical displacement up to 1.5 meters, where the northern block generally uplifted. After these earthquakes, more than 12000 aftershocks occurred, and on 20.02.2023, the Antakya Fault (Hatay), which was in the extension of the Amanos Fault and had not been broken until that date, broke at 20:04 and caused another 6.4 earthquake to occur. This zone is the last piece to break on the land, and it reaches the southern parts of Cyprus with a transform fault boundary through the Mediterranean Sea in the southwest, and this boundary forms the boundary of the African plate-Anatolian platelet. During and after these earthquakes, much smaller surface deformations developed in the immediate vicinity of Adana province than the main earthquake region where intense surface deformations occurred.

Keywords: 6 February 2023 Turkey Earthquakes, Kahramanmaraş, Hatay, East Anatolian Fault Zone, Surface Deformation.

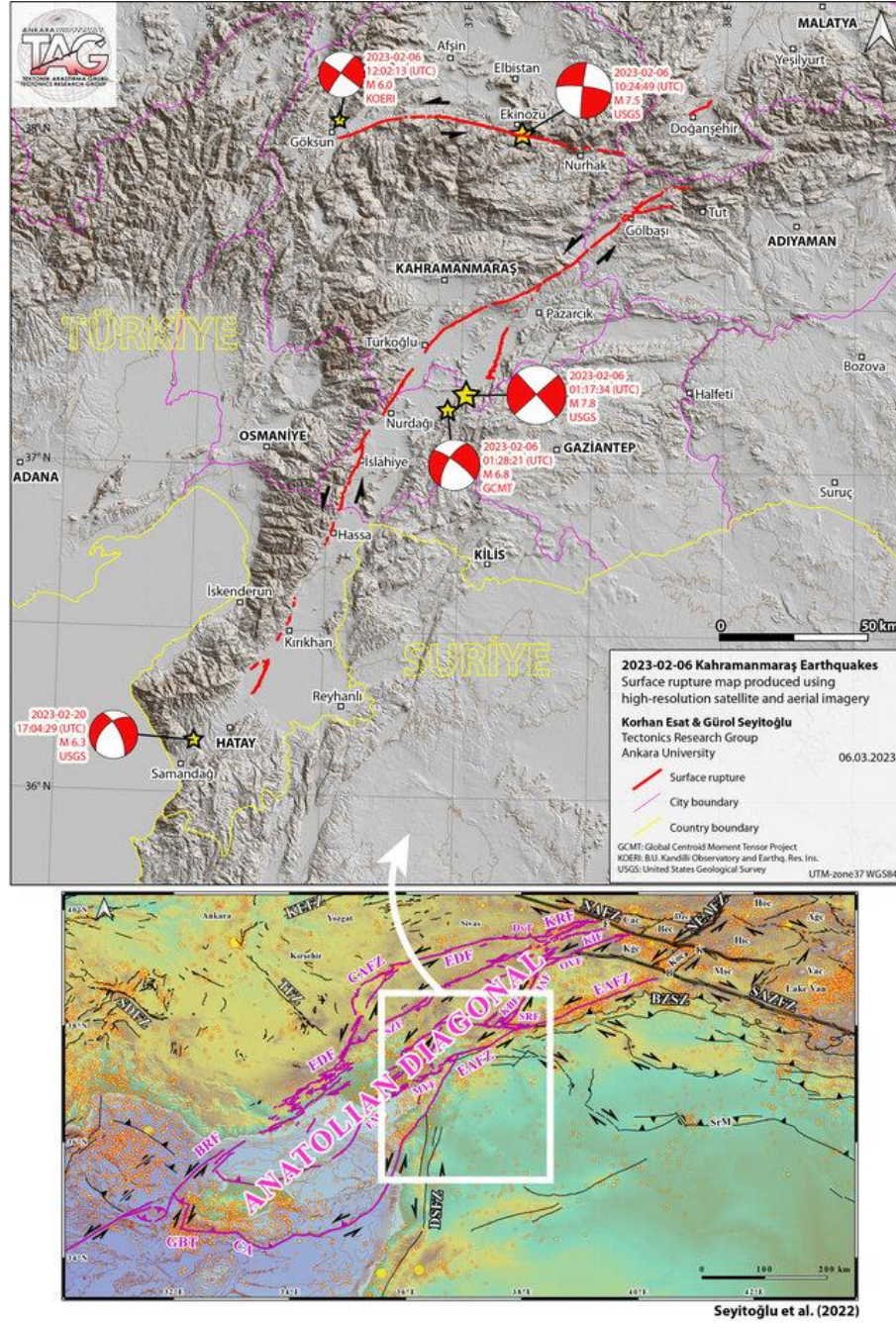
1. GİRİŞ

Türkiye depremler üretebilecek aktif fay zonları ile çevrelenmiş bir coğrafya üzerinde yer almaktadır. Ülkemizin kuzey kesimlerini yaklaşık olarak doğu-batı yönünde boydan boya kesen yaklaşık 1550 km uzunluğundaki Sağ Yanal Doğrultu Atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve kuzeydoğu-güneybatı uzanımında yaklaşık 560 km uzunluğundaki Sol Yanal Doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Zonları (DAFZ) boyunca geçmişten günümüze, Türkiye’de büyüklük-küçüklü birçok depremler meydana gelmiştir. Türkiye Levhacığı (Anadolu Levhacığı) kuzeyde Avrasya, güneyde Afrika ve Arap levhaları arasında jeolojik süreçler nedeniyle sürekli sıkıştırıldığından Alp-Himalaya dağ silsilesi üzerinde bir deprem ülkesi konumundadır. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), Deprem Dairesi Başkanlığı (DDB) kayıtlarına göre; 06.02.2023 Pazartesi günü sabah saat 04:17’de Doğu Anadolu Fay Zonu’nun uzantısı konumunda bulunan ve merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş) ilçesi olarak açıklanan ve aletsel büyüklüğü (Mw) 7,8 ve odak derinliği 8,6 km olan bir depremin meydana geldiği belirtilmiştir (AFAD). Bu depremin merkezi, Karasu grabeninin kuzeydoğu uzantısının uç kesiminde bulunmakta olup, buradan uzanan Ölü Deniz Fay Zonu’nun kuzeydoğu uzantısı üzerinde Gaziantep’in yaklaşık 20 km batı-kuzeybatısında bulunan Sofalaca mahallesi civarlarında yer almaktadır (Şekil 1). Bu depremin Karasu grabeninin güney kesimindeki Ölü Deniz Fay Zonu’nun üzerindeki Narlı Segmentine yakın bir bölgede meydana geldiği görülmektedir. Bölgede ilk oluşan bu deprem yaklaşık 86 saniye Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde yer alan 11 şehrimizi çok şiddetli bir şekilde sarsmış ve birçok şehrimizde büyük yıkımlar ile binlerce can kayıplarına, yaralanmalara ve maddi hasarlara neden olmuş olup, Suriye’nin kuzey kesimlerinde de ciddi bir şekilde hissedilmiştir. İlk depremin merkezinin kuzey kesimlerinde yer alan Doğu Anadolu Fay Zonu’nun Amanos segmenti arasında uzanan Karasu grabeni ve Amik ovası boyunca yer alan Nurdağı, İslahiye, Kırıkhan, Hassa, Şekeroba, Beyoğlu, Türkoğlu vb, yerleşim bölgeleri bu depremle oldukça fazla yıkımlara maruz kalmıştır. Bu depremin artçıları devam ederken aynı günün 9 saat sonrasında yine Doğu Anadolu Fay Zonu’nun bir diğer segmenti üzerindeki Sürgü-Çardak fayı üzerinde saat 13:24’te yaklaşık bir dakika süre boyunca Elbistan (Kahramanmaraş) ilçesinde aletsel büyüklüğü (Mw) 7,6 ve odak derinliği 7.0 km olan ikinci bir deprem daha meydana gelmiş olup, önceki depremde büyük hasarlar alan bölge üzerinde daha da yıkıcı hasarlar oluşmuş, ilk deprem sonrası ayakta zor

duran yapılar yıkılmış ve bölgede depremlerin etkileri ile yeryüzü kırıkları ve ötelenmeler-atımlar meydana gelmiştir.

Bir günlük zaman dilimi içerisinde, doğada nadir oluşabilecek yoğunluk ve büyüklüklerde yaşanan deprem silsilesi bölgedeki yıkıcı etkisi ile Türkiye Cumhuriyet tarihinin en büyük depremleri olmuştur. Bu yıkıcı depremler başta Kahramanmaraş ve Hatay olmak üzere Adıyaman, Malatya, Kilis, Gaziantep, Adana, Osmaniye, Şanlıurfa, Diyarbakır ve Elazığ illerimizde çok şiddetli hissedilmiş, çok fazla can kayıplarına ve ağır hasarların oluşmasına neden olmuştur. Çevre illerde yaşayan insanlar 7.6 büyüklüğündeki ikinci depremin daha yıkıcı olduğunu söylemektedirler. Göksun'da yaşayan insanlar, bölgedeki yüzey kırığının ikinci depremde oluştuğunu belirtmektedirler. Depremlerin oluştuğu gün ve sonrasındaki birkaç gün süre içerisinde 9000'in üzerinde artçı sarsıntılar meydana gelmiş olup, bu süreçte Doğu Anadolu Fayı üzerinde 5 fay segmenti kırılmıştır. Ancak, Antakya fayı 20.02.2023 Pazartesi günü akşamına kadar kırılmaksızın kalmış ve saat 20:04'te 6.4 büyüklüğünde bir artçı deprem ile kırılmıştır. Deprem bölgelerinde yapılan saha incelemeleri sırasında ölçülen maksimum yatay yer değiştirme değerleri 3.5- 3.7 metre arasında yer almaktadır.

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde 11 şehri etkileyen alanda Sol yanal doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay zonunun beş segmentinin kırılmasına neden olan depremlerin yer kabuğu üzerinde oluşturduğu yüzey deformasyonlarının (kırıklar, yarıklar, çökmeler, heyelanlar, yüzey yayılmaları, sıvılaşmalar vb) arazideki izlerinin kaybolmadan konumlarının belirlenmesi, görünümünün sahada fotoğraflanması uzanımlarının tespiti ve haritalarının yapılmasıdır. Ayrıca, bu depremlerle meydana gelen artçı şokların bölgesel olarak dağılımlarının araştırılması ve zaman içerisinde artçı depremlerinin hangi bölgelere doğru yayıldıklarının belirlenmesidir. Bu çalışma ile ayrıca Adana ili ve yakın civarlarındaki aktif fayların konumlarının belirlenmesi ve bu depremlerde bölgedeki aktif fay zonları üzerinde hangi büyüklüklerde artçı şokların geliştiğinin yorumlanmasıdır.

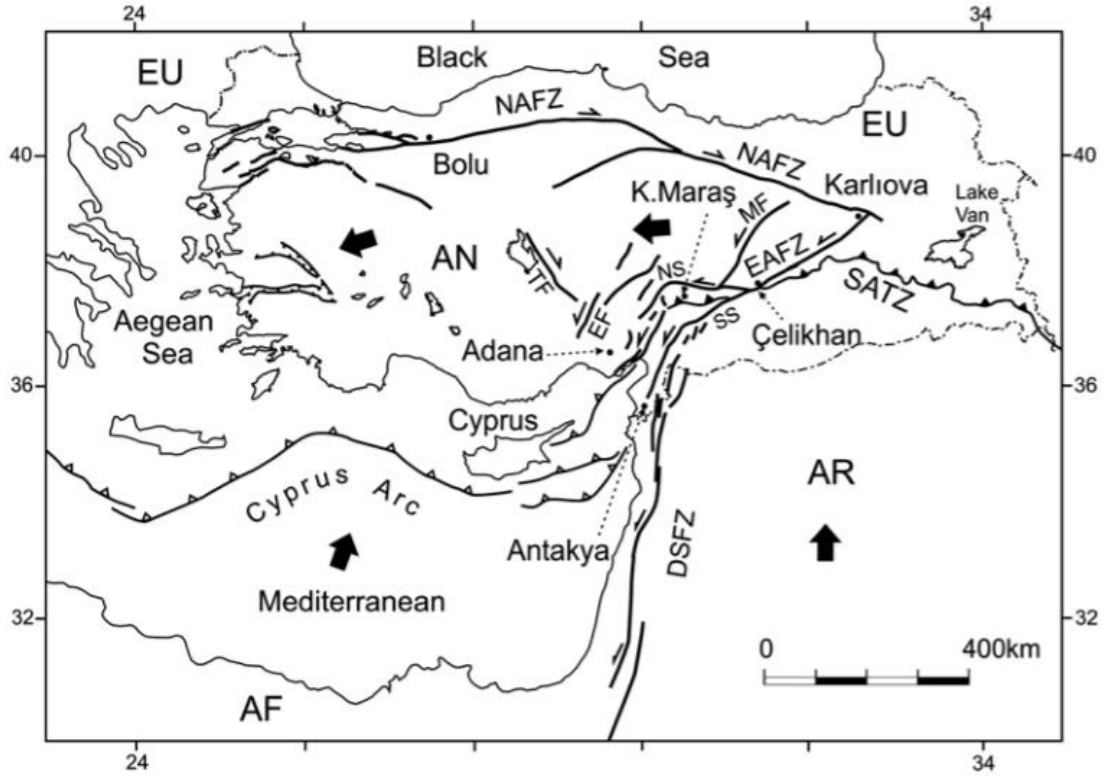


Şekil 1. 6.2.2023 depremlerinin Focal Analizi ve aktif fay zonları üzerindeki ana şok episentr lokasyonları (06-20.02.2023 arası) ve artçı deprem dağılımı (Esat ve Seyitoğlu, 2023).

Figure 1. Focal Analysis of the earthquakes on February 6, 2023, and the main shock epicenter locations on active fault zones (between February 6-20, 2023) and aftershock distribution (Esat and Seyitoğlu, 2023).

2. BÖLGESEL GENEL JEOLJİ, ANA FAYLAR VE DEPREMSELLİK

Ülkemiz tektonik konumu nedeniyle yerküre üzerinde her an deprem oluşturabilecek levha hareketlerinin sınır oluşturduğu aktif fay zonları ile çevrelenmiş bir coğrafya üzerinde yer almaktadır. Bu nedenle; jeolojik kökenli doğal afetlerin başında gelen deprem, Türkiye'nin birçok kesimlerinde sıklıkla yaşanmaktadır. Yaklaşık 1550 km uzunluğundaki Sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve 560 km uzunluğundaki Sol Yanal Doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Zonları (DAFZ) boyunca Türkiye'de büyüklü-küçüklü birçok depremler meydana gelmiştir (Şekil 2). Türkiye Levhacığı (Anadolu Levhacığı-AN) kuzeyde Avrasya (EU), güneyde Afrika (AF) ve Arap (AR) levhaları arasında jeolojik süreçler nedeniyle sürekli sıkıştırıldığından Alp-Himalaya dağ silsilesi üzerinde yer alan bir deprem ülkesi konumundadır.



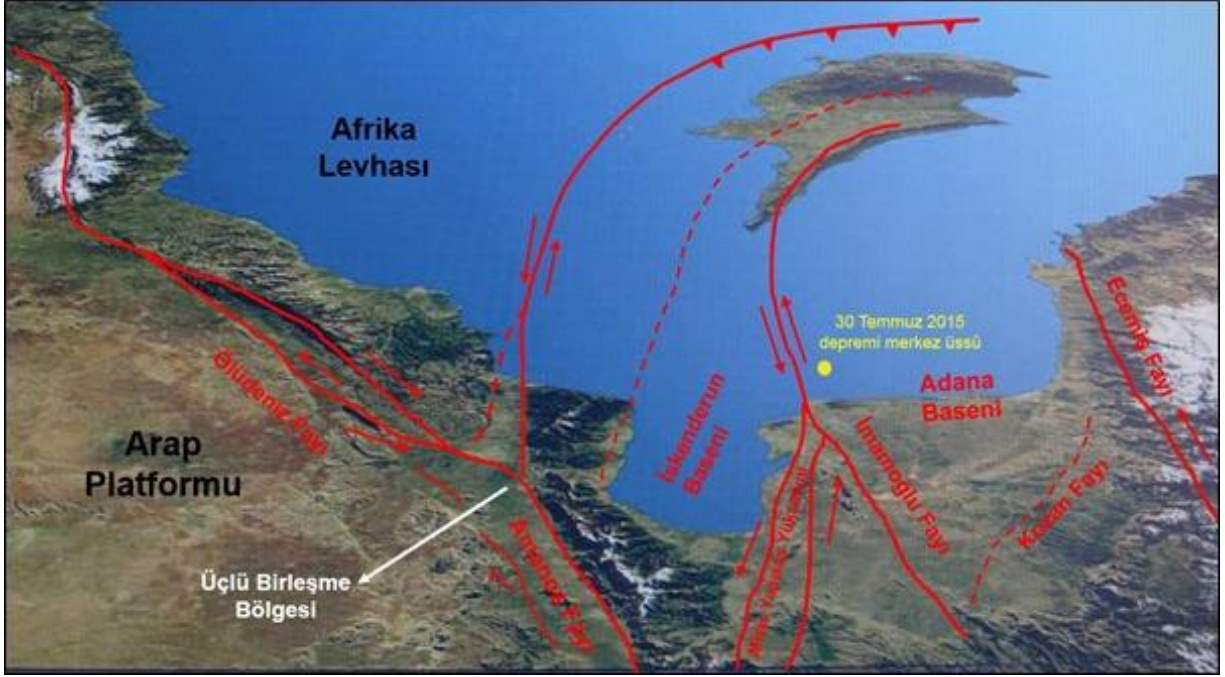
Şekil 2. Türkiye'nin aktif fay hatları haritası (Duman ve Emre 2013).

Figure 2. Map of active fault lines in Turkey (Duman and Emre, 2013).

Türkiye'nin Güneydoğu kesimlerinde meydana gelen depremlerin üzerinde olduğu fay hatları uzun yıllardır yerli ve yabancı yerbilimciler tarafından ilgi duyularak çalışılan ve farklı segmentlerle temsil edilen Sol yanal Doğrultu Atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)'dur. Yaklaşık 2 milyon yıl öncesinden günümüze değin hareket ettiği bilinen Doğu Anadolu Fay Zonu; Karlıova (Bingöl)'dan başlayarak, Elazığ, Malatya, Adıyaman, Kahramanmaraş illeri üzerinden Hatay Bölgesine kadar 5-25 km genişlikte aktif bir deformasyon kuşağı şeklinde uzanım göstermektedir (Şaroğlu vd., 1992; Herece, 2008; Duman ve Emre, 2013). Bölgede deprem üretebilecek diğer bir önemli fay sistemi, Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) olup, bu fay zonu Kızıldeniz'den kuzeye doğru uzanan ve ülkemizde Hatay bölgesinin kuzey kesimine kadar uzanan, bir başka kolu ile Karasu vadisi güneyinden kuzeydoğu istikametinde Gaziantep'e kadar uzanan Arap-Afrika levhalarının sınırını oluşturan transform nitelikli bir fay sistemidir (Şekil 3). 6.2.2023 tarihinde saat 04:17'de 7.8 büyüklüğünde meydana gelen 1. Depremin merkezi Gaziantep'in yaklaşık 22 km BKB'sında Sofalaca mahallesi olarak belirtilmekte olup, Ölüdeniz Fay Zonu üzerindeki Narlı-Sakçagöz Segmenti üzerinde meydana geldiği belirtilmektedir (Kandilli Rasathanesi; KRDAE). Bu fay zonunun kuzey kesiminde yer alan Amanos Fayı, Doğu Anadolu Fayının GB uç kesimlerinde Amanos Dağlarının GD kesiminde Türkoğlu'ndan Kırıkhan'ın GD'suna kadar uzanan bir segmentidir. İlk depremde Doğu Anadolu Fayının Amanos, Pazarcık ve Erkenek segmentlerinin kırıldığı düşünülmektedir. 7.6 büyüklüğündeki 2. deprem aynı gün saat 13:24'te birinci depremin yaklaşık 100 km kuzey kesiminde birinci depremde Doğu Anadolu Fay Sisteminin birkaç segmentinin birden kırılması nedeniyle tetiklenerek, Elbistan (Kahramanmaraş)'daki Sürgü-Çardak Fayı üzerinde ikinci büyük deprem (Mw 7.6) meydana gelmiştir. 2. Depremin artçısı da bu segmentin yaklaşık 65 km batı kesiminde Göksun İlçesinin yaklaşık 10 km kuzeyinde 6 büyüklüğünde meydana gelmiştir (Şekil 1). Bölgedeki insanlar 7.6 büyüklüğündeki deprem ile bölgede yüzey deformasyonlarının oluştuğunu belirtmişlerdir.

Bu depremler sonrasında 12000'in üzerinde artçı sarsıntıların meydana gelmesi sonrasında da 20.2.2023 tarihinde Amanos Fayının güneybatı uzantısında yer alan, ancak o tarihe kadar kırılmamış bulunan Antakya Fayı (Hatay) saat 20:04'te meydana gelen 6.4 büyüklüğünde bir

diğer artçı deprem ile kırılmıştır. Bu zonda karada kırılan bu son parçanın güneybatısında Akdeniz'in içinden bir transform faylı sınır (aktif fay zone) ile Kıbrıs'ın güney kesimlerine ulaşmakta olup, bu sınır Afrika plakası-Anadolu levhacığının sınırını oluşturmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Çukurova Bölgesi ve yakın civarının önemli tektonik hatlarını gösterir uydu fotoğrafı (Ünlügenç vd., 2011, Ünlügenç ve Akıncı, 2017, 2018, Ünlügenç vd., 2021, 2022).

Figure 3. Satellite image showing the major tectonic faults of the Çukurova region and its surrounding areas (Ünlügenç et al., 2011; Ünlügenç and Akıncı, 2017, 2018; Ünlügenç et al., 2021, 2022).

Bu depremlerin oluşmasına neden olan jeolojik faktör, yer kabuğu üzerinde yer alan levha ve levhacıkların süreklilik arz eden bağlı hareketleridir. Bu levhalar bazen birbirine doğru yaklaşır (konverjan levha sınırı), bazen birbirinden uzaklaşırlar (Kızıldeniz'in açılması gibi; Diverjan levha sınırı), bazen de levhalar birbirlerinden transform faylı sınırlar (Ölü Deniz Fayı gibi) boyunca hareket ederler. Anadolu plakacığının güneyinde yer alan ve sürekli olarak kuzeye doğru hareket ederek Anadolu levhacığını sürekli olarak sıkıştıran Arap ve Afrika levhalarıdır. Arap ve Afrika levhaları da Kızıldeniz rifti ve kuzeyinde yaklaşık olarak Kuzey-Güney uzanımlı

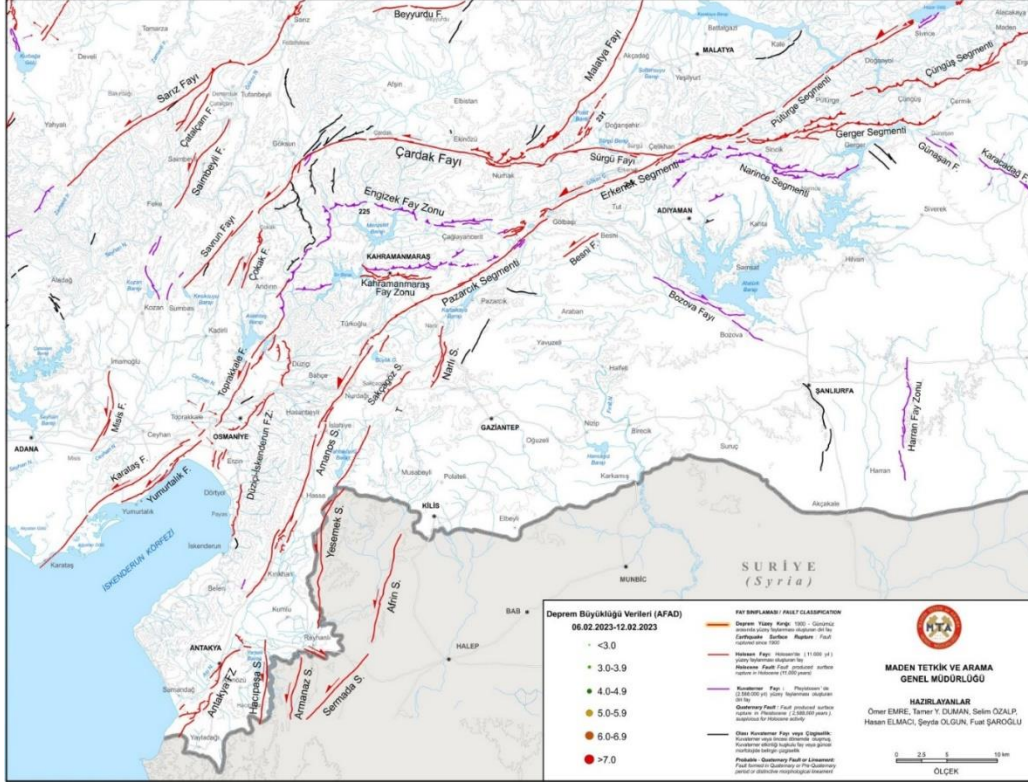
Ölü Deniz Fay Zonu ile sınırlandırılmaktadır. Afrika levhasının kuzey sınırı Akdeniz'in içinde Kıbrıs'ın güneybatı kesimlerinde okyanusal kabuk yapısı ile Kıbrıs'ın altına dalmaktadır (Şekil 2, 3).

Kıbrıs'ın GD kesimlerinde ise bu tektonik hat transform faylı sınır ile Lazkiye ve Samandağ üzerinden Hatay'ın kuzey kesimlerinde yer alan Serinyol civarlarına kadar uzanmaktadır. Ölü Deniz Fay Zonu'nun doğu kesiminde yer alan Arap levhası da yılda ortalama 2 cm/yıl hızla hareket etmekte olup kuzey kesiminde yer alan Anadolu levhacığı ile kıta-kıta çarpışması konumunda bulunmaktadır. Serinyol civarında üçlü birleşme bölgesi oluşturan bölgede Arap levhası Amanos Fay Segmenti ile sınır oluşturmaktadır (Över ve Ünlügenç, 1998). Bu sınır boyunca Arap levhasının Anadolu levhacığını çok uzun yıllar boyunca sıkıştırması nedeniyle levha/levhacık arasında Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca potansiyel enerji birikimi söz konusudur. Bu fay zonu boyunca zaman zaman meydana gelen depremler bu levhaların birbirlerini sıkıştırmaları nedeniyle olup, zaman zaman bu fay zonunun birçok segmentlerinde kırılmalar nedeniyle depremler süregelmektedir.

2.1. Depremlerin Üzerinde Meydana Geldiği Faylar

Afro-Arap levhalarının transform Ölüdeniz Fay Zonu boyunca göreceli hızlarla sürekli kuzeye doğru hareketleri, kuzeyindeki Anadolu levhacığı arasında depremlerin oluşmasına olanak sağlayan sismikçe aktif tektonik bir suture zonu oluşturmuştur. 6 Şubat 2023 depremlerinin ilksel oluşma yeri de Arap levhasının sınırı boyunca uzanan Ölüdeniz Fayının Anadolu Levhacığı ile sınır oluşturduğu Sol yanal doğrultu Atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde bir alanda meydana gelmiştir (Şekil 1, 4). Transform Ölüdeniz Fayı boyunca, yılda yaklaşık 1,5-2 cm hızla kuzey yönlü bir hareket yaparak Afrika levhasından ayrılarak hareket eden Arap levhası özellikle Miyosen döneminden bu yana kuzeyindeki Anadolu levhacığını sürekli sıkıştırmaktadır. Anadolu levhacığı kuzeyindeki Avrasya Levhası ile sınırlanan bölgedeki sağ yönlü doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), güneyde sol yönlü doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) arasında kinematik olarak yılda 20-25 mm batıya doğru

hareket etmektedir (Westaway, 2004; Herece, 2008; Duman, ve Emre, 2013; Menekşe, 2016; Emre, vd., 2016).

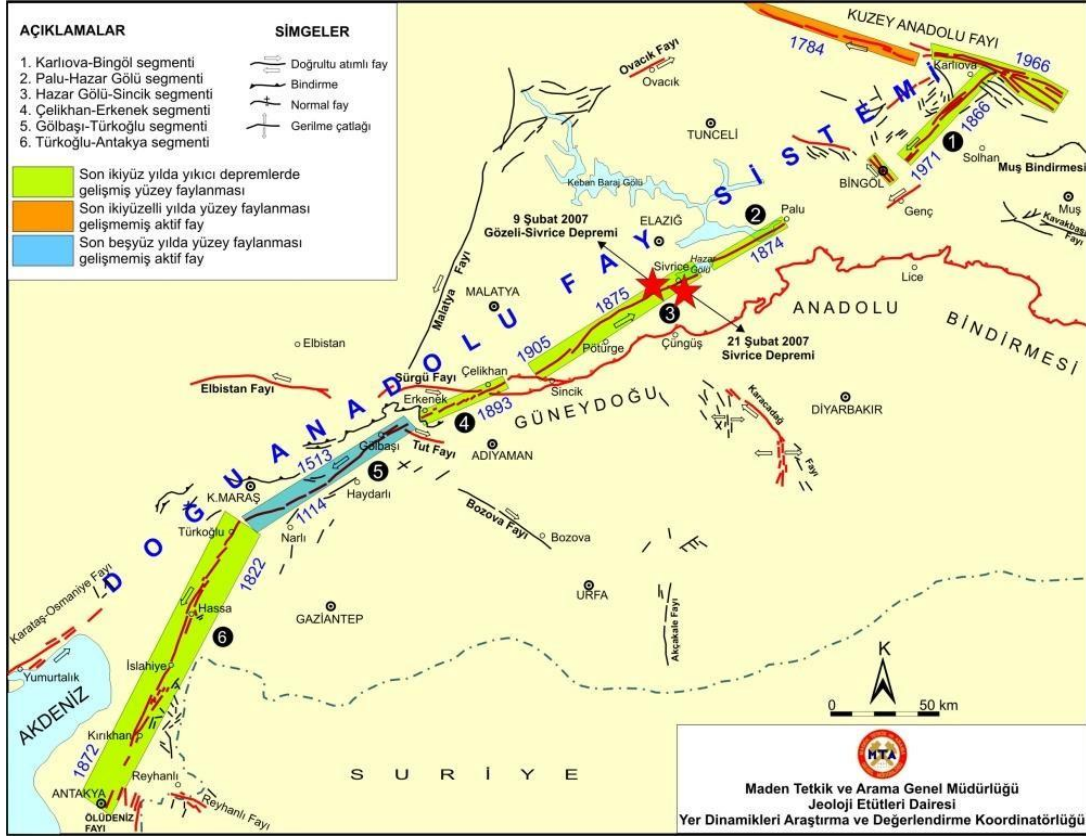


Şekil 4. Türkiye'nin Aktif Fay Zonlarını gösterir harita (Emre ve diğ., 2013).

Figure 4. Map showing the active fault zones in Turkey (Emre et al., 2013).

Afro-Arap levhalarının sürekli kuzeye hareketleri Türkiye'nin neo-tektonik dönemde üzerinde sürekli depremler üreten Sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Sol Yanal Doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)'nin oluşmasını sağlamıştır (Şengör ve Yılmaz, 1981; Perinçek vd., 1987; Perinçek ve Çemen, 1990). Son depremler yoğun olarak Sol Yanal Doğrultu Atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) üzerinde meydana gelmiş olup, bu zon Karlıova'dan Hatay bölgesine kadar farklı araştırmacılarca incelenmiş ve farklı segmentler halinde çalışılarak değerlendirilmiştir (Şaroğlu vd., 1992; Duman ve Emre 2013). Bölgede son yaşanan depremler, Ölüdeniz Fay Zonu'nun Türkiye sınırlarına ulaştığı kesimlerde, Sol yanal

ark. (1992)'na göre ise Doğu Anadolu Fay Zonu, Karlıova'dan başlayarak Antakya'nın kuzeyinde Kırıkhan'a kadar devam etmektedir.



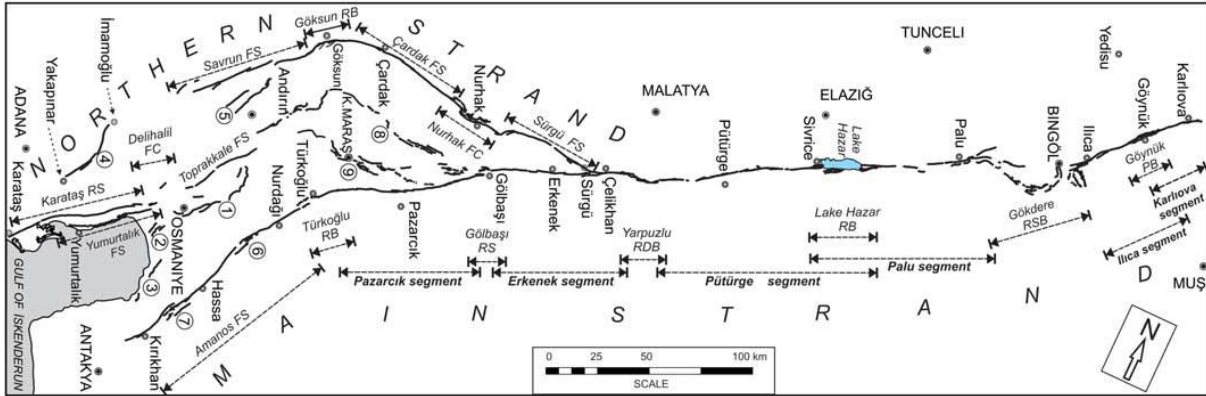
Şekil 6. Doğu Anadolu Fay Zonu'nun ana segmentleri ve 1822-1971 tarihleri arasında büyük depremlerde gelişmiş yüzey kırıkları ile 9 ve 21 Şubat 2007 depremlerini gösterir harita (Şaroğlu vd., 1992'den değiştirilerek alınmıştır).

Figure 6. Map showing the main segments of the East Anatolian Fault Zone and the surface ruptures developed during major earthquakes between 1822 and 1971, as well as the earthquakes on February 9 and 21, 2007 (adapted from Şaroğlu et al., 1992).

Westaway (1994) DAFZ'nun Karlıova'dan başlayarak İskenderun Körfezi'nin kuzey batı kıyısına kadar uzandığını ileri sürmektedir. Perinçek ve Çemen (1990)'e göre Türkoğlu'ndan Akdeniz'e kadar uzanan kısım güney kol olarak adlandırılmakta ve Amanos

Fayı ve ana kol (Karlıova-Türkoğlu arası) ile birlikte üçlü birleşme oluşturduğunu açıklamaktadır. Ancak, Över ve Ünlügenç (1998) ve Yürür ve Chorowicz (1998)'e göre; Antakya'nın kuzey kesiminde, Ölü Deniz Fay Zonu, Amanos Fayı ile birleşerek bu bölgede Antakya üçlü birleşme noktasını oluşturduğunu ve buradan güneybatıya doğru uzanarak Kıbrıs dalma batma zonuna doğru bağlandığını açıklamaktadırlar.

Duman ve Emre, (2013) DAF'ın Karlıova ve Çelikhan arasında dar bir deformasyon zonunda ilerlerken, Çelikhan'ın batısında geniş bir zonda devam ettiğini belirtmişler ve fayı güney kol ve kuzey kol olarak iki ana kola ayırmışlardır (Şekil 7). 6 Şubat depremlerinin ilki (Mw 7,8), Duman ve Emre (2013)'nin belirttiği Güney koldaki Pazarcık-Amanos Segmentlerinin birleştiği zonun güney kesimlerinde, ikincisi ise (Mw 7,6) birinci depremin tetiklemesi ile 9 saat ara ile kuzey kol üzerinde yer alan Sürgü-Çardak Fayı üzerinde meydana gelmiştir.



Şekil 7. Doğu Anadolu Fay Zonu segmentlerini gösterir harita (Duman ve Emre, 2013).

Figure 7. Map showing the segments of the East Anatolian Fault Zone (Duman and Emre, 2013).

2.2. Adana Bölgesi Civarındaki Faylar

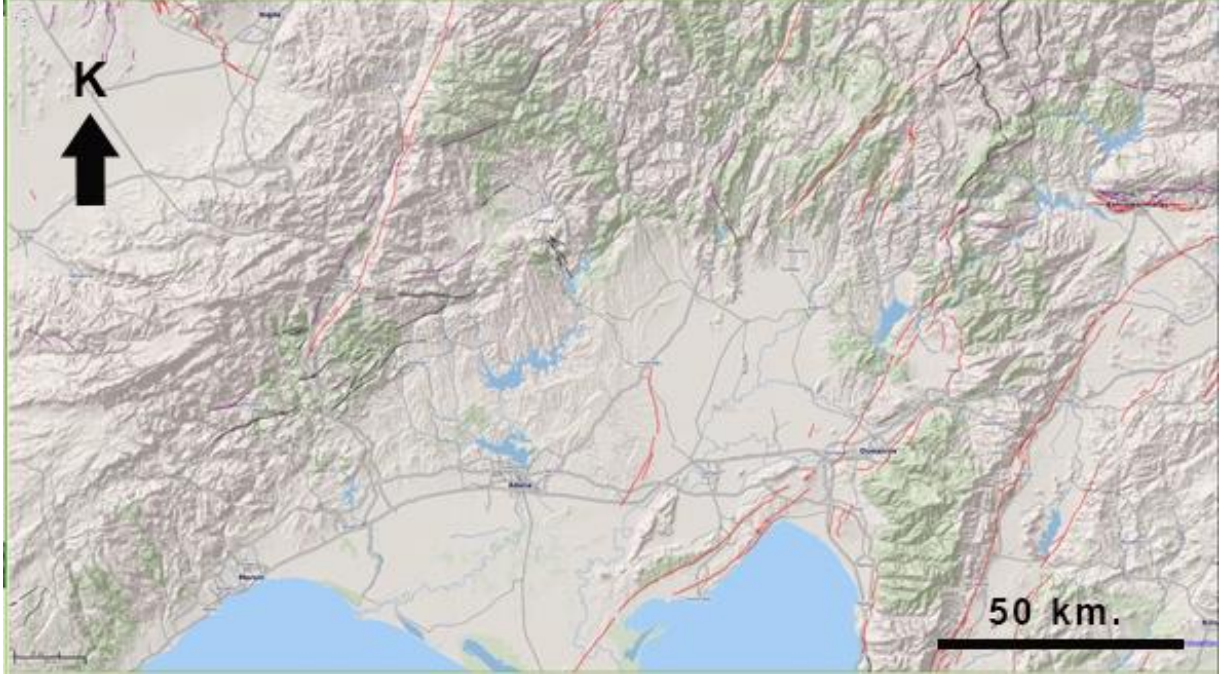
Doğu Akdeniz’de yer alan Çukurova bölgesi ve çevresi, depremler üretebilecek Türkiye’nin en önemli fay hatlarına yakın bir konumda bulunmakta olup, 1. ve 2. derece deprem bölgesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Bölge, major olarak, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) Ecemiş Fay Zonu (EFZ) ve Helen-Kıbrıs (HKY) yayı gibi önemli aktif tektonik yapılar arasında sismik açıdan etkin bir alanın sınırlarının içerisinde yer almaktadır (Şekil 2). Dolayısı ile belirtilen bölgenin sismik aktivitesi son günlerde yaşadığımız büyük depremlerin oluşmasını sağlamıştır.

Adana ili ve yakınında ise geçmişte depremler üretmiş ve gelecekte de üretebilecek nitelikte aktif faylarımız bulunmaktadır. Bunların başlıcaları; Adana şehir merkezinin D-GD’sunda bulunan Yumurtalık Fayı, Ceyhan-Karataş fayı, Misis-Yakapınar bölgesinden kuzey yönünde İmamoğlu ilçe merkezine doğru uzanan İmamoğlu (Misis-Yakapınar) Fayı, Kozan bölgesinden Adana Baseninin içerisinde Çatalan Barajının kuzeyinden KD-GB uzanımlı Kozan Fayı’dır. Bunların dışında biraz daha uzak kesimlerde olmak üzere Osmaniye yakınlarında Toprakkale ve daha kuzey kesimlerde ise Savrun, Çokak fayları bulunmaktadır (Şekil 5). Bu faylar bölgenin depremselliği ve tektonik konumu açısından büyük önem arz etmektedir (Şekil 8).

2.2.1. İmamoğlu (Misis-Yakapınar) Fayı

İmamoğlu (Misis-Yakapınar) Fayı Adana şehir merkezinin yaklaşık olarak 20 km doğu kesiminden başlayarak, kuzey yönünde Adana’nın İmamoğlu ilçe merkezine kadar yay şeklinde uzanan aktif bir fay hattıdır (Şekil 9). Bu fay hattı genellikle Çukurova’nın düzlük tarımsal kesimlerinden geçmekte ve fay sarplığı gibi önemli bir morfolojik yapı sunmamaktadır. Misis Fayı ile ilgili elde edilen veriler genellikle bölgeden alınmış olan sismik yansıma profillerin incelenmesi ve yorumu ile elde edilebilmektedir. İmamoğlu (Misis-Yakapınar) fayının ters bileşenli sol yanal doğrultu atımlı bir fay olduğu görülmektedir (Ünlügenç, 1993). 2 Şubat 2019 tarihinde İmamoğlu (Misis) fay hattının yaklaşık 10 km doğusunda, merkez üssü Ayşehoca köyü dolaylarında olan $M=4,5$ büyüklüğünde ve bölgeye yaklaşık 35 km uzaklıkta bulunan Adana şehir merkezinden de hissedilen ve paniğe yol açan bir deprem gerçekleşmiştir. Ayrıca 1998

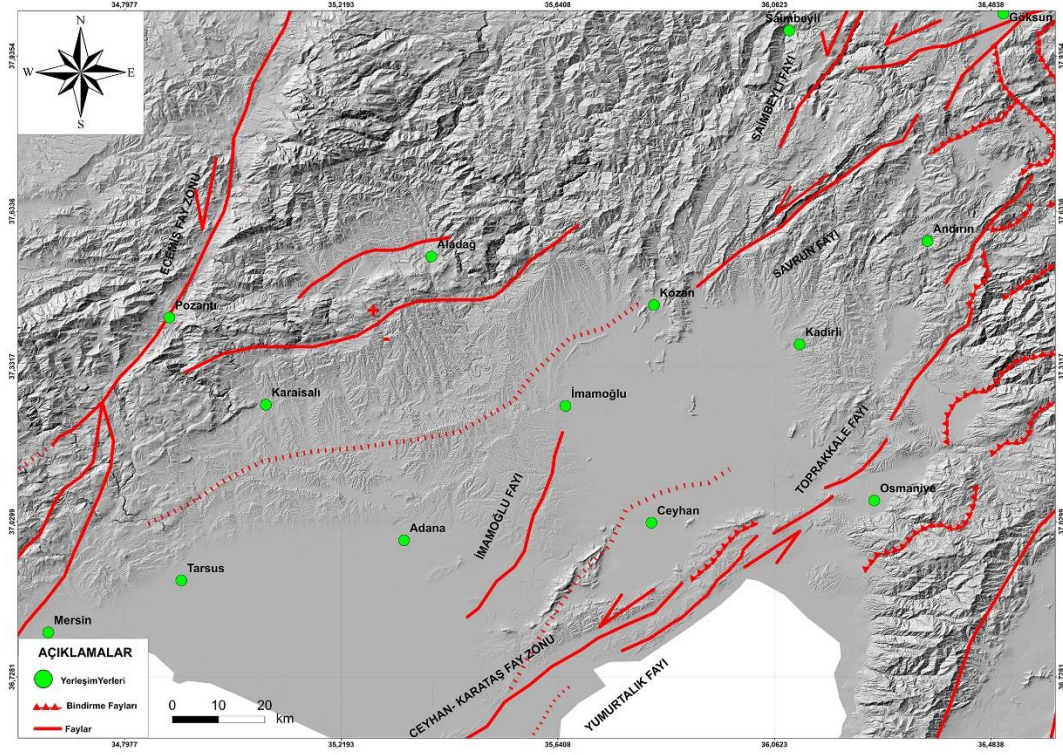
yılında yaşanan ölümlere ve yıkımlara da neden olan 6.3 büyüklüğündeki Adana depremi de bu fay hattı üzerinde meydana gelmiştir.



Şekil 8. Çukurova Bölgesindeki önemli Aktif fay hatlarının kabartma uydu fotoğrafı üzerindeki konumları.

Figure 8. Locations of significant active fault lines in the Çukurova Region on a relief satellite image.

İmamoğlu fay hattını kesen sismik profilin konumu ile beraber yapısal olarak yorumlanmış jeolojik enine kesiti şekil 10’da verilmiştir. Profilin doğu kesimindeki reflektörler pozitif çiçek yapısına benzer bir şekilde fay hattının geçtiği alanı göstermektedir. Profilde izlenen örüntüde sismik temel batı kesimdeki havza çökellerinden belirgin olarak ayrılmıştır.

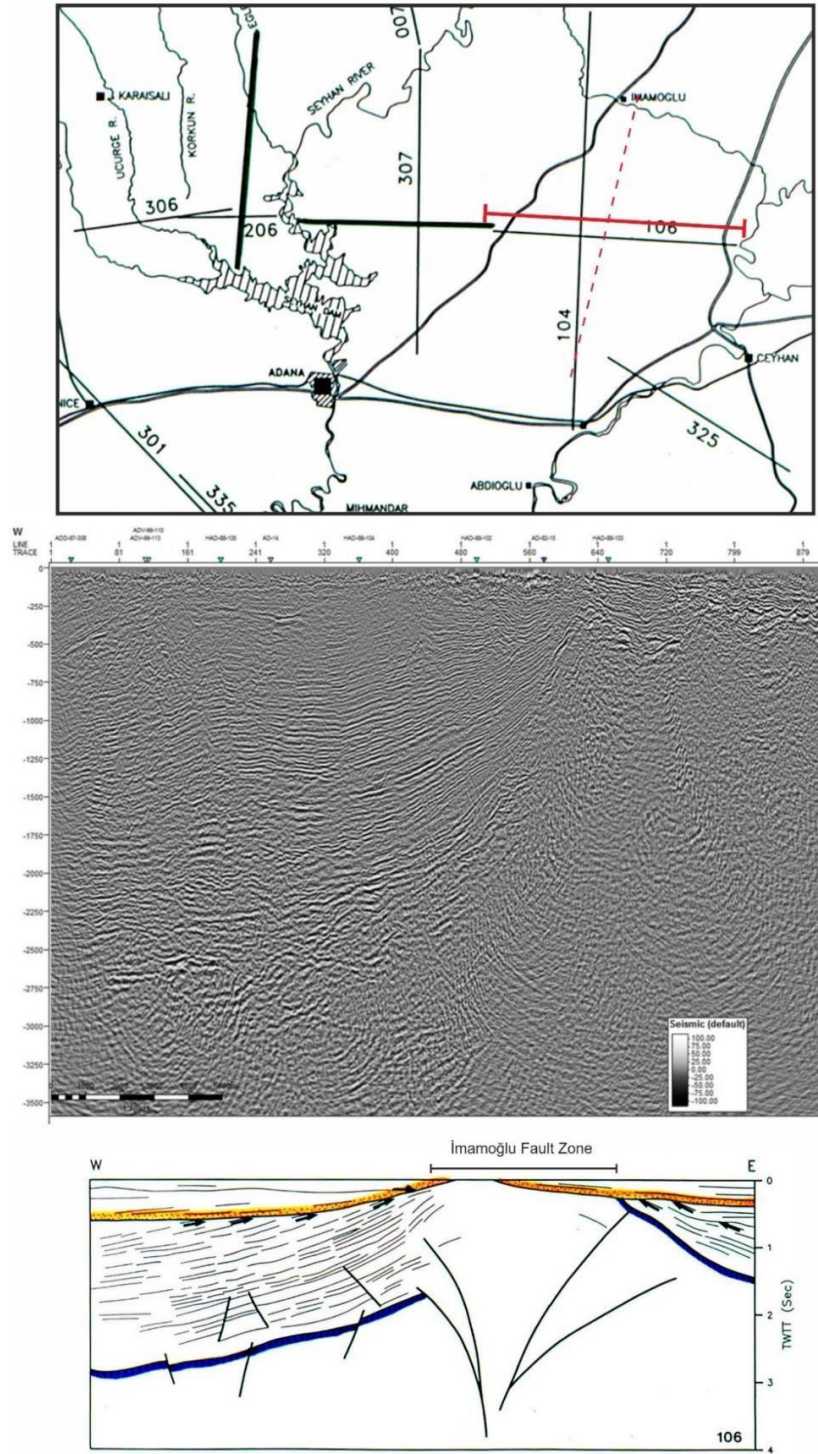


Şekil 9. Adana ili civarındaki aktif faylar.

Figure 9. Active faults in the vicinity of Adana province.

2.2.2. Ceyhan-Karataş Fayı

Ceyhan-Karataş Fayı, yenilenmiş Türkiye Diri Fay Haritasına göre İskenderun Körfezi kuzeyinde K40°D genel doğrultusunda uzanmaktadır. Doğuda Osmaniye ile batıda Karataş ilçesi arasında yaklaşık 64 km boyunca izlenebilen fay, ters atım bileşenli sol yanal doğrultu atım karakterindedir. Fayın kuzey bloğu morfolojik olarak daha yukarda bulunmaktadır. Karataş Fayı'nın doğudaki 16 km'lik kısmı Alt-Orta Miyosen yaşlı Karataş Formasyonu içerisinde, 38 km uzunluktaki orta kısmı Karataş Formasyonu ile Kuvaterner çökelleri arasındaki dokanakta ve kıyı çizgisine karşılık gelen 10 km'lik batı kesimi ise Kuvaterner çökelleri içerisinde yer almaktadır.



Şekil 10. İmamoğlu fay zonu boyunca sismik yansıma profilinde yorumlanmış pozitif çiçek yapısı (Adana şehir merkezinin yaklaşık 25 km kuzeydoğusu) (Ünlügenç, 1993; Williams et al., 1995).

Figure 10. Interpretation of a positive flower structure along the İmamoğlu fault zone on a seismic reflection profile (approximately 25 km northeast of Adana city center) (Ünlügenç, 1993; Williams et al., 1995).

Karataş yöresinde Akdeniz'e ulaşan fay, deniz tabanından güneybatı yönünde Kıbrıs'a doğru devam etmektedir. 3 Ocak 1994'te Kurtkulağı Mw= 5.0 ile 30 Temmuz 2015'te Tuzla Açıkları-Adana (Akdeniz) merkez üssünde yerel saat ile 01:00'de aletsel büyüklüğü Kandilli rasathanesi tarafından Ml=5.2 olarak bildirilen depremler Karataş Fayı'nın güncel aktivitesini göstermektedir. Yapısal saha gözlemlerinde fay boyunca dere ötelenmeleri, uzamış sırtlar gibi güncel aktiviteyi ve doğrultu atımlı fay zonunu karakterize eden morfolojik yapılar gözlenmiştir. Fayın, Geç Holosen dönemi çökellerinde izlenen faylanma ve deformasyonlara bağlı olarak 2 büyük depremin meydana geldiği belirtilmiştir (Yavuzoğlu vd. 2016). Ceyhan-Karataş fayı Akdeniz kıyı çizgisine ve güneyindeki Yumurtalık fayına yaklaşık paralel bir uzanım boyunca devam etmekte olup, sadece 2-3 metrelik düşey eğimli bir fay sarplığı sunmaktadır (Şekil 9).

2.2.3. Yumurtalık Fayı

Yumurtalık-Karagedik arasında, 62 km uzunlukta, birbirine paralel çok sayıda parçalardan oluşan KD-GB gidişli faylar Yumurtalık Fayı olarak adlandırılmıştır (Şaroğlu vd. 1987). Yumurtalık Fayı üzerinde hendek çalışmaları sonucunda Kara vd., (2020) yenilenen Türkiye Diri Fay Haritasında fayı Holosen yaşlı olarak değerlendirmişlerdir. (Yumurtalık-İmraniye arasında, 24,5 km'lik bölümünde çok belirgin olan fay, morfolojik olarak çok belirgin olup, kıyıya paralel olarak uzanır (Şekil 9). Bu bölümde, K50D gidişli olan fay, Orta-Üst Miyosen yaşlı sedimanter birimleri keser. Fay, Yumurtalık-Kocatepe arasındaki düzlükleri morfolojik olarak sınırlar. Kocatepe-İncirli çiftliği arasında kıyıyı denetleyen fay, İncirli çiftliği-İmraniye arasında, Kuvaterner yaşlı bazaltlar ile Miyosen yaşlı çökelleri keser. İncirli-İmraniye arasında, morfolojide sola ötelenmeler ve doğu blokta düşmeler izlenmektedir. İmraniye-Delihalil

Mahallesi arasında, 4 km'lik bölümde, fay bir volkan konisini kesmektedir. Üçtepe volkan konisi boyunca 2.5 km izlenen fayın gidişi yaklaşık K30B uzanımındadır (Demirtaş, 2019).

2.2.4. Toprakkale Fayı

Doğu Anadolu Fayı'nın kuzey kolunu temsil eden Sürgü-Misis Fay Sistemi'nin güney-güneybatıya doğru yönelen bir segmenti olarak değerlendirilen Toprakkale Fayı, yenilenen Türkiye Diri Fay Haritasında Holosen yaşlı fay olarak değerlendirilmiştir (Kara vd., 2020). Toprakkale Fayı, yaklaşık K33°D doğrultulu olarak uzanan ve yaklaşık 52 km uzunlukta normal bileşenli sol yanal doğrultu atımlı bir faydır. Toprakkale Fayı, birbirlerinden bir sekme yapısı ile ayrılan, kuzey ve güney olarak isimlendirilen iki fay segmentinden oluşmaktadır (Şekil 9, 11). Yaklaşık 20 km uzunluktaki kuzey bölüm çoğunlukla Üst Miyosen yaşlı kırıntılı çökelleri kesmekte olup, yer yer de bu çökellerle Alt Maestrihtiyen-Üst Kampaniyen yaşlı ofiyolitlerin dokanağını belirler. Fayın güney segmenti üzerinde ise aktif faylanma verileri daha belirgindir. Yaklaşık 30 km uzunluktaki Güney bölüm, Ceyhan Nehri ve kolları üzerindeki taşkın ovası çökellerini ve Kuvaterner yaşlı Delihalil volkanizmasının kayaçlarını kesmektedir (Şekil 12).

2.2.5. Ecemiş Fay Zonu

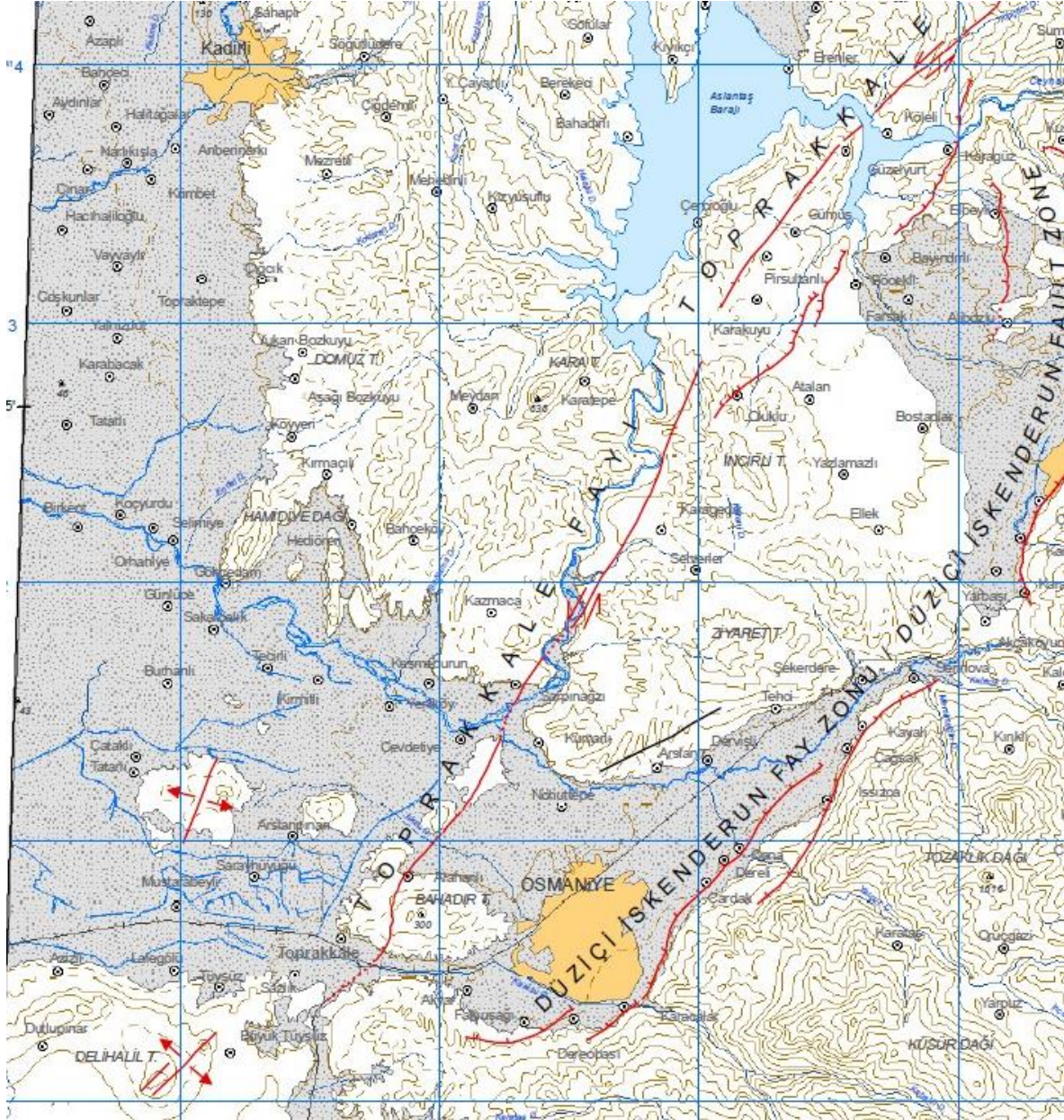
Orta Toroslar ile Doğu Toroslar arasında sınır oluşturan Sol Yanal Doğrultu Atımlı Ecemiş Fay Zonu, Adana havzasının kuzeybatı-batı sınırını oluşturmakta olup, Adana ile Mersin il sınırları boyunca güneyde Akdeniz'e, ve Tekir Yayla'ya yakın kolları da Mersin'in kuzey kesimlerinden güneybatıya doğru uzanmaktadır (Şekil 13). Son dönemlerde sismik açıdan aktif görülmeyen ve Orta Anadolu'nun neotektonik unsurlarından biri olan Ecemiş Fayı Pozantı'dan kuzey kesimlere doğru Kamışlı, Burç, Çamardı üzerinden Sultansazlığı bölgesi ve daha kuzey kesimlerine kadar uzunlu-kısalı fay segmentleri ile temsil edilmektedir.



Şekil 11. Adana-Osmaniye illeri ve yakın çevresinin Deprem Tehlike Kaynakları (Kara vd., 2020).

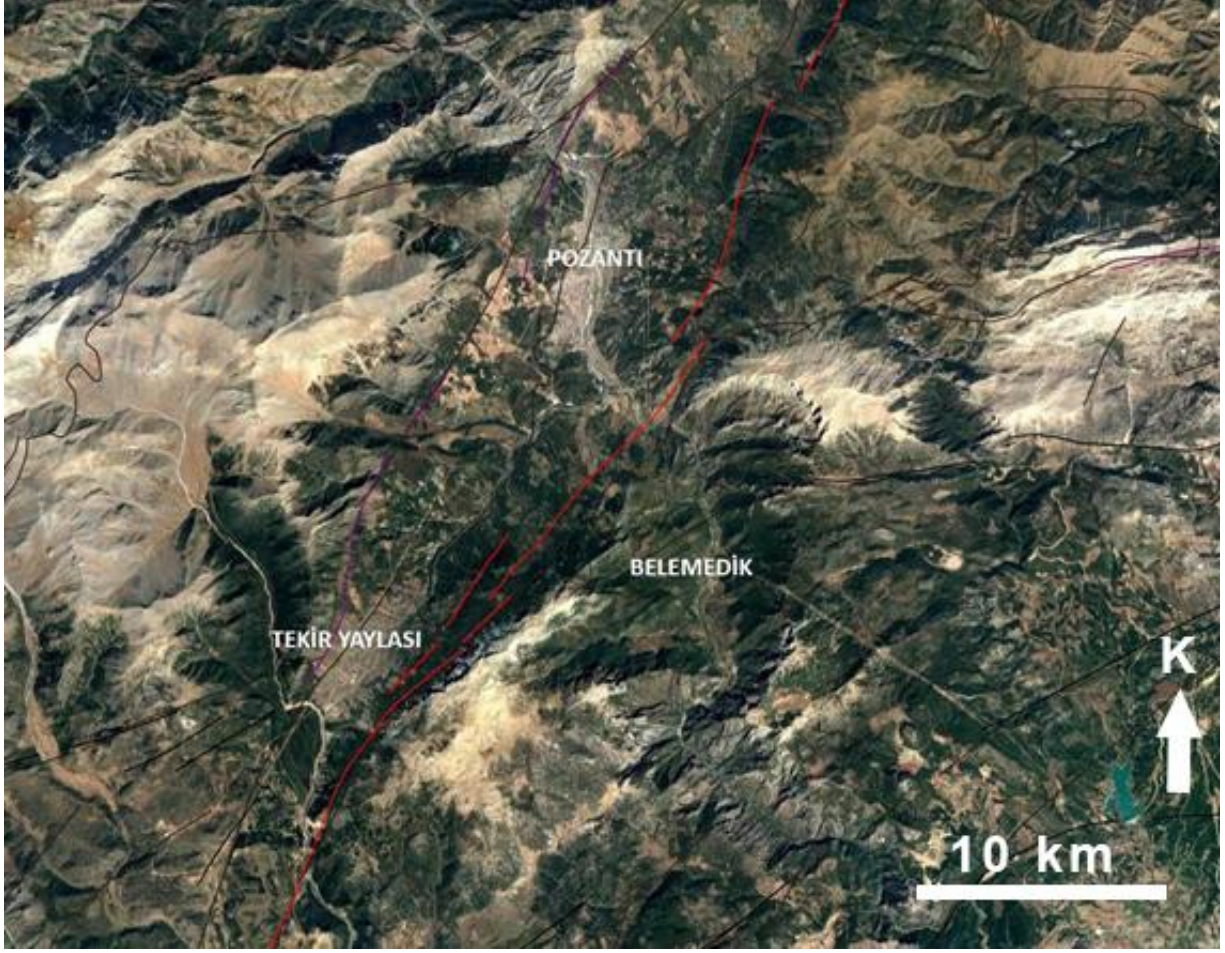
Figure 11. Seismic Hazard Sources for Adana-Osmaniye provinces and the surrounding area (Kara et al., 2020).

Erdağ (2007) fayın Sultansazlığı çek-ayır havzasının güneyinden başlayarak yaklaşık K25°D doğrultusunda uzandığını ve Pozantı'nın GB'sına kadar fayın uzunluğunun yaklaşık 120 km olduğunu belirtmektedir. Çizgiselliği hem uydu görüntülerinde hem de arazide net olarak gözlenebilen Ecemiş Fay Zonu'nun geometrik özelliklerini belirlemek üzere fay kuşağı boyunca morfolojik ve morfo-tektonik özellikleri Şekil 14'de gösterilmektedir.



Şekil 12. Sol yönlü doğrultu atımlı Toprakkale fayının ve daha doğudaki İskenderun-Düziçi Fay hattının uzanımını gösterir eşyükselti haritası (MTA harita arşivinden).

Figure 12. Elevation map showing the extension of the left-lateral strike-slip Toprakkale Fault and the further eastern İskenderun-Düziçi Fault line (from the General Directorate of Mineral Research and Exploration - MTA map archive).



Şekil 13. Ecemiş fayının Pozantı, Beledik ve Tekir civarındaki uzanımının uydu fotoğrafı (Google earth) üzerindeki görünümü (Ünlügenç ve Akıncı, 2019).

Figure 13. Satellite view of the extension of the Ecemiş Fault in the Pozantı, Beledik, and Tekir areas (Ünlügenç and Akıncı, 2019).

2.2.6. Savrun ve Kozan fayları

Savrun ve Kozan Fayları Perinçek vd. (1987) tarafından KD-GB gidişli normal faylar olarak tanımlanmaktadır. Doyuran vd. (1989) hem Savrun hem de Kozan faylarının toplam uzunluğunun 200 km olduğu ileri sürmektedir. Kozan fayının Savrun Fay Zonu'nun güneybatı uzantısında bulunduğu (Şekil 9) ve Savrun bölgesinin Arap levhasının kuzey kenarındaki bir

kenet zonu boyunca oluşan ve neotektonik dönemde yeniden aktifleşen eski bir zayıflık zonu olduğu belirtilmektedir (Perinçek vd., 1987). Kozan Fayı, Kozan bölgesinden Adana havzasının orta kesimlerinden yaklaşık Kuzeydoğu-Güneybatı uzanımlı olarak havzayı kesen normal bileşeni bulunan sol yanal doğrultu atımlı bir fay olduğu belirtilmektedir (Ünlügenç, 1993).



Şekil 14. Ecemiş Fayı'nın uzanımının izohips yükselti haritası üzerinde görünümü. Fay boyunca morfolojik yapıların kesilmesi ve ani değişimi dikkat çekmektedir (Ünlügenç ve Akıncı, 2019).

Figure 14. View of the extension of the Ecemiş Fault on the contour elevation map. The cutting and abrupt changes of morphological structures along the fault are noteworthy (Ünlügenç and Akıncı, 2019).

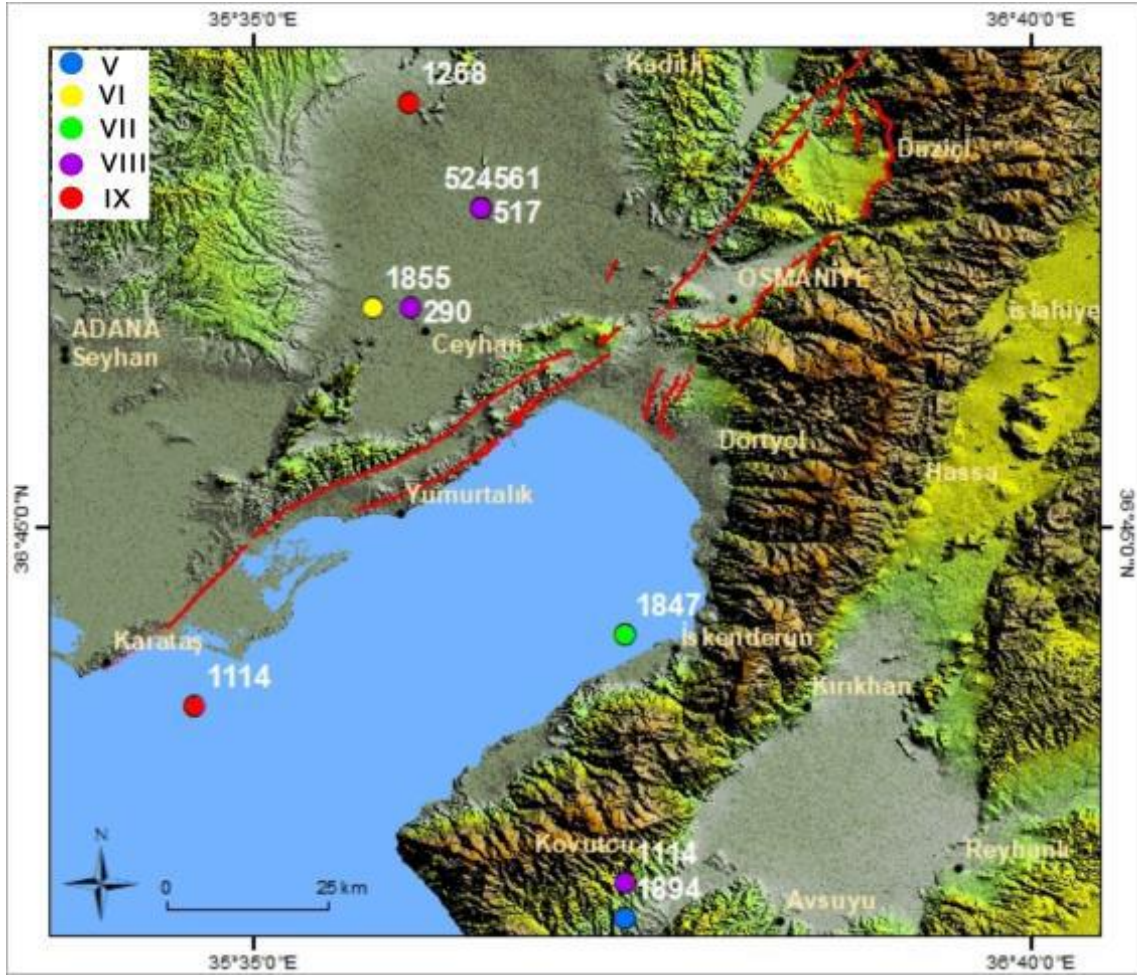
3. ADANA BÖLGESİNİN DEPREM GEÇMİŞİ

Bölgedeki tarihsel ve aletsel dönem deprem kayıtlarına bakıldığında M.Ö. 69 yılından günümüze kadar bölgede orta ve büyük ölçekli birçok depremin olduğu görülmektedir (Şekil 15, 16). 1114 ve 1268 yıllarında meydana gelen IX şiddetindeki depremler Çukurova bölgesindeki ilk önemli deprem kayıtlarındandır (Şekil 15). 1500-1800 yılları arasındaki dönemde Tarsus-Antakya-Halep ekseninde sıklıkla meydana gelen, hasar yapıcı depremler de dikkat çekicidir. Özellikle 1600'lı yılların başlarından 1800'lü yılların ortalarına kadar olan dönemde Halep ve Antakya kayıtlarına giren birçok depremin olduğu görülmektedir (Şekil 15). Büyük olasılıkla Doğu Anadolu Fay Zonu tarafından üretilmiş olan 1513 depremi Tarsus-Adana-Malatya ekseninde yıkıcı etki yaratmış ve tüm Doğu Akdeniz bölgesinde hissedilmiştir. Daha sonra bölgede etkili olan en büyük depremler 1822 yılında Antakya ve 1872 yılında Amik Gölü'nde meydana gelmiş ve Çukurova bölgesini de içine alan bir coğrafyada önemli bir hasara neden olmuştur (Şekil 15). 19. yüzyılda, özellikle 1855 ve 1872 depremlerinden sonra bölgede büyük depremler açısından bir etkinliğin olmadığı gözlenmektedir (Şekil 15).

Bölgemize yakın durumda bulunan ve aktif durumda bulunan Ceyhan-Karataş Fayı, Yumurtalık Fayı, İmamoğlu Fayı, Kozan Fayı, Toprakkale Fayı, Savrun Fayı, Doğu Anadolu Fay Sisteminin uzantıları ve/veya onun etkisinde oluşmuş bir yapı olarak değerlendirilebilecek yer kırıklarıdır (Şekil 5, 9). 20 yüzyılda bölgede orta ve küçük ölçekte birçok deprem meydana gelmiştir. 1945 yılından günümüze kadar olan dönemde Çukurova ve yakın çevresinde 5.2-6.3 (M) büyüklüğünde dikkat çekici altı adet deprem meydana gelmiştir (Şekil 16).

Andırın kuzeydoğusundan başlayıp Ceyhan'a, oradan da Yumurtalık ilçesine uzanan Toprakkale Fayı, Ceyhan-Karataş Fayı ve güney uzantısında yer alan Yumurtalık Fayı, Çukurova bölgesini kuzeydoğu-güneybatı yönünde boydan boya kat eden bir faylardır. Bu faylar Doğu Anadolu Fay sisteminin etkisi ile oluşmuş faylar olup, bölgenin sismisitesini denetleyen en etkin yapılardır (Şekil 9). Savrun-Kozan üzerinden güneye doğru uzanan İmamoğlu (Misis) Fayı da bölgedeki aktif faylardan biri olup bu fay 1945 yılında 6.0 büyüklüğünde bir deprem üretmiştir (Şekil 16). Daha sonra, 1998 yılında da 6.3 büyüklüğündeki Adana-Ceyhan depremi bu fay üzerinde meydana gelmiş ve Çukurova bölgesinde yıkıcı hasara neden olmuştur (Şekil 16, 17). 1997 yılında Hatay'da meydana gelen 5.7 büyüklüğündeki

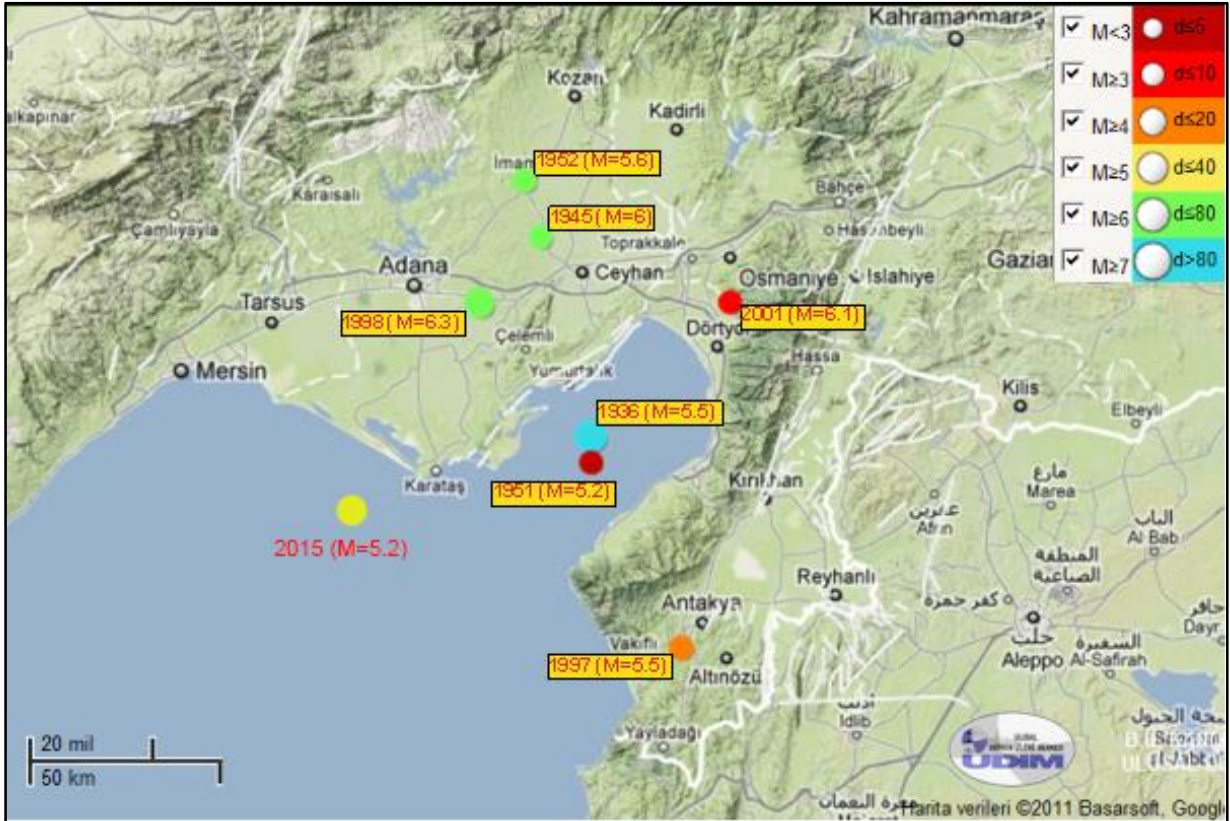
deprem Çukurova bölgesine yakın coğrafyada meydana gelmiştir. Ayrıca 2001 yılında Dört Yol (Hatay)'da meydana gelen 5.4 büyüklüğündeki deprem, 2001 yılında Osmaniye'de meydana gelen 6.1 büyüklüğündeki depremler de Adana'ya yakın kesimlerde meydana gelmiştir. 30 Temmuz 2015 yılında Adana-Karataş-Tuzla açıklarında 5.2 büyüklüğündeki deprem Ceyhan-Karataş fay hattını Kuzey Kıbrıs tektonik uzanımına bağlayan segmente sadece 20 km uzaklıkta gerçekleşmiştir (Şekil 16).



Şekil 15. Çukurova bölgesinde meydana gelen tarihsel depremleri gösterir harita (Soysal vd., 1981).

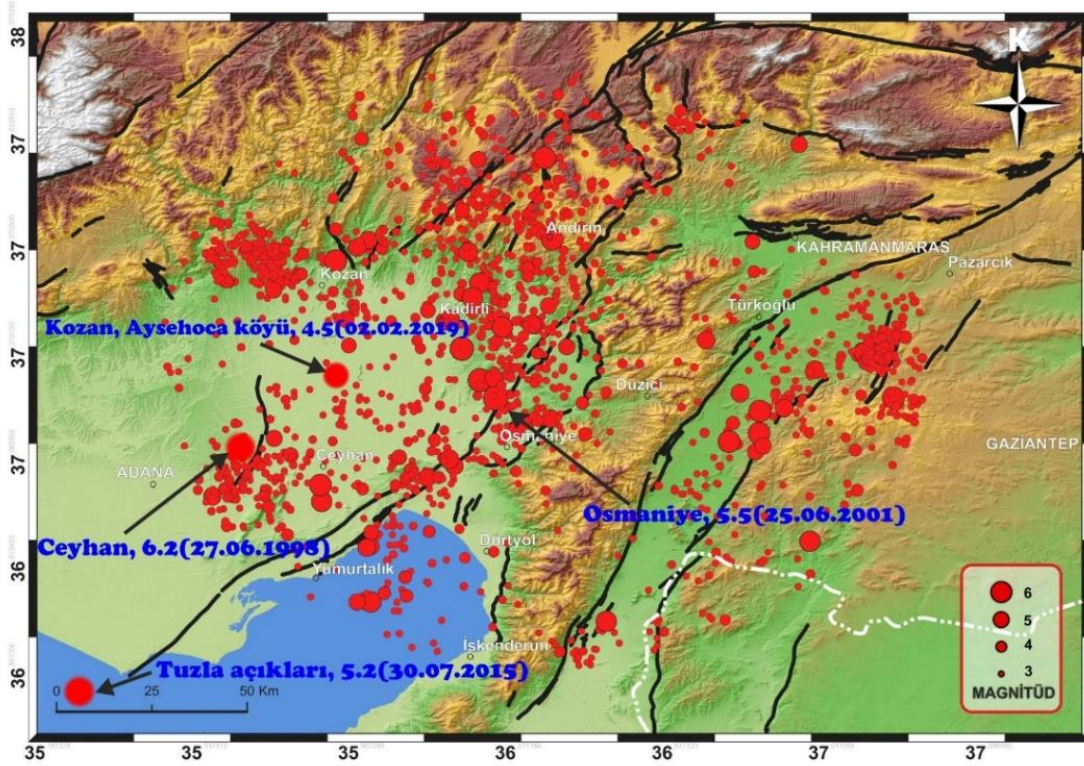
Figure 15. Map showing historical earthquakes in the Çukurova region (Soysal et al., 1981).

2 Şubat 2019'da İmamoğlu Fay Zonuna (yaklaşık 10 km) çok yakın bir bölgede, Adana ilinin sadece 35 km KD'sunda Ayşehoca-Kozan köyü yakınlarında 4,5 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir (Şekil 17). 2020 yılında Osmaniye-Sumbas civarında 4.0 büyüklüğünde; Kadirli civarında 4.0 büyüklüğünde; Andırın civarında 4.0 büyüklüğünde; Ceyhan-Körkuyu civarında 4.0 büyüklüğünde, 2021 yılında Adana-Karaisalı Nergizlik civarında 3.9-4.0 büyüklüğünde; Adana Karaisalı-Çevlik civarında 3.8 büyüklüğünde; Osmaniye-Kadirli-Kösepınarı civarında 4.3; Osmaniye-Düziçi-Ellek civarında 4.3 büyüklüğünde, 2022 yılında Adana-Ceyhan-Ceyhanbekirli civarında 3.9; Adana Karaisalı-Gildirli civarında 3.9; Adana Ceyhan-Tatarlı civarında 3.8; Osmaniye Düziçi-Çerçioğlu civarında 5.0 büyüklüğünde meydana gelen ve en son 18.12.2022 tarihinde Hatay-Kırıkhan-Kangallar civarında meydana gelen 4.8 büyüklüğündeki depremler, bölgede meydana gelen önemli sismik olaylar olarak kayıtlara geçmiştir (B.Ü., Kandilli Rasathanesi, Deprem Araştırma Merkezi).



Şekil 16. Çukurova bölgesi ve yakın çevresinde aletsel dönemde meydana gelmiş önemli depremler (B.Ü., Kandilli Rasathanesi, Deprem Araştırma Merkezi, 2011'den modifiye edilmiştir).

Figure 16. Significant earthquakes that occurred in the Çukurova region and its vicinity during the instrumental period (Modified from B.U., Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, 2011).

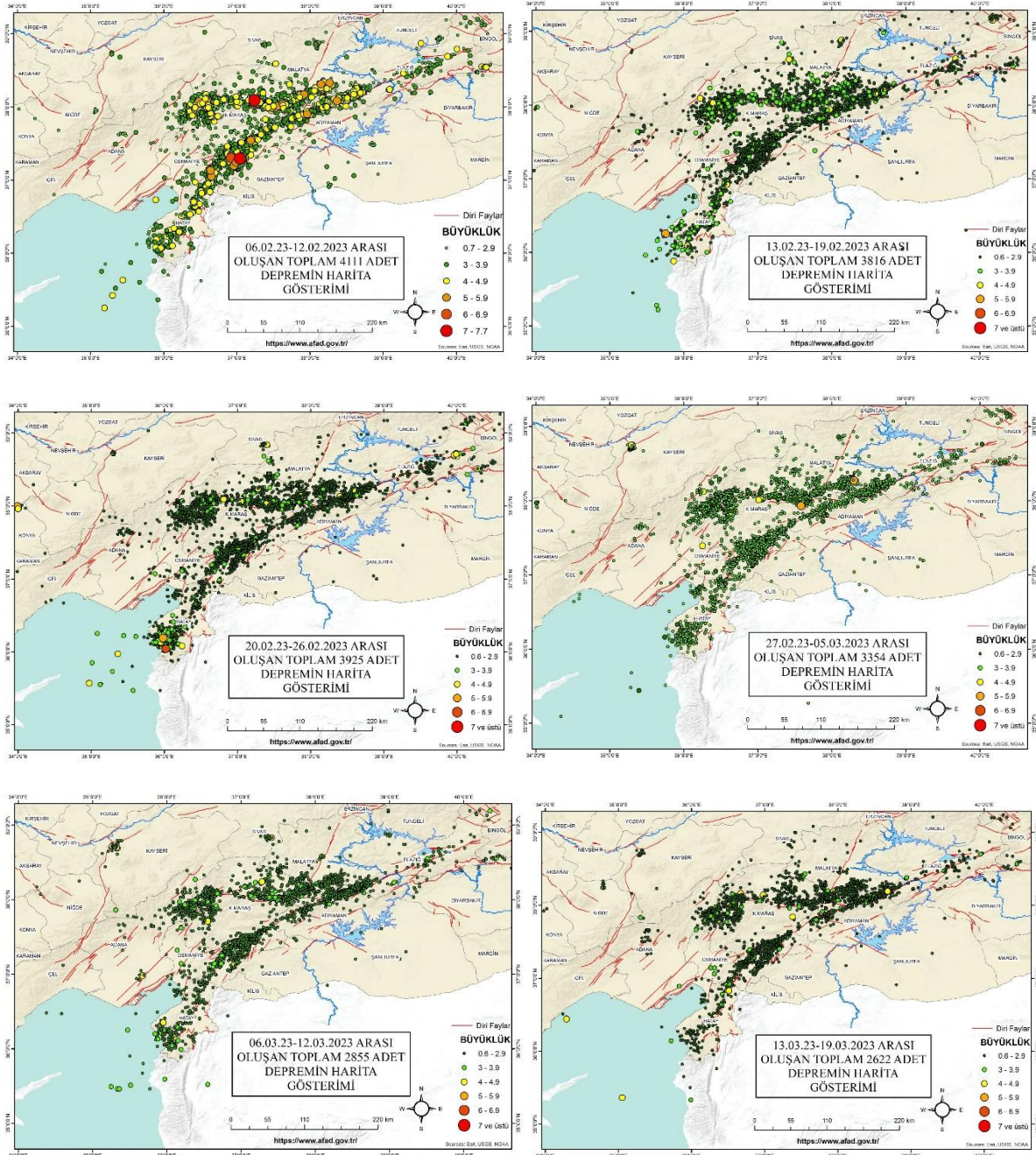


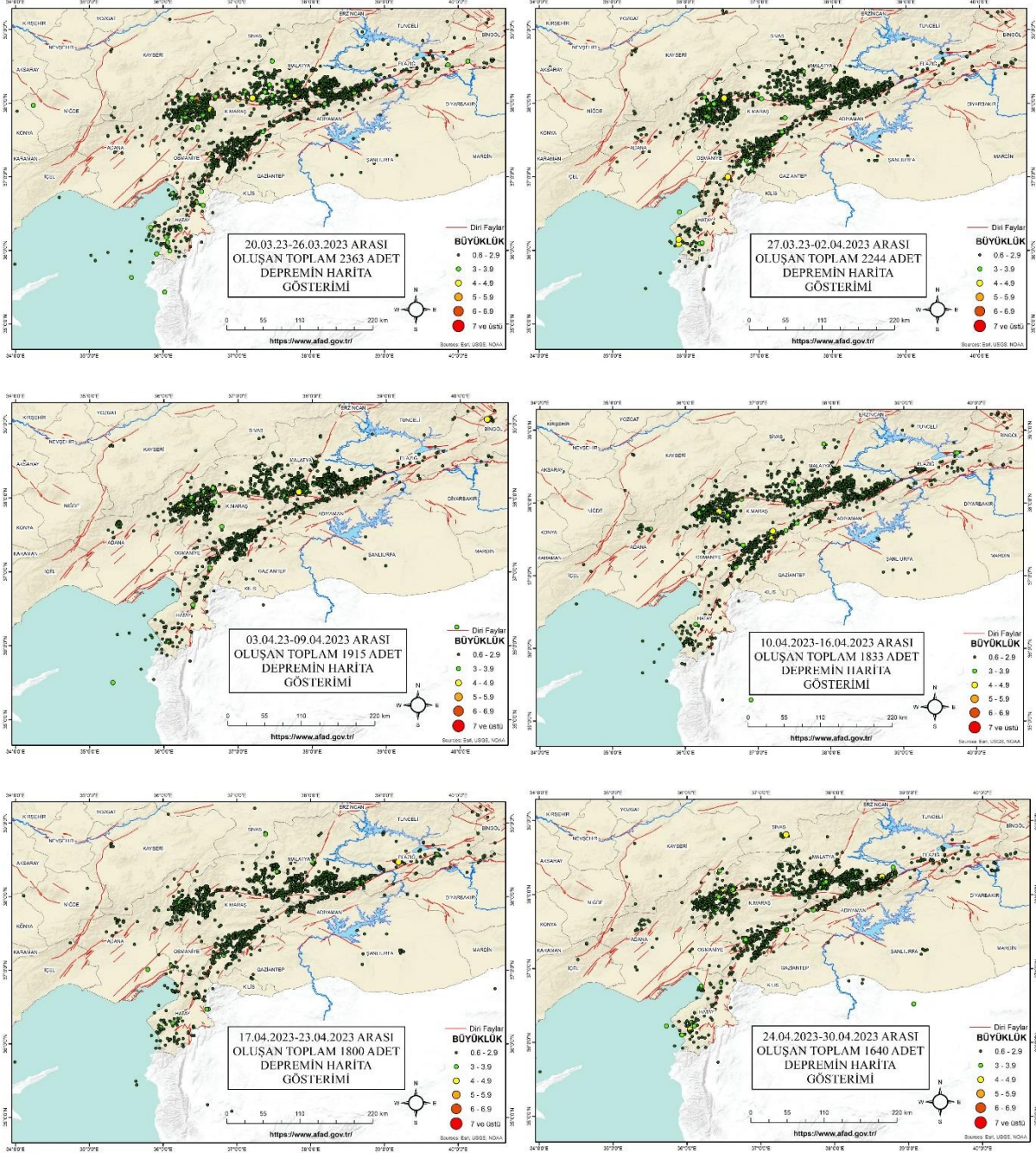
Şekil 17. Bölgede 1998-2019 yılları arasında 4 büyüklüğünün üzerinde meydana gelen deprem episantırlarının işaretlendiği harita.

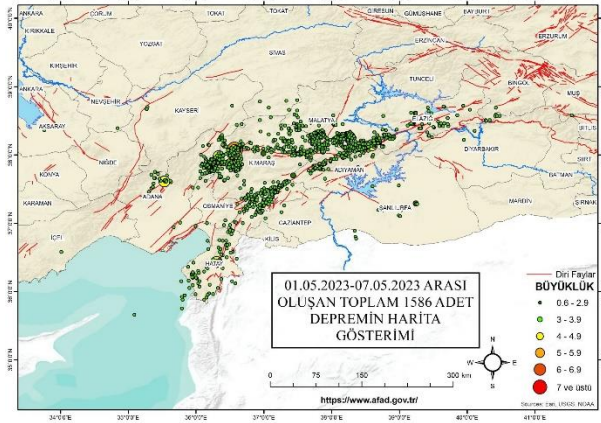
Figure 17. Map indicating the epicenters of earthquakes with a magnitude of 4 and above that occurred in the region between 1998 and 2019.

4. DEPREM BÖLGELERİNDEKİ ARTÇI ŞOKLARIN GELİŞİM SÜRECİ

6 Şubat 2023 tarihinde Türkiye yerel saati ile 04.17'de (Mw 7,8) merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş) ve 13.24'te (Mw 7,6) ve Elbistan (Kahramanmaraş) olan iki büyük deprem ve altının üzerinde büyüklükleri olan (Mw = 6.8, 6.0) artçıları meydana gelmiştir (AFAD; Şekil 1). KRDAE her iki depremin odak derinliğini 5 km olarak belirtirken, AFAD ilk depremin derinliğini 8.6 km, ikinci depremininkini ise 7.0 km olarak açıklamıştır. Sismik merkezlerden gelen ilksel verilerin odak mekanizma çözümleri her iki depremin doğrultu atımlı faylanmalarla meydana geldiğini göstermektedir. Bölgede yoğun olarak depremlerin meydana geldiği, Doğu Anadolu Fay Zonu'nun da içerisinde yer aldığı 34°0'00''D-41°0'00''D boylam ile 34°0'00''K-39°0'30''K enlemleri baz alınarak belirtilen UTM değerleri içerisinde meydana gelen artçı sarsıntılar değerlendirilmiştir. Depremleri izleyen ilk 1 hafta içinde yaklaşık 4111, 2. hafta 3816, 3. hafta 3925, 4. hafta 3354 adet artçı şoklar oluşmuştur (AFAD, KRDAE, Şekil 18). 20 Şubat 2023 tarihinde 6.4 büyüklüğünde meydana gelen deprem ile Antakya fayının kırılması nedeniyle 3. haftadaki artçı sayıları 2. haftaya göre biraz daha artmıştır. Bölgede ilk bir ay (6 Şubat-5 Mart) içinde 15206 civarında büyüklü küçüklü artçı sarsıntılar meydana gelmiştir (Şekil 18, 19). Artçı şok sayıları belirlenen bölgede 6 Mart-2 Nisan tarihleri arasında 10084 sayısına düşerken deprem büyüklüklerinde de belirgin bir azalma fark edilmekte olup, sadece 7. haftada Yiricek-Göksun civarlarında 5.3 büyüklüğünde bir artçı şok meydana gelmiştir. 3-30 Nisan arasında meydana gelen artçı sayısı da 7188'e düşmüş olup, 4 büyüklüğünün üzerinde 10 civarında artçı şoklar meydana gelmiş olup, diğer depremler 3 ve altındaki sarsıntılardır. 1-7 Mayıs 2023 (13. Hafta) tarihleri arasında Adana'nın Aladağ ilçesinin 25 km kuzeydoğusunda 4,7 büyüklüğünde bir artçı oluşurken Yağmurlu-Göksun civarında bir adet 5.1 ve 2 adet 4-4.9 büyüklüğünde artçı şoklar meydana gelmiştir (Şekil 18).







Şekil 18. 6 Şubat depremleri ardından meydana gelen artçı şokların haftalık dağılımı (AFAD çevrimiçi deprem kataloğu, 2023).

Figure 18. Weekly distribution of aftershocks following the earthquakes on February 6th (AFAD online earthquake catalog, 2023).

Türkiye’de ve deprem bölgelerinde Şubat 2023 tarihi itibarıyla 5.6.2023 tarihine kadar kaydedilen deprem ve artçıların sayıları 16 hafta süre ile büyüklüklerine göre haftalık olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 19). Tablo incelendiği zaman ilk ay içerisinde 15000’in üzerinde meydana gelen 3’ün üzerinde büyüklüğe sahip depremlerin hemen hemen tamamı ülkemizde sadece deprem bölgesinde meydana gelmiştir (Şekil 19).

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Tarihsel ve aletsel dönemlerden edinilen bilgiler ışığında, levha sınırları ile çevrelenen ve doğal olarak jeolojik-tektonik yönden aktif fay hatlarını barındıran ülkemizde depremlerin olması kaçınılmazdır. Ülkemizin güneyinde yer alan Afrika ve Arap levhaları milyonlarca yıldır arasında sınır teşkil eden Ölü Deniz Fay Zonu boyunca güneyden kuzeye doğru hareket ederek Anadolu levhacığımızı sıkıştırmaktadır. Bu sıkıştırmalar sonucunda Akdeniz’in içerisinde Kıbrıs’ın güney-güneybatı kesimlerinde Afrika Levhası Kıbrıs’ın altına dalmaya devam etmekte, ancak Kıbrıs’ın güneydoğu kesimlerinde ise bu tektonik suture kuzeydoğuya doğru Lazkiye ve Samandağ (Hatay) üzerinden ülke sınırlarımıza transform faylı bir hatla uzanmaktadır (Şekil 2, 3).

Afrika ve Arap levhaları arasındaki sınır olan yaklaşık kuzey-güney uzanımlı Ölü Deniz Fay Zonu'nun bir kolu Hatay bölgesinin kuzey kesimlerinde Kıbrıs tarafından gelen suture ile birleşirken Ölü Deniz Fay Zonunun diğer bir segmenti Suriye üzerinden Karasu grabeninin güney sınırı boyunca Gaziantep ilimizin güneybatısına doğru uzanmaktadır. Güney kesimlerimizde yer alan bu tektonik suturelar da bölgemizi sismik açıdan aktif duruma getirmektedir. Çukurova bölgesi ve çevresi de levha sınırlarına komşu-yakın olması nedeniyle büyük depremler üretebilecek önemli aktif fayları bulundurmaktadır. Çukurova bölgesinin sismisitesi, belirtilen bu suturelar ile birlikte Doğu Anadolu Fay Sistemi, Ecemiş Fay Zonu, Helenik-Kıbrıs yayı ve dalları gibi ana aktif yapılar tarafından kontrol edilmektedir (Şekil 2, 3). İlimize yakın olanlardan bazıları: Adana il merkezinin D-GD kesimindeki Yumurtalık Fayı, Ceyhan-Karataş fayı, Misis bölgesinden İmamoğlu ilçe merkezine kadar uzanan İmamoğlu (Misis-Yakapınar) Fayı, Kozan'dan güneybatıya doğru uzanan ve Adana Çatalan barajının kuzeyinden Mersin'e doğru uzanan KD-GB uzanımlı Kozan Fayı, Adana doğusunda Toprakkale civarından geçen ve yaklaşık kuzey-güney uzanıma sahip Toprakkale Fayı ve Adana batısında yaklaşık K15-20D uzanımına sahip sol yönlü doğrultu atımlı Ecemiş Fayıdır (Orta Anadolu Fayı) (Şekil 2, 9). Bölgemizdeki, Ceyhan-Karataş, Yumurtalık, İmamoğlu, Toprakkale faylarının bazı kesimlerinde ters bileşenli sol yönlü atıma sahip oldukları dikkat çekmektedir (Şekil 9). Özellikle Adana kentine çok yakın bir konumda yer alan İmamoğlu Fayı, birkaç on yılda bir önemli depremler üretmiştir. Güneydeki Karataş ve Yumurtalık fayları Doğu Anadolu fayının en GD uzanımı niteliğinde ve Akdeniz kıyı şeridine paralel yakın bir uzanıma sahiptir. Bu faylar deniz altından GB yönünde devam etmektedir. Ecemiş Fayı ise Gülek-Pozantı-Elekgölü hattı boyunca dar bir koridorda izlenebilmekte ve geçtiği hat boyunca (K10-20D) özellikle Elekgölü-Çukurbağ ve Demirkazık yöreleri civarında karakteristik geniş alüvyon konileri oluşturmaktadır. Bu fayın Gülek ve daha güney kesimlerindeki uzanımının Akdeniz'e kadar uzandığını sahasal olarak destekleyen yerel mostralar bulunmakla beraber detay çalışılması gereken bir husustur. Toprakkale Fayı Osmaniye'nin Toprakkale ilçesinin hemen kuzeydoğu kesiminden geçmekte ve K-G'ye yakın bir uzanıma sahip olup, bazı önemli morfolojik oluşumlar sunmakta, ancak inceleme alanında ana fay ile ilişkisi kesin olarak belirlenebilen karakteristik düzlemleri sunmamaktadır.

6 Şubat depremleri ile özellikle deprem episantırlarına yakın bölgelerde yüzeyde 3,5 metre civarında yanal ötelenmeler yapılan arazi çalışmaları sırasında tespit edilmiştir. Bölgede 6 Şubat-28 Mayıs 2023 tarihleri arasında depremlerin bulunduğu bölgelerde 38379 artçı depremler meydana gelmiştir (Tablo 1). Artçıların sayıları 4. ayın sonlarında ilk aya oranla %60 oranında azalırken depremlerin büyüklüklerinde de belirgin küçülmeler gözlenmektedir. 5. haftadan 16. haftanın sonuna kadar sadece 2 adet 5 büyüklüğü üzerinde deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin de 7. ve 13. haftalarda Göksun civarlarında (5.3-Yiricek ve 5.1-Yağmurlu) meydana geldiği belirlenmiştir.

Mayıs ayı sonları ve Haziran ayı başlarında Göksun ilçesi yakın bölgelerinde de artçı depremlerin sıkça meydana gelmesi dikkat çekmekte ve Savrun Fayı bağlantısı nedeniyle Adana bölgesinde yaşayan insanlarımız üzerinde tedirginlik yaratmaktadır. Kahramanmaraş'ın Göksun ilçesinin batı kesiminden Acıelma, Aksaağaç, Saimbeyli'ye doğru DoğuKuzeydoğu-Batı-güneybatı uzanan hat üzerinde, depremlerin olduğu günden günümüze kadar 3100'ün üzerinde artçı sarsıntıların meydana geldiği, bu hat üzerinde 5,9 büyüklüğüne kadar olmak üzere 4'ün üzerinde 72 adet artçı depremlerin olduğu belirlenmiş olup, bu hat boyunca Türkiye Diri Fay Haritasında bulunmayan yeni bir aktif kırığın olduğu kanaati oluşmuştur. Göksun'un güneybatısından Savrun Fayına doğru olan kesimi de depremler boyunca aktifliği ile oldukça dikkat çeken depremler oluşturmıştır. Bu bölgede Savrun Fayı'nın Göksun'a doğru bulunan kuzey parçası üzerinde artçı depremler oluşmaktadır. Ancak, Pampal (1984) tarafından haritalanan Kozan'a yakın olan ve yaklaşık 40 km uzunluktaki güney parçası üzerinde pek fazla artçı deprem meydana gelmemiştir. Göksun, Savrun Fayı kuzey kesimleri boyunca depremler sırasında 6 Şubat-5 Haziran tarihleri arasında 6000'in üzerinde artçı depremler meydana gelmiştir. Bu bölgede artçı sarsıntılarının fazla olmasının nedeni Kahramanmaraş'ın batı-kuzeybatı kesimlerinde yer alan Arap-Anadolu suture hattının batı kesimindeki ters bileşenli yüksek açılı fay bindirmelerinin bulunduğu ters oblik bileşenli Sol yanal doğrultu atımlı faylara nazaran daha aktif (underthrusting) bir konumda bulunmasıdır.

TÜRKİYE'DEKİ DEPREM SAYILARI

DEPREM BÖLGELERİNİN HAFTALIK DEPREM SAYILARI

MAGNITUDE	0-2.9	3-3.9	4-4.9	5-5.9	6-6.9	7-7.9
TARİH						
1.HAFTA 06.02.2023-12.02.2023	2529	1319	392	37	3	2
2.HAFTA 13.02.2023-19.02.2023	3660	449	43	2	0	0
3.HAFTA 20.02.2023-26.02.2023	3948	296	40	3	1	0
4.HAFTA 27.02.2023-05.03.2023	3469	163	22	3	0	0
5.HAFTA 06.03.2023-12.03.2023	3248	151	17	0	0	0
6.HAFTA 13.03.2023-19.03.2023	3155	120	15	0	0	0
7.HAFTA 20.03.2023-26.03.2023	2588	94	11	1	0	0
8.HAFTA 27.03.2023-02.04.2023	2423	87	10	0	0	0
9.HAFTA 03.04.2023-09.04.2023	2097	63	6	0	0	0
10.HAFTA 10.04.2023-16.04.2023	1998	58	6	0	0	0
11.HAFTA 17.04.2023-23.04.2023	2062	51	2	0	0	0
12.HAFTA 24.04.2023-30.04.2023	1867	63	8	1	0	0
13.HAFTA 01.05.2023-07.05.2023	1834	43	7	1	0	0
14.HAFTA 08.05.2023-14.05.2023	1459	45	8	0	0	0
15.HAFTA 15.05.2023-21.05.2023	1508	48	3	0	0	0
16.HAFTA 22.05.2023-28.05.2023	1404	54	5	0	0	0

MAGNITUDE	0-2.9	3-3.9	4-4.9	5-5.9	6-6.9	7-7.9
TARİH						
1.HAFTA 06.02.2023-12.02.2023	2257	1315	391	37	3	2
2.HAFTA 13.02.2023-19.02.2023	3326	442	43	2	0	0
3.HAFTA 20.02.2023-26.02.2023	3632	293	40	3	1	0
4.HAFTA 27.02.2023-05.03.2023	3141	156	22	3	0	0
5.HAFTA 06.03.2023-12.03.2023	2922	145	16	0	0	0
6.HAFTA 13.03.2023-19.03.2023	2834	106	15	0	0	0
7.HAFTA 20.03.2023-26.03.2023	2294	93	11	1	0	0
8.HAFTA 27.03.2023-02.04.2023	2150	87	9	0	0	0
9.HAFTA 03.04.2023-09.04.2023	1856	57	5	0	0	0
10.HAFTA 10.04.2023-16.04.2023	1767	50	6	0	0	0
11.HAFTA 17.04.2023-23.04.2023	1706	40	1	0	0	0
12.HAFTA 24.04.2023-30.04.2023	1597	61	8	0	0	0
13.HAFTA 01.05.2023-07.05.2023	1575	40	6	1	0	0
14.HAFTA 08.05.2023-14.05.2023	1260	43	8	0	0	0
15.HAFTA 15.05.2023-21.05.2023	1247	45	3	0	0	0
16.HAFTA 22.05.2023-28.05.2023	1153	47	5	0	0	0

Kaynak: deprem.afad.gov.tr Enlem:36-42, Boylam: 26-45 Enlem:34.008-39.294, Boylam: 32.475-42.022

Şekil 19. Depremlerin ardından Türkiye genelinde ve deprem bölgelerinde meydana gelen artçı şokların büyüklüklerine göre dağılımı.

Figure 19. Distribution of aftershocks in Turkey overall and in earthquake-prone regions based on their magnitudes (deprem.afad.gov.tr).

Tablo 1. 6 Şubat depremleri sonrasında ilk 4 aylık süre içerisinde bölgede meydana gelen artçı deprem sayıları.

Table 1. Number of aftershocks occurring in the region during the first 4 months following the February 6th earthquakes.

	2-2.9	3-3.9	4-4.9	5-5.9	6-6.9	7-7.9	Artçı sayıları
İlk aydaki artçı sayısı	12356	2206	496	45	4	2	15109
İkinci aydaki artçılar	10200	431	51	1	0	0	10683
Üçüncü aydaki artçılar	6926	208	20	0	0	0	7154
Dördüncü aydaki artçılar	5235	175	22	1	0	0	5433
							38379

Adana bölgesi, depremlerin daha yoğun yaşandığı bölgelere göre daha küçük ölçekte depremleri ve artçılarını yaşamıştır. Aladağ civarında Adana havzasının kenarlarında önceden mevcut normal fayların uzanımlarına yaklaşık olarak paralel uzanımda küçük ölçekli kırılmalar meydana gelmiştir. Depremler sırasında meydana gelen heyelanlar ve kaya düşmeleri de ciddi kayıplara neden olmuştur. Aladağ'ın kuzey-kuzeydoğu kesimlerinde Küp bölgesi, Ergenuşağı civarlarında meydana gelen 4 büyüklüğü üzerindeki depremler de okyanus kabuğu kayaların kıtasal kabuk üzerine bindirdiği pasif konumda bulunan levha sınırlarında oluşmuştur.

İncelememize konu olan Çukurova bölgesinde yukarıda belirtilen çok sayıdaki aktif faylar bölgemizde her an depremlerin yaşanmasına maalesef zemin oluşturabilmektedir. Bu nedenle, depremle yaşamaya her an hazırlıklı olmalıyız ve yöresel olarak belirli büyüklükte deprem olacakmış gibi yaşayacağımız yapı tasarımlarının deprem yönetmeliğinde belirtilen standartlara uygun tarzda ve özellikle fay zonlarından mümkün ölçüde uzakta deprem dirençli olarak inşa edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, gelecek zamanlarda yine birtakım büyük depremler yaşayacağımız gerçeğinden hareketle afet yönetimine yönelik mevzuat, toplumsal

bilinçlendirme, kurumsallaşma politikaları, teknolojik uygulamalar vb gibi çalışmaların yapılması ülkemizde depremi yaşamadan yaşam alanlarımızı afetlere karşı daha hazır ve dayanıklı hale getirecektir.

6 Şubat 2023 depremlerinden etkilenen 11 ilden biri olan Adana’da, can kaybı daha çok ilin kuzeyinde meydana gelmiş iken, yapılarda daha fazla hasar ise ilin güneyinde yer alan Seyhan ilçesinde olmuştur. Depremler sonucunda 13 adet çok katlı bina yıkılmış ve 480 can kaybı yaşanmıştır. Depremlerde yıkılan ve ağır hasarlı olarak belirlenen binaların lokasyonları incelendiğinde genelde Çukurova bölgesinin güneyinde Barış Manço Bulvarı, kuzeyde Süleyman Demirel Bulvarı, doğuda Turgut Özal-Kenan Evren Bulvarı kavşağı ile batıda Öğretmenler Bulvarı arasında dağılım göstermektedir. Bu bölgenin doğu kesiminde jeolojik olarak, iyi-çok iyi çimentolu çakıltaşlarından oluşan Pliyo-Kuvaterner yaşlı Seyhan nehrinin eski nehir taraçaları bulunmakta olup, birim batıya doğru incelmekte ve üst seviyeleri yer yer kalıçileşmiş (ikincil kireçtaşı) ve daha çok kilaşlarından oluşan Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı Handere Formasyonu’na geçmektedir. Bölgede yapılan zemin etüd çalışmalarında söz konusu birimlerde taşıma gücü ve oturma sorunu ile karşılaşılmamıştır. Sadece, Handere Formasyonu’nun Seyhan Baraj gölüne bakan eğimli yamaçlarının bazı yerlerinde stabilite sorunları yaşanabilmektedir. Yıkımların yoğun olarak yaşandığı bölgede 1970 yılları öncesinde yaklaşık olarak K-G uzanımlı kuru-akar derelerin varlığı bilinmektedir. Ancak, günümüzde bu derelerin bulunduğu alanlar doldurularak bölge tamamen düzlük alanlar haline getirilmiş, muhtemel olarak bazı binalar, üzerleri doldurulmuş dere yatakları üzerinde inşa edilmiştir. Yıkılan binaların mühendislik projelerinin, yapı malzemelerinin kalite ve yeterlilik kontrolünün yanı sıra bu binaların konumlarının üzeri doldurulmuş alanların neresinde yer aldığına da sondajlarla desteklenen mikrobölgeleme çalışmaları ile belirlenmesi önem arz etmektedir.

Ülkemizde daha önceden meydana gelmiş olan depremlerle kaybedilen yaşamlar ve ciddi boyuttaki maddi hasarlar maalesef kısa bir zaman süresi içinde unutulmaktadır. Son yıllarda yaşadığımız depremlerin ciddi kayıpları ve acıları da daha öncekiler gibi unutmamalıdır. Şunu da tekrar hatırlatmakta yarar var; “depremler öldürmez, binalar ve yanlış yer seçimi öldürür”. Bu nedenle, yer kabuğu üzerinde bulunan yerleşim yerlerinin tespiti ve uygun-sağlam zeminlerin belirlenebilmesi için, üzerine bina inşa edilecek zeminin jeolojik özelliğinin belirlenmesi hayati

öneme sahiptir. Bu açıdan bölgemizde özellikle kalın bir alüvyon çökelinin olduğu ve yeraltı su seviyesi ile ilgili olarak sıvılaşma riskinin yüksek olduğu bölgelerde yapılaşmanın çok daha dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Yapılacak planlamada alınacak önlemler ve yapıların taşıma hesapları ve tasarımları belirlenirken yakındaki aktif fay hatlarının türleri, deprem potansiyelleri, geometrik karakteristikleri ve uzanımları da göz önünde bulundurulmalıdır. Çukurova ve yakın civarında belirtilen bu aktif fay zonları nedeniyle gelecekte de bölgemizde bugün yaşamış olduğumuz depremleri maalesef yaşayacağız.

6. TEŞEKKÜR

Deprem süreci içerisinde arazi çalışmalarımıza katkı veren Çukurova Üniversitesi Rektörlüğüne ve çalışmalarımız sırasında çevrimiçi kataloglardan deprem kayıtlarının derlenmesi ile ilgili yapmış olduğu katkılardan dolayı Bölümümüz lisans öğrencisi Heyyam TANI'ye teşekkür ederiz.

7. KAYNAKLAR

- Barka, A.A. ve Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-Slip Fault Geometry in Turkey and Its Influence on Earthquake Activity. *Tectonics*, (7), 3, 663-684.
- Demirtaş, R., 2019. Türkiye diri fayları, deprem etkinlikleri, paleosismolojik çalışmalar ve gelecek deprem potansiyelleri, 303 s.
- Doyuran, V., Gülkan, P. and Koçyiğit, A., 1989. Seismotectonic evaluation of the Akkuyu Nuclear Power plant site. *Geology Geophysics research center, Middle East Technical University, Ankara*, 69.
- Duman, T. Y., Emre, Ö., 2013. The East Anatolian Fault: Geometry, Segmentation and Jog Characteristics, *Geological Society, Special Publication*, 372:495-529, London.
- Erdağ, D.Ş., 2007. Ecemiş Fay Zonu'nun Yahyalı (kayseri)-pozantı (Adana) Arasında Kalan Kesimin Morfotektoniği Ve Paleosismik Aktivitesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 186 s.

- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F., 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası, MTA Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara- Türkiye.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., & Çan, T., 2016. Active fault database of Turkey. Bulletin of Earthquake Engineering, 1-47. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0041-2>
- Esat, K., Seyitoğlu, G., 2023. 6.2.2023 Kahramanmaraş depremleri ön inceleme raporu. Ankara.
- Hempton, M. R., Dewey, J. F., Şaroğlu, F., 1981, The East Anatolian Transform Fault: along strike variations in geometry and behaviour, EOS Transac, American Geophysical Union, EOS 62, 393.
- Herece, E., 2008. Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası. General Directorate of Mineral Research and Exploration. Special Publications, Ankara, Serial Number, 13, 359.
- Kara, M., Ünlügenç, U.C., Elmacı, H., Duman, T.Y., 2020. Yumurtalık Fayı'nın Holosen Aktivitesinin Araştırılması (Ceyhan-Adana). Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 35 (1), ss. 183-193, Adana.
- Menekşe, A., 2016. Probabilistic Seismic Hazard Assessment For East Anatolian Fault Zone Using Planar Source Models, M.Sc Thesis, Natural and Applied Sciences of METU, 132s.
- Muehlberger, R. W. ve Gordon, M. B., 1987, Observations on the complexity of the East Anatolian Fault, Turkey. Journal of Structural Geol., vol. 9, no. 7, pp. 899-903.
- Över S, Ünlügenç U.C., 1998. Seismotectonic Evidence of the Antioch Triple Junction and Resent Temporal Change in Quaternary to Present-day Stress State Along Hatay Region (SE-Turkey), Third International Geology Symposium, Proceeding Book, p. 98, Ankara.
- Pampal, S., 1984. Kadirli-Kozan-Feke (Adana) Bölgesinin Stratigrafisi ve Tektonik Özellikleri, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Konya.
- Perinçek, D. and Çemen, İ., 1990, The structural relationship between the East Anatolian and Dead Sea fault zones in southeastern Turkey. Tectonophysics, 172, 331-340.
- Perinçek, D., Günay, Y. and Kozlu, H., 1987. Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesindeki yanal atımlı faylar ile ilgili yeni gözlemler. Türkiye 7. Petrol Kongresi Bildirileri, 89-103.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolcak, D., Altinok Y., 1981. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel deprem Kataloğu. TUBITAK, Proje no. TBAG 341, İstanbul, 86 pp.

- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Boray, A. 1987. Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri, Institute of Mineral Research and Exploration Report, 8174.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ., 1992. The East Anatolian Fault Zone of Turkey, *Annales Tectonicae*, 6:99-125.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981. Tethyan Evolution Of Turkey: A Plate Tectonic Approach, *Tectonophysics*, 75, 181-241.
- Ünlügenç, U.C., 1993. Controls on Cenozoic sedimentation in the Adana Basin, Southern Turkey (Ph.D. Thesis), Keele University, UK. Two Volumes, Volume 2, figures, logs and maps. pp. 229.
- Ünlügenç, U.C., Akıncı, A.C., Güneyli, H., 2011. Çukurova Basen Kompleksinin Tektonik Elementleri, ATAG 15, 19-22 Ekim 2011, s 6., Adana.
- Ünlügenç, U. C., Akıncı, A. C., 2017. Kızıldere- Güveloğlu (Ceyhan- Adana) Civarının Tektono-Stratigrafisi, *Çukurova Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 32(2):85-99, Adana.
- Ünlügenç, U.C., and Akıncı, A.C., 2018. Geodynamical Evolution of the Misis Structural High, Ceyhan (Adana), Southern Turkey. 9th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Antalya/Turkey. 7–11 May 2018, Cilt 1, ss. 374-379, Antalya, Turkey.
- Ünlügenç, U.C., Akıncı, A.C., 2019. Çukurova Bölgesinde Deprem Üreten (Aktif) Fayların Geometrilерinin Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Bireysel Araştırma Projesi Proje No: FBA-2017-8064.
- Ünlügenç, U.C., Akyıldız, M., ve Akıncı, A.C., 2021. Anavarza Antik Kenti (Adana-Osmaniye) Civarının Jeolojisi ve Depremselliği Hakkında Genel Bilgiler. *Anazarbos ve Anavarza Kitap bölümü*, Cilt 1, 31-48 Aralık, 2021, ISBN:978-625-8430-28-8.
- Westaway, R., 1994, Present-day kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean, *J. Geophys. Res.*, vol. 99, no. B6, p. 12,071-12,090.
- Westaway, R. 2004. Kinematic Consistency between the Dead Sea Fault Zone and The Neogene and Quaternary Left-Lateral Faulting in SE Turkey. *Tectonophysics*, 391, 203–237.
- Williams, G. D., Ünlügenç, U. C., Kelling, G., Demirkol, C., 1995. Tectonic Controls on Stratigraphic Evolution of The Adana Basin, Turkey, *Journal of the Geological Society*, 152:873-882, London.

- Yavuzoğlu, A., Özalp, S., Elmacı, H., Kara, M., Yurtseven, E., Duman, T.Y., 2016. Karataş fault: a paleoseismological glance to the Neotectonics of İskenderun bay. Abstracts Geological Congress of Turkey 69, April 11-15, p 469.
- Yürür, M.T., Chorowicz, J., 1998. Recent Volcanism, Tectonics and Plate Kinematics Near The Junction of The African, Arabian and Anatolian Plates in The Eastern Mediterranean, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85:1-15.
- AFAD, T.C., Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, İnternet sitesi, <https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu>.
- EMSC, The European-Mediterranean Seismological Centre İnternet sitesi, <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/seismologist.php>.



Mineralogical research using hyperspectral Hyperion data in the vicinity of the Turkish Antarctic Research Station

Türk Antarktika Araştırma İstasyonu çevresinde hiperspektral Hyperion verileri kullanılarak mineralojik araştırma

MEHMET ALİ AKGÜL^{1*} Orcid: 0000-0002-5517-9576

SUPHİ URAL² Orcid: 0000-0003-4865-011X

¹Geographic Information Systems Section, Department of Information Technologies, 6Th Regional Directorate, General Directorate of State Hydraulic Works, Adana, Turkey

²Department of Mining Engineering, Çukurova University, 01330, Adana, Turkey

Geliş: 15.05.2023

Kabul: 31.05.2023

ABSTRACT

Antarctica has a unique nature, unspoiled by the fact that it is almost completely covered by ice and there are no human community to influence it. The communities near Chile's southernmost tip, which is around 1200 km away, are the closest to the continent and include research stations belonging to various countries, including Türkiye. Because the stations are so remote from civilization, they must meet the needs of research stations on the mainland, which forces them to operate temporarily or with limited capability. The goal of this research was to explore the mineralogical structure around the Turkish Antarctic Research Station (TARS) in order to meet the station's demands, even if only partially. It is anticipated that these minerals can be exploited in this highly protected region, particularly in wastewater treatment systems for filtration or drinking water filtration, as well as for agricultural purposes to be carried out in unique conditions. Cloudiness, which is the largest weakness of optical satellites, as well as snow-covered regions that prohibit the ground from being seen, were considered in the archive scanning of this satellite, and the image dated 09.01.2020 was determined to be the best suited image. Jenny Island, the nearest land piece to the west, with a distance of 50 km to Horseshoe Island, where the TARS is located, was chosen as the research area among the land parts inside the Hyperion image. ENVI software was used for radiometric and atmospheric corrections of the Hyperion data used in the study. Mineral research was conducted using the Hyperspectral Material Identification (HMI) tool in the Tactical Hyperspectral Operations Resource (THOR) module of the same program. The USGS mineral database was used in the THOR HMI study

and the minerals with the best match were selected using the Adaptive Coherence Estimator (ACE) technique. As major minerals, corundum, diaspore, and montmorillonite minerals were detected in the coastal areas north of Jenny Island, albite-plagioclase and microcline-feldspar minerals gave anomalies in the rocky region of the island. Goethite (α -FeO(OH)), hematite (Fe_2O_3), ferrihydrite ($(\text{Fe}^{3+})_2\text{O}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$), lepidocrosite (γ -FeO(OH)), limonite ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$), rutile (TiO_2) and cuprite (Cu_2O) minerals were detected in low concentrations.

Keywords: Hyperspectral Remote Sensing, Mineralogy, Jenny Island, Antarctic Peninsula

^{1*}Geographic Information Systems Section, Department of Information Technologies, 6th Regional Directorate, General Directorate of State Hydraulic Works, Adana, Turkey, mali.akgul@dsi.gov.tr

ÖZ

Antarktika, neredeyse tamamen buzla kaplı olması ve onu etkileyecek hiçbir insan topluluğunun olmaması nedeniyle bozulmamış, eşsiz bir doğaya sahiptir. Türkiye'nin de aralarında bulunduğu çeşitli ülkelere ait araştırma istasyonları, Şili'nin en güney ucundaki yerleşimlerden yaklaşık 1200 km uzaklıkta yer almaktadır. İstasyonların yerleşim yerlerinden uzak olmasından dolayı ihtiyaçlarının anakaradan karşılanması gerekmekte olup bu durum istasyonları geçici veya sınırlı kapasiteyle çalışmaya zorlamaktadır. Bu araştırmanın amacı, Türkiye Antarktika Araştırma İstasyonunun (TARS) ihtiyaçlarını kısmen de olsa karşılayabilmek için istasyon çevresindeki mineralojik yapının incelenmesidir. Bu minerallerin yüksek derecede korunan bu bölgede, özellikle atık su arıtma sistemlerinin veya içme suyunun filtrasyonu için kullanılmasının yanı sıra, özel koşullarda gerçekleştirilecek tarımsal amaçlar için de değerlendirilebileceği öngörülmektedir. Uzaktan algılama ile yapılacak mineralojik çalışmalarda kullanılacak Hyperion uydusunun arşiv taramasında optik uyduların en büyük zayıflığı olan bulutluluk ve zeminin görülmesini engelleyen karla kaplı bölgeler dikkate alınmış ve 09.01.2020 tarihli görüntünün en uygun olduğu görülmüştür. Araştırma için uygun bulunan Hyperion görüntüsü içindeki kara parçalarından TARS'ın bulunduğu Horseshoe Adası'nın 50 km batısındaki en yakın kara parçası olan Jenny Adası seçilmiştir. Çalışmada kullanılan Hyperion verilerinin radyometrik ve atmosferik düzeltmeleri için ENVI yazılımı kullanılmıştır. Aynı programın THOR (Tactical Hyperspectral Operations Resource) modülünde yer alan HMI (Hyperspectral Material Identification) aracı kullanılarak mineral araştırması yapılmıştır. THOR HMI analizinde USGS mineral veri tabanı kullanılmış ve en iyi eşleşen mineraller ACE (Adaptive Coherence Estimator) tekniği kullanılarak seçilmiştir. Başlıca mineraller olarak, Jenny Adası'nın kuzeyindeki kıyı kesimlerinde Korindon, Diaspor ve Montmorillonit mineralleri belirlenirken, adanın kayalık bölgesinde Albit-plajiyoklaz ve Mikroklin-feldispat mineralleri anomaliler vermektedir. Götit (α -FeO(OH)), Hematit (Fe_2O_3), Ferrihidrit ($(\text{Fe}^{3+})_2\text{O}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$), Lepidokrosit (γ -FeO(OH)), Limonit ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$), Rutil (TiO_2) ve Kuprit (Cu_2O) minerallerinin de düşük konsantrasyonlarda bulunduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Hiperspektral Uzaktan Algılama, Mineraloji, Jenny Adası, Antarktika Yarımadası*

INTRODUCTION

Discovered in 1820, Antarctica, differs from other continents because it is almost entirely covered with ice. Due to its untouched nature and the absence of a living society, our planet is a kind of memory. The closest settlements to the continent, which have research stations belonging to many countries, including Türkiye, are the settlements at the southernmost point of Chile, which is approximately 1200 km away. Being so far from civilization necessitates meeting the needs of research stations from the mainland, which causes the stations to operate temporarily or with minimal capability.

Edwards et al. (2004) reported detailed FT-Raman spectra studies of Beacon sandstone colonies in Antarctica, but characteristic orange-yellow surface color, cyanobacterial modification with hematite, goethite transformed from α -Fe₂O₃, α -FeOOH, attributed to the presence of iron (III) oxide hydroxide. Furthermore, due to their research, they concluded that the presence of iron oxide was compatible with distant spectroscopic-sensing investigations for Mars surface exploration.

Kelly et al. (2004) investigated the westernmost Oygarden Group islands of the Proterozoic Rayner Complex in Kemp Land, east of Antarctica. According to their findings, there were convincing evidence of the stable coexistence of high Mg-Al, silica-unsaturated metapelites, and orthopyroxene-corundum assemblages in natural rocks in this group of islands. They also discovered that orthopyroxene, corundum, sapphire, sillimanite, cordierite, garnet and kornupine assemblages formed along a previously existent compositional zoning, resulting in different mineral Fe-Mg ratios.

In their study at the Artigas Antarctic Scientific Base on King George Island's Fildes Peninsula, Chacon et al. (2013) studied whether soil phosphorus cycle patterns alter between the glacial border and ice-free regions. They discovered that soil samples from the ice-free area had the highest amounts of iron/aluminum oxyhydroxides as well as the existence of secondary minerals such as hematite and the intergrade chlorite-vermiculite-montmorillonite.

Siqueira et al. (2023) attempted to create a new soil texture map for Antarctica by calculating the distribution of sand, silt, and clay in the ice-free major regions of Maritime Antarctica and the North Antarctic Peninsula. They examined multiple machine learning models using ancient soil texture data in their study and concluded that the random forest model produced the best results. They discovered that the maps they created had high spatial consistency, with soil texture dispersed according to parameters such as geomorphologies, parent material, and pedogenetic development.

The aim of this study was to examine the mineralogical structure around the Turkish Antarctic Research Station (TARS) so that the needs of the station may be met by themselves, even if partially. In this sensitively protected area, it was thought that these minerals could be used especially in wastewater treatment systems for filtration or drinking water filtration, as well as for agricultural purposes to be carried out in special environments.

MATERIAL AND METHOD

Study Area

As the study area, Jenny Island, which is the closest land piece to the west, with a distance of 50 km to Horseshoe Island, where the TARS is located, was chosen among the land parts within the Hyperion image (Figure 1).

The Island of Jenny, with the Island of Adelaide to the east, Leonie and Anchorage to the north, and Pourquoi Pas Island to the east, have altitudes of 298 and 569 m on the two highest peaks (Figure 2).

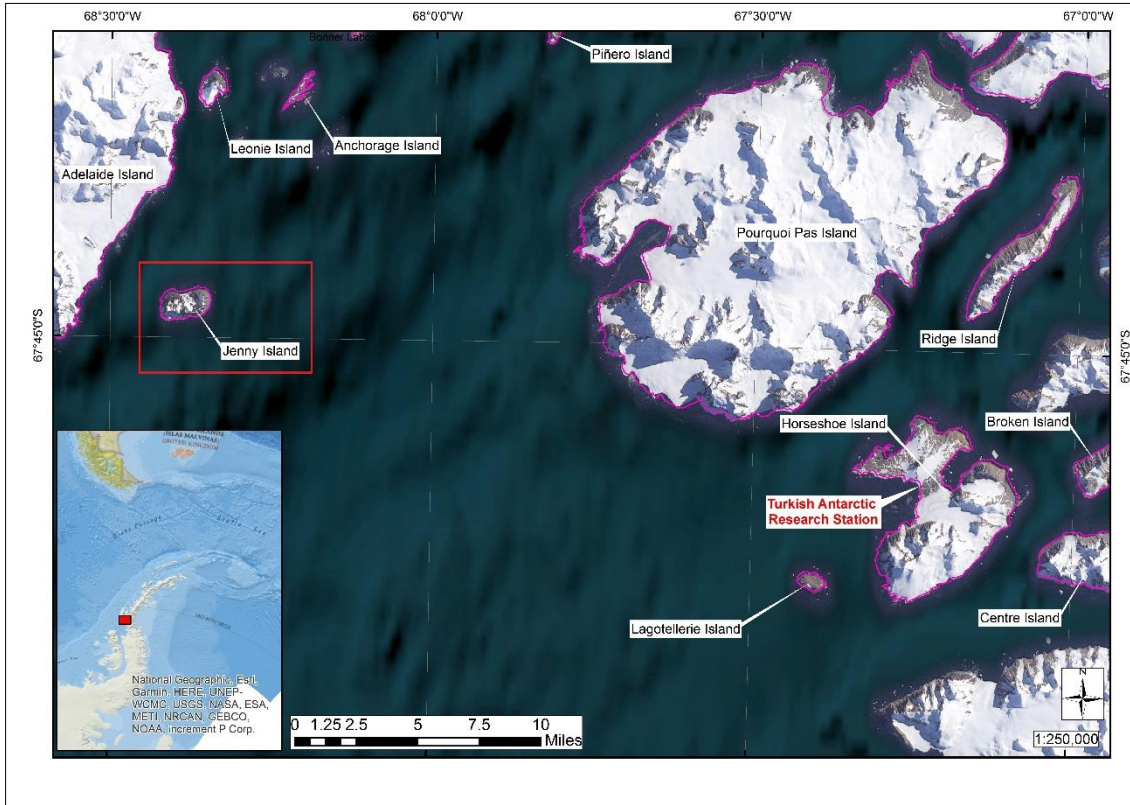


Figure 1. Study area.

Adelaide Island Intrusive Suite: Typically, granodiorite - gabbro hybrid plutons outcrop widely on the Wright Peninsula and the Mount Gaudry-Mount Mangin regions. Pluton compositions become increasingly silicic further north, with quartz monzonite and tonalite becoming more abundant. An emplacement age in the range, of 45 - 52 Ma, is favored (Pankhurst, 1982; Griffiths and Oglethorpe, 1998; Riley et al., 2012). Associated with the relatively minor dolerite intrusion. D-diorite; G-granite; Ga-gabbro; Gd-granodiorite; QD-quartz diorite; QM-quartz monzonite; To-tonalite (Figure 3). The mount Liotard Formation: up to 1800 m of basaltic andesite lavas, hyaloclastites, and breccias. Interbedded sedimentary rocks are rare or typically absent. The main areas of the outcrop are the Mount Liotard area, the Carvajal area, and Jenny Island. Probable correlation of the Bond Nunatak Formation. An age in the range of 75 - 65 Ma is likely and supported by Tertiary-age plant fossils from Cape Alexandra (Jefferson, 1980).

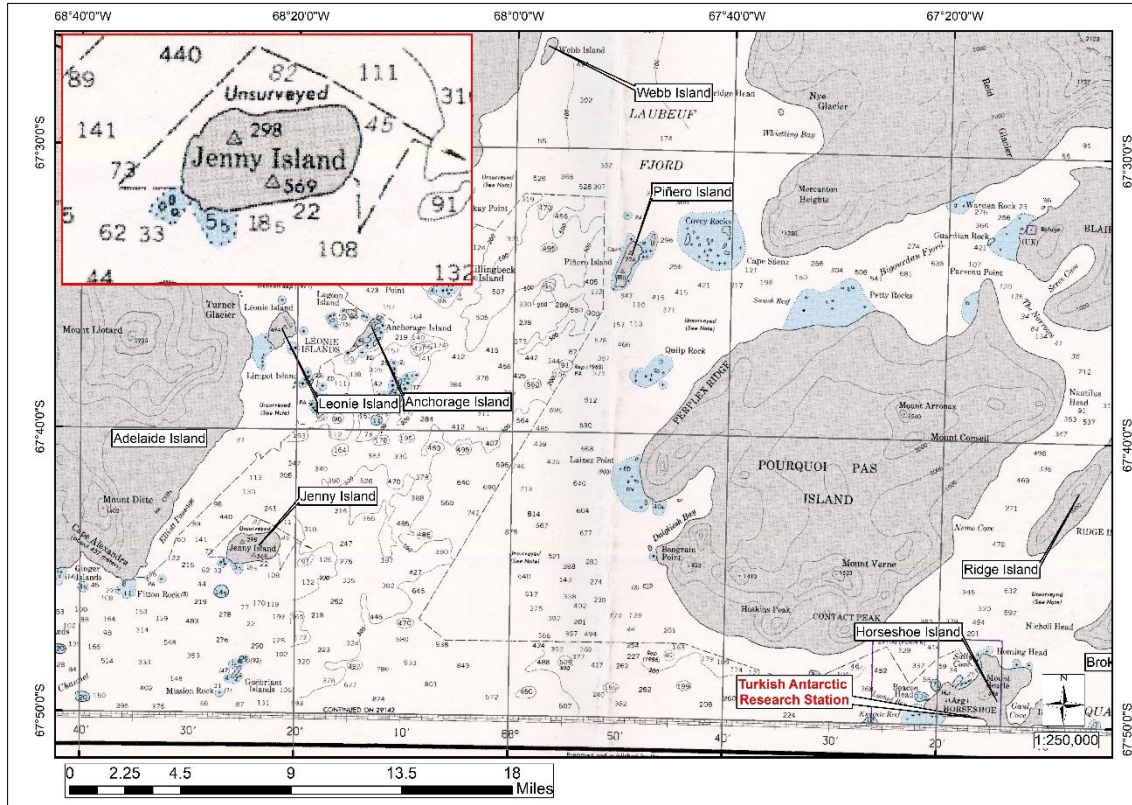


Figure 2. Hydrographic map (NGA, 1988).

According to Bastias et al. (2019), the deposition of Adelaide Island, which is located to the west of Jenny Island, documented the shift from deep sea sediment during the Late Jurassic period to shallower sediments and volcanic activity throughout the Cretaceous period (Figure 4).

Material

The Earth Observing Mission-1 (EO-1) satellite, launched by the United States from Vandenberg Air Force Base on November 21, 2000, using a Delta II rocket, is the first spacecraft of the American New Millennium Program (NMP) (NASA, 2023). The EO-1 satellite has three instruments: the hyperspectral Hyperion instrument, which we employed in this work, the multispectral Advanced Land Imager (ALI) instrument, and the LEISA Atmospheric Corrector (LAC) instrument. The Hyperion instrument has a spatial resolution of 30 m and can detect 220 spectral bands ranging from 0.4 to 2.5 μm . The ALI instrument is a multispectral sensor with the same spatial resolution as the Hyperion and can detect 10 spectral bands ranging from 0.4 to 2.4 μm . The LAC instrument covers the 0.89-1.6 μm wavelength IR band by means of a

wedged etalon filter and three arrays of In-Ga detectors, each array covering a spatial resolution of 250 m (Barry, 2001).

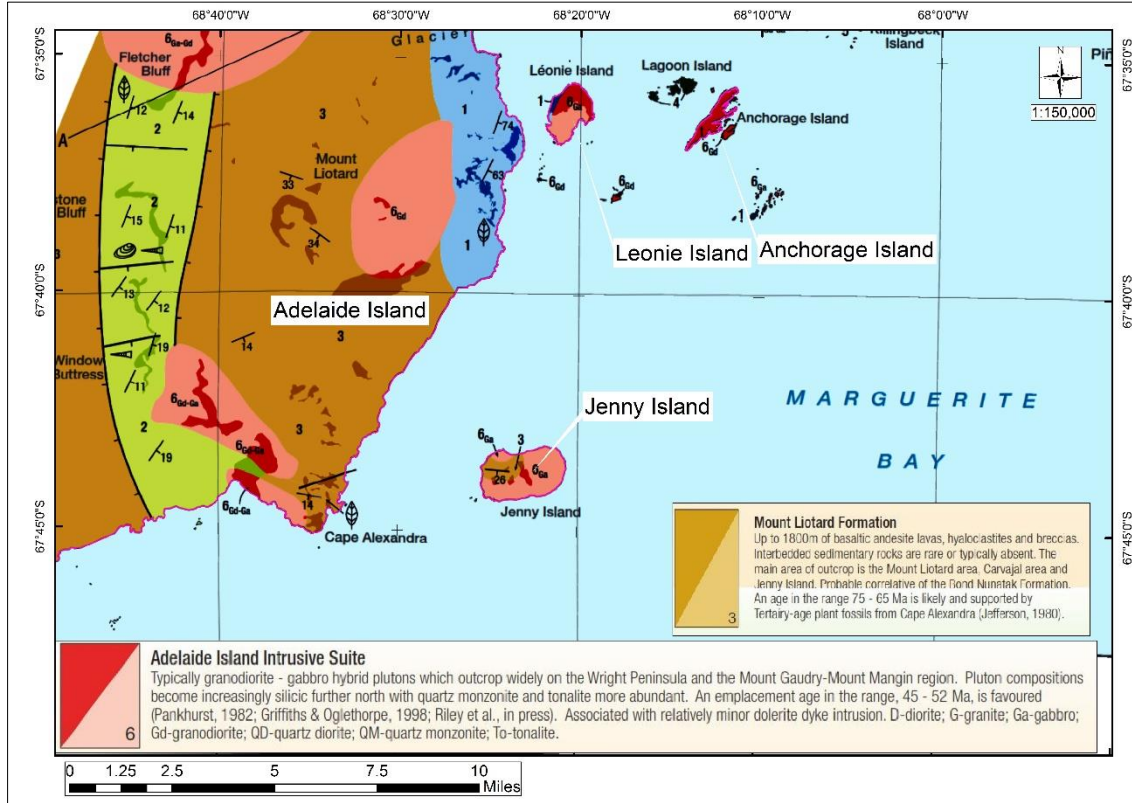


Figure 3. Study area geological map (Riley et al., 2011).

There are 220 unique spectral channels captured, with a total spectrum spans from 357 to 2576 nm. The Level 1 Radiometric product includes 242 bands in total, however only 198 of them are calibrated. There are only 196 unique channels due to the overlap between the VNIR and SWIR focal planes. Calibrated channels for the VNIR are 8-57 and 77-224 for the SWIR. The lack of calibration of all 242 channels is mostly due to the detectors' poor sensitivity. In certain channels, the uncalibrated bands are set to zero (Beck, 2003). The features of the Hyperion data used in the study are given in Table 1, and the footprint of the satellite is shown in Figure 5.

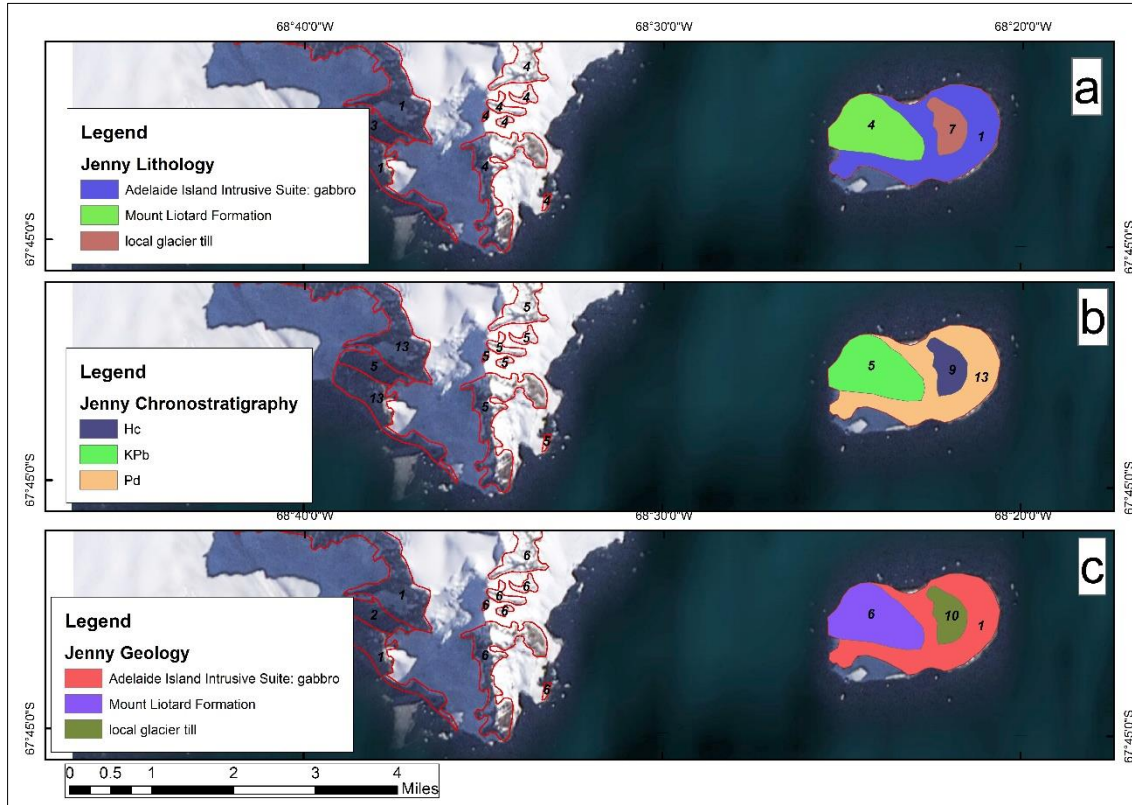


Figure 4. Jenny Island lithology, chronostratigraphy, and geology map (Bastias et al., 2019).

Table 1. Hyperion instrument specifications (Beck, 2003).

Instrument	Specifications	Instrument	Number Of Bands
Spectral Range	0.4-2.5 μm	Visible Bands	35
Spatial Resolution	30 m	Near Infrared Bands	35
Swath Width	7.5 km	Short Wave Infrared	172
Spectral Coverage	Continuous	Panchromatic Bands	0
Pan Band Resolution	N/A	Middle Infrared Bands	0
Stereo	no	Thermal Band	0
Number of Spacecraft	1	Total Bands	220
Temporal Resolution	200 days		

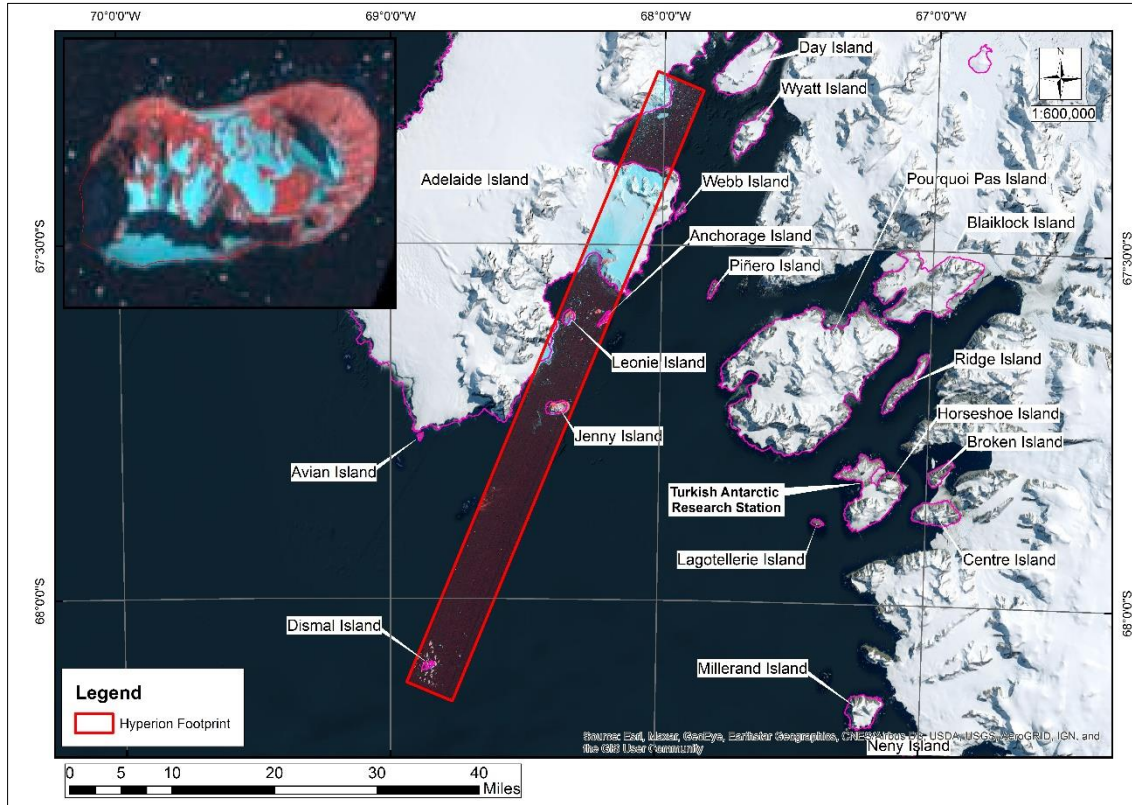


Figure 5. Hyperion image footprint.

Hyperion data are processed at three different levels: L1R, L1Gst, and L1T. While radiometric corrections of the images were made at the L1R level, in addition to the L1R level at the L1Gst level, a 90 m precision Digital Elevation Model (DEM) was used for topographic accuracy and systematic geometric corrections obtained from the spacecraft ephemeris data were applied. At the L1T level, in addition to the L1Gst level, radiometric and systematic geometric corrections including ground control points were applied for geodetic accuracy (Simon et al., 2006; USGS, 2021). In this study, since only the L1R and L1Gst levels of the study area are available, L1Gst data, which has increased topographic accuracy by using DEM data, was used in addition to the L1R level data. Hyperion data were obtained from <https://earthexplorer.usgs.gov/>, and the name and date of the image was given in Table 2.

Table 2. The name of Hyperion image and date, used in the study.

Image Name	Date
EO1H2201072010009110KF_SGS_01	01/09/2010

Method

Environment for Visualizing Images (ENVI) software was used for radiometric and atmospheric corrections of Hyperion data, which can detect at 357 and 2576 nm wavelengths and 30 m resolution in 220 bands used in the study. ENVI is a software with advanced image processing methods that enables extracting meaningful information from many data it supports. In hyperspectral satellites, some bands can produce significant interference, particularly at wavelengths associated with atmospheric absorption and water vapor. These bands must be removed before analysis procedures. In EO-1 Hyperion data, bands 1-7, 58-76, and 221-242 are automatically set to 0 by the data provider (Barry, 2001). Also, as stated by Datt et al., (2003), the 121-126, and 167-180 bands were removed in the pretreatment step due to the strong noise generation corresponding to strong water vapor absorption.

After removing the bad bands, the radiometric corrections required for the use of the image were calculated with the ENVI software, and the Quick Atmospheric Correction (QUAC) module in the same software was used for the atmospheric corrections calculated according to Canty (2014). QUAC is a scene-based empirical method that converts radiance values to apparent surface reflectance. Scene-based means that the atmospheric correction parameters are derived strictly from the pixel spectra within the scene and not from any ancillary data (Bernstein et al., 2005; Bernstein et al., 2012). Mineral analysis from radiometrically and atmospherically corrected images was performed using the Hyperspectral Material Identification (HMI) tool in the Tactical Hyperspectral Operations Resource (THOR) module in the ENVI software. In the THOR HMI analysis, the mineral library belonging to the United States Geological Survey (USGS) was used and the minerals with the best match were determined according to the Adaptive Coherence Estimator (ACE) algorithm. The ACE algorithm is a method that measures whether the spectrum of any mineral in the library is a good match with the spectrum of a selected pixel in the image. The ACE algorithm is used for the mineral that is dense in the pixel.

ACE values range from -1 to 1, with values close to 1 indicating the best match. The research was conducted in accordance with the flow diagram shown in Figure 6.

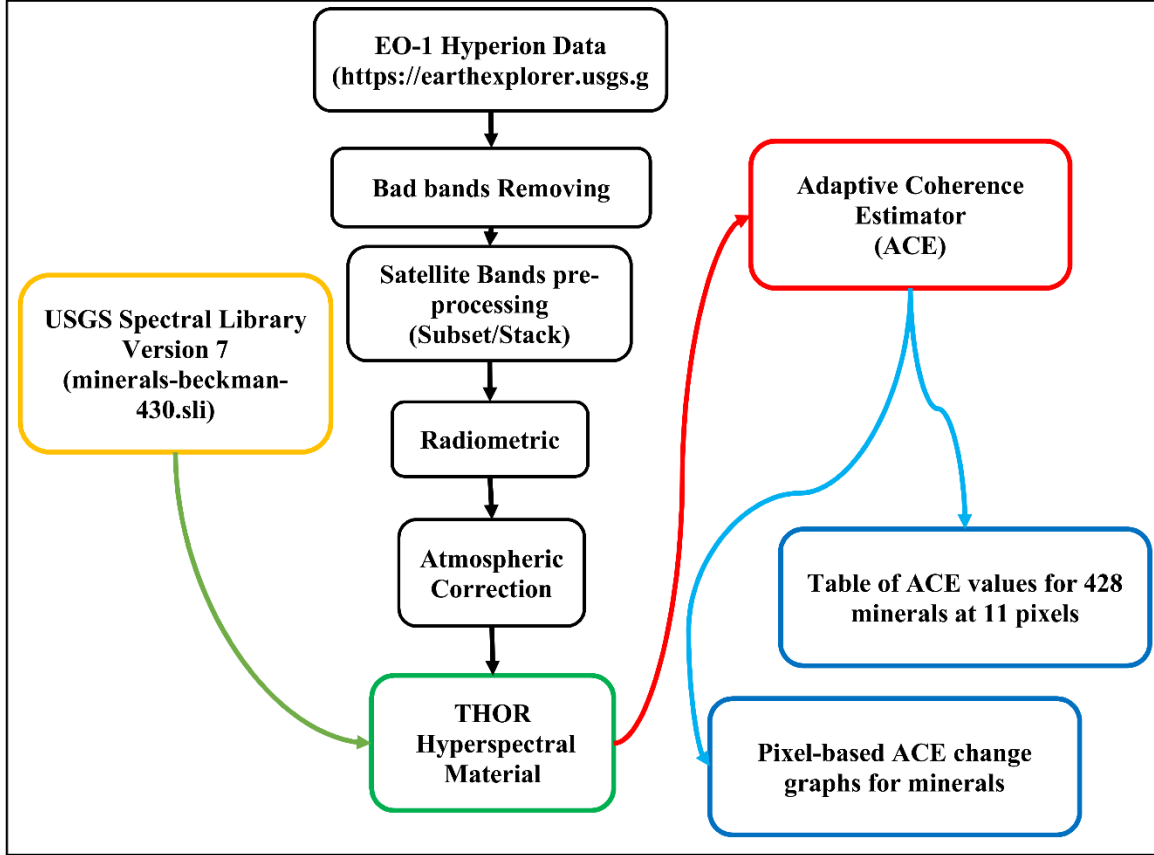


Figure 6. Flowchart of the study.

Pixel-based analysis was performed on the northern slopes of the island where there was no ice cover and rocky, and dirt ground were visibly combined. All of the Hyperion data pixels on this 470 m path from the top of the rock to the sea had been examined, and the total number of pixels is 11. While 7 of these pixels (about 300 m) were on rocky terrain, the remaining 4 pixels (about 170 m) were on sandy land. The map showing the location of the pixels were given in Figure 7.



Figure 7. Map showing the location of pixels.

RESULTS

The pixels to be evaluated were numbered from the top of the rock on the island's north side to the sea. These numbers begin at the peak with 168_62 and terminate at the seashore at 178_52 (Figure 8). These values also specify the pixel coordinates of the image.

After numbering the pixels, the ACE values for each pixel were computed one by one for 428 minerals chosen from the USGS mineral database. The minerals with the highest ACE values in each pixel was listed in Table 3. ACE levels between 0.9 and 1.0 are very acceptable, good between 0.75 and 0.9, poor-appropriate between 0.5-0.75, and inappropriate for values less than 0.5 (L3HARRIS, 2023).

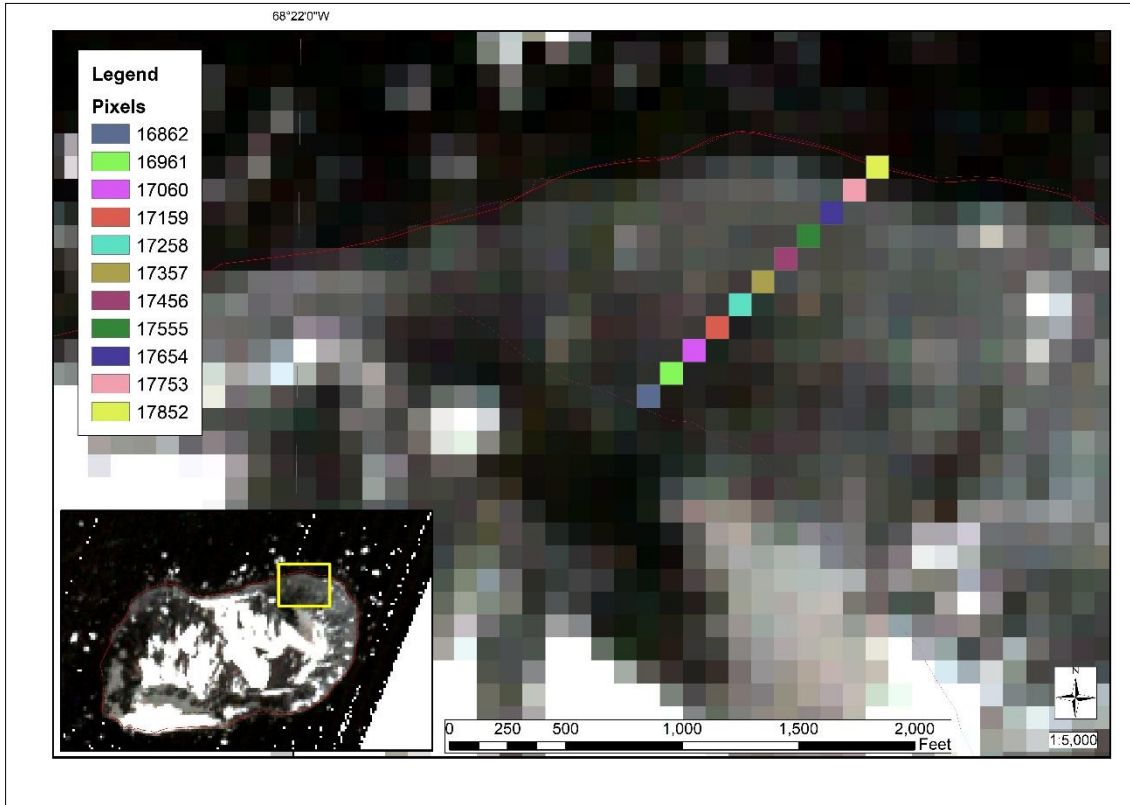


Figure 8. Map showing the location of analyzed Pixels.

Table 3. Results of ACE analysis.

Pixel ID	Signature Name	ACE value	Library Source
168_62	Limonite HS41.3	0.5462	minerals_beckman_430.sli
169_61	Strontianite HS272.3B	0.5265	minerals_beckman_430.sli
170_60	Illite IL101 (2M2)	0.5822	minerals_beckman_430.sli
171_59	Muscovite GDS120 Pegma M.	0.5565	minerals_beckman_430.sli
172_58	Sillimanite HS186.3B	0.5417	minerals_beckman_430.sli
173_57	Strontianite HS272.3B	0.6509	minerals_beckman_430.sli
174_56	Calcite WS272	0.6312	minerals_beckman_430.sli
175_55	Quartz HS117.3B Aventurin	0.5546	minerals_beckman_430.sli
176_54	Corundum HS283.3B	0.6709	minerals_beckman_430.sli

177_53	Quartz HS117.3B Aventurin	0.4144	minerals_beckman_430.sli
178_52	Nontronite NG-1.b <2um fr	0.3700	minerals_beckman_430.sli

The location of the analyzed pixels on the geological map was located in the Adelaide Island Intrusive Suite: gabbro unit (Figure 9).

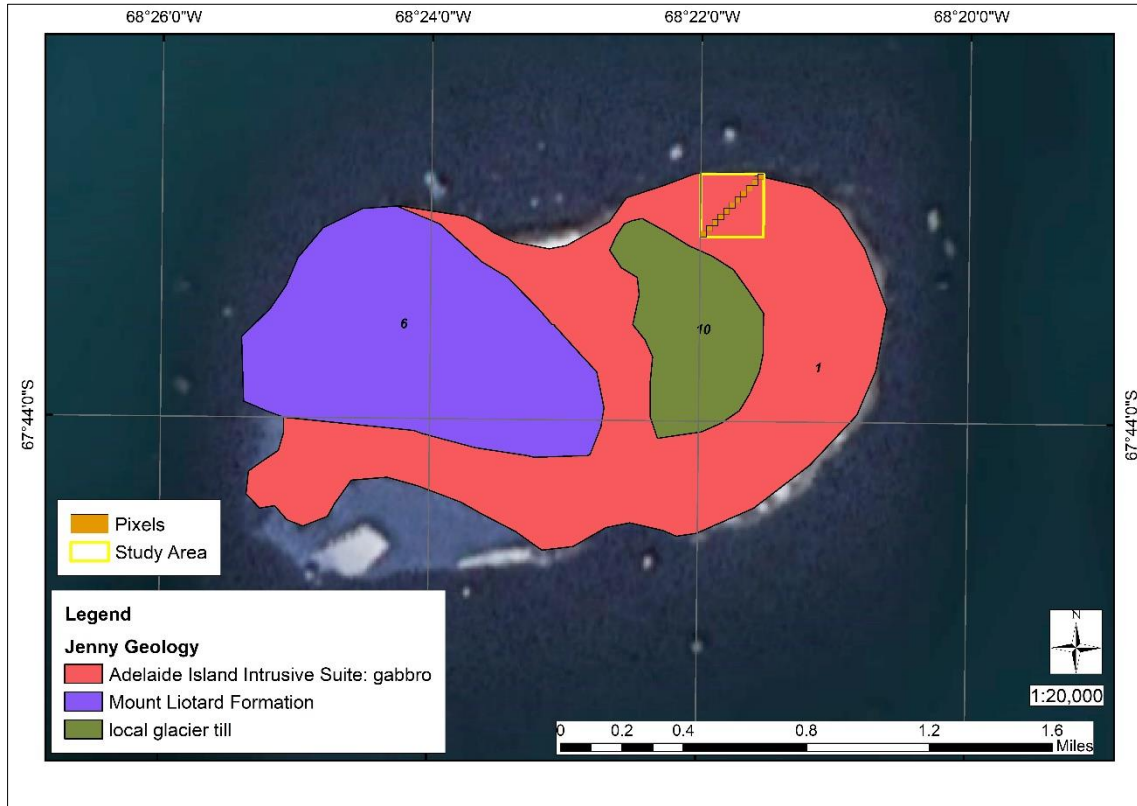


Figure 9. The location of the analyzed pixels on the geological map.

Figure 10 depicted the graph of the change obtained by calculating pixel-based ACE values for corundum and diaspor minerals. Although the ACE values in the two minerals were almost the same in the rocky land, the graph showed that it rised in the region of 85 m from the rocky region and then progressively falled toward the sea shore.

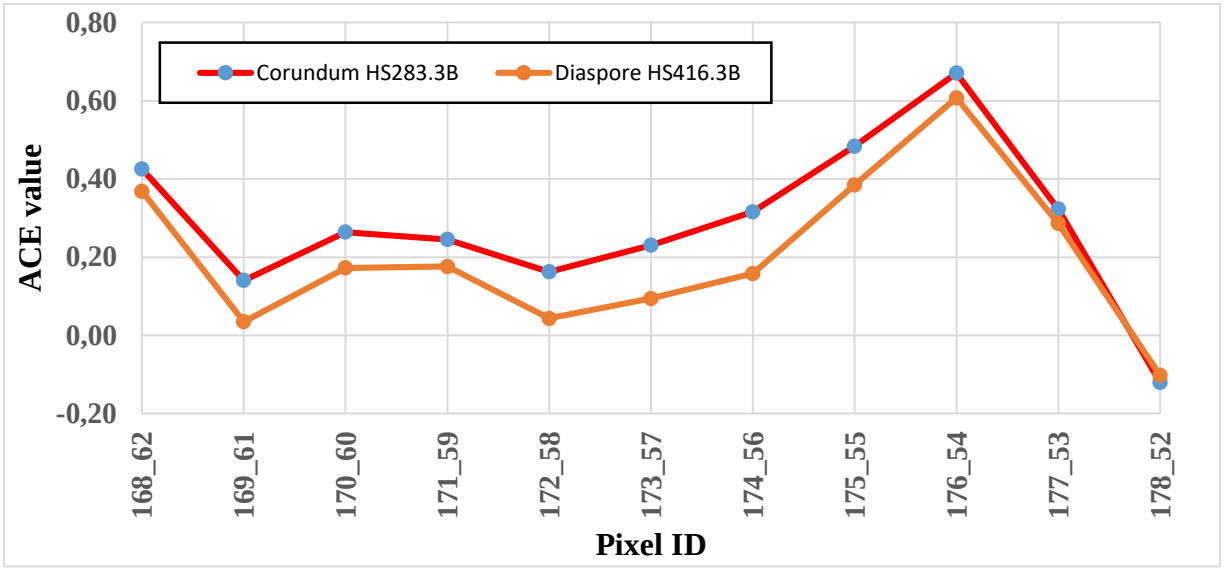


Figure 10. The graph of the pixel values of the corundum and diaspore minerals.

The pixel-based ACE change graph created for montmorillonite minerals was given in Figure 11. The ACE values of the montmorillonite minerals were the same as those of the corundum and diaspore minerals in the rocky zone, and then taken about the same values up to 85 m from the shore. The last two pixels approaching the coast were found to have a sharp reduction.

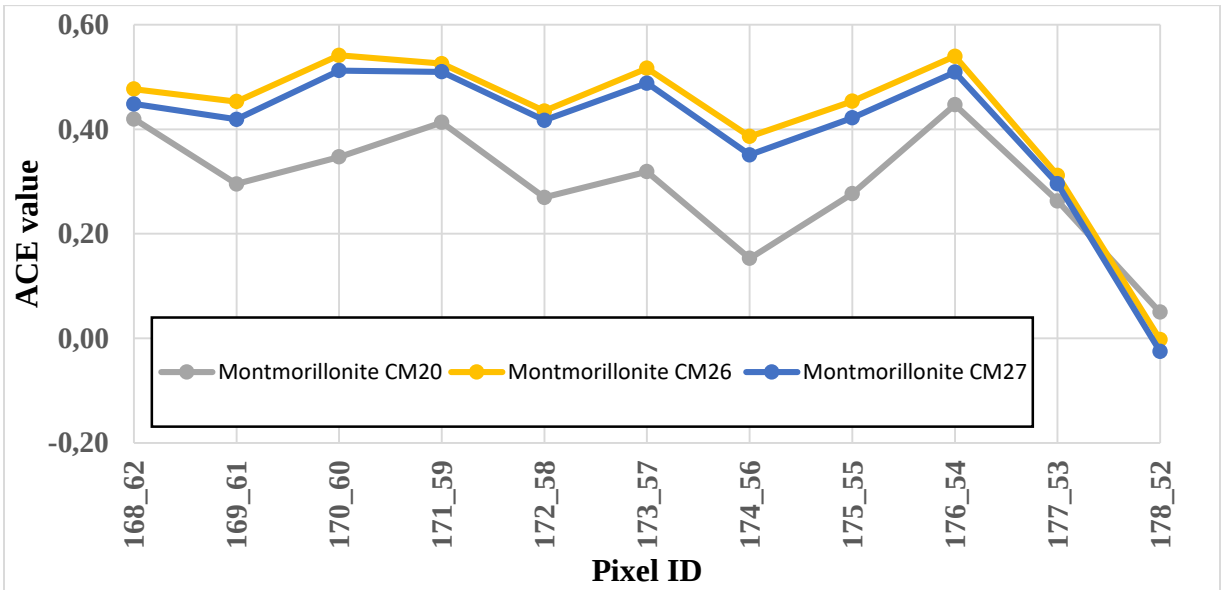


Figure 11. The graph of the pixel values of the montmorillonite mineral.

In addition, a pixel-based ACE change graph for the goethite minerals were created and shown in Figure 12. ACE values were found to be higher in the rocky terrain and lower towards the seashore. The coarse-grained goethite minerals were also more valuable in coastal locations than the medium-grained material.

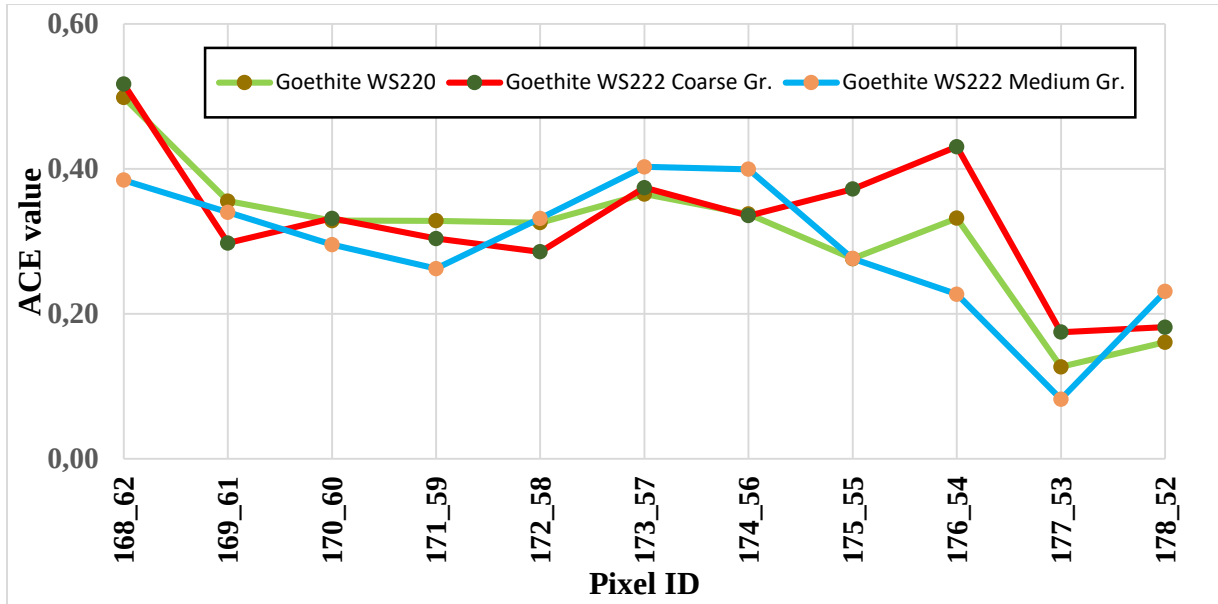


Figure 12. The graph of the pixel values of the goethite mineral.

Figure 13 depicted a pixel-based ACE change graph for the hematite minerals. ACE values were shown to be greater in rocky terrain and decreased toward the seaside, similar to the goethite minerals. Although the ACE value of the mineral appeared to grow in pixel number 178_52, the final pixel on the shoreline, this was due to a portion of the pixel entering the sea.

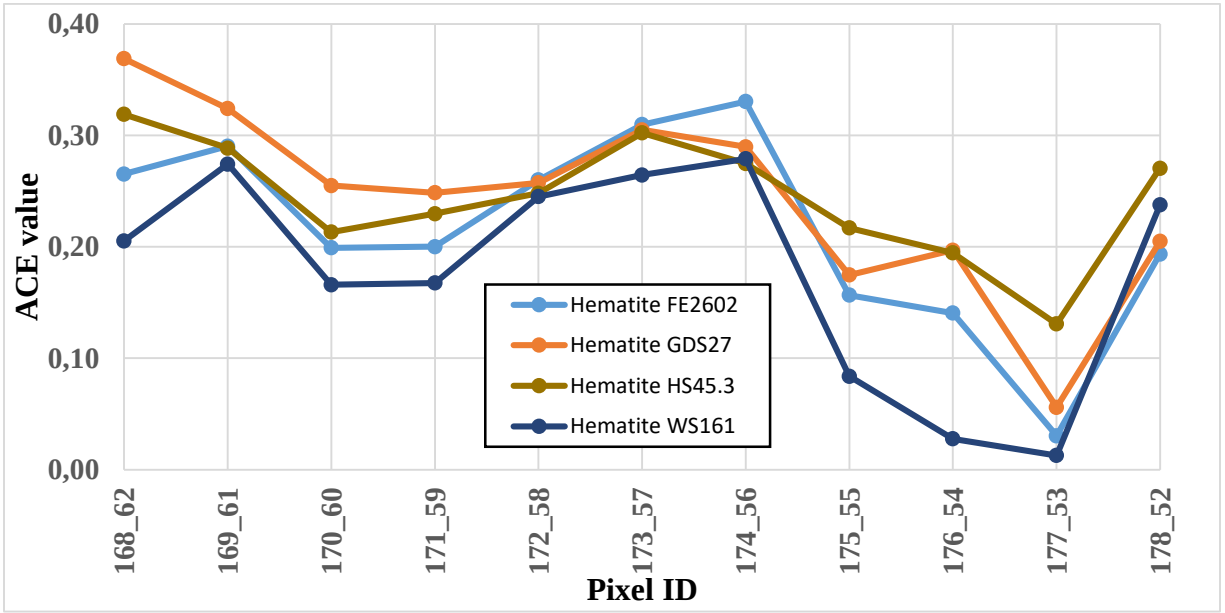


Figure 13. The graph of the pixel values of the hematite mineral.

The pixel-based ACE change graph for limonite given Figure 14. ACE values were greater in rocky terrain and dropped near the seashore, similar to goethite and hematite minerals.

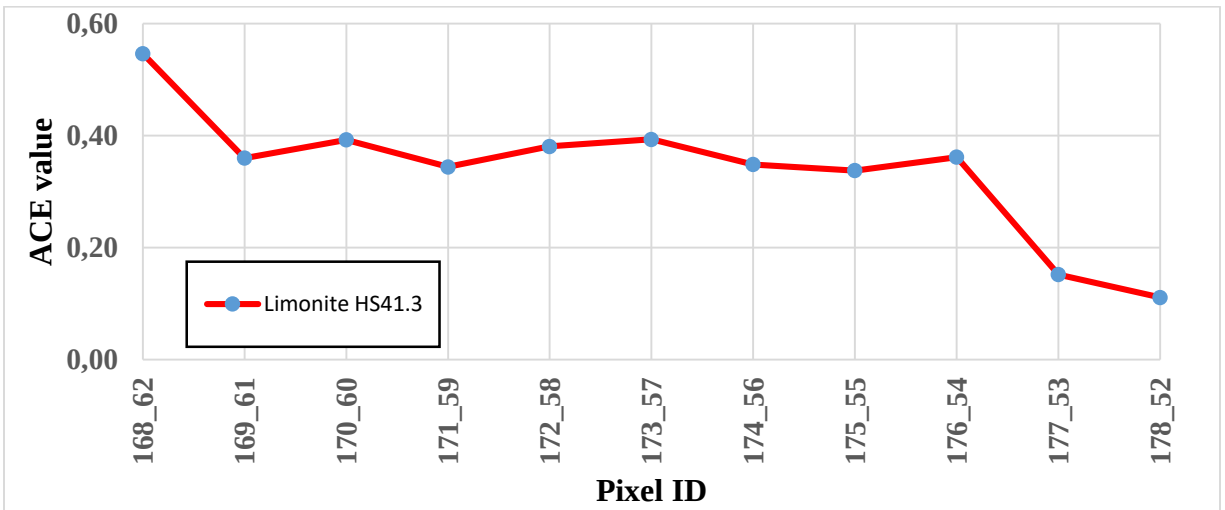


Figure 14. The graph of the pixel values of the limonite mineral.

As major minerals, while corundum, diaspore, and montmorillonite minerals were detected in the coastal areas north of Jenny Island, albite-plagioclase and microcline-feldspar minerals gave anomalies in the rocky region of the island. Goethite (α -FeO(OH)), hematite (Fe_2O_3), ferrihydrite ($(\text{Fe}^{3+})_2\text{O}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$), lepidocrosite (γ -FeO(OH)), limonite ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$), rutile (TiO_2) and cuprite (Cu_2O) minerals were detected in low concentrations.

DISCUSSION

Antarctica is a form of memory of our planet owing to its untouched nature and the absence of human civilization to influence it. The nearest communities are in the southernmost tip of South America and house research stations from many countries, including Turkey. Because the stations are far from the nearest communities, the demands of the research stations must be addressed on a continuous basis, requiring them to function on a temporary or restricted basis. The research aimed to investigate the mineralogical structure surrounding the TARS and to partially satisfy the stations demands. Jenny Island, which is the nearest land piece to the west and approximately 50 km from Horseshoe Island, where the TARS is located, was chosen as the study area. The ACE technique was used in the study, which used the USGS mineral database, and as a result of the analyses, corundum, diaspore, and montmorillonite minerals were detected in the coastal parts of Jenny Island's northern part, while albite-plagioclase and microcline-feldspar minerals in the rocky part of the island gave anomalies. In addition, goethite (α -FeO(OH)), hematite (Fe_2O_3), ferrihydrite ($(\text{Fe}^{3+})_2\text{O}_3 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$), lepidocrosite (γ -FeO(OH)), limonite ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$), rutile (TiO_2) and cuprite (Cu_2O) minerals were detected in low concentrations. It was thought that iron oxide minerals were formed as a result of weathering of monzonite with gabbro and granodiorite. Antarctica presents many challenges for geological research due to its remoteness, inaccessible location in many areas, and poorly exposed lithological units. Therefore, remote sensing applications are particularly useful when extreme environmental conditions limit the direct geological exploration. It is thought that EO-1 Hyperion satellite observations will help to better understand the mineralogy of regions not yet explored by terrestrial surveys in Antarctica, compared to remote sensing methods applied so far. According to the findings of the study, certain minerals discovered in this highly protected

location can be used for agricultural purposes in specific settings, as well as filtration or drinking water filtration, particularly in wastewater treatment systems.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

REFERENCES

- Barry, P., 2001. EO-1/Hyperion Science Data User's Guide. TRW Space, Defense & Information Systems.
- Bastias, J., Calderón, M., Israel, L., Hervé, F., Spikings, R., Pankhurst, R., Castillo, P., Fanning, M., & Ugalde, R., 2019. The Byers Basin: Jurassic-Cretaceous tectonic and depositional evolution of the fore arc deposits of the South Shetland Islands and its implications for the northern Antarctic Peninsula. *International Geology Review*, 62(11), 1467-1484. <https://doi.org/10.1080/00206814.2019.1655669>.
- Beck, R., 2003. EO-1 User Guide v.2.3; University of Cincinnati: Cincinnati, Ohio, U.S., p.74.
- Bernstein, L.S., Adler-Golden, S.M., Sundberg, R.L., Levine, R.Y., Perkins, T.C., Berk, A., 2005. Validation of the QUick Atmospheric Correction (QUAC) algorithm for VNIR-SWIR multi- and hyperspectral imagery. *SPIE, Proceedings, Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XI*. Vol. 5806, pp. 668-678.
- Bernstein, L.S., Jin, X., Gregor, B., Adler-Golden, S.M., 2012. Quick Atmospheric Correction Code: Algorithm Description and Recent Upgrades. *Optical Engineering* 51, No. 11 111719. <https://doi.org/10.1117/1.OE.51.11.111719>.
- Canty, J.M., 2014. *Image Analysis, Classification and Change Detection in Remote Sensing, with Algorithms for ENVI/IDL and Python.*, Third Edition. CRC Press.
- Chacon, N., Ascanio, M., Herrera, R., Benzo, D., Flores, S., Silva, S.J., García, B. 2013. Do P cycling patterns differ between ice-free areas and glacial boundaries in the Maritime Antarctic region? *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 45, 190–200. <https://doi.org/10.1657/1938-4246-45.2.190>.

- Datt, B., McVicar, T.R., Van Niel, T.G., Jupp, D.L.B., 2003. Preprocessing EO-1 Hyperion Hyperspectral Data to Support the Application of Agricultural Indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 41, no. 6, pp. 1246-1259, June 2003, <https://doi.org/10.1109/TGRS.2003.813206>.
- Edwards, H.G.M., Wynn-Williams, D.D., Villar, S.E.J., 2004. Biological modification of haematite in Antarctic cryptoendolithic communities. *J. Raman Spectrosc.*, 35: 470-474. <https://doi.org/10.1002/jrs.1171>.
- Griffiths, C.J., Oglethorpe, R.D., 1998. The stratigraphy and geochronology of Adelaide Island. *Antarctic Science*, 10, 462-475.
- Jefferson, T.H., 1980. Angiosperm fossils in supposed Jurassic volcanogenic shales, Antarctica. *Nature*, 285, 187-188.
- Kelly, N.M., Harley, S.L., 2004. Orthopyroxene-corundum in Mg-Al-rich granulites from the Oygarden Islands, East Antarctica. *Journal of Petrology*, 45, 1481-1512. <https://doi.org/10.1093/petrology/egh023>.
- L3HARRIS, 2023. Hyperspectral Material Identification, <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/thorhyperspectralmaterialidentification.html>, Date of access: 05.05.2023.
- NASA, 2023. Catalog of Spaceborne Imaging, NASA Space Science Data Coordinated Archive (NSSDC), NASA Goddard Space Flight Center (GSFC), <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/>, Date of access: 05.05.2023.
- NGA, 1988. Square Bay to Matha Strait Including Adelaide Island: Antarctica. United States, Defense Mapping Agency, Hydrographic/Topographic Center. National Geospatial-Intelligence Agency.
- Pankhurst, R.J., 1982. Rb-Sr geochronology of Graham Land, Antarctica. *Journal of the Geological Society, London*, 139, 701-711.
- Riley, T.R., Flowerdew, M.J., Haselwimmer, C.E., 2011. Geological Map of Adelaide Island, Graham Land (1:200 000 scale). BAS GEOMAP 2 Series, sheet 2, British Antarctic Survey, Cambridge, UK.
- Riley, T.R., Flowerdew, M.J., Whitehouse, M.J., 2012. Chrono- and lithostratigraphy of a Mesozoic–Tertiary fore- to intra-arc basin: Adelaide Island, Antarctic Peninsula. *Geological Magazine*, 149(5), 768-782. doi:10.1017/S0016756811001002.

- Simon, K., and Beckman, T., 2006. Hyperion Level 1G (L1GST) Product Output Files Data Format Control Book (DFCB), Earth Observing-1 (EO-1), version 1.0, USGS Center for Earth Resource Observation and Science (EROS), Sioux Falls, South Dakota.
- Siqueira, R.G., Moquedace, C.M., Francelino, M.R., Schaefer, C.E.G.R., Fernandes-Filho, E.I., 2023. Machine learning applied for Antarctic soil mapping: Spatial prediction of soil texture for Maritime Antarctica and Northern Antarctic Peninsula, *Geoderma*, vol:432, 116405, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116405>.
- USGS, 2021. EO1 Data Dictionary. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center July 2, 2021. <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/eo1-data-dictionary>.



Silifke – Mut (Mersin) Karayolu T1-A Tünelinin Mühendislik Jeolojisi İncelemesi

Engineering Geological Study of Silifke – Mut (Mersin) Motorway T1-A Tunnel

MEVLÜT ÇETİNKAYA Orcid: 0009-0005-5658-9859

SEDAT TÜRKMEN¹ Orcid: 0000-0002-9867-5545

¹ Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş (received): 3.06.2023

Kabul (Accepted): 21.06.2023

ÖZ

Bu çalışma ile Silifke- Mut (Mersin) 1.kısım karayolu projesinde yer alan T1-A tünelinin jeolojik ve jeoteknik özellikleri dikkate alınarak tünel kazı ve destek sınıflaması belirlenmiştir. Tünel iki tüp şeklinde projelendirilmiş olup sol tüp uzunluğu 2865 m sağ tüp uzunluğu 2835 m'dir. Tünel güzergâhında genel olarak; erken-orta Miyosen yaşlı Mut Formasyonuna ait kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn ve killi kumtaşı birimler gözlenmiştir. Mut Formasyonunu oluşturan birimlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla sondajlardan alınan karot örnekleri üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Yapılan sondajlar ve birimlerin fiziksel ve mekanik özellikleri göz önüne alınarak tünel güzergâhı 3 ayrı kısma ayrılmıştır. Elde edilen verilerden yararlanılarak tünel güzergâhı boyunca RMR, Q ve NATM kaya kütle sınıflaması yapılarak gerekli destek tasarımı belirlenmiştir. NATM destek sınıfına göre 1. Kısım için C2, ikinci kısım için B3 ve 3. Kısım için B2 klasları elde edilmiştir. Kayaçların mühendislik özellikleri ve laboratuvardan elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, I. Kısım için RMR=28, Q=0,708, II. Kısım için RMR=50, Q=1,467 ve III Kısım için RMR=57, Q=3,938 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tünel, Kaya kütle sınıflaması, Kazı destekleme sistemi

Sedat Türkmen sturkmen@cu.edu.tr

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana

ABSTRACT

In this study, tunnel excavation and support classification was determined by considering the geological and geotechnical characteristics of the T1-A tunnel located in the Silifke-Mut (Mersin) 1st section motorway project. The tunnel is designed as two tubes and the left tube length is 2865 m, the right tube length is 2835 m. In general, on the tunnel route; limestone, clayey limestone, marl and clayey sandstone units belonging to the early-middle Miocene Mut formation were observed. In order to determine the engineering properties of the units forming the Mut formation, laboratory experiments were carried out

on the core samples taken from the drillings. The tunnel route was divided into 3 separate sections, taking into account the drillings and the physical and mechanical properties of the units. By using the data obtained, RMR, Q and NATM rock mass classification was made along the tunnel route and the necessary support design was determined. According to the NATM support class, C2 for the 1st part, B3 for the second part and B2 for the 3rd part were obtained. By evaluating the engineering properties of the rocks and the results obtained from the laboratory, RMR=28, Q=0.708, II. RMR=50, Q=1.467 for Part III and RMR=57, Q=3.938 for Part III.

Keywords: Tunnel, Rock mass classification, Excavation support system

GİRİŞ

Tüneller “bir ulaşım ya da taşıt yolunun bir kısmının yeryüzünden geçirilmesinin topografik ve jeolojik bakımdan mümkün olmadığı ya da bunun ekonomik açıdan uygun bulunmadığı durumlarda, bu yolların bir kısmının yeraltından geçirilmesine imkân tanıyan iki tarafı açık yer altı yapılarıdır. Son yıllarda mühendislik jeolojisindeki gelişmeler bağlı olarak daha ayrıntılı değerlendirmeler yapılabilmekte, buna bağlı olarak daha güvenli ve ekonomik tünel kazı – destek sistemleri uygulanmaya başlanmıştır. Bu çalışma ile Silifke- Mut (Mersin) 1.kısım karayolu projesinde yer alan T1-A tünelinin mühendislik jeolojisi incelenmiş, tünelin jeolojik modellemesi yapılarak, tünel kazı ve destek sınıflaması belirlenmesi amaçlanmıştır.

İç Anadolu Bölgesi ile Akdeniz Bölgesinin bağlantısını sağlayan D - 400 mevcut karayolunun; yapımı planlanan Kayraktepe Barajından dolayı yolun baraj göl suları altında kalacak olması ve ayrıca mevcut karayolunda oluşan heyelanlar nedeniyle, daha rahat ve kolay ulaşım sağlamak amacıyla Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından Silifke - Mut 1.kısım yeni yol projesi planlanmıştır (Şekil 1). Proje kapsamında Silifke - Mut yönünde Silifke’ye yaklaşık 4 km mesafede 2 tüp şeklinde T1-A olarak adlandırılan tünel mevcuttur. Hazırlanan karayolu projesinde mevcuttaki 2x1 ve standardı düşük olan yolun, platform genişliği 24 m, banket genişliği 2m ve refüj genişliği 4m olan ve her biri 3,5 m şerit genişliğine sahip 2x2 şeritli bölünmüş olarak yeniden yapımını amaçlamaktadır. Yol projesi kapsamında km:8+380 - 11+245’de sol tüp, km:8+410 - 11+245’de sağ tüp olmak üzere T1-A tünel bulunmaktadır. Sol tüp uzunluğu 2865 m, sağ tüp uzunluğu 2835 m 'dir. Bu çalışmada yukarıda adı geçen T1-A tüneli güzergâhının mühendislik Jeolojisi incelenerek, uygulanan kazı destek sistemleri belirlenmiştir. Tünel güzergâhında genel olarak; erken - orta Miyosen yaşlı Mut formasyonuna

ait kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn- killi kumtaşı birimleri gözlenmektedir. Bu birimlerin sahip olduğu özelliklerin destek sistemi ile olan ilişkisi mühendislik jeolojisi perspektifinden ayrıntılı olarak incelenerek, tünel güzergâhında yapılan sondajlar ve laboratuvar deneyleri ile kazı çalışmaları irdelenerek tünelin içinden geçeceği birimlerin mühendislik davranışları karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Yer Bulduru Haritası

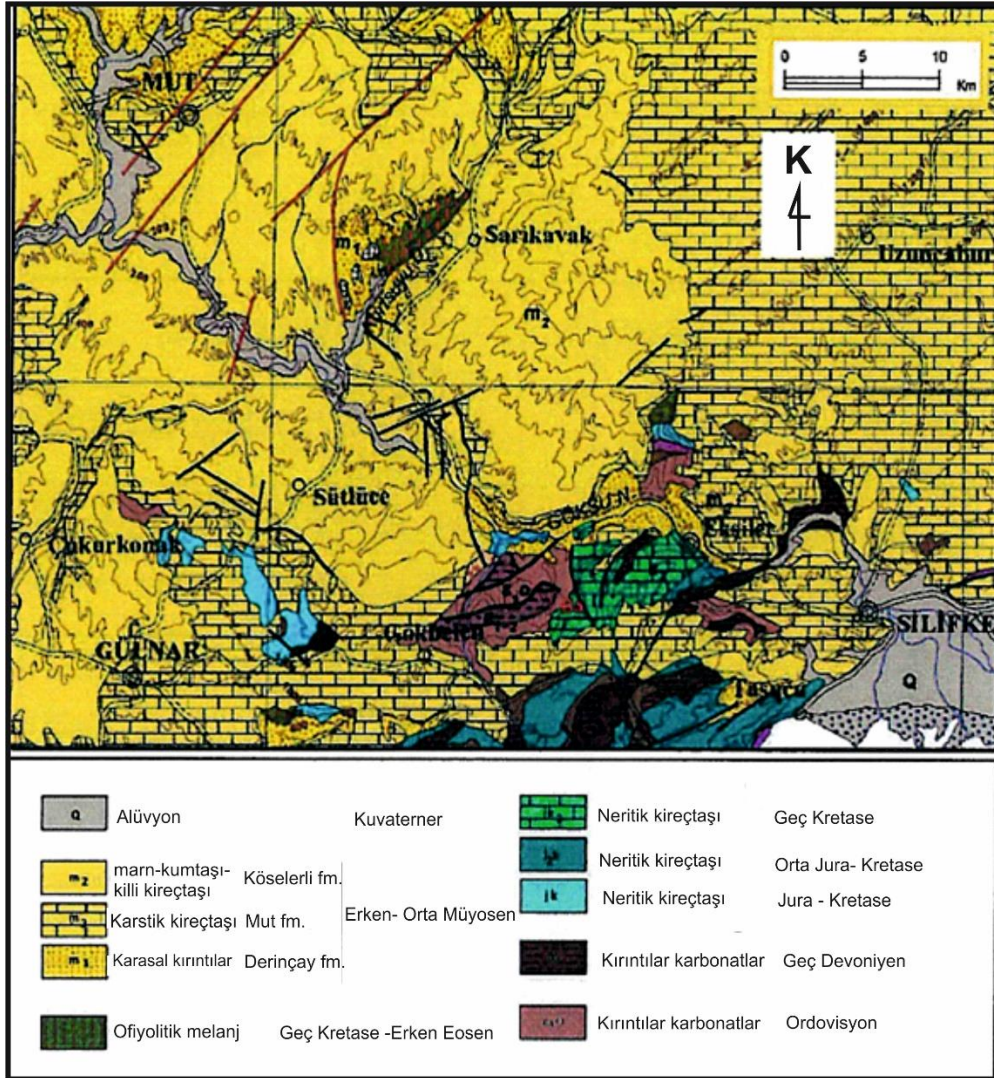
Bölgesel Jeoloji

Çalışma alanı ve çevresi, MTA ve değişik kurum ve kuruluşlar tarafından değişik zamanlarda jeoloji çalışmaları yapılarak yörenin genel jeolojisi aydınlatılmış ve birimler adlandırılmıştır (Şekil 2). Silifke-Mut arasında daha önce sahada yapılan gerek genel jeoloji alanında gerek büyük sanat yapılarının (baraj, tünel vb.) jeoteknik çalışmalarında ayrıca petrol bulma gibi yapılan çalışmalarda araştırmacılar o yer hakkında birçok veri ve görüşler elde etmiştir (Nieoff,1960; Akarsu, 1960; Sezer,1970; Özer ve ark., 1974; Bizon ve ark., 1974;

Demirtaşlı,1973, 1984). Bölgenin temel kayacını Ordovisiyen yaşlı, 450 m kalınlığı olan kuvarsit bantlı metamorfik şistler oluşturur. Birimin üzerinde Geç Devoniyen yaşlı kuvarsit, kumtaşı, silttaşı, şeyller ile ardalanmalı resifal kireçtaşı olan 400 m kalınlıklı Akdere formasyonu uyumsuz olarak bulunur (Gedik ve ark,1979). Akdere formasyonu üzerinde 1500 m olan ve Jura-Üst Kretase zaman aralığında çökelen neritik kireçtaşı, dolomit, dolomitik kireçtaşı, megaladontlu kireçtaşı birimlerini içeren Çamtepe formasyonu uyumsuz olarak bulunur. Üst Kretase yaşlı neritik kireçtaşları üzerinde Permokarbonifer-Üst Kretase kayaçlarından parçalar ile serpantinleşmiş peridotit, gabro, spilit ve diyabaz kayaçlarını içeren ofiyolitli melanj seri Çambaşıtepe formasyonu üzerinde bulunur. Ofiyolitli melanj serisi üzerinde uyumsuz olarak alt miyosen yaşlı karasal kökenli kırıntılılardan oluşan yaklaşık 300 m kalınlıklı Derinçay formasyonu bulunur. Derinçay formasyonu üzerinde ise açısız uyumsuzluk ile orta miyosen yaşlı resifal kireçtaşı olan Mut formasyonu bulunmaktadır (Gökten, 1976). Mut formasyonunu ortalama kalınlığı 150 m olan marn-killi kireçtaşı-şeyl ardalanmasını içeren Köşelerli formasyonu ile yatay ve düşey yönde geçişlidir. Köşelerli formasyonu üzerinde Kuvaterner yaşlı iyi derecelenmiş ofiyolit ve kireçtaşını içeren kum ve kumtaşı mercekli, çapraz tabakalı, zayıf-iyi çimentolu akarsu taraçası uyumsuz olarak bulunur. En üst kısmında çakıl, kum, silt ve kil içeren Kuvaterner yaşlı Alüvyon oluşturmaktadır.

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

Tünel güzergahı boyunca birimlerin tanımlanması amacıyla öncelikle saha çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları yapılmış ve elde edilen verilerden yararlanılarak jeoteknik değerlendirmeler yapılmıştır. Kaya kütlesi yenilme ölçütü için Hoek-Brown yenilme ölçütü seçilmiştir. Kaya kütlesi sınıflama sistemlerinden ampirik yöntemlerden RMR ve Q, ölçme-gözleme dayanan yöntemlerden ise NATM felsefesi uygulanmıştır.



Şekil 2. Mut-Ermenek-Silifke havzasının sadeleştirilmiş jeoloji haritası (Gedik ve ark.1979'dan)

Sondaj Çalışmaları

T1-A tünel güzergahında giriş ve çıkış kesimlerde 2 adet sondaj kuyusu açılmıştır (Şekil 3). Yapılan sondajdan alınan karot örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için laboratuvara gönderilmiştir. Sondajdan elde edilen karotlar ile tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü, Poisson oranı, RQD (Deere ve Miller, 1966) ve kayaç birim hacim ağırlığı değerlerinin belirlenmesi sağlanmıştır (Çizelge 1). Tüm bu çalışmalar

doğrultusunda kaya kütle sınıflamasında ve jeoteknik tasarımın oluşturulmasında gereksinim duyulan hemen hemen tüm parametrelerin temini sağlanmıştır (Çetinkaya, 2022).



Şekil 3. TD1 SK-1 ait fotoğraflar

Laboratuvar Çalışmaları

Sondaj sayısının sınırlı olması dolayısıyla ilave olarak tünel içerisinden alınan blok örnekler ve sondajlardan elde edilen karot örnekler üzerinde kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda tek eksenli basınç dayanımı ve birim hacim ağırlığı belirlenmiştir (ISRM, 1981).

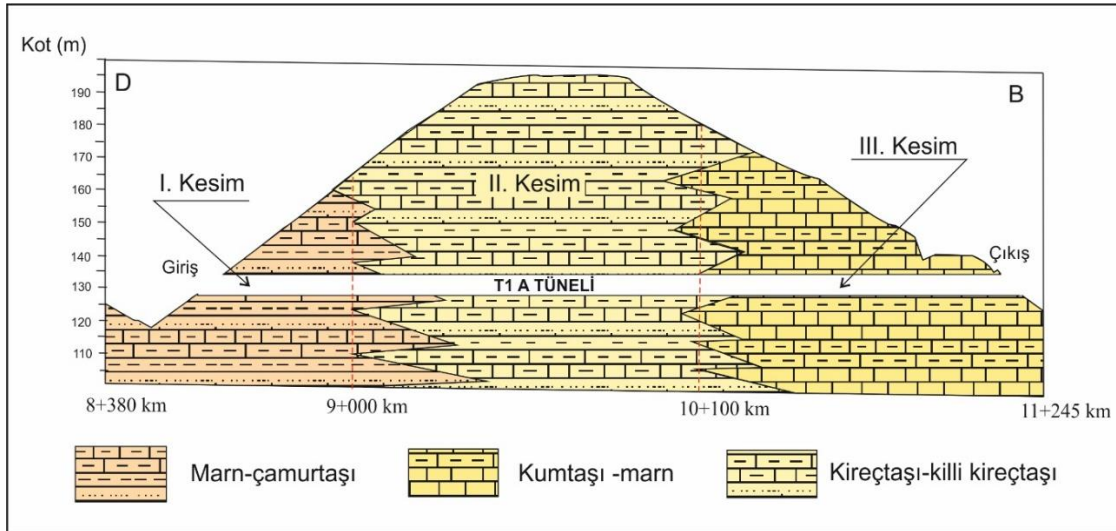
Çizelge 1. T1-A tünel güzergâhındaki formasyonların laboratuvar, arazi ve ofis çalışma belirlenmiş parametreler

Kesit	Tünel Ekseni-I	Tünel Ekseni-II	Tünel Ekseni-III
Km	8+380-9+000	9+000-10+100	10+100-11+245
Birim Hacim Ağırlığı Kn/m ³	25	25	25
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	27	37	49
GSI Değeri	28	43	50

m_i Değeri	6	17	9
Örselenme Faktörü	0,4	0,5	0,5

Tünel Güzergahının Jeolojisi

Tünel güzergâhında Mut formasyonuna ait; killi kireçtaşı, kum taşı, marn ve kireçtaşı ardalanması yer almaktadır. Killi kireçtaşı; koyu kahverengi-bej-sarımsı renkli, orta-kalın tabakalı, bol fosilli ve yer yer oolitik özelliktedir. Marn; gri- boz renkli, kırılğan ve kil oranı yüksek bir birimdir. Kireçtaşı; kirli beyaz, krem renklerinde olup kalın tabakalı, masif ve karstik boşlukları olan bir yapıdır. Kumtaşı; yeşil-sarımsı renkli, orta kalın tabakalı, orta-iyi boylanmalı, yer yer çapraz tabakalanmaya sahip bir birimdir. Fakat yer yer ince bir tabaka olarak çamurtaşı birimi de gözlenmektedir. Çamurtaşı; siyah renkli, kırılğan bir birimdir. Bunun yanı sıra doğrultu atımlı faylara rastlanmaktadır. Tünel güzergahında birbiriyle yanal ve düşey yönde geçişli üç farklı litoloji ayırtlanmıştır. (Şekil 4). Tünel güzergahında gözlenen litolojik farklılıklar ve mühendislik özellikleri dikkate alınarak bu üç kesim için ayrı ayrı kaya sınıflaması yapılmıştır.



Şekil 4. Tünel Güzergahının enine jeoloji kesiti



Şekil 5. Tünel güzergâhında bulunan birimlerin tünel içerisindeki görünümü

Tünel Güzergahında Yapılan Çalışmalar

Tünel güzergahının tamamı Miyosen yaşlı killi kireçtaşı, kumtaşı, marn ve kireçtaşı ardalanmalı birimlerden oluşmaktadır. Yapılan arazi çalışmaları, ölçümler ve laboratuvar deney sonucunda jeolojik ve jeoteknik değerlendirmelerle, tünelin giriş kesiminin marn çamurtaşı ağırlıklı olduğu, çıkış kesiminin ise marn kumtaşı ardalanmasından, orta kesiminin ise kireçtaşı – killi kireçtaşından oluştuğu ve giriş bölümlerindeki birimlerin az ayrılmış zayıf dayanımlı olduğu, orta ve çıkış bölümlerindeki birimlerin ise genel olarak orta dayanımlı, yer yer de orta-iyi dayanımlı özellikte olduğu belirlenmiştir. Tünel kazı çalışmaları sonrasında tünel aynasında gözlenen litolojik birimlerin özellikleri, süreksizlik özellikleri (süreksizlik uzunluğu, açıklığı ve devamlılığı, bozunma, yer altı su durumu, süreksizliğin konumu vb) tek eksenli sıkışma dayanımı, RQD değerleri dikkate alınarak RMR ve Q kaya kütle sınıflamalarında değerlendirilerek kaya kütle sınıflamaları belirlenmiş ve NATM prensibine göre kazı ve destekleme sistemi önerilmiştir (Barton ve diğ. 1974; Barton, 1976; Barton, 2002; Bieniawski 1973,1989; Rabcewic 1964), (Şekil 6-7).

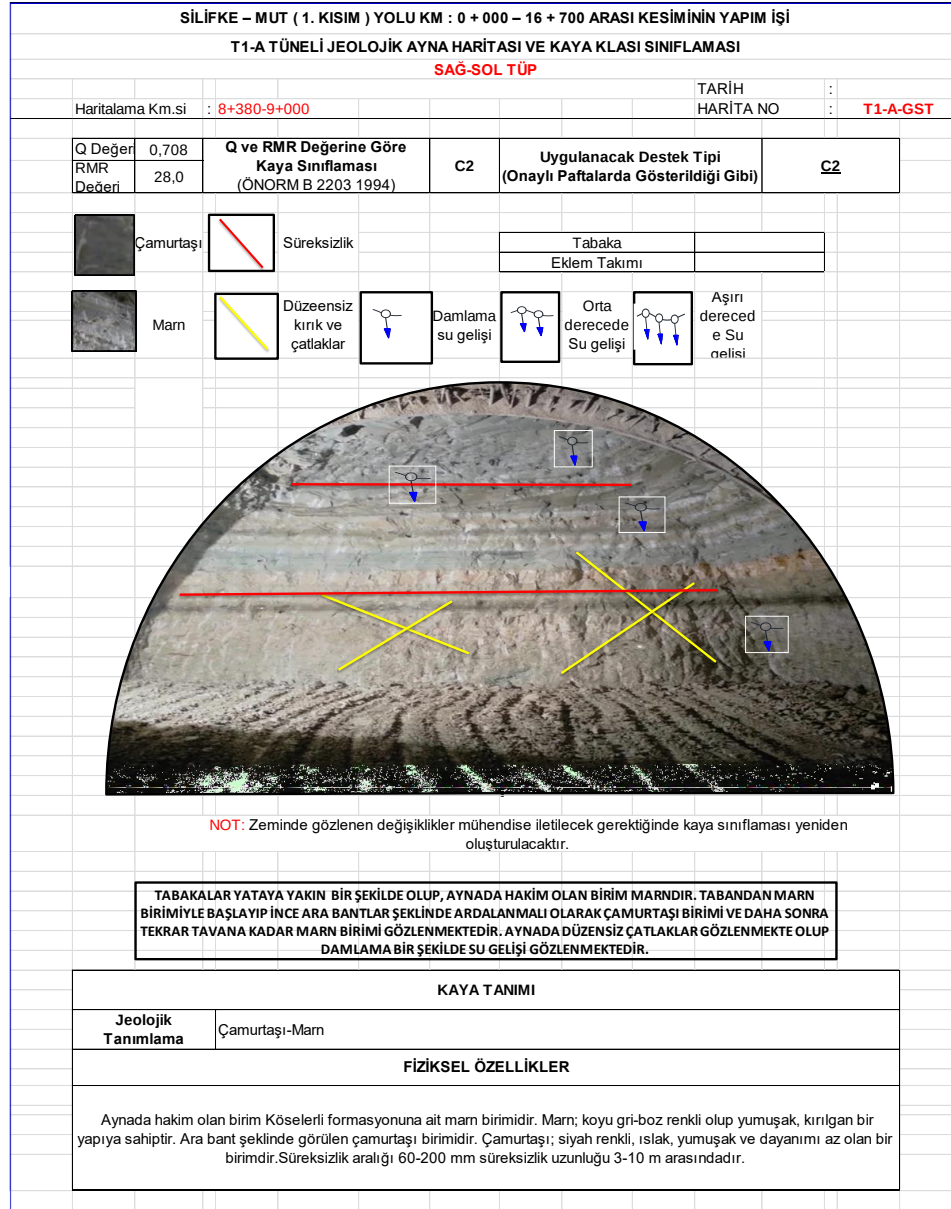
Laboratuvar deneylerine ilave olarak tünel güzergahındaki birimlerin tek eksenli sıkışma dayanımı değeri Schmidt çekici kullanılarak tünel aynasındaki birimlerden dolaylı olarak elde edilmiştir. RQD değeri ise Bieniawski (1989) tarafından önerilen süreksizlik aralığı grafiğinden dolaylı olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Tünel içerisindeki süreksizlik özelliklerinin ve aynadaki su durumunun belirlenmesi için yapılan çalışmalardan bir görüntü

Kaya Kütle Sınıflamaları

Tünel güzergahında yapılan tanımlamalar ve ölçümler, sondaj çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları sonrasında elde edilen veriler kullanılarak ampirik yaklaşımlar olan RMR, Q ve NATM kaya kütle sınıflamalarına göre tanımlamalar yapılmıştır. Tünel kazı-destek sistemlerinin belirlenmesi için kullanılan parametreler, zamanımızda tünel kaya sınıflamaları için yaygın olarak kullanılan yaklaşımlar olması ve de kaya kütle özelliklerini daha iyi yansıttığının öngörülmesinden dolayı ampirik yaklaşımına göre belirlenmiştir. Tünel güzergahı boyunca yapılan saha çalışmaları ve litolojik özellikler dikkate alınarak tünel güzergahı giriş, orta kesim ve çıkış olmak üzere üç bölüme ayırarak kaya kütlesi sınıflaması için değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 7. C2 Klasındaki örnek ayna haritası

Tünel Eksen I. Kesim (km: 8+380-9+000) Değerlendirmeleri

Bu km'ler arasında genel olarak marn çamurtaşı ardalanmasından oluşan birimler gözlenmiştir. Tünel I. kesim bölgesinde topografyanın elverişli olduğu bölgelerden yapılan sondajdan elde edilen karot numuneleri ve tünel aynaları incelendiğinde; RMR kaya sınıflamasında dolgu

durumu yumuşak dolgu <5 mm olarak tanımlanmıştır. Süreksizlik aralığı genel olarak farklı değerler sunmakla beraber, sondaj karotlarında RQD değerlerinin düşük olması dikkate alındığında süreksizlik aralığı <6cm, süreksizlik devamlılığı 10-25 m, süreksizlik açıklığının 1-5 mm arası olduğu belirlenmiştir. Kaya kalite değeri (RQD), 34 ve Tek eksenli basınç dayanımı 27 MPa laboratuvarında bulunan değer alınmıştır. Tüm bu özellikler göz önüne alınıp puanlaması yapıldıktan sonra temel RMR değeri 28 olarak belirlenmiş ve kaya sınıfı Bieniawski, 1989’a göre “Zayıf kaya” olarak tanımlanmıştır (Bieniawski, 1989). (Şekil 8).

Tünel I. Kısımında, çatlak takım sayısı (Jv); üç eklem takımı ve gelişi güzel çatlaklar işaretlenip, çatlak pürüzlülük durumu (Jr); sürtünme izli, düzlemsel, çatlak ayrışma durumu (Ja); Hafifçe ayrışmış çatlak yüzleri ve yumuşamayan mineral kaplamaları, Çatlak Suyu İndirgeme Faktörü (Jw); Kuru kazılar yada < 5 lt. / dak su gelen kazılar, SRF (Gerilme İndirgeme Faktörü); Orta derecede gerilme gibi faktörler belirlenip, ESR değeri ise tünel olduğu için 1 olarak alınmıştır. Puanlama yapıldıktan sonra Q değeri 0,708 olarak bulunmuştur. Tünel kazı çapı 12 m olduğu için Q kaya sınıfına göre kaya sınıfı “Çok Zayıf kaya” olarak bulunmuştur.

NATM, RMR ve Q sınıflama sistemlerine göre ve ayrıca Şekil 10’daki tabloyu kullanarak RMR-Q sistemi karşılaştırıldıktan sonra Tünel eksen I. Kesim’in kaya sınıflaması “C2 Baskılı” olarak adlandırılmıştır (Şekil 11). Tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin davranışı, su etkisi, kazı ile destekleme ve desteklemenin zamanlaması belirlenmiştir.

SİLİFKE – MUT (1. KISIM) YOLU KM : 0 + 000 – 16 + 700 ARASI KESİMİNİN YAPIM İŞİ											
T1-A TÜNELİ JEOLojİK AYNA HARİTASI VE KAYA KLASİ SINIFLAMASI											
SAG-SOL TUP											
Haritalama Km.si		: 8+380-9+000						TARİH		:	
								HARİTA NO		:	T1-A GST
Açılan tünel kayasının jeomekanik ve mühendislik özelliklerinden yararlanılarak yerinde yapılan gözlemler, sondajlar ve laboratuarda elde edilen veriler neticesinde RMR ve Q sınıflama sistemleri ile KGM - NATM Uygulamalı Yer altı Tünel işleri Teknik şartnameye göre ödemeye esas olan ÖNORM B 2203 Ekim 1994 Sonrası Kaya Sınıflandırma Sistemi aşağıda verilmiştir.											
1. RMR (Jeomekanik sınıflama)- Bieniawski Kaya Kalite Sınıflaması											

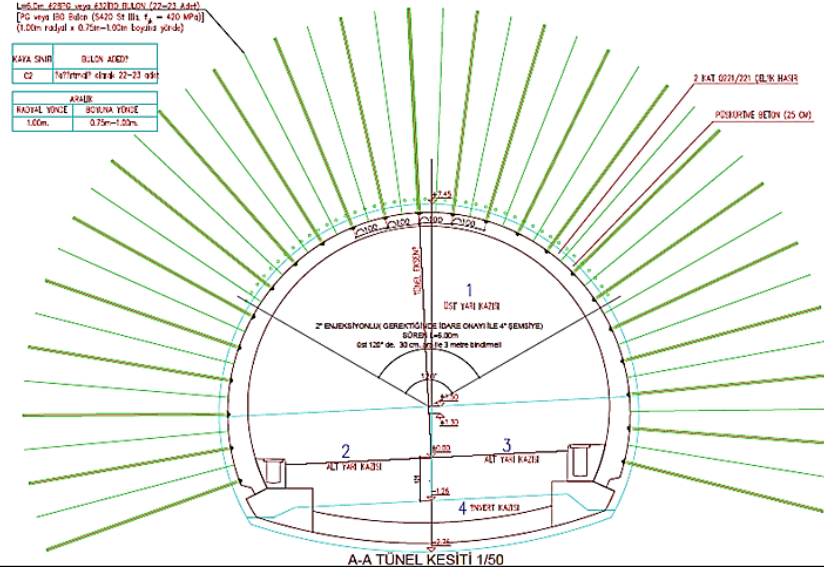
Şekil 8. Tünel eksen I. Kesim (km:8+380-9+000) için RMR kaya kütle sınıflaması puanlaması

SİLİFKE – MUT (1. KISIM) YOLU KM : 0 + 000 – 16 + 700 ARASI KESİMİNİN YAPIM İŞİ												
T1-A TÜNELİ JEOLojİK AYNA HARİTASI VE KAYA KLASİ SINIFLAMASI												
SAG-SOL TUP												
Haritalama Km.si		: 8+380-9+000							TARİH		:	
									HARİTA NO		:	T1-A GST
2. Q (Jeomekanik sınıflama)- Barton Kaya Kalite Sınıflaması												
		Parametre				Açıklamalar				Puan		
1	RQD	Kaya Kalitesi Tanımı (%)								34		
2	Jn	Çatlak Takım Sayısı*				üç çatlak sistemi ve gelişigüzel çatlaklar				12		
3	Jr	Çatlak Pürüzlülük Durumu				Sürtünme izli, düzlemsel				0,5		
4	Ja	Çatlak Ayrışma Durumu				Hafifçe ayrılmış çatlak yüzleri. Yumuşamayan mineral kaplamaları				2		
5	Jw	Çatlak Suyu İndirgeme Faktörü				Kuru kazılar yada < 5 lt. / dak su gelen kazılar				1		
6	SRF	Gerilme İndirgeme Faktörü				Orta derecede gerilme				1		
7	ESR	Kazı Türü-Tüneller için								1		
* Tünelin Portal kesiminde Jn x 2 değerleri alınır.												
FORMÜL $Q = \frac{RQD}{Jn} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{Jw}{SRF} = 0,708$												
Kazı Çapı 12 m.												
A	Blok Büyüklüğü				RQD / Jn	2,83	E	Desteksiz Açıklık, Bmax		$2(ESR) \times Q^{-0.4}$	1,7423	
B	Blok İç Dayanımı				Jr / Ja	0,25	F	Tavan Destek Basıncı, Ptavan, MPa		$2Jr \times Q^{-1/3}$	1,8824	
C	Etkin Gerilme Koşulu				Jw / SRF	1,00	F*	Tavan Destek Basıncı, Ptavan, MPa		$(2Ja)^{0.5} \times Q^{-1/3} \times Jr$	0,5434	
							G	Eşdeğer Boyut , De		$(Kazı Çapı / ESR)$	12	
H	Q DESTEK TİPİ (Önorm B 2203 1994 Ekim Sonrası)				C2 BASKILI		*Eklem sisteminin sayısı üçten az ise bu eşitlik kullanılacaktır.					
3. Q indeksi ve RMR değerine göre kazı sınıfı (ÖNORM B 2203 Ekim 1994 Sonrası)												
Kazı Sınıfı		C2 BASKILI										
6. Tünel Destek Tipi												
Destek Tipi		C2		destek sınıfı uygulanacaktır.								

Şekil 9. Tünel eksenli I. Kesim (km:8+380-9+000) için Q kaya kütle sınıflaması puanlaması

MJKM VADAR	1 A	2 B	3 C	4 C	5 E	6 F	7 G	8 H
1994 NATM Ö-NORM B2203 1983	A1 1 SAĞLAM	A2 2 ZAMANLA KIRILGAN	B1 3 AZ KIRILGAN	B2 4 KIRILGAN veya AZ KIRILGAN	B3 5 ÇOK KIRILGAN veya BASKILI	C1 6 ÇOK BASKILI	C2 7 AKICI	C3 8 AKICI
NATM ESKİ	I SAĞLAM	II ZAMANLA AZ KAVLAKLANAN	III KIRILGAN	IV ÇOK KIRILGAN	V BASKILI	VI ÇOK BASKILI	VI ÖZEL HAL	VI ÖZEL HAL
Q BARTON	ÇOK MÜKEMMEL	100 MÜKEMMEL	100 ÇOK İYİ	40 İYİ	10 ORTA	1 KÖTÜ	0.1 KÖTÜ	0.0001 KÖTÜ
RMR CSIRO BIENIAWSKI	100 ÇOK İYİ	80 İYİ	60 ORTA	40 KÖTÜ	20 ÇOK KÖTÜ	10 KÖTÜ	5 ÇOK KÖTÜ	0 KÖTÜ
TERZAGHI YENİ (ROSE)	N=0 1	2	3	4	5	6	7	8
ESKİ Hp	0	0.0-15B 0.15-0.25 B	0.25-0.35(B+H) 0.35-0.75 (B+H)	0.75-1.1(B+H) 1-1.2(B+H)	2.1-4.5 (B+H)	4-5 (B+H) 75m	75m	AKICI
RQD DEER	90 ÇOK İYİ	75 İYİ	50 ORTA	25 ZAYIF	0 ÇOK ZAYIF	0 ÇOK ZAYIF	0 ÇOK ZAYIF	0 ÇOK ZAYIF

Şekil 10. Tünel eksenli I. Kesimi için farklı kaya kütle sınıflamalarının karşılaştırılması



Şekil 11. Tünel eksenli I. Kesiminde uygulanan C2 klasındaki destekleme sistemi

Yukarıda RMR ve Q değerleri belirlendikten sonra kaya külesine ait GSI puanı hesaplanmıştır (Sönmez ve Ulusay, 2002; Hoek ve Brown, 1980a; Hoek ve Brown, 1980b). Bu amaçla yapılan hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

$$RQD = 115 - 3.3 J_v$$

$$34 = 115 - 3,3 \cdot J_v$$

$$J_v = 24,55$$

$$SCR = R_r(\text{az pürüzlü}) + R_w(\text{çok ayrılmış}) + R_f(\text{yumuşak dolgu < 5 mm})$$

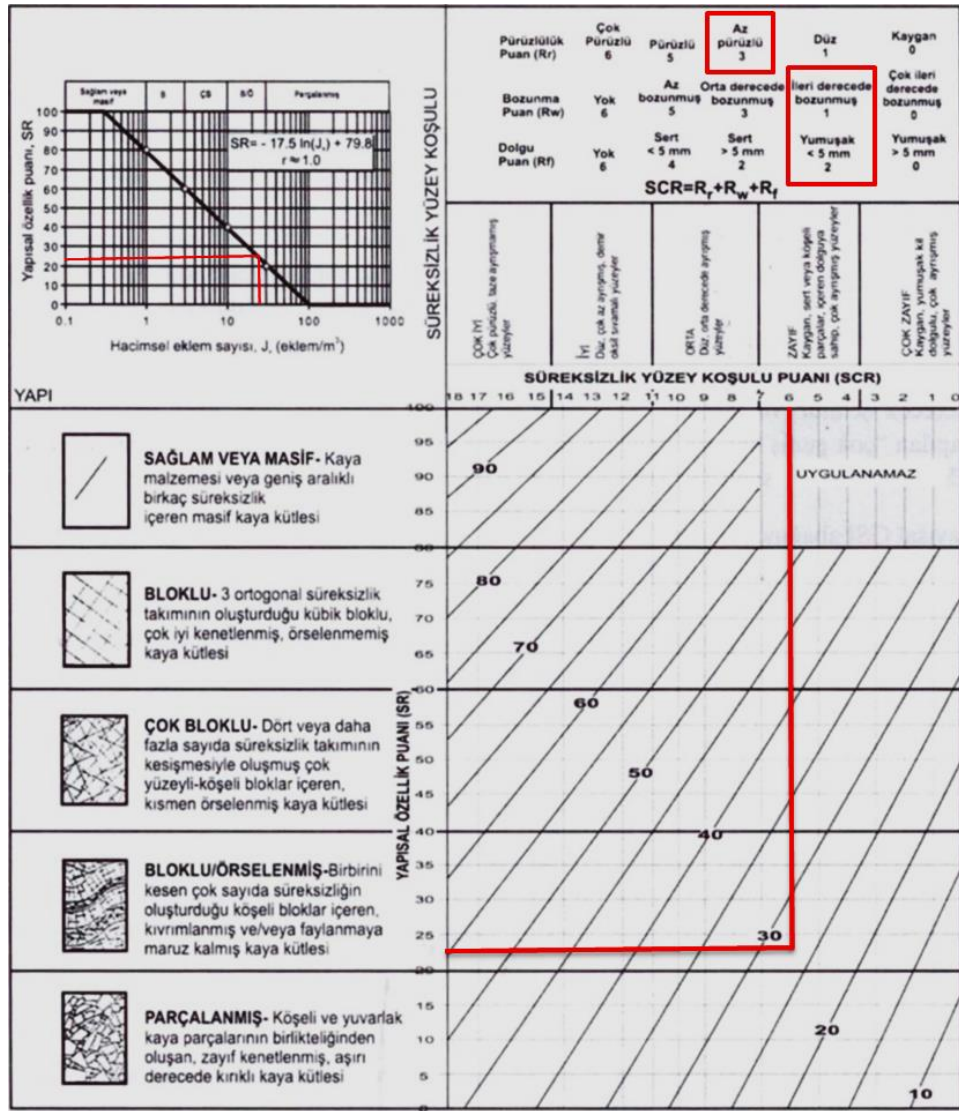
$$SCR = 3 + 1 + 2 = 24,55$$

$$SR = -17,5 \times \ln J_v + 79,8$$

$$SR = -17,5 \times 30,61 + 79,8$$

$$SR = 23,79 \text{ yaklaşık olarak bulunmuştur.}$$

Bu değerlere göre GSI değeri 28 olarak tespit edilmiştir (Şekil 12)



Şekil 12. Tünel Ekseni I. kesim için Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından önerilen modifiye edilmiş GSI sistemi

Temel kazısı iş makinası ile yapılacağından örselenme faktörü (D) 0.4 alınmıştır. Ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değeri 27 MPa alınmıştır. mi değeri Hoek ve Diederichs (2006) tarafından önerilen çizelgeden yararlanılarak 6 alınmıştır.

4.4.2 Tünel Eksen II. Kesim (km: 9+000-10+100) Değerlendirmeleri

Bu km'ler arasında genel olarak kireçtaşı- killi kireçtaşı aralanmasından oluşan birimler gözlenmiştir. Tünel eksen II. Kesim bölgesi altında topografyanın elverişli olduğu bölgelerden yapılan sondajdan elde edilen karot numuneleri ve tünel aynaları incelendiğinde; RMR için dolgu durumu sert dolgu <5 mm olarak tanımlanmıştır. Süreksizlik aralığı genel olarak farklı değerler sunmakla beraber, sondaj karotlarında RQD değerlerinin oldukça düşük olması göz önüne alındığında süreksizlik aralığı<6cm, süreksizlik uzunluğunun 1-3 m, süreksizlik açıklığının 0,1-1 mm arası olduğu belirlenmiştir. Kaya kalite göstergesi (RQD) ve Tek eksenli basınç dayanımı için laboratuvarında bulunan değer alınmıştır. Tüm bu özellikler göz önüne alındıktan sonra temel RMR değeri 50 olarak belirlenmiş ve kaya sınıfı “Orta Kalite” olarak tanımlanmıştır (Şekil 13).

Tünel II. Kısımında çatlak takım sayısı (Jn); üç eklem takımı ve gelişi güzel çatlaklar çatlak pürüzlülük durumu (Jr): Düz dalgalı, çatlak ayrışma durumu (Ja); Siltli veya kumlu kil kaplamaları, yumuşamayan düşük kil oranı, Çatlak Suyu İndirgeme Faktörü (Jw); Orta derecede su gelişi veya basınç, çatlak dolgularının yer yer yıkanması, SRF(Gerilme İndirgeme Faktörü); Orta derecede gerilme gibi faktörler belirlenip ESR değeri ise tünel olduğu için 1 olarak alınmıştır. Puanlama yapıldıktan sonra Q değeri 1,467’olarak belirlenmiştir.. Tünel kazı çapı 12 m olduğu için Q kaya sınıfına göre tünel kayası“ Zayıf kaya” olarak bulunmuştur (Şekil 13).

NATM, RMR ve Q sınıflama sistemleri incelenmiş ve ayrıca Şekil 14’deki tabloyu kullanarak RMR-Q sitemi karşılaştırıldıktan sonra Tünel eksen II. Kesim’in kaya sınıflaması “B3 Taneli” olarak adlandırılmıştır (Şekil 15 ve 16). Tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin davranışı, su etkisi, kazı ile destekleme ve desteklemenin zamanlaması belirlenmiştir.

SİLİFKE – MUT (1. KISIM) YOLU KM : 0 + 000 – 16 + 700 ARASI KESİMİNİN YAPIM İŞİ												
T1-A TÜNELİ JEOLojİK AYNA HARİTASI VE KAYA KLASI SINIFLAMASI												
SAG-SOL TUP												
Haritalama Km.si								TARİH		:		
: 9+000-10+100								HARİTA NO		:	T1-A GST	
Açılan tünel kayasının jeomekanik ve mühendislik özelliklerinden yararlanılarak yerinde yapılan gözlemler, sondajlar ve laboratuarda elde edilen veriler neticesinde RMR ve Q sınıflama sistemleri ile KGM - NATM Uygulamalı Yer altı Tünel işleri Teknik şartnameye göre ödemeye esas olan ÖNORM B 2203 Ekim 1994 Sonrası Kaya Sınıflandırma Sistemi aşağıda verilmiştir.												
1. RMR (Jeomekanik sınıflama)- Bieniawski Kaya Kalite Sınıflaması												

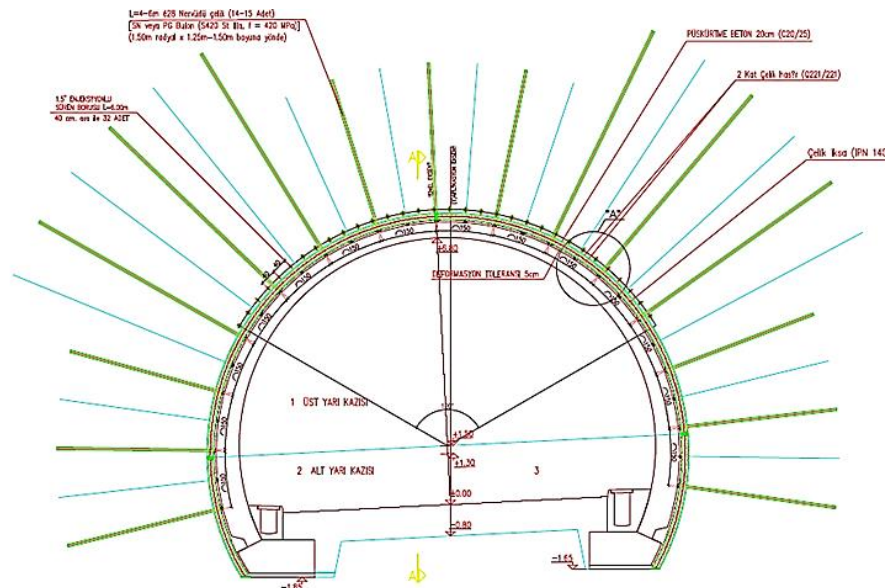
Şekil 13. Tünel eksenli II. Kesim km: 9+000-10+100 için RMR kaya kütle sınıflaması puanlaması

SİLİFKE – MUT (1. KISIM) YOLU KM : 0 + 000 – 16 + 700 ARASI KESİMİNİN YAPIM İŞİ											
T1-A TÜNELİ JEOLojİK AYNA HARİTASI VE KAYA KLASI SINIFLAMASI											
SAG-SOL TUP GİRİŞ											
Haritalama Km.si		: 9+000-10+100						TARİH		:	
								HARİTA NO		:	T1-A-GST
2. Q (Jeomekanik sınıflama)- Barton Kaya Kalite Sınıflaması											

Şekil 14. Tünel eksenii II. Kesim km:9+000-10+100 için Q kaya kütle sınıflaması puanlaması

MIKM VADAR	1 A	B	2 C	C	E	3 F	G	4 H
1994								
NATM Ö-NORM B2203 1983	A1 1 SAĞLAM	A2 2 ZAMANLA KIRILGAN	B1 3 KIRILGAN	B2 4 KIRILGAN veya AZ KIRILGAN	B3 5 ÇOK KIRILGAN veya BASKILI	C1 6 ÇOK BASKILI	C2 7 AKICI	C3 8 VI ÖZEL HAL
NATM ESKİ	I SAĞLAM	II ZAMANLA AZ KAVLAKLANAN	III KIRILGAN	IV ÇOK KIRILGAN	V BASKILI	VI ÇOK BASKILI	VII AKICI	VIII VI ÖZEL HAL
Q BARTON	ÇOK MÜKEMMEL	100 MÜKEMMEL	100 ÇOK İYİ	40 İYİ	10 4 ORTA	1 0.1	0.001	KÖTÜ
RMR CSIRO BIENIAWSKI	100 1 ÇOK İYİ	80 2 İYİ	60 3 ORTA	40 4 KÖTÜ	20 5 ÇOK KÖTÜ			
YENİ (ROSE)	N=0							
ESKİ Hp	1 0	2 0.0-15 B 0.15-0.25 B	3 0.25-0.35 (B+H) 0.35-0.75 (B+H)	4 0.75-1.1 (B+H) 1-1.2 (B+H)	5 2.1-4.5 (B+H)	6 4-5 (B+H) 75m	7 75m	8 AKICI
RQD DEER	90 ÇOK İYİ	75 İYİ	50 ORTA	25 ZAYIF	0 ÇOK ZAYIF			

Şekil 15. Tünel eksenini II. kesim için farklı kaya kütle sınıflamalarının karşılaştırılması



Şekil 16. Tünel eksenini II. Kesimde uygulanan B3 klasındaki destek sistemi

Yukarıda RMR ve Q değerleri belirlendikten sonra kaya kütesine ait GSI puanı hesaplanmıştır(Sönmez ve Ulusay, 2002; Hoek ve Brown, 1980a; Hoek ve Brown, 1980b). Bu amaçla yapılan hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

$$\text{RQD} = 115 - 3,3.J_v$$

$$40 = 115 - 3,3 \cdot J_v$$

$$J_v = 21,21$$

$$SCR = R_r (\text{pürüzlü}) + R_w (\text{orta ayrışmış}) + R_f (\text{sert dolgu} < 5\text{mm})$$

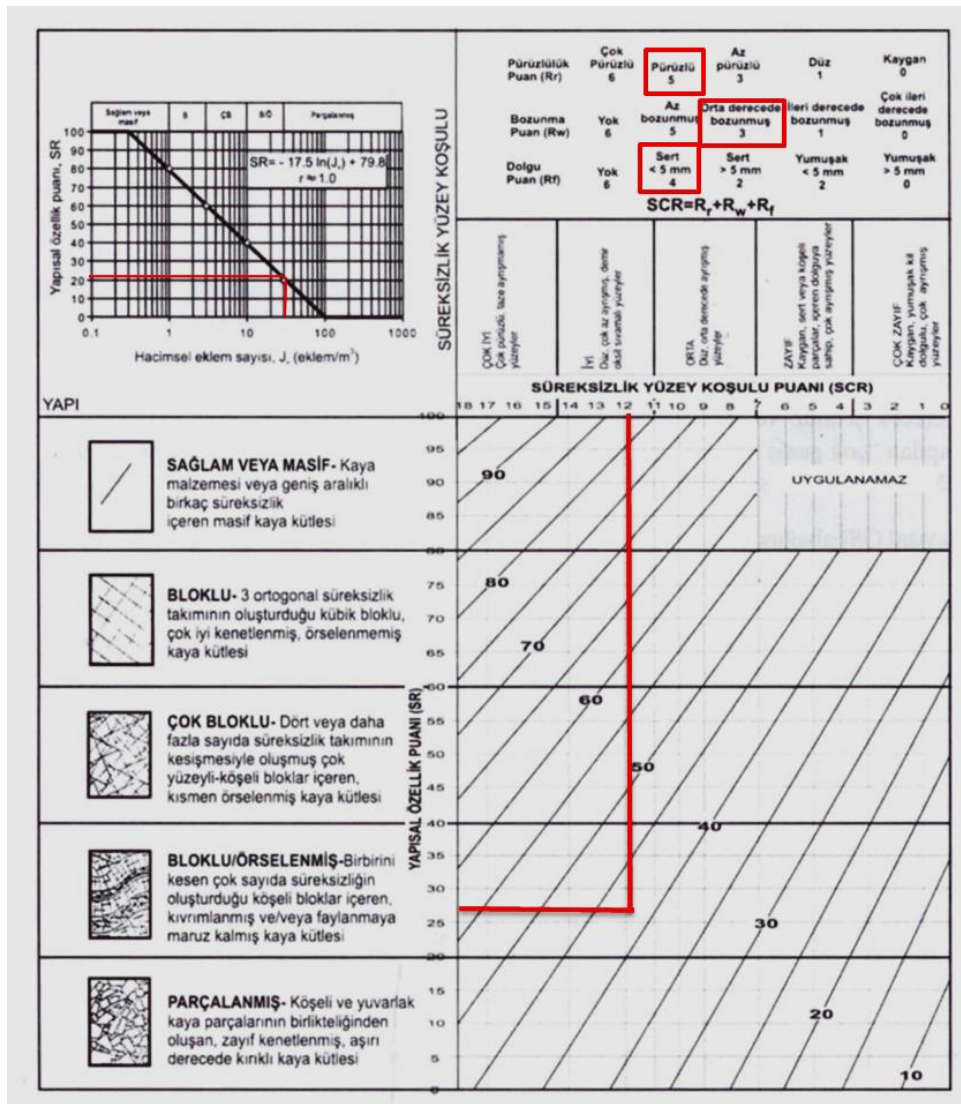
$$SCR = 4 + 3 + 5 = 12$$

$$SR = -17,5 \times \ln J_v + 79,8$$

$$SR = -17,5 \times \ln 21,21 + 79,8$$

$$SR = 26,34 \text{ yaklaşık olarak bulunmuştur.}$$

Bu değerlere göre GSI değeri 43 olarak tespit edilmiştir (Şekil 17).



Şekil 17. Tünel Eksenii II. kesim için Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından önerilen modifiye edilmiş GSI sistemi

Hoek Brown yenilme kriterine göre kaya kütlesi dayanım özellikleri her bir sondajdan elde edilen verilerden ve rocklab programından yararlanılarak belirlenmiştir. Tünel kazısı delme-patlatma ile yapılacağından örselenme faktörü (D) 0.5 alınmıştır. Ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değeri 37 MPa alınmıştır. mi değeri. Hoek ve Diederichs (2006) tarafından önerilen çizelgeden yararlanılarak 17 alınmıştır.

Tünel Eksen III. Kesim (km: 10+100-11+245) Değerlendirilmesi

Bu km'ler arasında genel olarak marn - kumtaşı aralanmasından oluşan birimler gözlenmiştir. Tünel eksen III. Kesim bölgesi altında topografyanın elverişli olduğu bölgelerden yapılan sondajdan elde edilen karot numuneleri ve tünel aynaları incelendiğinde; RMR için dolgu durumu sert dolgu <5 mm olarak tanımlanmıştır. Süreksizlik aralığı genel olarak farklı değerler sunmaktadır. Süreksizlik aralığı<6cm, süreksizlik uzunluğunun 1-3 m, süreksizlik açıklığının 0,1-1 mm arası olduğu belirlenmiştir. Kaya kalite göstergesi (RQD) ve Tek eksenli basınç dayanımı için laboratuvarında bulunan değer alınmıştır. Tüm bu özellikler göz önüne alınıp Şekil 18'da puanlama yapıldıktan sonra temel RMR değeri 57 olarak belirlenmiş ve kaya sınıfı "Orta Kalite Kaya" olarak tanımlanmıştır (Şekil 18).

Tünel III. Kısımında çatlak takım sayısı(Jv); üç eklem takımı ve gelişi güzel çatlaklar çatlak pürüzlülük durumu (Jr); Pürüzlü ya da düzensiz, düzlemsel, çatlak ayrışma durumu (Ja); siltli veya kumlu kil kaplamaları, yumuşamayan düşük kil oranı, Çatlak Suyu İndirgeme Faktörü (Jw); Kuru Kazılar veya Yer Yer Az Su Geliri, Lokal Olarak 5 lt/dk., <1 kg/cm²), SRF (Gerilme İndirgeme Faktörü); Orta derecede gerilme gibi faktörler belirlenip ESR değeri ise tünel olduğu için 1 olarak alınmıştır. Puanlama yapıldıktan sonra Q değeri 3,938'olarak bulunmuştur. Bulunan bu değer kazı çapı 12 m olduğundan tünel kayası Q kaya sınıfına göre "Zayıf kaya" olarak bulunmuştur (Şekil 19).

NATM, RMR ve Q sınıflama sistemlerine göre ve ayrıca Şekil 18'deki tabloyu kullanarak RMR-Q sitemi karşılaştırıldıktan sonra Tünel eksen III. kesimin kaya sınıflaması "B2 Çok

Gevrek” olarak adlandırılmıştır (Şekil 20 ve 21). Tünel güzergahındaki kaya kütlelerinin davranışı, su etkisi, kazı ile destekleme ve desteklemenin zamanlaması belirlenmiştir.

SİLİFKE – MUT (1. KISIM) YOLU KM : 0 + 000 – 16 + 700 ARASI KESİMİNİN YAPIM İŞİ											
T1-A TÜNELİ JEOLojİK AYNA HARİTASI VE KAYA KLASI SINIFLAMASI											
SAĞ-SOL TUP											
Haritalama Km.si	:	10+100-11+245							TARİH	:	
									HARİTA NO	:	T1-A GST
Açılan tünel kayasının jeomekanik ve mühendislik özelliklerinden yararlanılarak yerinde yapılan gözlemler, sondajlar ve laboratuvarda elde edilen veriler neticesinde RMR ve Q sınıflama sistemleri ile KGM - NATM Uygulamalı Yer altı Tünel İşleri Teknik şartnameye göre ödemeye esas olan ÖNORM B 2203 Ekim 1994 Sonrası Kaya Sınıflandırma Sistemi aşağıda verilmiştir.											
1. RMR (Jeomekanik sınıflama)- Bieniawski Kaya Kalite Sınıflaması											
		Parametre							Açıklamalar		Puan
	1	Kaya Malzemesinin Dayanımı, Mpa							25 - 50 Mpa		4,0
	2	Kaya Kalite Göstergesi (RQD %)							63		13,0
	3	Süreksizlik Aralığı, mm.							60-200 mm		8,0
	4	Yeraltısuyu q, lt/dk.							Yok		15
	Süreksizlik Koşulu										
	5	a	Uzunluk (Devamlılık), m.						1-3		4
		b	Açıklık, mm.						0,1-1		4
		c	Pürüzlülük						Pürüzlü		5
		d	Dolgu, mm.						Sert Dolgu <5 mm		4
		e	Bozunma						Az Ayrışmalı		5
	6	Süreksizlik Yönelimine Göre Düzeltme							Orta		-5
	7	TOPLAM PUAN							57,0		
	8	KAYA SINIFI							III Orta Kalitede Kaya		
	Kaya Sınıfı Bazı Özellikleri										
	9	a	Ort. Desteksiz Kalabilme Süresi						5 metre açıklık için 1 hafta		
		b	Kaya Kütlelerinin Kohezyonu, kPa						200 - 300		
		c	Kaya Kütlelerinin İçsel Sürtünme Açısı, derece						25 - 35		
		d	Destek Basıncı,kPa, $P=((100-RMR)/100) \gamma BS$						150,93 kPa		
	10	RMR DESTEK TİPİ Önrm B 2203 1994 Ekim Sonrası)							B2 ÇOK GEVREK		
γ: Kayanın birim hacim ağırlığı; B: Tünel genişliği; S: Gerilme faktörü											

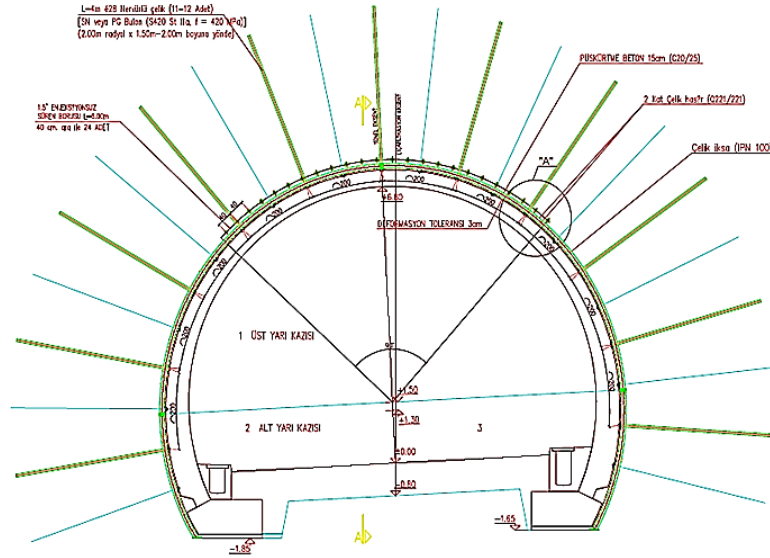
Şekil 18. Tünel eksen III. Kesim km: 10+100-11+245 için RMR kaya kütle sınıflaması puanlaması

SİLİFKE – MUT (1. KISIM) YOLU KM : 0 + 000 – 16 + 700 ARASI KESİMİNİN YAPIM İŞİ												
T1-A TUNELİ JEOLojİK AYNA HARİTASI VE KAYA KLASİ SINIFLAMASI												
SAG-SOL TUP GİRİŞ												
Haritalama Km.si		:	10+100-11+245						TARİH		:	
									HARİTA NO		:	T1-A GST
2. Q (Jeomekanik sınıflama)- Barton Kaya Kalite Sınıflaması												
		Parametre				Açıklamalar				Puan		
1	RQD	Kaya Kalitesi Tanımı (%)								63		
2	Jn	Çatlak Takım Sayısı*				üç çatlak sistemi ve gelişigüzel çatlaklar				12		
3	Jr	Çatlak Pürüzlülük Durumu				Pürüzlü ya da düzensiz, düzlemsel				1,5		
4	Ja	Çatlak Ayrışma Durumu				siltli veya kumlu kil kaplamaları, yumuşamayan düşük kil oranı				2		
5	Jw	Çatlak Suyu İndirgeme Faktörü				Kuru Kazılar veya Yer Yer Az Su Geliri, Lokal Olarak 5 lt/dk., <1 kg/cm2)				1		
6	SRF	Gerilme İndirgeme Faktörü				Orta derecede gerilme				1		
7	ESR	Kazı Türü-Tüneller için								1		
* Tünelin Portal kesiminde Jn x 2 değerleri alınır.												
FORMÜL		Q =	RQD	Jr	Jw	=		3,938				
			Jn	Ja	SRF							
Kazı Çapı 12 m.												
A	Blok Büyüklüğü		RQD / Jn	5,25	E	Desteksiz Açıklık, Bmax		2(ESR) x Q ^{-0.4}	3,4603			
B	Blok İç Dayanımı		Jr / Ja	0,75	F	Tavan Destek Basıncı, Ptavan, MPa		2/3r x Q ^{-1/3}	0,1129			
C	Etkin Gerilme Koşulu		Jw / SRF	1,00	F*	Tavan Destek Basıncı, Ptavan, MPa		(2Ja ^{0.5} x Q ^{-1/3}) / 3 x Jr	0,2933			
					G	Eşdeğer Boyut , De		(Kazı Çapı / ESR)	12			
H	Q DESTEK TİPİ (Önrm B 2203 1994 Ekim Sonrası)		B2 ÇOK GEVREK		*Eklem sisteminin sayısı üçten az ise bu eşitlik kullanılacaktır.							
3. Q indeksi ve RMR değerine göre kazı sınıfı (ÖNORM B 2203 Ekim 1994 Sonrası)												
Kazı Sınıfı		B2 ÇOK GEVREK										
4. Tünel Destek Tipi												
Destek Tipi		B2 destek sınıfı uygulanacaktır.										
NOT: Zeminde gözlenen değişiklikler Mühendise ületilecek gerektiğinde kaya sınıflaması yeniden oluşturulacaktır.												

Şekil 19. Tünel eksen III. Kesim km:-10+100+11+245 için Q kaya kütle sınıflaması puanlaması

MIKM VADAR	1	A	B	C	C	E	F	G	4	H
1994 NATM Ö-NORM B2203 1983	A1	A2	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4	C5
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	SAĞLAM	ZAMANLA KIRILGAN	KIRILGAN	KIRILGAN veya AZ KIRILGAN	ÇOK KIRILGAN veya BASKILI	ÇOK BASKILI	AKICI			
NATM ESKİ	I	II	III	IV	V	VI				
	SAĞLAM	ZAMANLA AZ KAVLAKLANAN	KIRILGAN	ÇOK KIRILGAN	BASKILI	ÇOK BASKILI	ÖZEL HAL			
Q BARTON	ÇOK MÜKEMMEL	100	100	40	10	4	1	0.1	0.0001	
		MÜKEMMEL	ÇOK İYİ	İYİ	ORTA		KÖTÜ			
RMR CSIRO BIENIAWSKI	100	1	80	60	40	20				
		ÇOK İYİ	İYİ	ORTA	KÖTÜ	ÇOK KÖTÜ				
TERZAGHI YENİ (ROSE)	N=0									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ESKİ Hp	0	0.0-15B	0.25-0.35(B+H)	0.75-1.1(B+H)	2.1-4.5 (B+H)	4-5 (B+H)	75m	AKICI		
		0.15-0.25 B	0.35-0.75 (B+H)	1-1.2(B+H)						
RQD DEER	90	75	50	25	0					
	ÇOK İYİ	İYİ	ORTA	ZAYIF	ÇOK ZAYIF					

Şekil 20. Tünel eksenli III. Kesim için farklı kaya kütle sınıflamalarının karşılaştırılması



Şekil 21. Tünel eksenli III. Kesimde uygulanan projedeki B2 klasındaki destek sistemi

Yukarıda RMR ve Q değerleri belirlendikten sonra kaya kütlelerine ait GSI puanı hesaplanmıştır (Sönmez ve Ulusay, 2002; Hoek ve Brown, 1980a; Hoek ve Brown, 1980b). Bu amaçla yapılan hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir.

$$RQD = 115 - 3.3 J_v$$

$$63 = 115 - 3.3 J_v$$

$$J_v = 15,76$$

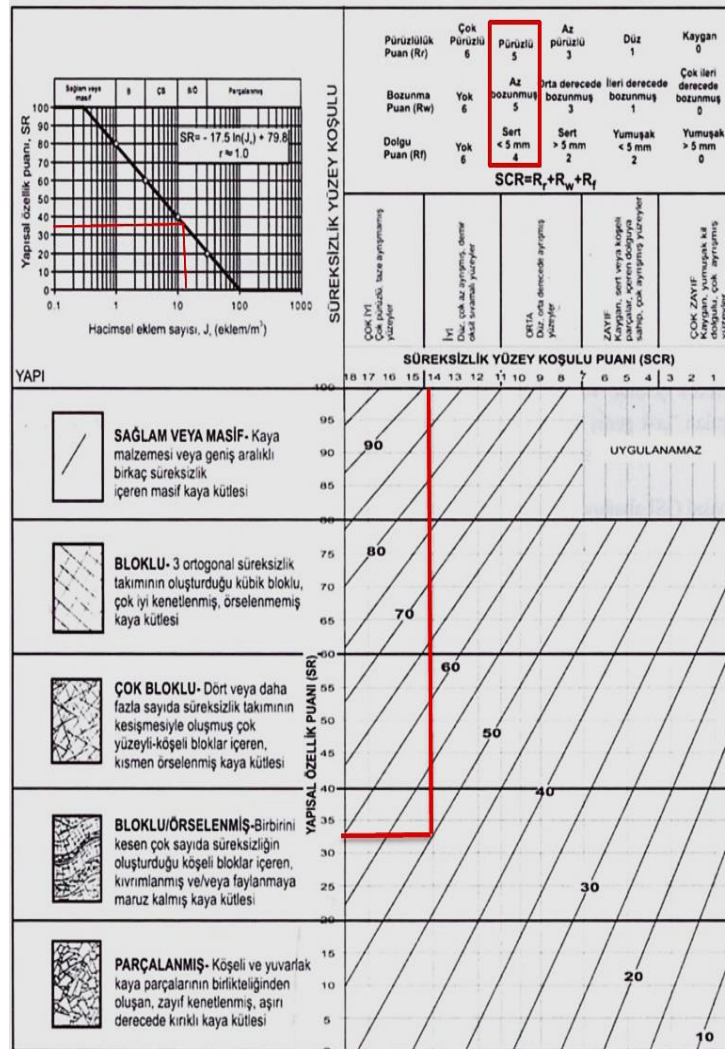
$$SCR = R_r (\text{pürüzlü}) + R_w (\text{az ayrışmış}) + R_f (\text{sert dolgu} < 5\text{mm})$$

$$SCR = 5 + 5 + 4 = 14$$

$$SR = -17,5 \times \ln J_v + 79,8$$

SR = 31,55 yaklaşık olarak bulunmuştur.

Hoek Brown yenilme kriterine göre kaya kütlesi dayanım özellikleri her bir sondajdan elde edilen verilerden ve rocklab programından yararlanılarak belirlenmiştir. Yerinde yapılan incelemeler, gözlemler ve hesaplamalar sonucunda GSI değeri 50 olarak hesaplanmıştır (Şekil 22). Temel kazısı delme-patlatma yöntemi ile yapılacağından örselenme faktörü (D) 0.5 alınmıştır. Ortalama tek eksenli sıkışma dayanımı değeri 49 MPa alınmıştır. mi değeri. Hoek ve Diederichs (2006) tarafından önerilen çizelgeden yararlanılarak 9 alınmıştır.



Şekil 22. Tünel eksenini III. kesim için Sönmez ve Ulusay (1999) tarafından önerilen modifiye edilmiş GSI sistemi

SONUÇ VE ÖNERİLER

1. T1-A tüneli güzergahındaki kayaçların mühendislik özellikleri incelenerek, tünel kesiti üç kesime ayrılmış ve tünel eksenini I, tünel eksenini II, tünel eksenini III altında incelenmiştir. RMR, Q ve NATM destek sınıfına göre C2, B3, B2 sınıfları belirlenmiş ve bu sınıflara göre destekleme sistemleri uygulanması önerilmiştir.
2. T1-A tünelinde, I. kesim için kayaçların mühendislik özellikleri ve laboratuvarından elde edilen sonuçlar incelenerek RMR=28, Q=0,708, RQD=34, UCS=27 MPa, jeoloji dayanım indeksi GSI=28, Hoek Brown yenilme kriterlerinden $E_m=88,35$ MPa bulunmuştur. RMR, Q ve NATM kaya kütle sınıflaması ve ayna haritalanması yapıldıktan sonra kayacın belirlenen sınıfı C2'dir. Tünel içerisindeki destekleme sisteminde 200 mm NPI profil iksa, ilerleme boyu 1,00 m, Q 221/221 çift kat çelik hasır, 22-23 adet enjeksiyonlu 6m SN bulon, 2 inç kalınlığında 32 adet enjeksiyonlu boru süren ve püskürtme beton kullanılması uygun görülmüştür.
3. T1-A tünelinde, II. kesim için kayaçların mühendislik özellikleri ve laboratuvarından elde edilen sonuçlar incelenerek RMR=50, Q=1,467, RQD=40, UCS=37 MPa, jeoloji dayanım indeksi GSI=43, Hoek Brown yenilme kriterlerinden $E_m=187,39$ MPa bulunmuştur. RMR, Q ve NATM kaya kütle sınıflaması ve ayna haritalanması yapıldıktan sonra kayacın belirlenen sınıfı B3'tür. Tünel içerisindeki destekleme sisteminde 140 mm NPI profil iksa, ilerleme boyu 1,25-1,50 m, Q 221/21 çift kat çelik hasır, 1,5 inç kalınlığında 32 adet enjeksiyonlu boru süren, tabanlar ve eksen kısmında 4m, omuzlarda 6m olmak üzere 14-15 adet enjeksiyonlu SN bulon ve püskürtme beton kullanımı uygun görülmüştür.
4. T1-A tünelinde, tünel eksenini III. kesim için kayaçların mühendislik özellikleri ve laboratuvarından elde edilen sonuçlar incelenerek RMR=57, Q=3,938, RQD=63, UCS=49 MPa, jeoloji dayanım indeksleri GSI=50, Hoek Brown yenilme kriterleri $E_m=267,43$ MPa hesaplanmıştır. RMR, Q ve NATM kaya kütle sınıflaması ve ayna haritalanması yapıldıktan sonra kayacın belirlenen sınıfı B2'dir. Fakat çıkış portalinden itibaren 110 m B2 sınıfında olmasına rağmen ayna daha güvenli olsun diye B3 sınıfında geçilmiştir. Tünel

içerisindeki destekleme sisteminde 120 mm NPI profil iksa, ilerleme boyu 1,5-2m, Q 221/221 çift kat çelik hasır, 11-12 adet 4m enjeksiyonlu SN bulon ve püskürtme beton kullanımı uygun görülmüştür.

5. Ampirik olarak yapılan kaya kütle sınıflamaları ve önerilen kazı destek yöntemleri, uygulama sırasında karşılaşılabilecek olumsuz koşullar karşısında tekrar jeolojik-jeoteknik çalışmalar yapılarak destek tasarımlarında değişikliğe gidilebilecektir.
6. Yapım aşamasında düzenli ve sürekli olarak ayna haritalanmaları yapılmalı ve sürekli deformasyon ölçümleri yapılarak tünel içerisindeki davranışlar belirlenmeli ve ona göre tedbirler alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akarsu, İ., 1960, Mut Bölgesinin jeolojisi. Maden Tetkik Arama Enst. Dergi. No. 54, s. 36-45
- Barton, N., Lien, R., 1974, Engineering Classifications of Rock Masses for the Design of Tunnel Support, Rock Mechanics 6:189-239. Barton, N., 1976, Recent Experiences with the Q-System for Tunnel Support, Proceeding of the Symposium Explorations for Rock Engineering 1:107-114.
- Barton, N., 1976, The Shear Strenght of Rocks and Rock Joints, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, 13:255-279
- Barton, N.R., 2002. Some New Q-value Correlations to Assist in Site Characterization and Tunnel Design. International Journal of Rock Mechanics Mining Sciences 39 (2), 185-216.
- Bieniawski, T., 1973, Engineerin Classifications of Jointed Rock Masses, Transaction of South African Institution of Civil Engineering, 15:335.
- Bieniawski, T., 1989, Engineering Rock Mass Classifications, John Wiley and Sons, 237.
- Bizon, G.; Bizon. J. J.; Feinberg. H. ve öztemur, E., 1974, Antalya, Mut, Adana havzaları Tersiyer biyostratigrafisi ve mikropaleontolojisi yenilikleri: Türkiye ikinci Petrol Kongresi Tebliğleri, 217-218, Ankara.
- Çetinkaya, M. 2022. Silifke –Mut (Mersin) Karayolu T1-A Tünelinin Jeoteknik Değerlendirilmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 93 s. ADANA.

- Deere, D.U., Miller, R.P., 1966. "Engineering Classification And Index Properties For Intact Rock", Tech.Rept. No AFWL-65-116, Air Force Base, New Mexico.
- Demirtaşlı, E., 1973, Bolkar dağlarının jeolojisi Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi Teb., s. 42J.57
- Demirtaşlı, E., 1984, Stratigraphy and tectonics of the area between Silifke and Anamur, Central Taurus Mountains, Geology of the Taurus Belt, Inter. Symp., 125-142, Ankara
- Gedik, A., Birgili, Ş., Yılmaz, H. ve Yoldaş, R., 1979: Mut-Ermenek-Silifke yöresinin jeolojisi ve petrol olanakları, Türkiye Jeol. Kur. Bülteni, C.22, s.7-26, Ankara.
- Gökten, E., 1976, Silifke yöresinin temel kaya birimleri ve Miyosen stratigrafisi Türkiye Jeol. Kur. Bült, 19, 2, s. 117-126.
- Grimstad, E., Barton, N., 1993, Updating the Q-System for NTM, Proceeing of the International Symposium Concrete-Modern Use of Wet Mix Sprayed Concrete for Underground Support, Norveç
- Hoek, E. & Brown, E.T., 1980, a) Underground excavations in rock. London, Inst. Min. Metall.
- Hoek, E. & Brown, E.T., 1980, b) Empirical strength criterion for rock masses. J.Geotech Eng. Div., ASCE, 106 (GT 9), 1013-1035
- Hoek, E., Diederichs, M.S., 2006. Empirical estimation of rock mass modulus. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 43. 203-215.
- ISRM, 1981. Rock characterization, testing and monitoring. In: Brown, E.T. (Ed.), International Society for Rock Mechanics (ISRM) Suggested Methods. Pergamon, Oxford. 211 pp..
- Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013. Karayolları Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Korkmaz, S., ve Gedik, A., 1990, Mut-Ermenek-Silifke (Konya-Mersin.) havzasında ana kaya fasiyesi ve petrol oluşumunun organik jeokimyasal yöntemlerle incelenmesi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 33, 29-37. Mühendisleri Odası Yayınları, No:60, Ankara.
- Nieoff, W., 1960, Mut 126/1 numaralı harita paftasının revizyon neticeleri hakkında rapor. Maden Tetkik Arama Enst. Der. Rap. No. 3390
- Özer, B., Duval, B.B., Courrier, P. ve Letouzey, J., 1974. Antalya-Mut-Adana Neojen havzaları jeolojisi. Türkiye 2. Petrol Kongresi Bildiriler Kitabı, 57-81.
- Özgül, N., 1971, Orta Torosların kuzey kesiminin yapısal gelişiminde blok hareketlerinin Türkiye Jeol. Kur. Bült. 14, 75-87.
- Rabcewicz, L., 1964. The New Austrian Tunneling Method, Water Power, 453-457.

Sezer, S., 1970, The Miocene stratigraphy of Mut region, southern Turkey (Doktora tezi).

Birkbeck college London University.

Terzaghi K., 1946. Introduction to Tunnel Geology. Rock tunneling with steel supports.

Ulusay ve Sönmez, 2002, Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, Jeoloji



İzmir Civarındaki Bazı Jeotermal Alanların Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Depremsellik ile İlişkisi

Hydrogeochemical Properties of Some Geothermal Fields Around İzmir and Relationship with Seismicity

ÖZKAN ATEŞ¹, Orcid: 0000-0002-7562-7399

SÜHA ÖZDEN² Orcid: 0000-0001-6321-0812

SERKAN ÖZDEN³ Orcid: 0000-0003-2782-8935

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Çan/Çanakkale

²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çanakkale

³Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Acil Yardım ve Afet Yönetimi Bölümü, Çanakkale

Geliş (received): 28.04.2023

Kabul (Accepted): 18.05.2023

ÖZ

Çalışma alanı Batı Anadolu'da, İzmir ili Seferihisar ve Çeşme ilçeleri ile yakın çevresinde bulunan jeotermal alanları kapsamaktadır. Çalışma alanı ve yakın civarı aletsel dönemdeki depremler açısından oldukça aktif bir bölge olduğu gibi jeotermal sistemler açısından da oldukça zengindir. Bu alanlar Balçova, Seferihisar (Cumalı, Doğanbey, Karakoç, Doğanbey Burnu), Çeşme (Ilıca, Şifne), Dikili-Bergama (Kaynarca, Dikili, Nebiler, Bademli, Kocaoba, Paşa, Güzellik), Aliağa (Ilıcaburun, Çukurova, Samurlu, Reşadiye), Bayındır ve Urla (Gülbahçe) Jeotermal Alanlarıdır. Bu jeotermal alanların çoğu da aktif fay zonları üzerinde bulunmaktadır. Çalışma alanında, batıdan doğuya doğru yaklaşık K-G uzanımlı Mordoğan Fayı, Gülbahçe Fay Zonu, Seferihisar Fayı ve Tuzla Fayı bölgenin en önemli aktif faylarıdır. Bu bölgenin büyük bölümü, geçmişte olduğu gibi günümüzde de deprem riski altında bulunmaktadır. Çalışma alanı ve çevresinde aletsel dönemde (1900-2021) magnitüdü M=4.0 den büyük yaklaşık 320 adet depremin meydana geldiği ve aktivitenin halen devam etmekte olduğu bilinmektedir. Bu çalışmanın başlangıç ve bitiş tarihleri olan Ocak 2019-Ocak 2021 tarihleri arasında alanda M=3.5 ten büyük yaklaşık 190 adet deprem meydana gelmiştir. Ayrıca bölgede 1955 yılında M=6.8 ve 2020 yılında Mw=6.9 büyüklüğünde depremler meydana

gelmiştir. Bu çalışma kapsamında İzmir ilinde Karakoç ve Doğanbey (Seferihisar) ile Şifne ve Ilıca (Çeşme) jeotermal alanlarında belirlenen sıcak su kaynaklarından yaklaşık iki yıl süren bir izleme çalışması yapılarak çalışma alanındaki jeotermal kaynaklar ile aktif fayların ilişkisi ortaya çıkarılmış ve deprem aktivitesi ile ilişkilendirilerek çevresel etkileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İzmir, Tuzla Fayı, Seferihisar, Jeotermal Enerji, Aktif Tektonik

Yazar Özkan ATEŞ ozkanates@comu.edu.tr

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çan Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Çan/Çanakkale

ABSTRACT

The study area covers the Seferihisar and Çeşme districts of İzmir province and the geothermal fields in their immediate vicinity in Western Anatolia. The study area and its vicinity are a very active region in terms of earthquakes in the instrumental period as well as a very rich region in terms of geothermal systems. These areas are Balçova, Seferihisar (Cumalı, Doğanbey, Karakoç, Doğanbey Cape), Çeşme (Ilıca, Şifne), Dikili-Bergama (Kaynarca, Dikili, Nebiler, Bademli, Kocaoba, Paşa, Beauty), Aliğa (Ilicaburun, Çukurova, Samurlu, Reşadiye), Bayındır and Urla (Gülbahçe) Geothermal Fields. Most of these geothermal fields are located on active fault zones. In the study area, Mordoğan Fault, Gülbahçe Fault Zone, Seferihisar Fault, and Tuzla Fault are the most important active faults of the region, extending from west to east. A large part of this region is at the same risk of earthquakes today as it was in the past. It is known that approximately 320 earthquakes with a magnitude greater than $M=4.0$ occurred in the instrumental period (1900-2021) in and around the study area, and the activity is still continuing. Between the start and end dates of this study, January 2019-January 2021, approximately 190 earthquakes with a magnitude of $M=3.5$ occurred in the area. In addition, an $M=6.8$ earthquake in 1955 and an $M_w=6.9$ magnitude earthquake in 2020 occurred in the region. Within the scope of this study, a two-year monitoring study was carried out on the hot water resources determined in the Karakoç and Doğanbey (Seferihisar) and Şifne and Ilıca (Çeşme) geothermal areas in the province of İzmir, revealing the relationship between the geothermal resources and active faults in the study area, and this high earthquake activity and its environmental effects were investigated.

Keywords: İzmir, Tuzla Fault, Seferihisar, Geothermal Energy, Active Tectonic

GİRİŞ

Bu çalışmada, Batı Anadolu’da yer alan İzmir ili Seferihisar ve Çeşme ilçelerinde yer alan bazı jeotermal alanlarda belirlenen sıcak su kaynaklarında yerinde ölçümler ve alınan sıcak su örneklerinden analizler yapılarak jeotermal suların hidrojeokimyasal özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Yerinde ölçüm ve su örnekleme çalışmaları düzenli periyotlarda gerçekleştirilmiştir. Sismik açıdan da oldukça aktif olan bu bölgede, bu analizlerin sonuçları ile bu termal suların oluşturabileceği çevresel kirlilik etkileri, hidrojeokimyası ve bölgede meydana gelen depremler ile suların fiziksel yada kimyasal özelliklerinde herhangi bir değişimin olup olmadığı araştırılmıştır.

Yeraltı suyu bileşimlerindeki fiziksel ve kimyasal değişimlerin deprem öncesinde oluşan ilk sarsıntılarla başladığı ve enerji boşalımı maksimum değerlere ulaştığı, sonra zamanla normal değerlerine döndüğü bilinmektedir (Şimşek ve Yıldırım, 2000). Depremlerin öncesinde, sırasında ve sonrasında yeni su kaynakları oluşumu ya da var olan su kaynaklarının kaybolması da olağandır. 1999 İzmit ve Düzce depremlerinde, 2011 Simav depreminde de bazı jeotermal kaynak ve sondaj kuyu sularında fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelmiştir (Şimşek ve Yıldırım, 2000; Ateş ve Tutkun, 2014).

Türkiye Diri Fay Haritası’nda aktif fay olarak gösterilen Tuzla Fayı, Seferihisar Fayı, Mordoğan Fayı ile Gülbahçe Fay Zonu ve çevresinde yer alan çalışma alanı, İzmir (Batı Anadolu) ili içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Bölge aletsel dönemdeki depremler açısından oldukça aktif bir bölge olduğu gibi jeotermal sistemler bakımından da oldukça zengin bir bölgedir. Bu bölgenin büyük bölümü, geçmişte olduğu gibi günümüzde de deprem riski altında bulunmaktadır. Batıdan doğuya doğru yaklaşık K-G uzanımlı Mordoğan Fayı, Gülbahçe Fay Zonu, Seferihisar Fayı, Tuzla Fayı, yaklaşık D-B uzanımlı İzmir Fayı ve yaklaşık KD-GB uzanımlı Yenifoça Fayı bölgenin en önemli aktif faylarıdır. Bu fayların yanı sıra alanda pek çok aktif tektonik unsurun da olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte çalışma alanı ve çevresinde aletsel dönemde (1900-2021) magnitudü $M=4.0$ den büyük yaklaşık 320 adet depremin meydana geldiği ve aktivitenin halen devam etmekte olduğu bilinmektedir. Bu çalışmanın başlangıç ve bitiş tarihleri olan Ocak 2019-Ocak 2021 tarihleri arasında alanda $M=3.5$ ten büyük yaklaşık 190 adet deprem meydana gelmiştir. Ayrıca bölgede 1909 yılında 1 adet $M=6.0$, 1949

yılında $M=6.6$, 1955 yılında $M=6.8$ ve 2020 yılında 1 adet $M_w=6.9$ büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Figure 1. Location map of study area

Çalışma alanı ve yakın civarı aletsel dönemdeki depremler açısından oldukça aktif bir bölge olduğu gibi jeotermal sistemler açısından da oldukça zengin bir bölgedir. Bu alanlar Balçova, Seferihisar (Cumalı, Doğanbey, Karakoç, Doğanbey Burnu), Çeşme (Ilıca, Şifne), Dikili-Bergama (Kaynarca, Dikili, Nebiler, Bademli, Kocaoba, Paşa, Güzellik), Aliğa (Ilıcaburun, Çukurova, Samurlu, Reşadiye), Bayındır ve Urla (Gülbahçe) Jeotermal Alanlarıdır. Bu jeotermal alanların çoğu da aktif fay zonları üzerinde bulunmaktadır. Bu jeotermal alanlardan belirlenen sıcak su kaynaklarında (Seferihisar ilçesindeki Karakoç ve Doğanbey jeotermal alanları ile Çeşme ilçesindeki Ilıca ve Şifne jeotermal alanları) yaklaşık iki yıl süren bir izleme çalışması yapılarak jeotermal kaynaklar ile aktif fayların ilişkisi ortaya çıkarılarak bu yüksek deprem aktivitesi ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca termal suların yaratabileceği olası çevresel etkiler araştırılmıştır.

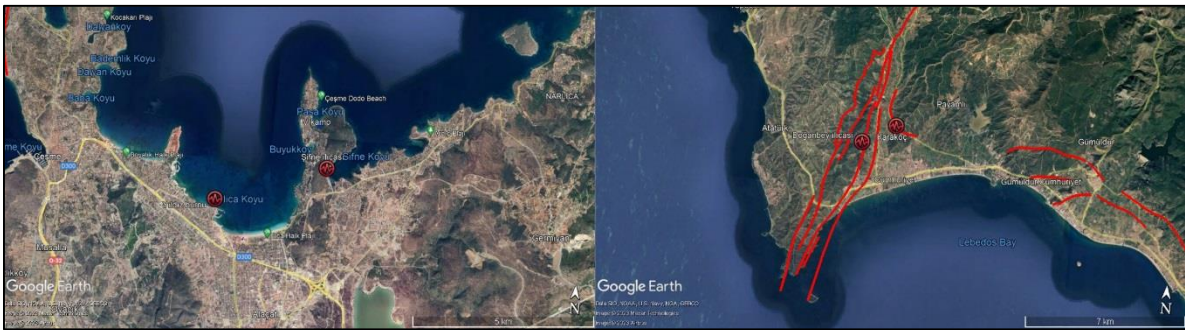
METOD VE BULGULAR

Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada İzmir ili Seferihisar ve Çeşme ilçelerinde yer alan jeotermal alanlarda aktif fay hatları ile ilişkili sıcak su kaynakları belirlenmiştir. Bu kaynaklar Doğanbey ve Karakoç (Seferihisar) ile Şifne ve Ilıca (Çeşme) sıcak su kaynaklarıdır. Arazide belirlenen dört adet jeotermal alandaki sıcak su kaynaklarında iki yıl boyunca on örnekleme döneminde yerinde ölçüm ve su örnekleme gerçekleştirilmiştir. Kaynakların başında pH, iletkenlik (EC) ve sıcaklık (T) ölçümleri yapılmıştır. Sıcak suların HCO_3^- analizleri titrasyon yöntemi ile SO_4^{2-} analizleri ise spektrofotometre ile laboratuvarlarda ölçülmüştür. Alınan sıcak su örneklerinin kimyasal analizlerinden majör anyon, katyon analizleri ise Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Laboratuvarlarında ICP-OES (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , B ve As) ve iyon kromatografisi (Cl^-) cihazlarında yapılmıştır.

Çalışma Alanındaki Jeotermal Alanların Hidrojeokimyasal Özellikleri

Bu çalışmada Şubat 2019-Kasım 2020 tarihleri arasında 10 farklı dönemde İzmir ilinde Şifne ve Ilıca (Çeşme) ile Karakoç ve Doğanbey (Seferihisar) jeotermal alanlarında belirlenen sıcak su kaynaklarından periyodik olarak yerinde ölçüm ve su örnekleme çalışmaları yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanında örnekleme yapılan jeotermal alanlar (MTA, 2005)

Figure 2. Geothermal fields sampled in the study area (MTA, 2005)

Doğanbey (Seferihisar) Jeotermal Alanı

İzmir ilinin GB'sında Gümüldür beldesi ile Seferihisar ilçesi arasında yer alır. Sıcak su eski kaplıca kalıntılarının yanında doğal olarak yüzeye ulaşmaktadır (Şekil 3). Bu alanda 10 farklı dönemde yerinde ölçüm ve örnekleme çalışması yapılmıştır ve suların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 1). Sıcak suyun yüzey sıcaklığı, pH ve EC değerleri sırası ile 61,00-66,30 °C, 6,37-6,94 .ve. 11570-13060 µs aralığında ölçülmüştür. Majör iyon analiz sonuçları hidrojeokimyasal grafiklere aktarılmıştır. Anyon dizilimi $\text{Na} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg}$ ve katyon dizilimi $\text{Cl} > \text{HCO}_3 > \text{SO}_4$ şeklindedir.



Şekil 3. Doğanbey jeotermal alanındaki sıcak su kaynağı

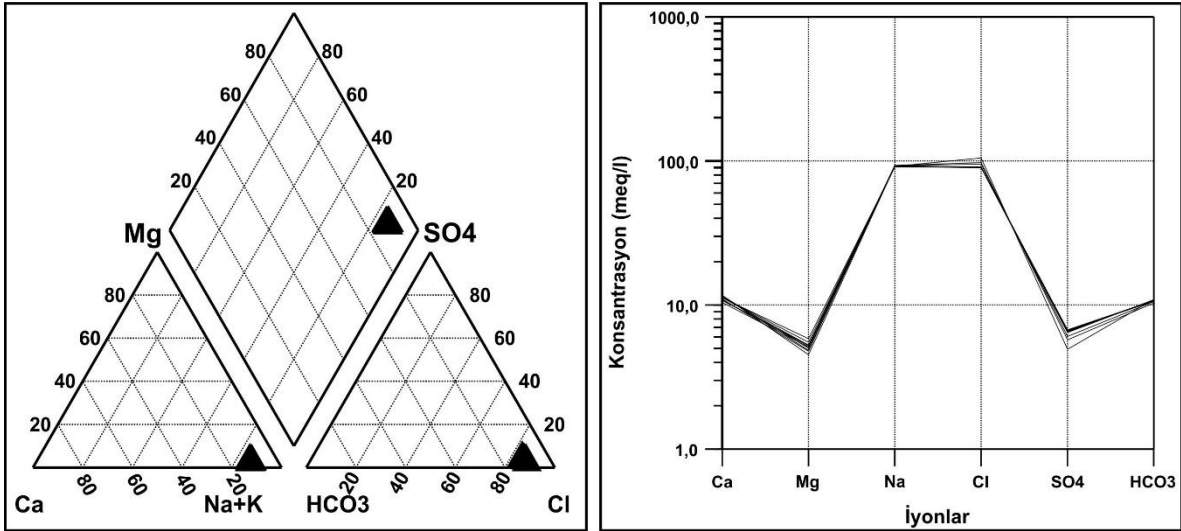
Figure 3. Hot water spring in Doğanbey geothermal field

Çizelge 1. Doğanbey jeotermal alanındaki sıcak suların analiz sonuçları

Table 1. Analysis results of hot waters in Doğanbey geothermal area

Lokasyon	Tarih	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)
Doğanbey	03.02.2019	61,00	6,82	11,570	226	2102	64	147	3220	313	663
	24.03.2019	63,60	6,88	12,150	218	2108	63	138	3189	315	658
	25.05.2019	65,20	6,85	12,520	221	2132	58	145	3204	320	656
	27.07.2019	65,70	6,79	12,580	231	2123	59	142	3214	321	648
	17.08.2019	64,70	6,94	12,660	209	2110	62	135	3223	318	655
	28.09.2019	65,90	6,80	12,770	225	2087	71	133	3195	323	678
	10.11.2019	63,90	6,55	12,610	227	2097	67	158	3187	309	665
	23.08.2020	65,70	6,37	12,680	232	2137	61	145	3367	291	645
	31.10.2020	66,20	6,43	13,060	234	2112	55	148	3720	237	668
	15.11.2020	61,80	6,64	12,720	216	2141	64	151	3456	275	630

Majör anyon/kasyon analiz sonuçları, su tipini belirlemek üzere Piper (Piper, 1944) ve Schoeller (Schoeller, 1955) hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Doğanbey jeotermal alanındaki sıcak su Na-Cl su tipini yansıtmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Doğanbey kaynağından alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller diyagramları

Figure 4. Piper and Schoeller diagrams prepared according to data from Doğanbey spring

Karakoç (Seferihisar) Jeotermal Alanı

İzmir ilinin GB'sında Ürkmez beldesi ile Seferihisar ilçesi arasında yer alır. Sıcak su doğal kaynak olarak yeryüzüne ulaşır ve eskiden kaplıca olarak kullanılan tesise borular yardımıyla ulaşmaktadır (Şekil 5). Bu alanda 10 farklı dönemde yerinde ölçüm ve örnekleme çalışması yapılmıştır ve suların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 2). Sıcak suyun yüzey sıcaklığı, pH ve EC değerleri sırası ile 48,10-58,30 °C, 6,28-7,58 ve 6702-7812 μS aralığında ölçülmüştür. Majör iyon analiz sonuçları hidrojeokimyasal grafiklere aktarılmıştır. Anyon dizilimi $\text{Na} > \text{Ca} > \text{K} > \text{Mg}$ ve katyon dizilimi $\text{Cl} > \text{HCO}_3 > \text{SO}_4$ şeklindedir.



Şekil 5. Karakoç jeotermal alanındaki sıcak su kaynağı

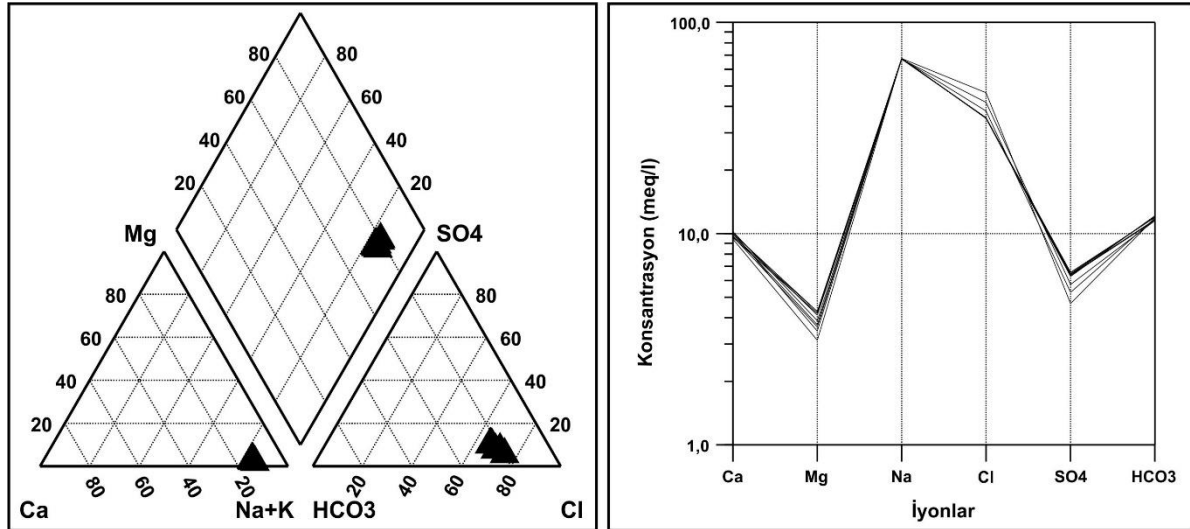
Figure 5. Hot water spring in Karakoç geothermel area

Çizelge 2. Karakoç Jeotermal Alanındaki sıcak suların analiz sonuçları

Table 2. Analysis results of hot waters in Karakoç geothermal field

Lokasyon	Tarih	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)
Karakoç	03.02.2019	58,30	6,87	7,513	199	1542	45	114	1250	308	734
	24.03.2019	52,80	7,58	6,702	205	1550	47	110	1248	302	725
	25.05.2019	53,70	7,52	6,698	203	1552	42	115	1245	301	741
	27.07.2019	52,10	6,81	7,190	189	1548	38	112	1251	315	728
	17.08.2019	49,50	6,84	7,277	195	1545	52	108	1255	306	711
	28.09.2019	49,70	6,73	7,057	201	1551	48	111	1247	304	705
	10.11.2019	49,60	6,77	7,149	202	1538	50	107	1254	311	732
	23.08.2020	54,90	6,43	7,254	194	1538	44	105	1247	310	703
	31.10.2020	52,20	6,28	7,301	192	1551	51	121	1584	224	724
	15.11.2020	48,10	6,71	7,812	201	1545	45	112	1350	253	721

Majör anyon/kasyon analiz sonuçları, su tipini belirlemek üzere Piper (Piper, 1944) ve Schoeller (Schoeller, 1955) hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Karakoç jeotermal alanındaki sıcak su Na-Cl su tipini yansıtmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Karakoç kaynağından alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller diyagramları

Figure 6. Piper and Schoeller diagrams prepared according to data from Karakoç spring

Ilıca (Çeşme) Jeotermal Alanı

İzmir ilinin batısında Çeşme ilçesi doğusunda yer alır. Sıcak su doğal kaynak olarak deniz kenarında yüzeye ulaşmaktadır (Şekil 7). Bu alanda 9 farklı dönemde yerinde ölçüm ve örnekleme çalışması yapılmıştır ve suların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 3). Sıcak suyun yüzey sıcaklığı, pH ve EC değerleri sırası ile 31,80-44,80 °C, 7,08-7,61 ve 54670-56380 µs aralığında ölçülmüştür. Majör iyon analiz sonuçları hidrojeokimyasal grafiklere aktarılmıştır. Anyon dizilimi $\text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{K}$ ve katyon dizilimi $\text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$ şeklindedir.



Şekil 7. Ilıca jeotermal alanındaki sıcak su kaynağı

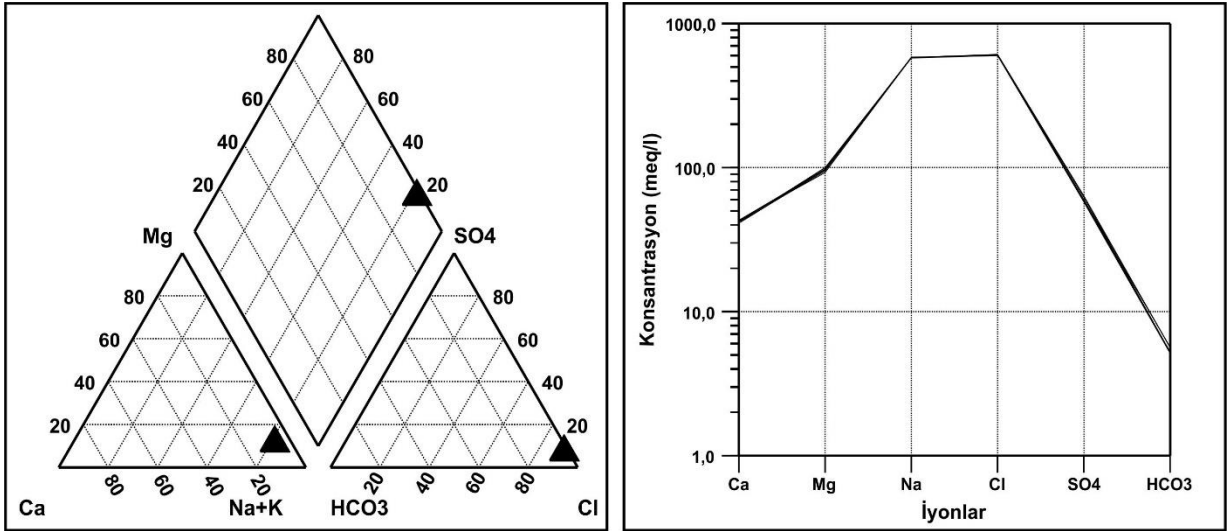
Figure 7. Hot water spring in Ilıca geothermal field

Çizelge 3. Ilıca jeotermal alanındaki sıcak suların analiz sonuçları

Table 3. Analysis results of hot waters in Ilıca geothermal area

Lokasyon	Tarih	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)
Ilıca	03.02.2019	34,40	7,25	54,670	855	13400	1187	437	21566	2987	317
	24.03.2019	42,20	7,30	54,740	840	13250	1210	410	21250	2852	320
	25.05.2019	44,40	7,21	55,580	835	13387	1145	458	21235	2789	348
	27.07.2019	40,40	7,13	55,330	848	13405	1165	396	21401	2754	312
	17.08.2019	38,20	7,48	56,010	864	13462	1183	424	21420	2864	344
	28.09.2019	40,70	7,47	55,430	851	13304	1174	450	21489	2960	365
	10.11.2019	31,80	7,61	56,360	823	13285	1169	469	21478	2877	314
	23.08.2020	44,80	7,08	55,100	862	13312	1122	432	21389	2978	345
	31.10.2020	ÖRNEKLEME YAPILMADI									
	14.11.2020	42,00	7,36	55.300	838	13374	1218	445	21704	3054	341

Majör anyon/kasyon analiz sonuçları, su tipini belirlemek üzere Piper (Piper, 1944) ve Schoeller (Schoeller, 1955) hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Ilıca jeotermal alanındaki sıcak su Na-Cl su tipini yansıtmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Ilıca kaynağından alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller diyagramları

Figure 8. Piper and Schoeller diagrams prepared according to the data taken from the Ilıca spring

Şifne (Çeşme) Jeotermal Alanı

İzmir ilinin batısında Çeşme ilçesi doğusunda yer alır. Sıcak su doğal kaynak olarak yüzeye ulaşmaktadır ve bir otel işletmesinde kullanılmaktadır (Şekil 9). Bu alanda 9 farklı dönemde yerinde ölçüm ve örnekleme çalışması yapılmıştır ve suların fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 4). Sıcak suyun yüzey sıcaklığı, pH ve EC değerleri sırası ile 34,40-29,70 °C, 6,90-7,66 ve 11230-33760 µs aralığında ölçülmüştür. Majör iyon analiz sonuçları hidrojeokimyasal grafiklere aktarılmıştır. Anyon dizilimi Na>Ca>Mg>K ve katyon dizilimi Cl>SO₄>HCO₃ şeklindedir.



Şekil 9. Şifne jeotermal alanındaki sıcak su kaynağı

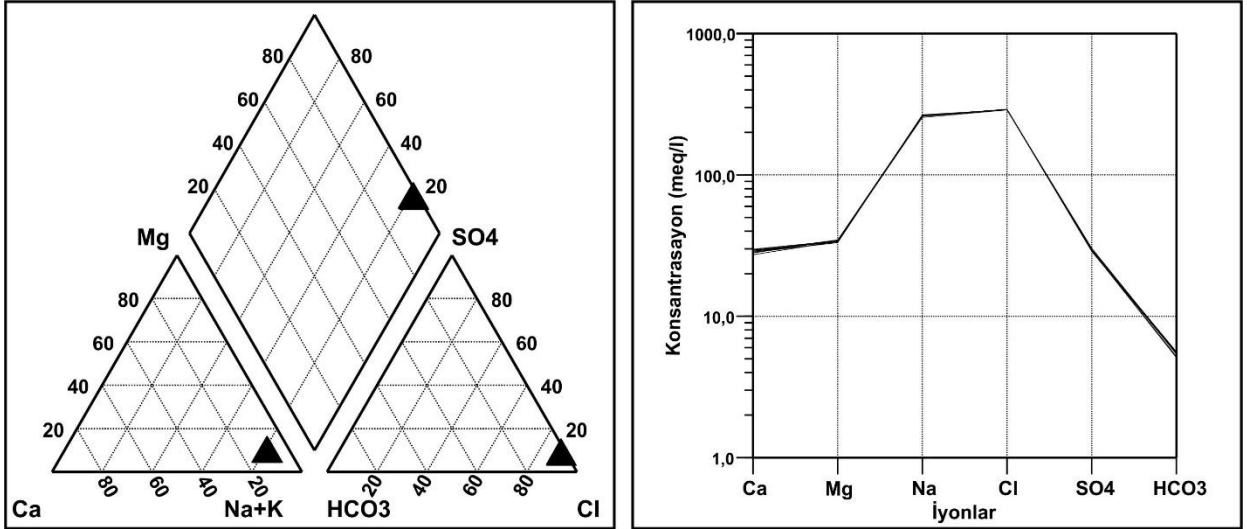
Figure 9. Hot water spring in Şifne geothermal area

Çizelge 4. Şifne jeotermal alanındaki sıcak suların analiz sonuçları

Table 4. Analysis results of hot waters in Şifne geothermal area

Lokasyon	Tarih	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Ca (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO4 (mg/l)	HCO3 (mg/l)
Şifne	03.02.2019	34,40	7,22	28,040	590	6052	408	206	10287	1418	329
	24.03.2019	38,10	7,66	11,230	587	6042	410	201	10350	1421	340
	25.05.2019	37,20	7,19	22,960	569	6124	403	198	10257	1454	335
	27.07.2019	38,50	6,99	14,170	565	5987	418	187	10278	1422	312
	17.08.2019	36,70	7,30	18,400	578	5990	412	202	10340	1415	341
	28.09.2019	36,80	7,36	20,800	547	5874	398	212	10228	1398	321
	10.11.2019	37,60	7,26	20,690	598	6021	415	210	10301	1378	332
	23.08.2020	39,70	6,90	33,760	578	5954	421	218	10303	1388	317
	31.10.2020	ÖRNEKLEME YAPILMADI									
	15.11.2020	38,20	7,28	32.200	563	6048	418	179	10310	1394	311

Majör anyon/kasyon analiz sonuçları, su tipini belirlemek üzere Piper (Piper, 1944) ve Schoeller (Schoeller, 1955) hidrojeokimyasal değerlendirme amaçlı sayısal diyagramlarına aktarılmıştır. Şifne jeotermal alanındaki sıcak su Na-Cl su tipini yansıtmaktadır (Şekil 10).



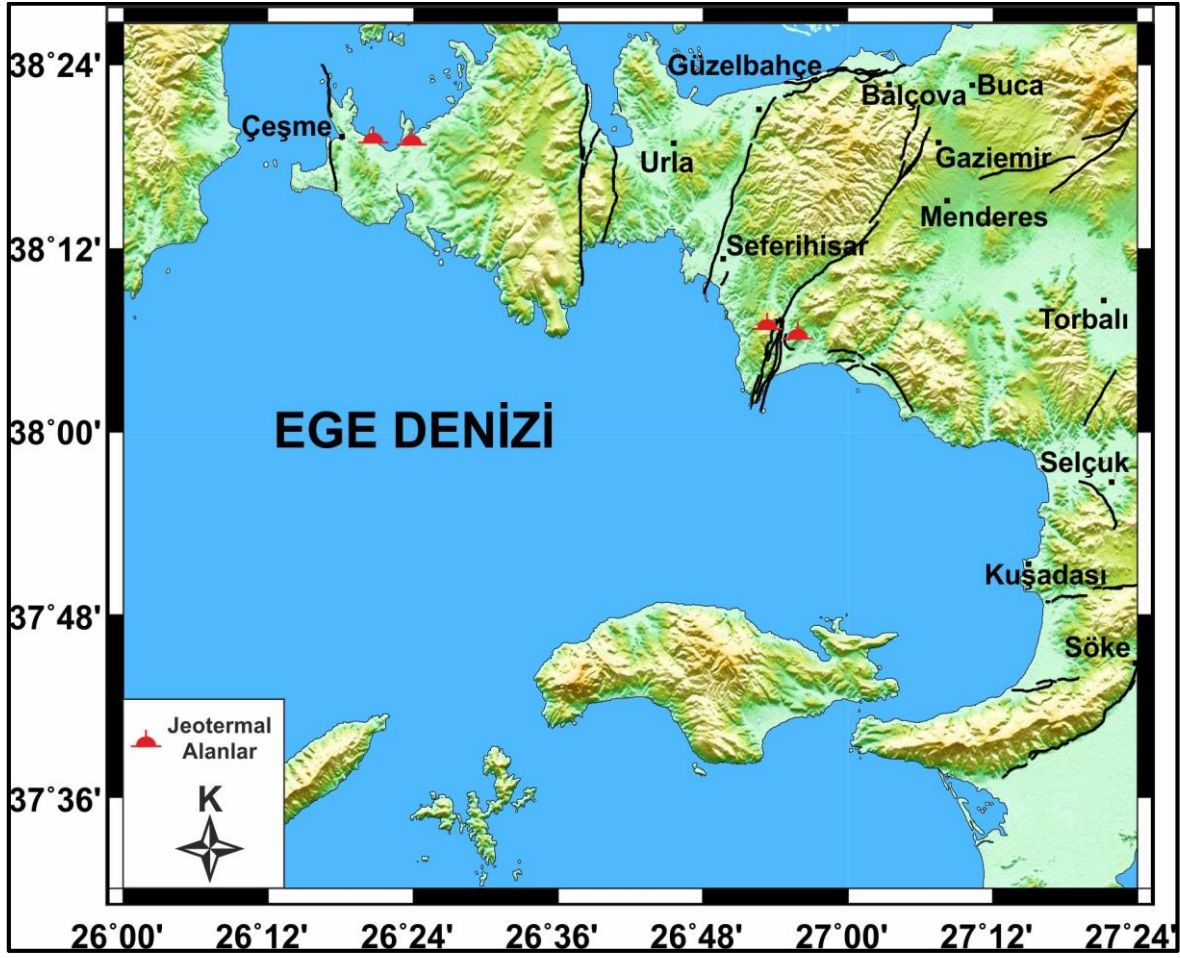
Şekil 10. Şifne kaynağından alınan verilere göre hazırlanmış Piper ve Schoeller diyagramları

Figure 10. Piper and Schoeller diagrams prepared according to data from Şifne spring

Çalışma Alanı ve Çevresinin Depremselliği

Türkiye Diri Fay Haritası'nda aktif fay olarak gösterilen Mordoğan Fayı ve Gülbahçe Fay Zonu ile Tuzla Fayı ve Seferihisar Fayı ve çevresinde yer alan çalışma alanı, İzmir (Batı Anadolu) ili batısı ve güneyinde yer almaktadır (Şekil 11). Bu bölgenin büyük bölümü, geçmişte olduğu gibi günümüzde de deprem riski altında bulunmaktadır. Alanda yer alan önemli aktif faylar; batıdan doğuya doğru yaklaşık K-G uzanımlı Mordoğan Fayı, Gülbahçe Fay Zonu, Seferihisar Fayı, Tuzla Fayı, yaklaşık D-B uzanımlı İzmir Fayı ve yaklaşık KD-GB uzanımlı Yenifoça Fayı'dır. Bu fayların yanı sıra alanda pek çok aktif tektonik unsurun da olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte çalışma alanı ve çevresinde aletsel dönemde (1900-2021) magnitüdü $M=4.0$ den büyük yaklaşık 320 adet depremin meydana geldiği ve aktivitenin halen devam etmekte olduğu bilinmektedir. Bu çalışmanın başlangıç ve bitiş tarihleri olan Ocak 2019-Ocak 2021 tarihleri arasında alanda $M=3.5$ ten büyük yaklaşık 190 adet deprem meydana gelmiştir. Ayrıca bölgede 1909 yılında $M=6.0$, 1949 yılında $M=6.6$, 1955 yılında $M=6.8$ ve 2020 yılında $M_w=6.9$ büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir.

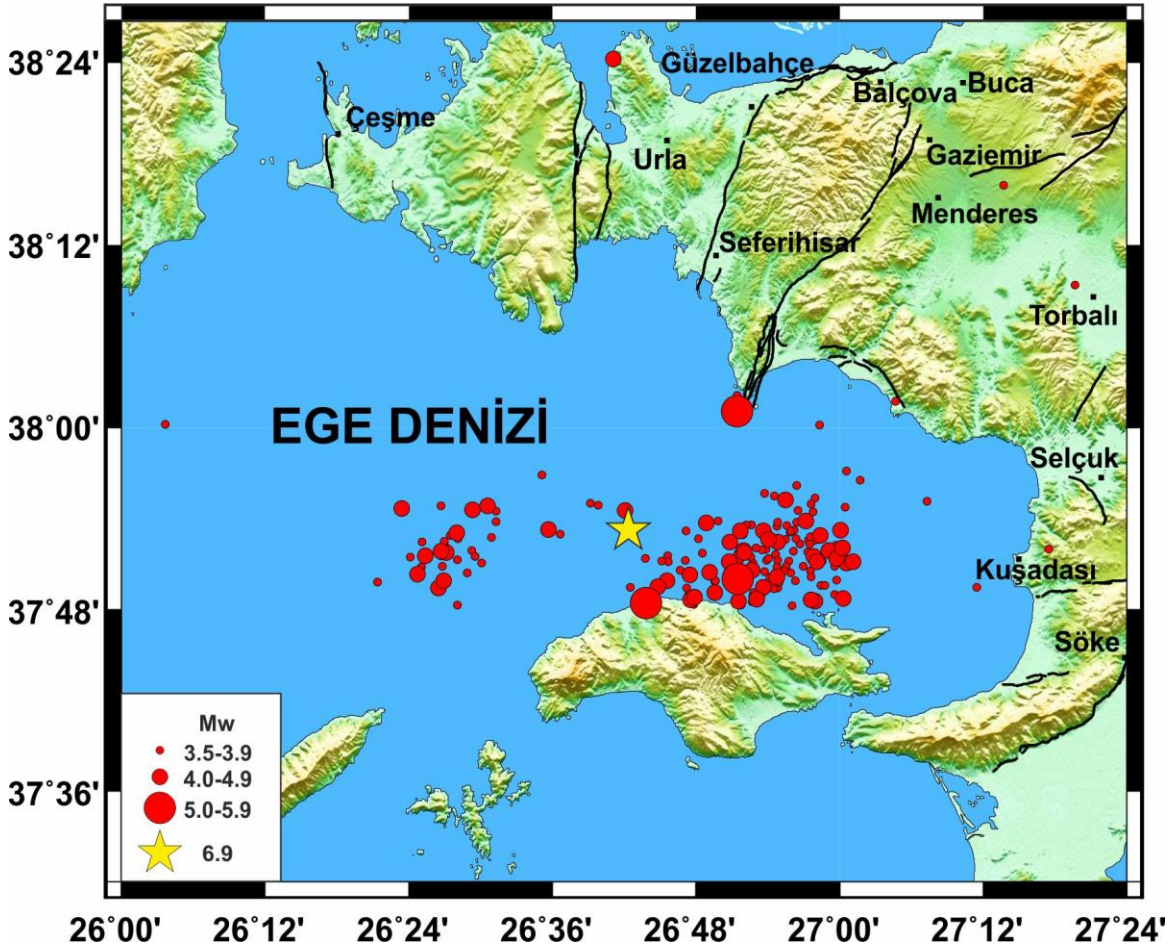
Türkiye'nin aletsel dönem deprem etkinliği incelendiğinde çalışma alanı ve yakın civarındaki yoğun deprem aktivitesi dikkat çekmektedir. Bu depremlerin ortak özelliği her bir depremin oldukça yoğun ve uzun süren artçı şok etkinliğine sahip olması ayrıca benzer faylanma mekanizmalarına sahip olmalarıdır. Çalışma alanı ve yakın civarında gelişmiş bu depremler gerek büyüklükleri gerekse de meydana getirdiği hasar bakımından incelenmiş ve bazı araştırmacılar tarafından sismolojik anlamda ele alınmıştır (Eyidoğan ve Jackson, 1985; Ambraseys ve Tchalenko, 1972; McKenzie, 1972; 1978).



Şekil 11. Çalışma alanı ve çevresindeki aktif faylar (Emre ve Özalp, 2011)

Figure 11. Active faults around the study area (Emre and Özalp, 2011)

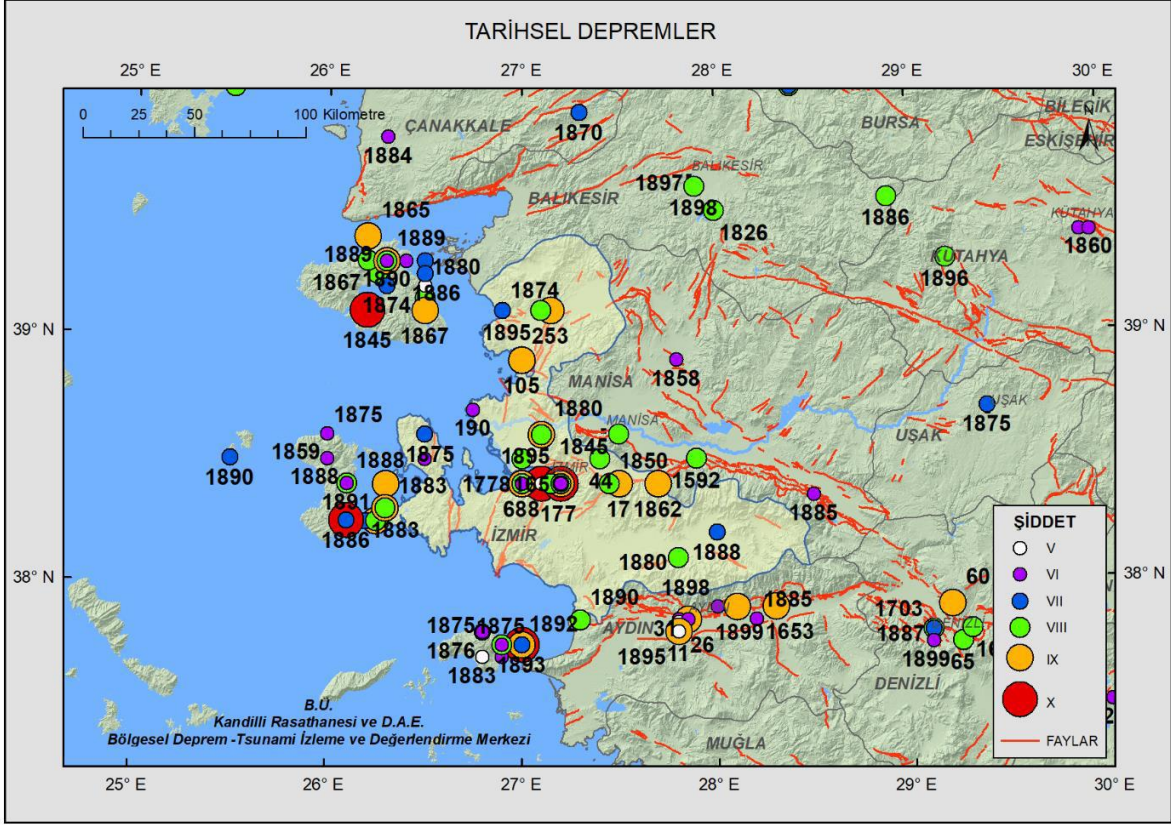
Çalışma alanı ve yakın çevresinde aletsel dönemde $M > 4.0$ büyüklüğünde yaklaşık 320 adet deprem meydana gelmiştir. Bu çalışmanın başlangıç ve bitiş tarihleri olan Ocak 2019-Ocak 2021 tarihleri arasında alanda $M = 3.5$ ten büyük yaklaşık 190 adet deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerden en önemlisi 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi ($M_w = 6.9$) Ege Denizi Bölgesi'nin orta bölümünde meydana gelmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Çalışma alanı ve yakın çevresinde Ocak 2019-Ocak 2021 tarihleri arasında meydana gelmiş $M > 3.5$ depremler ve 30 Ekim 2020 $M_w = 6.9$ depremi (www.koeri.boun.edu.tr)

Figure 12. $M > 3.5$ earthquakes that occurred between January 2019-January 2021 in the study area and its surroundings and 30 October 2020 $M_w = 6.9$ earthquake (www.koeri.boun.edu.tr)

Bu alan tarihsel (1900 öncesi) ve aletsel (1900 sonrası) dönemlerde yoğun deprem etkinliğinin yaşandığı aktif bir bölgedir (Şekil 13, 14). Bölgede Tuzla fayı üzerinde 1992 yılında $M_s = 6.0$ büyüklüğünde, Seferihisar fayı üzerinde 2003 yılında $M_w = 5.7$ büyüklüğünde ve Yağcılar fayı üzerinde 2005 yılında $M_w = 5.9$ büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir (Emre ve diğ., 2005a, b; Kuşçu ve diğ., 2010).

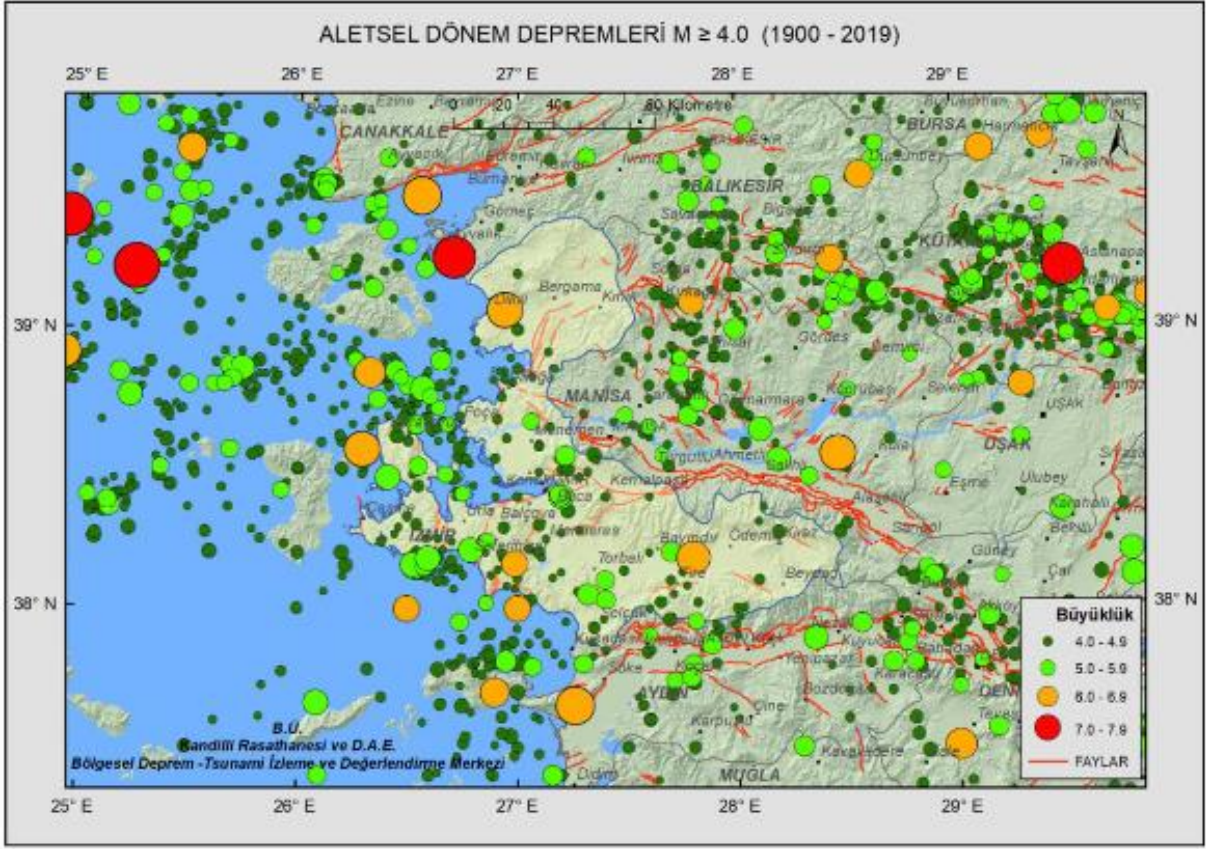


Şekil 13. Çalışma alanı ve çevresinin tarihsel dönem (1900 öncesi) deprem etkinliği
(www.koeri.boun.edu.tr)

Figure 13. Historical period (before 1900) earthquake activity of the study area and its surroundings (www.koeri.boun.edu.tr)

Çevresel Etkiler

Jeotermal suların içerdiği bor ve arsenik çevresel sorunlara ve kirliliğe neden olmaktadır. Arsenik, pirit, arsenopirit, demir, bakırlı şeyllerden ve fosfatlı kayaların oksidasyonundan sıcak sulara kolaylıkla geçerken geçerken bor özellikle Batı Anadolu gibi aktif tektonizmaya bağlı, volkanojenik olmayan bir ısı kaynağına sahip jeotermal sistemlerde konsantrasyonu magmatik katkıdan çok su-kaya etkileşimi ile denetlenmektedir (Tokçaer, 2023).



Şekil 14. Çalışma alanı ve çevresinin aletsel dönem (1900 sonrası) deprem etkinliği
(www.koeri.boun.edu.tr)

Figure 14. The instrumental period (after 1900) earthquake activity of the study area and its surroundings (www.koeri.boun.edu.tr)

Bu nedenle bazı yörelerdeki sıcak sularda As, içme suyu standartlarının üzerinde değerler verebilmektedir. İçme sularındaki arsenik limit değerleri 10-50 μg aralığında olmalıdır (TS 266, 2005; WHO, 2011). Arsenik içeriğinin, içme ve kullanma sularında standartların üzerinde olması ekosistemde yaşayan canlılar için zehirleyici etki yapar. Arsenik sulama suyunda yüksek olması durumunda bitki bünyesine geçer ve inorganik arsenik olarak depolanır ve bitkinin kurumasına neden olabilmektedir.

Bor, suyun pH değerine göre farklı formlarda yer alır. İçme sularındaki arsenik limit değerleri 1000-2400 μg aralığında olmalıdır (TS 266, 2005; WHO, 2011). Asitli sularda $\text{B}(\text{OH})_3$, bazik sularda $\text{B}(\text{OH})_4$ şeklinde bulunur. İçme sularındaki yüksek bor konsantrasyonunun, bitkilerde ve insan üzerinde zararlı etkisi vardır. Özellikle sulama sularında, toprağın gözenekliliğini

düşürür ve bitki köklerinin hava almasını engelleyerek kurumalarına neden olur (Bolca ve diğ., 2010; Demirtaş, 2005).

Çalışma alanındaki jeotermal alanlarda çevresel etkiler anlamında sıcak su kaynaklarından alınan su örneklerinden belirli dönemlerde B ve As elementleri analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucu Şifne jeotermal alanındaki su kaynağındaki As değeri ortalama 0,192 mg/l, B değeri ortalama 3,752 mg/l; Ilıca jeotermal alanındaki sıcak su kaynağındaki As değeri ortalama 0,231 mg/l, B değeri ortalama 4,90 mg/l; Doğanbey jeotermal alanındaki sıcak su kaynağındaki As değeri ortalama 0,071 mg/l, B değeri ortalama 7,522 mg/l ve Karakoç jeotermal alanındaki sıcak su kaynağındaki As değeri ortalama 0,044 mg/l, B değeri ortalama 8,124 mg/l olarak belirlenmiştir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Türkiye Diri Fay Haritası'nda aktif fay olarak gösterilen Mordoğan Fayı ve Gülbahçe Fay Zonu ile Tuzla Fayı ve Seferihisar Fayı ve çevresinde yer alan çalışma alanı, İzmir (Batı Anadolu) ili batısı ve güneyinde yer almaktadır. Bölge aletsel dönemdeki depremler açısından oldukça aktif bir bölge olduğu gibi jeotermal sistemler bakımından da oldukça zengin bir bölgedir. Alanda yer alan önemli aktif faylar; batıdan doğuya doğru yaklaşık K-G uzanımlı Mordoğan Fayı, Gülbahçe Fay Zonu, Seferihisar Fayı ve Tuzla Fayı'dır. Bununla birlikte çalışma alanı ve çevresinde aletsel dönemde (1900-2021) magnitudü $M=4.0$ den büyük yaklaşık 320 adet depremin meydana geldiği ve aktivitenin halen devam etmekte olduğu bilinmektedir. Bu çalışmanın başlangıç ve bitiş tarihleri olan Ocak 2019-Ocak 2021 tarihleri arasında alanda $M=3.5$ ten büyük yaklaşık 190 adet deprem meydana gelmiştir. Ayrıca bölgede 1909 yılında 1 adet $M=6.0$, 1949 yılında 1 adet $M=6.6$, 1955 yılında 1 adet $M=6.8$ ve 2020 yılında 1 adet $M_w=6.9$ büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir.

Bu çalışmada Batı Anadolu'da, İzmir iline ait Çeşme ve Seferihisar ilçeleri ile yakın çevresinde bulunan jeotermal alanlarda belirlenen sıcak su kaynaklarında Ocak 2019-Ocak 2021 tarihleri arasında düzenli olarak belirli periyodik zamanlarda yerinde ölçüm ve örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Bu alanlar İzmir ilinin Çeşme ilçesindeki Ilıca ve Şifne jeotermal alanları ile Seferihisar ilçesindeki Karakoç ve Doğanbey jeotermal alanlarıdır. Bu alanlarda yaklaşık 2 ayda bir 10 ayrı dönemde (03 Şubat 2019, 24 Mart 2019, 25 Mayıs 2019, 27 Temmuz 2019, 17

Ağustos 2019, 28 Eylül 2019, 10 Kasım 2019, 23 Ağustos 2020, 31 Ekim 2020, 14 Kasım 2020) sıcak su kaynaklarında yerinde ölçüm ve örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Sıcak suların fiziksel ve kimyasal parametrelerindeki değişimler alanının depremselliği ile ilişkilendirilmiştir. Yapılan hidrojeokimyasal analizler sonucunda tüm jeotermal alanlardaki sıcak su kaynakları Na-Cl tipi suyu yansıttığı belirlenmiştir. Çalışma alanındaki sıcak suların kimyasal özellikleri kapsamında; Çeşme'deki sıcak su kaynaklarındaki Na ve Cl değerleri oldukça yüksektir. Sıcak sularda Cl değeri ne kadar fazla olursa sular o kadar fazla derin dolaşımli olduğu sonucunu vermektedir. Ayrıca bu kaynakların denizel kökenli sularla karışımının yüksek olduğunu göstermektedir.

Çalışma alanı ve yakın çevresinde meydana gelen depremler ile termal sulardaki fiziksel ve/veya kimyasal değişimler korele edilmiştir. Buna göre üç jeotermal alandaki sıcak suların fiziksel ve kimyasal koşullarında elementsel bazda bazı değişiklikler meydana gelmiştir. Çalışmanın devam ettiği süre içerisinde, 30.10.2020 tarihindeki Kuşadası Körfezi'nde Samos adası kuzeyinde meydana gelen Mw=6.9 büyüklüğündeki deprem öncesinde ve sonrasında sıcak su kaynaklarında belirgin kimyasal değişiklikler meydana gelmiştir. Doğanbey ve Karakoç kaynaklarına bakıldığında; 30.10.2020 tarihindeki depremden önceki örnekleme dönemlerinde (23 Ağustos 2020) özellikle Cl ve SO₄ değerleri ilk örnekleme dönemindeki (03 Mart 2019) değerden azalma yönünde devam ederken, depremden hemen sonra yükselmiş ve son örnekleme döneminde tekrar deprem öncesi değerlerine döndüğü görülmüştür.

Sıcak suların kimyasal özellikleri kapsamında; hemen hemen tüm alanlardaki suların Cl iyon değerleri 30 Ekim 2020 tarihindeki Mw=6.9 büyüklüğündeki deprem öncesi yükselmiştir. Sıcak sularda Cl iyon değeri ne kadar fazla olursa sular o kadar fazla derin dolaşımli olduğu sonucunu vermektedir. Depremin etkisi ile çalışma alanındaki sıcak suların yüzeye daha yakın bir beslenmeye maruz kaldığı düşünülmüştür. Ayrıca sıcak sulardaki SO₄ iyon değerlerinde deprem öncesi Doğanbey ve Karakoç kaynaklarında bir azalma meydana gelmiştir. . Bu durum, deprem sırasında jeotermal akışkanda çözülmesi bulunan HS ve/veya H₂S gazlarındaki sülfidin (S⁻¹/S⁻²), sülfat (SO₄) iyonuna yükseltgenmeyip, basınç kaybına bağlı olarak akışkanlardan gaz olarak ayrılarak yüzeye ulaşması, deprem sonrasında ise bu gazlarının akışkanlar içinde tekrar çözünüp SO₄ iyonuna yükseltgenmesiyle önceki değerlerine ulaşması olarak yorumlanmıştır.

Çalışma alanındaki jeotermal alanlarda çevresel etkilerin değerlendirilmesi amacı ile sıcak su kaynaklarından alınan örneklerden belirli dönemlerde B ve As analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda maksimum As konsantrasyonu Şifne jeotermal alanındaki sıcak su kaynağında 0,192 mg/l olarak belirlenmiştir. Bu değer WHO tarafından belirlenen içme suları As limit değerinden 19 kat daha fazladır. En yüksek B konsantrasyonu ise Karakoç jeotermal alanındaki sıcak su kaynağında 8,124 mg/l olarak belirlenmiştir.

Elde edilen veriler ışığında, jeotermal sistemleri de içeren depremsellik açısından aktif bir bölgede, sıcak suların fizikokimyasal ve kimyasal özelliklerinin düzenli olarak izlenmesi ile depremlerin önceden tahmin edilmesine katkı sağlayabileceği saptanmıştır.

KATKI BELİRTME VE TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi ÇOMÜ-BAP-FBA-2018-2818 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Sağlamış olduğu maddi destek için ÇOMÜ-BAP Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

- Ambraseys, N. ve Tchalenko, J.S., 1972 Seismotectonic aspects of the Gediz, Turkey, earthquake of March 1970, Geophys. J. R. Astr. Soc. 30/3: 229-252.
- Ateş, Ö. ve Tutkun, S.Z., 2014, Simav (Kütahya) Depremlerinin Jeotermal Sistemlerdeki Hidrojeokimyasal Değişimleri, Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt: 57, Sayı 3, sf. 25-40.
- Bolca, M., Kılınç, R., Altınbaş, Ü., Saç, M.M., Kumru, M.N., Çolak Esetlili, B., Esetlili, M.T. ve Özen, F. 2010. Alangüllü (Aydın) Bölgesindeki Jeotermal Kaynakların Kimyasal Özelliklerinin ve İçerdikleri Radyoaktif Maddelerin Su Kaynakları Tarım Toprakları ve Kültür Bitkilerine Etkilerinin Multidisipliner Yaklaşımla Saptanması Üzerine Araştırmalar. TÜBİTAK, Proje No.107-0-085.
- Demirtaş, A. 2005. Bitkide Bor ve Etkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 36(2): 217-225.

- Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C. ve Göktaş, F., 2005a, İzmir yakın çevresinin diri fayları ve deprem potansiyelleri. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor No: 10754, 80s., Ankara.
- Emre, Ö., Doğan, A., Özalp, S. ve Yıldırım, C., 2005b, 17 Ekim 2005 Sığacık (İzmir) depremleri ön değerlendirme raporu. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor No: 10756, 6s., Ankara.
- Emre, Ö., Özalp, S., 2011, 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Urla (NJ 35-6) Paftası, Seri No:5, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- Eyidogan, H., Jackson, J., 1985. A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alasehir and Gediz earthquakes of 1969-70 in western Turkey: implication for the nature and geometry of deformation in the continental crust. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 81, 569-607.
- Kuşçu, İ., Öcal, F. ve Kurtuluş, O., 2010, İzmir ve Sığacık Körfezlerinde Kıyı Ötesi Aktif Faylar. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor No: 11273, 73s., Ankara
- McKenzie, D.P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 109-185.
- McKenzie D.P., 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean Sea and surrounding regions. *Geophys. J. Royal Astron. Soc.*, 55, 217-254.
- MTA, 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Envanter Serisi-201.
- MTA, 2020. 30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi (Mw=6.9) Saha Gözlemleri ve Değerlendirme Raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Piper, A.M., 1944. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water-Analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25, 914-928
- Schoeller, H., 1955. *Geochemie Des Eaux Souterraines*, *Revue De L'institute Francois Du Petrole*, 10, 230-44.
- Şimşek, Ş. ve Yıldırım, N., 2000. Termal Kaynaklar: Depremin Habercisi, 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 Deprem Bölgelerindeki Termal Kaynaklarda Gözlenen Değişimler ve Önemi, Cumhuriyet, Bilim Teknik, 01 Temmuz 2000.
- TS 266, 2005. İnsani tüketim amaçlı sular, Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart -Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

WHO, 2011. Guidelines for drinking water quality: incorporating first addendum. Vol. 1, recommendations, (4rd ed.) Geneva: World Health Organization.

Tokcaer, M., 2023. Batı Anadolu'daki bazı jeotermal alanların termal akışkanlarında bor izotop oranları ve borun kökeni. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi , 38 (3) , 1361-1374 . DOI: 10.17341/gazimmfd.1092227

www.koeri.boun.edu.tr

http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wpcontent/uploads/2020/10/20201030_izmir_V1.pdf



Yeşilyurt Polyesi (Muğla, GB Türkiye) Topraklarının Mineral İçeriklerine Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizi ile Yaklaşım

An Approach to Mineral Contents of Soils of Yeşilyurt Polje (Muğla, SW Türkiye) with Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Analysis

CEREN KÜÇÜKUYSAL¹ Orcid: 0000-0002-4108-3522

MURAT GÜL^{1,2} Orcid: 0000-0003-1555-6426

¹*Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Muğla*

²*Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Muğla*

Geliş (received): 01/05/2023

Kabul (Accepted): 3/07/2023

ÖZ

Bu çalışma, Yeşilyurt polyesinde (Menteşe, Muğla) gelişen toprak profillerinin mineral içeriklerini Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizi ile belirlemeyi amaçlamaktadır. Polye kenarını sınırlayan karbonatlı ve kırıntılı sedimanter kayaçların oluşturduğu tepelerin zirve, omuz ve yamaç alanlarının üzerinde farklı kalınlıklarda toprak gelişimleri gözlenmiştir. Polyede toprak oluşum sürecinde, farklı kayaçların etkisinin olması nedeniyle, temsili olarak polye tabanından iki toprak profili örneklenmiştir. Birinci profilden 18 adet, ikinci profilden 12 adet örnek alınmıştır. Alınan örnekler Zayıflatılmış Toplam Yansıma- Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi analizi ile incelenmiş ve mineral içerikleri belirlenmiştir. Buna göre her iki profilde kuvars, feldspat, illit/mika, kaolinit, karbonat ve hematit mineralleri tespit edilmiştir. Toprak profilleri boyunca minerallerin dalga sayısı ile absorpsiyon bantları litolojik değişimler ile eşleşmiştir. Çözünme ve süzülme süreçlerine duyarlı olan karbonatların absorpsiyon bantları daha zayıf bulunurken, kuvars-feldspat-hematit gibi Si-O gerilme bölgesi ile eşleşen titreşimlerin oldukça şiddetli olduğu gözlenmiştir. Aynı sistemin bileşenleri olduğu düşünüldüğünde, Yeşilyurt polyesi toprakları ile Muğla polyesi topraklarının arazide bulunuşları ve mineral içerikleri karşılaştırıldığında oldukça benzer oldukları görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Polye, toprak, FTIR, mineral, Yeşilyurt, Muğla

Ceren Küçüküysal cerenkucukuysal@mu.edu.tr

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Muğla

ABSTRACT

This study aims to determine the mineral contents of soil profiles developed in Yeşilyurt polje (Menteşe, Muğla) by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analysis. Soil developments of different thicknesses were observed on the summit, shoulder and slope areas of the hills formed by carbonate and clastic rocks bordering the edge of the polje. Due to the influence of different rocks in the soil formation process, two representative soil profiles were sampled from the base of the polje. 18 samples were taken from the first profile and 12 samples from the second profile. The samples taken were examined by Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared Spectroscopy analysis and their mineral contents were determined. Accordingly, quartz, feldspar, illite/mica, kaolinite, carbonate minerals and hematite were detected in both profiles. The wave number of the minerals along the soil profiles and the absorption bands were matched with the lithological changes. While the absorption bands of carbonates that are sensitive to dissolution and leaching processes are found to be weaker, vibrations matching the Si-O stretching region such as quartz-feldspar-hematite are observed to be quite intense. Considering that they are components of the same system, it is seen that Yeşilyurt Polje soils and Muğla Polje soils are quite similar when their presence in the field and mineral contents are compared.

Keywords: Polje, soil, FTIR, mineral, Yeşilyurt, Muğla

GİRİŞ

Muğla ve çevresi karmaşık jeolojisi bakımından uzun yıllardır, araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Menderes Masifinin örtü birimleri (Özer ve ark., 2001; Bozkurt, 2004), Likya Napları (Graciansky, 1968; Ersoy, 1990; 1991; Collins ve Robertson, 1998, 1999, 2023), Beydağları Otoktonu (Sarı ve Özer, 2001; 2002) ve GB Anadolu'nun ve dolayısıyla bölgenin neotektonik evrimiyle ilgili çalışmalar (Görür ve ark.,1995; Ten Veen, 2004; Alçiçek, 2007; Gürer ve Yılmaz, 2002) literatürde yer almıştır. Muğla merkez ilçesi, Menteşe ve çevresinde yüzeylenen birimleri içine alan, çalışmalar da mevcuttur (Becker-Platen, 1970; Atalay, 1980; Hakyemez ve Örçen, 1982; Kayan, 1979; Konak ve ark., 1987; Hakyemez, 1989; Aktimur ve ark., 1996; Göktaş, 1998; Gül ve ark., 2013; Gül, 2015). Muğla il merkezi ve yakın çevresinde, Jura-Kretase yaşlı kireçtaşlarının oldukça yoğun olması, bölgenin karstik özellik

kazanmasına neden olmuş ve sonuç olarak irili ufaklı birçok polye (Muğla, Yeşilyurt, Yerkesik, Gülağzı, Dirgeme vb polyeler) gelişmiştir (Pehlivan, 1993). Kısaca karstik çöküntü alanları olarak tanımlanan polyeler, kireçtaşları ile çevrelenmiş, tabanları verimli alüvyal topraklarla kaplı olan ve bu bakımdan yoğun olarak tarımsal amaçla kullanılan alanlardır (Şimşek ve ark., 2020; Güldalı, 1976; Sür, 1995). Polye oluşumları yoğunlukla Akdeniz iklimi ve kireçtaşının çözünbilme özelliğinden dolayı gelişen drenaj ile karakterize edilir (Durn, 2003). Bu bakımdan polyeler kırmızı Akdeniz toprağının (Terra Rossa) gelişimi için uygun koşulları oluşturabilmektedir. Polye tabanları Kuvaterner çökeller ile kaplı olup, kireçtaşları/mermer dışında Muğla'da oldukça geniş yayılıma sahip Yatağan formasyonuna ait kırıntılı sedimanter kayaçlar da bölgenin önemli litolojilerindendir (Küçükuysal ve ark., 2022; Gül, 2015). Kireçtaşı kırık ve çatlaklarında gelişen veya alüvyal yelpaze çökelleri ile yamaç molozlarının ara katmanlarında gözlenen kırmızı Akdeniz toprakları (terra rossa) oluşumları da, polye oluşumuna eşlik eden önemli ürünlerdir (Küçükuysal ve ark., 2018, 2022; Atalay, 1997). Muğla bölgesinde bulunan polyeleri hidrojeolojik açıdan inceleyen (Pehlivan, 1993) ve ayrışma ürünü olan kırmızı Akdeniz topraklarının mineralojisini ve jeokimyasını inceleyen çalışmalar (Küçükuysal ve ark., 2018, 2022) literatürde yer almaktadır. Ancak birbirlerine çok da uzak olmayan ve bölgede farklı topografik yüksekliklerde görülen, diğer polyelerin toprak gelişim süreçleri, topraklarının mineralojisini inceleyen detaylı bir çalışmaya literatürde rastlanılmamıştır. Bu çalışma ile Yeşilyurt Polyesi'nde, gelişim gösteren kırmızı toprakların arazi bulunuşlarının değerlendirilmesi ve polye tabanından alınmış iki toprak profili üzerinde gerçekleştirilen Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ile mineral içeriklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

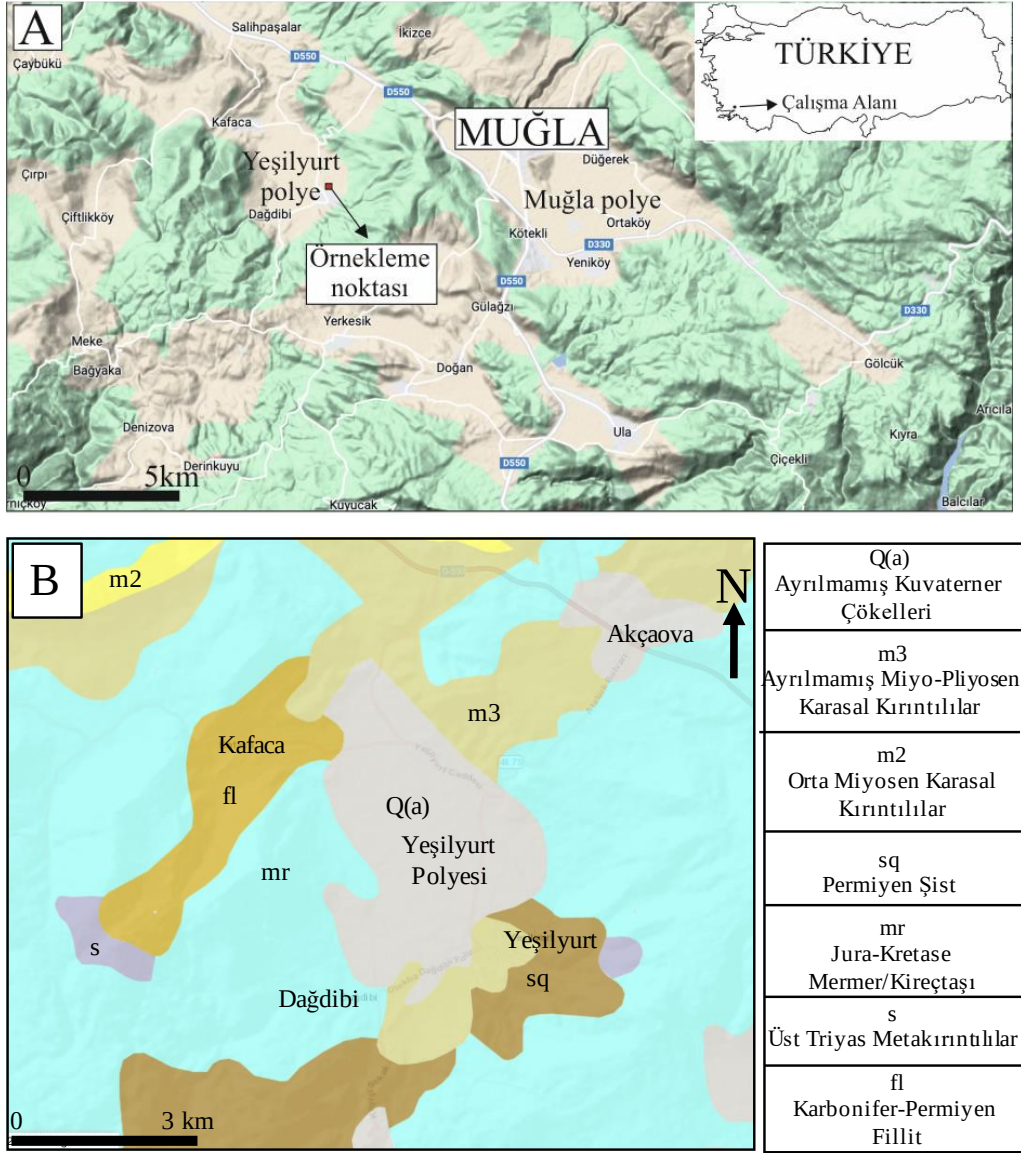
Çalışma alanı, Türkiye'nin güneybatısında Muğla il merkezinde yer almaktadır (Şekil 1A). Yeşilyurt Polyesi, Muğla il merkezinin ve Muğla Polyesi'nin batısında yer alan, yaklaşık 11 km²'lik bir alana sahip KB-GD doğrultulu ve kuzeyinde fayla sınırlanmış bir polyedir (Pehlivan, 1993). Polye ve yakın çevresinin jeolojisi, Akbaş ve ark. (2011) ve Göktaş ve ark. (1982)'den derlenmiştir (Şekil 1B). Çalışma alanındaki en yaşlı kayaçlar, polyenin batısında yüzeyleyen Karbonifer-Permien yaşlı fillitlerdir. Permien yaşlı şistler, polyenin

güneydoğusunda görülmüştür. Polye yakınlarında, oldukça kısıtlı bir alanda, yüzeylenen Alt-Triyas yaşlı metakumtaşı, metaçakıltası ve metapelitler polyenin kuzeybatısında yer almaktadır. Benzer şekilde, Üst-Triyas yaşlı metakırıntılı kayaçlar da polyenin güneydoğusunda sınırlı bir alanda, şistlerle birlikte bulunmaktadır. Çalışma alanının ana litolojisi olan, Jura-Kretase yaşlı kireçtaşı-mermer birimi, polyenin doğu ve batısında oldukça geniş bir alanda yayılım gösterirken aynı zamanda kuzey ve güneyinde de hâkim birim olarak yer almıştır. Bunları uyumsuzlukla üzerleyen Miyo-Pliyosen yaşlı kireçtaşı, çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşı birimleri, polyenin kuzey ve güneyinde bulunmaktadır (Akbaş ve ark., 2011; Göktaş ve ark., 1982; Göktaş, 1998). Polye tabanını, Kuvaterner yaşlı birimler doldurmuştur (Şekil 1B). Doğu-batı yönünde alınan kesit polyenin, yamaç önünden başlayan yükseltisinin, batıya hafif eğimli olduğunu gösterirken (Şekil 2A), kuzeybatı-güneydoğu yönünde alınan kesit ise polyeyi sınırlayan yamaç düzlemlerinin kırıntılı sedimanter kayaçlara dayandığını göstermektedir (Şekil 2B). Kuzeydoğu-güneybatı yönünde alınan kesit ise Jura-Kretase yaşlı kireçtaşı-mermer birimlerinin sınırında, güneybatıya doğru yükseltinin arttığını, zirve-omuz ve yamaç sisteminin kuzeyde yine Pliyosen kırıntılı sedimanter kayaçlarla sınırlandığını göstermektedir (Göktaş, 1998) (Şekil 2C). Yeşilyurt Polyesi gibi Muğla'nın karstik yapısına bağlı olarak gelişen ve bölgedeki en büyük polye olan, Muğla Polyesi de kuzeybatı kenarında gözlenen aktif Muğla-Yatağan normal fayı ile sınırlanmıştır (Şaroğlu ve ark., 1987; Karabacak, 2016). Polye alanını Permo-Karbonifer'den Pliyosen'e değişen yaşlarda kayaların oluşturduğu, yüksekliği 1000 metreye ulaşan kayalık alanlarla sınırlandırılmıştır. Polye tabanı kotu yaklaşık 620 m civarındadır. Faylı kenarlara paralel uzanan Kuvaterner yaşlı kolüvyon-yamaç molozu, faylı polye kenarlarını dikine keserek havzaya ulaşan derelerin oluşturduğu Muğla ve Düğerek alüvyal yelpazelerindeki çökeller ve polye merkezine doğru alüvyal çökeller polyeyi doldurmaktadır (Şekil 2D).

Yeşilyurt Polyesi'ni içine alan Muğla'da genel iklim sınıfı, Köppen iklim sınıflandırmasına (Köppen, 1884,1918, 1936; Arnfield, 2023) göre 'Csa' olup, kışlar ılık-yazlar çok sıcak ve kurak olarak sınıflandırılmaktadır

(https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari/koppen.pdf erişim tarihi: 22.02.2022). Ortalama sıcaklığı 14,1 °C ve yıllık ortalama yağış miktarı, 1041 mm olarak raporlanmaktadır (<https://tr.climate-data.org/asya/tuerkiye/mugla/mentese-923599/> erişim tarihi: 22.02.2022). Oldukça yüksek sayılabilecek yağış miktarı, özellikle kış aylarında polye

kenarını kesen dere yatakları vasıtasıyla, polye çevresinde biriken sedimanları polyeye doğru hareketlendirmektedir. Tane boylarına göre polye kenarına yakın yerlerde iri taneler merkeze doğru ince taneli sedimanların taşınımı gözlenmektedir. Bu sedimanlar alüvyal yelpazelerin gelişimine olanak sağlamışlar, kolüvyon kamaları ve alüvyonları beslemişlerdir (Gül, 2015; Gül ve ark., 2021).



Şekil 1 a) Çalışma alanı yer bulduru haritası. b) Yeşilyurt Polyesi jeoloji haritası (Akbaş ve ark., 2011; Gökteş ve ark., 1982)

Figure 1. a) Location map of the study area b) Geological map of Yeşilyurt Polje (Akbaş et al., 2011; Gökteş et al., 1982)

MATERYAL VE METOD

Çalışma alanında, polye tabanında belirlenen iki yakın noktadan ($37^{\circ}11'42.07''K$, $28^{\circ}16'34.65''D$) toprak profili örnekleme yapılmıştır. Toprak örnekleme her iki noktada burgu ile 130 cm derine kadar gerçekleştirilmiştir. Profiller 1. ve 2. profil olarak kaydedilmiştir. 1. Profilde en üst seviyelerde (5-20 cm) açık-boz renkli siltli kil ilerleyen santimetrelerde, yerini plastikliği daha yüksek olan killi seviyelere bırakmıştır (Şekil 3). Bitki kök kalıntılarının, eşlik ettiği killi birim tekrar 40 cm seviyesinde siltli kil ile 99 cm'ye kadar devam etmiştir. Daha derinlerde 110-122 cm aralığında bitki kökleri tekrar belirlenmiştir. Birinci profilin sonuna doğru killi ve siltli birimler birbirlerini üzerleyerek devam etmiştir. 0-99 cm aralığında daha homojen görünen koyu kahverengi toprak seviyesi, 100 cm'den sonra yerini açık gri renkli ana kaya çakıllarını içeren seviyeye bırakmıştır (Şekil 3). İkinci profile baktığımızda 0-102 cm aralığında belirgin olarak koyu kahverengi killi, yer yer bitki kökleri gözlenen seviye ile 104 cm'den sonra açık gri renkli, yer yer ana kaya çakıllarını içeren fillit parçalarının yoğun olduğu siltli killi seviye görülmektedir (Şekil 3). Her iki profilden toprak örnekleme yapılmıştır. Örnek aralıkları profil boyunca fiziksel değişimlerin görüldüğü noktalara denk getirilmiştir. 1.profilde 18, 2.profilde 12 adet örnek alınmıştır.

Toprak örneklerinin mineralojik içeriklerinin belirlenmesi ve kompozisyon bileşenlerinin moleküler izlerinin anlaşılması amacıyla, toprak profili boyunca alınan tüm örneklerde Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Kimya Bölümü'nde Zayıflatılmış Toplam Yansıma- Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (ATR-FTIR) analizi gerçekleştirilmiştir. Profil örneklerinin FTIR spektrumları Thermo Scientific Nicolet İS10 Smart iTR ile iletim modunda $4000-400\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığında 32 tarama sayısı ve 16 cm^{-1} çözünürlükte analiz edilmiştir.

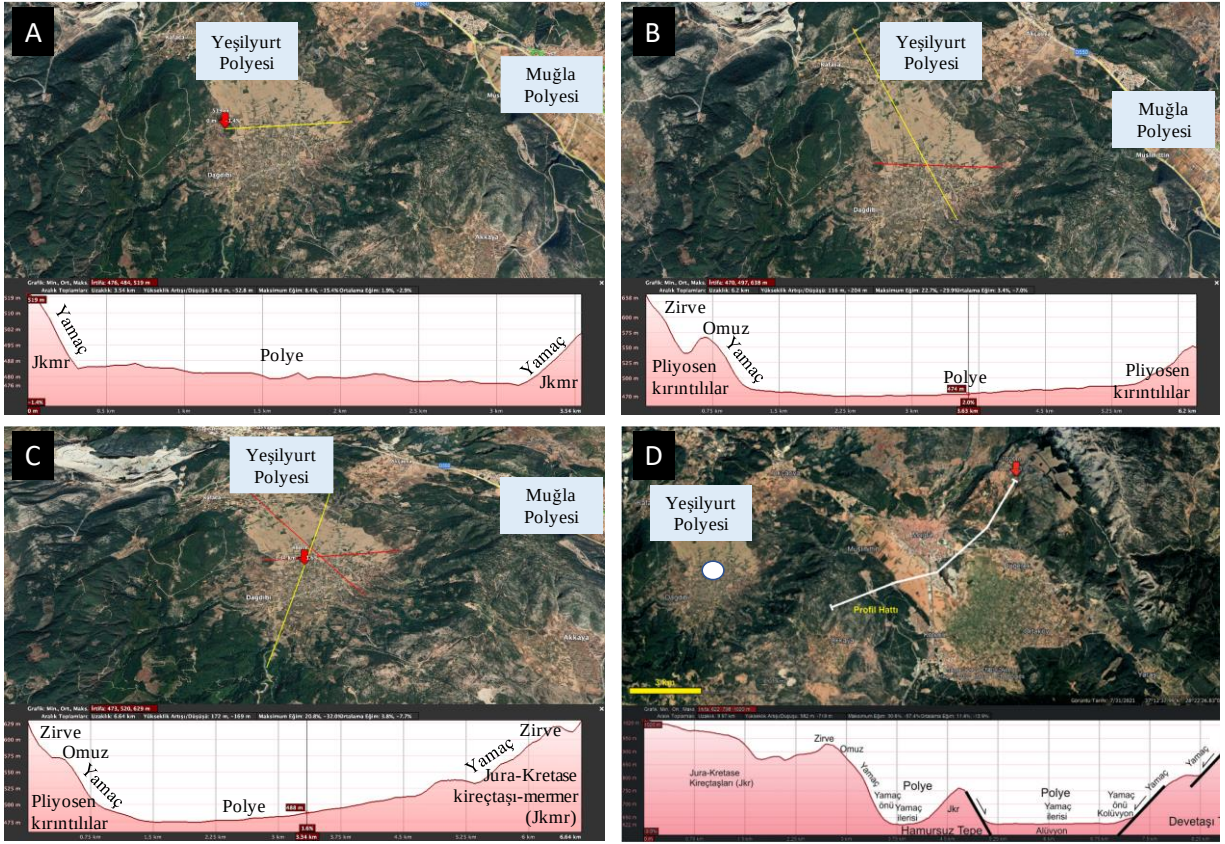
BULGULAR

Yeşilyurt Polyesi bitki örtüsü ile kaplı geniş tarım alanlarının bulunduğu ve fiziki olarak Muğla Polyesi'ne oldukça benzer özellikte olan bir polyedir (Şekil 4A). Fillitler yamaçlarda

belirgin mostralar verdiğinden, arazide gözlenebilmiştir (Şekil 4B-C-D). Polyeyi çevreleyen ana litolojilerden biri olan Jura-Kretase yaşlı kireçtaşlarının kırık ve çatlaklarında, terra rossa toprakları ile güncel iklim koşullarında gelişim göstermiş güncel toprak örtüsü gözlenmiştir (Şekil 4E). Polyenin özellikle doğu ve batı çeperinde hâkim olan kireçtaşı birimi (Şekil 4F) ile kuzey ve güneyinde yaygın olan kırıntılı sedimanter kayalar da (Şekil 4G) topraklaşma sürecine önemli katkıda bulunan polye öğeleridir.

Birinci profilden alınan örneklerin profil şeklinde ATR-FTIR spektrumları Şekil 5'te verilmiştir. YY1-YY18 arasında toplam 18 örneğin spektrumları incelenmiş ve referans dalga sayıları ile ilişkilendirilmiştir. Birinci profile ait spektrumlar incelendiğinde, absorpsiyon bantları ve titreşimlerine göre örneklerin YY1-YY4, YY5-YY9, YY10-YY15 ve YY16-YY18 olarak gruplandığı gözlenmiştir (Şekil 5). Spektrumlarda gözlenen bu gruplaşmanın profil boyunca örneklerin litolojik özellikleri ile ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Minerallerin kızılötesi bantları ile ilişkilendirmeleri Jozanikohan ve Abarghooei (2022), Nayak ve Singh (2007) ve Madejová ve Komadel (2001) çalışmaları ve orada verilen FTIR ile ilişkili, tüm referanslara göre yapılmıştır. Tüm örneklerde 3620 cm^{-1} dalga sayısında tetrahedral ve oktahedral birimlerin tabakaları arasında yer alan içsel OH gruplarından kaynaklanan bantlar gözlenmiştir. 3690 cm^{-1} dalga boyunda görülen bantlar ise faz içi simetrik gerilme titreşimi ve iç yüzey OH grupları ile ilişkilendirilmiştir (Şekil 5). Nadir de olsa, 3420 cm^{-1} civarında görülen bantlar OH-adsorbe edilmiş suyun deformasyon titreşimlerine bağlıdır (Farmer, 2000; Balan ve ark., 2001; Nayak ve Singh, 2007).



Şekil 2. Yeşilyurt Polyesi’nde GoogleEarth görüntülerinden farklı yönlerde alınmış enine kesitler: A) doğu-batı yönünde kesit; B) kuzeybatı-güneydoğu yönünde kesit; C) kuzeydoğu-güneybatı yönünde kesit; D) Muğla Polyesi’ne ait GoogleEarth görüntülerinden elde edilmiş enine kesit

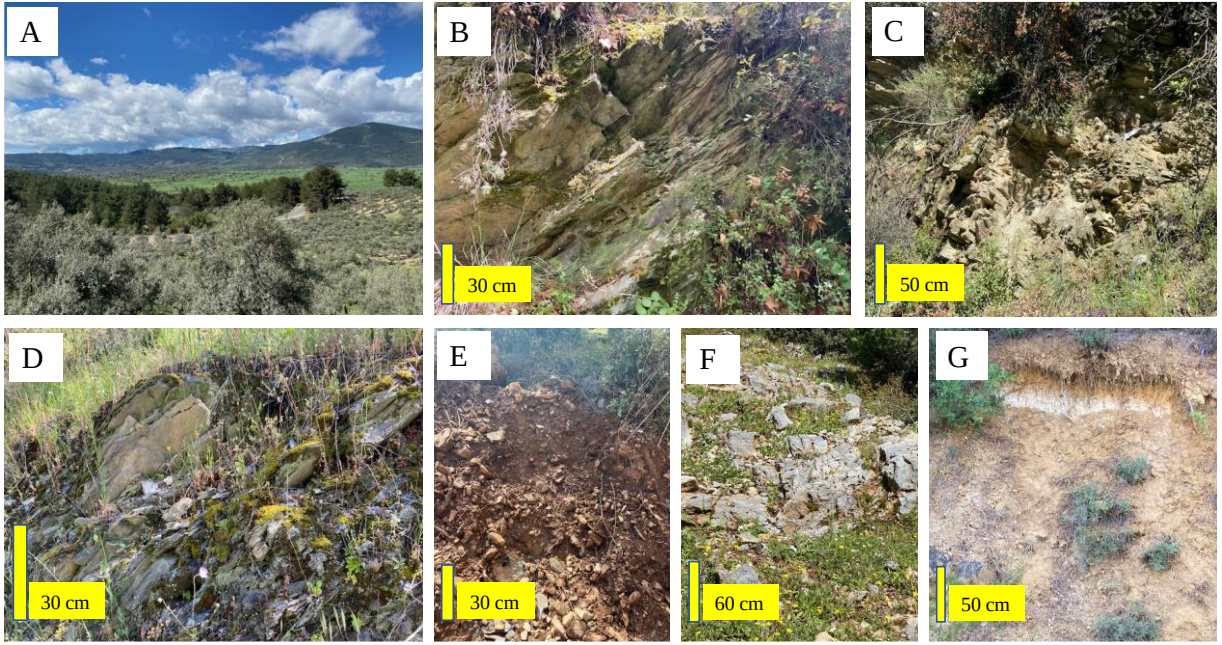
Figure 2. Cross-sections of Yeşilyurt Polje from GoogleEarth images taken in different directions: A) cross-section in east-west direction; B) cross-section in northwest-southeast direction; C) cross-section in northeast-southwest direction; D) cross-section obtained from Google Earth images of Muğla Polje

YEŞİLYURT POLYESİ ÖRNEKLENEN TOPRAK PROFİLLERİ					
1. profil			2. profil		
Derinlik (cm)	Örnek	Açıklama	Derinlik (cm)	Örnek	Açıklama
5	YY1	Açık-boz renkli siltli kil	5	Y1	Koyu kahverengi, genellikle killi, nadir çakıl içerikli, çakıllar yarı-yavurlak yarı-köşeli özellikte
		Düşük plastisite, siltli kil	15	Y2	Kil plastik özellikte
20	YY2	Yüksek plastisite, killi seviye	25	Y3	
30	YY3	Plastik killi seviye, bitki kök kalıntıları	35	Y4	
37	YY4		45	Y5	
48	YY5	40-99 cm arası düşük plastisite, bitki kökleri mevcut, siltli kil	55	Y6	Koyu kahverengi, killi seviye organik madde (bitki kökü) 56cm'de bitki kökü gözlemlendi
57	YY6	60-70 cm arası yoğun killi	65	Y7	Redoks morfolojik demir sıvımları nadir olarak gözlemlendi
67	YY7		75	Y8	
77	YY8	75-99 cm arası Seyrek fillit çakıllı, killi silt	85	Y9	Koyu kahverengi, siltli kil, kil plastik özellikte
88	YY9		95	Y10	
98	YY10		105	Y11	Killi silt ve az miktarda fillit çakılları
112	YY11	Açık gri siltli kil	115	Y12	Fillit çakıllı siltli seviye
125	YY12	110-122 cm arası bitki kökleri ve ana kaya çakılları içeren killi silt			
132	YY13	122-135 cm arası yüksek plastisite, killi seviye			
143	YY14				
155	YY15	130 cm'den sonra ana kaya çakıllarının yoğun olduğu siltli seviye			
161	YY16				
166	YY17				
130	YY18				Boz renkli siltli kil

Şekil 3. Yeşilyurt Polyesi'nden toprak burgusu ile alınan 1 ve 2 no'lu profiller

Figure 3. 1st and 2nd profiles taken with an soil auger from the Yeşilyurt Polje

Birinci profilin tüm örneklerinin ATR-FTIR spektrumlarında (Şekil 5) gözlenen 3620 ve $\sim 1000 \text{ cm}^{-1}$ absorpsiyon bantları ve 773, 690, 587 cm^{-1} titreşimleri kaolinitin varlığını göstermektedir (Pineau ve ark., 2022). Kaolinit 3600 cm^{-1} 'de iç hidroksil gruplarının titreşimlerinden kaynaklanan dar ve zayıf absorpsiyon ile diğer kil minerallerinden ayrılmıştır.

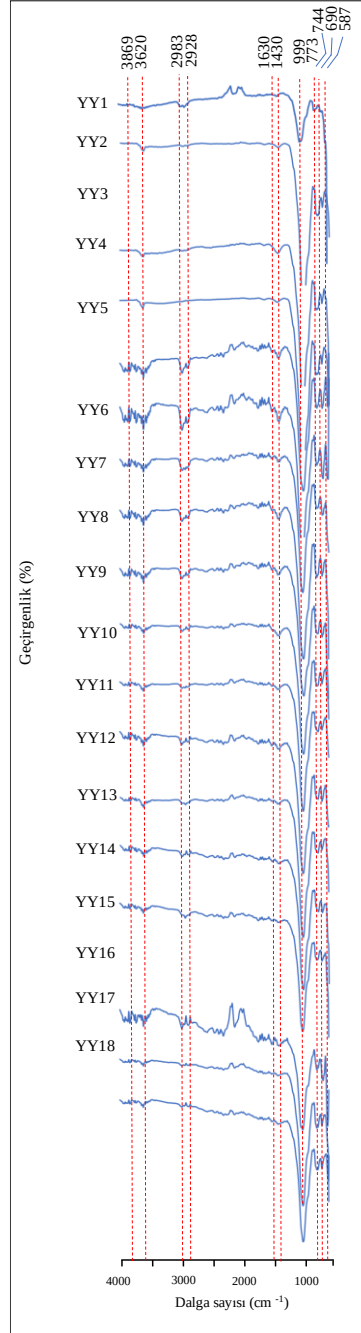


Şekil 4. A) Yeşilyurt Polyesi genel görünüm B-C) polye güney doğusunda fillit mostraları D) polye kuzeybatısından fillit mostrası E) Alüvyon matrisini oluşturan terra rossa F) polyenin batısından kireçtaşı mostrası G) polyenin kuzeydoğusunda görülen Pliyosen kırıntılı sedimanter kayalar

Figure 4. A) General view of the Yeşilyurt Polje B-C) phyllite outcrops in the southeast of the polje D) phyllite outcrops from the northwest of the polje E) terra rossa forming the alluvial matrix F) limestone outcrops from the west of the polje G) The Pliocene clastics seen in the northeast of the polje

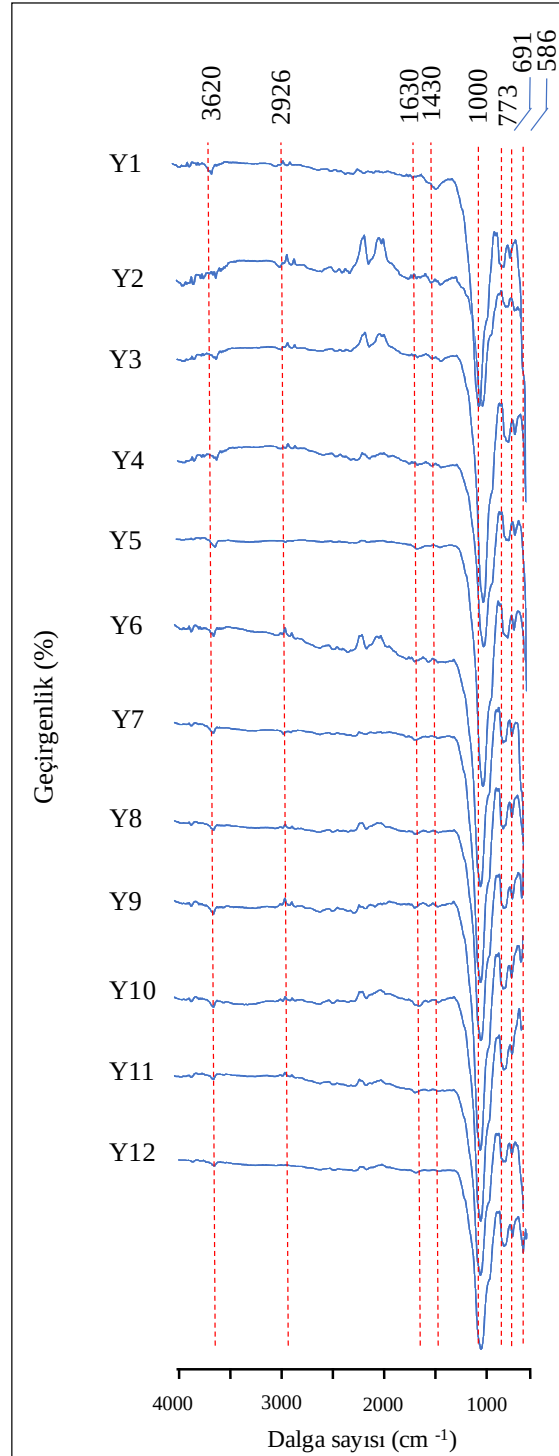
3700-, 3670- ve 3650 cm^{-1} bantlarının profil boyunca gözlenmemesi ise örneklerde bulunan kaolinitin düzensiz yapıda olduğunu göstermiştir (Bich, 2005). 1630-1430 cm^{-1} bantları H-O-H eğilme titreşimi ve 1120–1000 cm^{-1} bölgesindeki iyi çözömlenmiş bantlar kaolinitin Si-O gerilme titreşimine aittir (Madejová ve Komadel 2001). 2925 ve 2850 cm^{-1} bantları ise $\nu(\text{AlFeOH})$ titreşimlerini ve dolayısıyla Fe içeren kaolinitin varlığını işaret etmektedir (Alkan ve ark. 2005). 2983 cm^{-1} ve 1426 cm^{-1} karbonat varlığının olasılığını göstermiştir. Yaklaşık 1000 cm^{-1} , 773 cm^{-1} , 690 cm^{-1} bantları tüm örneklerin kuvarsa zengin olduğunu göstermektedir. 3690, 3620, 1630, 1033 ve 790 cm^{-1} 'deki bantlar ise illitin profilde varlığını göstermektedir (Pineau ve ark., 2022). 800–400 cm^{-1} bölgesindeki 773, 744, 690, 587 cm^{-1}

bantlar feldspatı gösterir (Farmer 2000). 1640–1600 cm^{-1} alanındaki zayıf bant ise OH-adsorbe edilmiş suyun deformasyon titreşimlerinden kaynaklanmıştır (Kuligiewicz ve Derkowski, 2017).



Şekil 5. Birinci profil örneklerinin ATR-FTIR spektrumları

Figure 5. ATR-FTIR spectra of the first profile samples



Şekil 6. İkinci profil örneklerinin ATR-FTIR spektrumları

Figure 5. ATR-FTIR spectra of the second profile samples

İkinci profilden alınan örneklerin profil şeklinde ATR-FTIR spektrumları Şekil 6’te verilmiştir. Y1-Y12 arasında toplam 12 örneğin spektrumları incelenmiş ve referans dalga sayıları ile ilişkilendirilmiştir. İkinci profile ait spektrumlar incelendiğinde, absorpsiyon bantları ve titreşimlerine göre örneklerin daha homojen kompozisyonlara sahip olduğu söylenebilir. İkinci profil, mineralojik açıdan birinci profil örneklerine oldukça benzer içeriktedir. İkinci profilin tüm örneklerinde 3620 , 2926 ve ~ 1000 cm^{-1} dalga sayısında görülen absorpsiyon bantları ve 773 , 691 , 586 cm^{-1} titreşimleri kaolinitin varlığını göstermektedir (Alkan ve ark., 2005; Pineau ve ark., 2022). 1426 cm^{-1} bantları ise karbonat varlığının olasılığını göstermiştir. Yaklaşık 1000 cm^{-1} ile 690 cm^{-1} arasındaki bantlar kuvarsı temsil etmektedir. 3620 , 1630 , ~ 1000 ve 780 cm^{-1} ’deki bantlar illitin profilde varlığını göstermektedir (Pineau ve ark., 2022). Her iki profilde görülen 914 cm^{-1} bandı ise hematitin varlığı ile ilişkilendirilebilir (Şekil 6) (Nayak ve Singh, 2007).

SONUÇLAR

Polyeler dinamik süreçlerin etkilediği hareketli ortamlar olmaları sebebiyle sediman taşınımı ve toprak oluşum koşulları bakımından büyük öneme sahiptir. Bu çalışma sonucunda, Yeşilyurt Polyesi’nden alınan iki toprak profili boyunca gerçekleştirilen ATR-FTIR analizi, toprakların polyeyi besleyen ana kayaçların mineral içeriklerince zengin olduğunu göstermiştir. Özellikle Pliyosen kırıntılı sedimanter kayaçları ile Permien şist ve fillitlerinden kaynaklanan kuvars, feldspat ve ayrışma ürünü olan kaolinit ana mineral içeriklerini oluştururken, Jura-Kretase yaşlı kireçtaşı-mermer litolojisinden gelen, ancak çözünürlüğü yüksek olan karbonat kayaçların getirdiği, kalsit ve dolomitin nispeten daha zayıf absorpsiyon bantları ile toprak bileşenlerini oluşturduğu belirlenmiştir. Hematit her iki profilde de bulunmuştur. Muğla’da bulunan en büyük polye olan Muğla Polyesi toprakları ile karşılaştırıldığında, Yeşilyurt Polyesi topraklarının arazi bulunuşları ve mineral içerikleri bakımından oldukça benzer oldukları anlaşılmıştır. Muğla’da bulunan diğer polyelerin de fiziksel, mineralojik ve kimyasal içeriklerinin araştırılması, toprak oluşum süreçleri ve geniş alanda buna etki eden faktörlerin belirlenmesi için büyük önem taşımaktadır.

KATKI BELİRTME

FTIR analizinin gerçekleşmesinde katkıda bulunan Dr. Özge Tokul ÖLMEZ'e (MSKÜ Kimya Bölümü) desteklerinden ötürü teşekkür ederiz. Makalenin gelişmesine katkı sağlayan hakemlere teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ.E., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H.Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, 2011. 1:1.250.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara-Türkiye.
- Aktimur, H.T., Sarıaslan, M.M., Sönmez, M., Keçer, M., Uysal, Ş., Özmutaf, M., 1996. Muğla İlinin (Merkez İlçe) Arazi Kullanım Potansiyeli, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 9853; 33 s. (yayınlanmamış)
- Alçıçek, M.C., 2007. Tectonic development of an orogen-top rift recorded by its terrestrial sedimentation pattern: The Neogene Eşen Basin of southwestern Anatolia, Turkey. *Sedimentary Geology*, 200, 117-140.
- Alkan M., Demirbas Ö., Doğan, M., 2005. "Electrokinetic properties of kaolinite in mono and multivalent electrolyte solutions" *Microporous Mesoporous Materials*, 83, 51-59.
- Arnfield, A.J., 2023. Köppen climate classification. *Encyclopedia Britannica*, 16 May. 2023, <https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification>. Erişim tarihi 21 Haziran, 2023
- Atalay, Z., 1980. Muğla-Yatağan ve yakın dolay karasal Neojen'inin stratigrafi araştırması, *Türkiye Jeoloji Bülteni* 23, 93–99.
- Atalay, I., 1997. Red Mediterranean soils in some karstic regions of Taurus mountains, Turkey, *Catena* 28 (3-4): 247-260. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(96\)00041-0](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(96)00041-0)
- Balan, E., Saitta, A.M., Mauri, F., Calas, G., 2001. First-principles modeling of the infrared spectrum of kaolinite. *American Mineralogist*, 86 (11-12), 1321-1330.

- Becker-Platen, J.D., 1970. Lithostratigraphische Untersuchungen im Kanozoikum Südwest Anatoliens (Türkei) – Kanozoikum und Braunkohlen der Türkei. Beiheft Geol. Jahrb. 97, 1– 244.
- Bich, Ch., 2005. Contribution à l'étude de l'activation thermique du kaolin: évolution de la structure cristallographique et activité pouzzolanique, Ph. D. Thesis, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France.
- Bozkurt, E., 2004. Granitoid rocks of the southern Menderes Masif (southwestern Turkey): field evidence for Tertiary magmatism in an extensional shear zone, Int J Earth Sci (Geol Rundsch), 93, 52–71.
- Collins, A.S., Robertson, A.H.F., 1998. Processes of Late Cretaceous to Late Miocene episodic thrust-sheet translation in the Lycian Taurides, SW Turkey, Journal of the Geological Society London, 155, 759-772.
- Collins, A.S., Robertson, A.H.F., 1999. Evolution of the Lycian Allochthonous, western Turkey, as a north-facing Late Palaeozoic to Mesozoic rift and passive continental margin, Geological Journal, 34, 107-138.
- Collins, A.S., Robertson, A.H.F., 2003. Kinematic evidence for Late Mesozoic-Miocene emplacement of the Lycian Allochthonous over the Western Anatolide Belt, SW Turkey, Geological Journal, 38, 295-310.
- Durn, G., 2003. Terra Rossa in the Mediterranean region: parent materials, composition and origin, Geol. Croat., 56, 83–100.
- Ersoy, Ş., 1990. Batı Toroslar-Likya Naplarının yapısal birimleri ve evrimsel analizi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 37, 5–16.
- Ersoy, Ş., 1991, Datça yarımadasının stratigrafisi ve jeolojisi, TJK Bülteni, 34-2, 1-14.
- Farmer, V.C., 2000. Transverse and longitudinal crystal modes associated with OH stretching vibrations in single crystals of kaolinite and dickite. In: spectrochimica acta part A: molecular and biomolecular spectroscopy, 927–930
- Göktaş, F., 1998. Muğla çevresi (GB Anadolu) Neojen tortullaşmasının stratigrafisi ve sedimentolojisi). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 10225, Ankara, Türkiye (yayınlanmamış), 181 s.

- Göktaş, F., Alkanoğlu, E., Yüceal, A., Yalçın, L. 1982. 1/100 000 ölçekli sayısal jeoloji haritası Aydın N20 paftası. Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Görür, N., Şengör, A.M.C., Sakıncı, M., Tüysüz, O., Akkök, R., Yiğitbaş, E., Oktay, F.Y., Barka, A., Sarıca, N., Ecevitoglu, B., Demirbağ, E., Ersoy, Ş., Algan, O., Güneysu, C., Aykol, A., 1995. Rift formation in the Gökova Region, Southwest Anatolia: implications for the opening of the Aegean Sea. *Geological Magazine*, 132, 6, 637-650.
- Graciansky, P., Ch.de, 1968. Teke yarımadası (Likya) Taraşlarının üst üste gelmiş ünitelerinin stratigrafisi ve Dinoro-Toroslar'daki yeri. *MTA Ens, Derg.*, 71, 73-93.
- Gül, M., Karacan, E., Aksoy, M.E. 2013. Muğla kenti yerleşim alanı ve yakın çevresinin genel jeolojik ve mühendislik jeolojisi özelliklerinin araştırılması. *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Araştırma Fonu BAP Proje Raporu*, 12-54, 42 s.
- Gül, M., 2015. Lithological properties and environmental importance of the Quaternary Colluviums (Muğla, SW Turkey). *Environmental Earth Science*, 74, 4089–4108
- Gül, M., Çetin, E., Küçükuysal, C., Gülcan, M., Kahveci, Y., 2021. Recent alluvial fan developments in Muğla (SW Turkey). *Arabian Journal of Geosciences* 14:819, 20 s. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07159-3>
- Güldalı, N., 1976. Akseki Polyesi, Toroslar'ın Karstik Bölgelerindeki Dağarası Ovalarının Oluşumu ve Gelişimi, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19: 143-148.
- Gürer, F.Ö., Yılmaz, Y., 2002. Geology of the Ören and Surrounding Areas, SW Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 11, 1-13.
- Hakyemez, H.Y., Örcen, S., 1982. Muğla-Denizli arasındaki (GB Anadolu) Senozoyik yaşlı çökel kayaların sedimentolojik ve biyostratigrafik incelemesi: MTA Rap. 7311 (yayımlanmamış).
- Hakyemez, Y., 1989, Kale-Kurbalık (GB Denizli) bölgesindeki Senozoyik yaşlı çökel kayaların jeolojisi ve stratigrafisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi* 109, 9-21.
- Jozanikohan, G., Abarghoeei, M.N., 2022. The Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis for the clay mineralogy studies in a clastic reservoir. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 12:2093–2106 <https://doi.org/10.1007/s13202-021-01449-y>

- Karabacak, V., 2016. Seismic damage in the Lagina sacred area on the Muğla Fault: a key point for the understanding of the obliquely situated faults of western Anatolia. *Journal of Seismology*, 20(1): 277–289
- Kayan, İ., 1979. Muğla-Yatağan Neojen Havzalarının Jeomorfolojisi, TÜBİTAK Proje No: TBAG:189, 272 s.
- Konak, N., Akdeniz, N., Öztürk, E.M., 1987. Geology of the South of Menderes Massif: IGCP Project No.5: correlation of Variscan and Pre-Variscan events of the Alpine-Mediterranean Mountain Belt. Field Meeting, Turkey, Sept. 13-19, 1987, Guide Book For the Field Excursion Along Western Anatolia, Turkey, 42-53
- Köppen, W., 1936. Das geographische System der Klimate, 1–44 (Gebrüder Borntraeger: Berlin, Germany).
- Köppen, W., 1918. Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag and Jahreslauf". *Petermanns Geographische Mitteilungen*. 64. 193–203, 243–248 – via koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/Koeppen.htm.
- Köppen, W., 1884. Die Wärmezonen der Erde, nach der Dauer der heissen, gemässigten und kalten Zeit und nach der Wirkung der Wärme auf die organische Welt betrachtet. *Meteorologische Zeitschrift* 1, 215–226.
- Kuligiewicz, A., Derkowski, A., 2017. Tightly bound water in smectites. *American Mineralogist*, 102(5), 1073-1090. <https://doi.org/10.2138/am-2017-5918>
- Küçükuysal, C., Gül, M., Aghayev, T., 2018. Muğla Polyesi Kırmızı Akdeniz Toprakları (Terra Rossa): Mineralojik, Mikromorfolojik, Jeokimyasal ve Pedolojik Özellikleri, TÜBİTAK 1002 Proje No:116Y027, 74 s.
- Küçükuysal, C., Gül, M., Aghayev, T., Gülcan, M., 2022. Mineralogical and geochemical signatures of weathering on carbonate rocks and dynamic young land surfaces in Muğla Polje (SW Turkey), *Turkish Journal of Earth Sciences*: 31: 6, Article 4.
- Madejová, J., Komadel, P., 2001. Baseline studies of the clay minerals society source clays: Infrared methods. *Clays and Clay Minerals*, 49, 410–432. <https://doi.org/10.1346/CCMN.2001.0490508>
- Nayak, P.S., Singh, B.K., 2007. Instrumental characterization of clay by XRF, XRD and FTIR. *Bull Mater Sci.*, 30:235–238

- Özer, S., Sözbilir, H., Özkar, I., Toker, V., Sarı, B., 2001. Stratigraphy of Upper Cretaceous–Palaeogene sequences in the southern and eastern Menderes Massif (western Turkey). *Int J Earth Sci*, 89: 852–866.
- Pehlivan, A.R., 1993. Muğla havzası ve dolayındaki polyelerin hidrojeolojik incelemesi İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 153 s.
- Pineau, M., Mathian, M., Baron, F., Rondeau, B., Deit, L., Allard, T., Mangold, N., 2022. Estimating kaolinite crystallinity using near-infrared spectroscopy: Implications for its geology on Earth and Mars. *American Mineralogist*, 107(8), 1453-1469.
- Sarı, B., Özer, S., 2001. Facies characteristics of the Cenomanian-Maastrichtian Sequence of the Beydağları carbonate platform, Korkuteli area, Western Taurides, Turkey, *International Geology Review*, 43, 830-839.
- Sarı, B., Özer, S., 2002. Upper Cretaceous stratigraphy of the Beydağları carbonate platform, Korkuteli area (Western Taurides, Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences*. 11 (1), 39-59.
- Sür, A., 1994. Karstik Yer şekilleri ve Türkiye’den Örnekler, Ankara Üniversitesi TÜCAUM Dergisi, 3, 65-78.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Boray, A., 1987. Türkiye’nin Diri Fayları ve Depremsellikleri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü General Ankara, 394 s.
- Şimşek, M., Doğan, U., Öztürk, M.Z., 2020. Polyelerin Sınıflandırılması ve Toroslardan Örnekler. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 5, 1-14 .
- Ten Veen, J.H., 2004. Extension of Hellenic forearc shear zones in SW Turkey: the Pliocene–Quaternary deformation of the Eşen Çay Basin. *Journal of Geodynamics* 37, 181–204.