



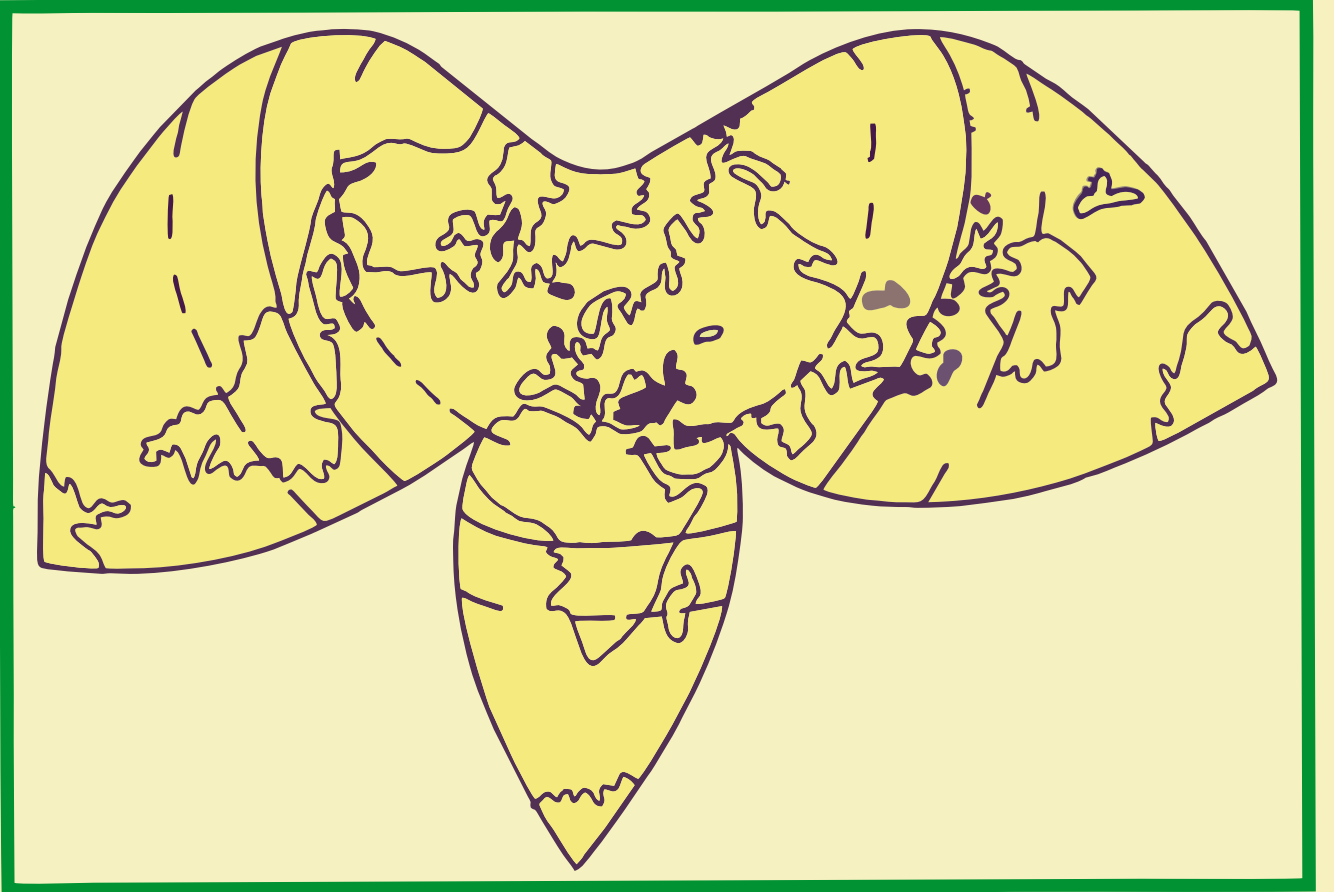
GEOSOUND



YERBİLİMLERİ

Science and Technology

Online Bulletin on Earth Science



SAYI
NUMBER **59**

HAZİRAN
JUN
2024

Editör ve Yayın Kurulu

Baş Editör

Prof. Dr. Ulvi Can ÜNLÜGENÇ

Editörler

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Can AKINCI

Doç. Dr. Nusret NURLU

Bölüm Editörleri

Prof. Dr. Ulvi Can ÜNLÜGENÇ

Prof. Dr. Kemal GÜRBÜZ

Prof. Dr. Ayşegül GÜNEY

Prof. Dr. Sedat TÜRKMEN

Prof. Dr. Semir ÖVER

Doç. Dr. Mustafa AKYILDIZ

Doç. Dr. Yasemin LEVENTELİ

Dr. Öğr. Üyesi Nil YAPICI

Doç. Dr. Mahmut ALTINER

Dr. Ahmet Can AKINCI

Dr. Nusret NURLU

Yayın Kurulu

Prof. Dr. Ulvi Can ÜNLÜGENÇ

Prof. Dr. Yücel YILMAZ

Prof. Dr. Alastair ROBERTSON

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. Semir ÖVER

Prof. Dr. Hasan SÖZBİLİR

Prof. Dr. İsmail DİNÇER

Prof. Dr. Mustafa Gürhan YALÇIN

Doç. Dr. Mustafa AKYILDIZ

Doç. Dr. Hakan GÜNEYLİ

Doç. Dr. Tamer RIZAOĞLU

Assoc. Prof. Dr. Sarah J. BOULTON

Doç. Dr. Feyza DİNÇER

Doç. Dr. Hayati KOÇ

Doç. Dr. Ali ÖZVAN

Dr. Öğr. Üyesi Erkan YILMAZER

Doç. Dr. Yasemin LEVENTELİ

Dr. Öğr. Üyesi Hatice KARAKILÇIK

Dr. Öğr. Üyesi Nil YAPICI

Dr. Ahmet Can AKINCI

Doç. Dr. Nusret NURLU

Öğr. Gör. Mustafa AFŞİN

Dr. Öğr. Üyesi Deniz İBİLİOĞLU

İÇİNDEKİLER

1. Antimonun Çevre ile İnsan Sağlığı Üzerindeki Olası Etkileri ve Gerekli Tedbirler

Possible Effects of Antimony on Human Health with the Environment and Necessary Precautions

Mustafa Gürhan YALÇIN ve Özge Özer ATAKOĞLU

Sayfa: 20-39

2. Afşin-Elbistan Linyit Havzası Killerinin Fiziko-Kimyasal Özellikleri ve Seramikte Kullanılabilirliği

Physico-Chemical Properties of Afşin-Elbistan Lignite Basin Clays and Their Usability in Ceramics

Esra BAKIR ve Tamer RIZAOĞLU

Sayfa: 21-41

3. Su YüzeY Alanlarının Belirlenmesinde Kullanılan Spektral İndekslerin Performans Analizi: Berdan (Tarsus) Baraj Gölü Örneği

Performance Analysis of Spectral Indices Used in Determination of Water Body Surface: The Case of Berdan (Tarsus) Reservoir

Sevim Yasemin ÇİÇEKLİ

Sayfa: 42-56

4. Tufanbeyli Fatmakuyu Yöresi (Adana) Kireçtaşlarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

Investigation of the Useability of Tufanbeyli Fatmakuyu Region (Adana) Limestone as Concrete Aggregate

Özen KILIÇ ve Evrim TEKELİ

Sayfa: 57-68

5. Adana İlinin Depremselliği Ve Deprem Üretebilecek Fayları

Seismicity of Adana Province and Faults that may Produce Earthquakes

Ulvi Can ÜNLÜGENÇ ve Ahmet Can AKINCI

Sayfa: 69-93



Antimonun Çevre ile İnsan Sağlığı Üzerindeki Olası Etkileri ve Gerekli Tedbirler

Possible Effects of Antimony on Human Health with the Environment and Necessary Precautions

MUSTAFA GÜRHAN YALÇIN¹ Orcid: 0000-0002-8011-5371

ÖZGE ÖZER ATAKOĞLU¹ Orcid: 0000-0003-2678-1194

¹ Department of Geological Engineering, Akdeniz University, Antalya, Turkey

Geliş (received): 21/02/2024

Kabul (Accepted): 15/03/2024

ÖZ

Genel olarak gümüş beyazı renğinde bir metal olan antimon, farklı bileşimlere sahiptir. Antimonun bu kimyasal bileşimlerine bağlı olarak, farklı endüstrilerde kullanımı bulunmaktadır. Antimon cevherinin çıkarılmasından endüstride kullanılmasına kadar her bir aşamada, toz, toprak, yiyecek, su, bitkisel ilaç ve kontrolsüz diyet takviyeleri gibi antimon içerikli dış faktörlerden insanların antimon ile dolaylı veya direk teması söz konudur. İnsanların bu metale maruz kalması gözlerde, ciltte, solunum yollarında ve sinir sisteminde hasara neden olabilir. Pnömonkozyza neden olabilir. Kardiyovasküler ve gastrointestinal sistemlerde bazı sağlık sorunlarına neden olabilir. Antimon pentaklorür ($SbCl_5$) en toksik olanıdır. Antimon maruziyetine maruz kalmış kişilerde antimon toksisitesinin belirlenmesinde idrar tahlilleri yapılmalı ve bu kişilere sanitasyon uygulanmalıdır. Özellikle çalışan bireylerin sağlığının korunması için idrar antimon ortalamasının $0.09 \mu\text{g/L}$ üstüne çıkmamasına dikkat edilmelidir. Ulusal Mesleki Güvenlik ve Sağlık Enstitüsü (NIOSH REL), Mevcut Mesleki Güvenlik ve Sağlık İdaresi (OSHA PEL), 1989 OSHA PEL ve 1993-1994 Amerikan Resmi Endüstriyel Hijyenistler Konferansı (ACGIH TLV) verilerine göre antimonun “Hayata veya Sağlığa Doğrudan Tehlikeli Konsantrasyonlar”ını 0.5 mg Sb/m^3 8 saatlik zaman ağırlıklı ortalama (TWA) değer olarak verilmiş olup bununla birlikte Orijinal (SCP) IDLH(Immediately Dangerous to Life or Health) 50 mg Sb/m^3 TWA olarak belirlenmiştir. Antimon varlığı tespit edilen alanlarda klinik toksikoloji, farmasötik ajanlar, işyeri ve yaşadığımız ortamdaki anomali durumları birlikte değerlendirilerek

indeks hesaplamaları ile risk analizleri yapılmalı, varsa insidans kontrol altına alınmalı ve uygun acil eylem planı yapılmalıdır.

Anahtar kelimeler: Antimon, antimon sınır değerleri, antimon toksisitesi, antimon maruziyeti

Mustafa Gürhan Yalçın gurhanyalcin@akdeniz.edu.tr

ABSTRACT

Antimony, which is generally a silver-white metal, has different compositions. Depending on these chemical compositions of antimony, it is used in different industries. At every stage, from the extraction of antimony ore to its use in industry, people come into direct or indirect contact with antimony due to external factors containing antimony such as dust, soil, food, water, herbal medicine and uncontrolled dietary supplements. Human exposure to this metal can cause damage to the eyes, skin, respiratory tract and nervous system. It can cause pneumoconiosis. It can cause some health problems in the cardiovascular and gastrointestinal systems. Antimony pentachloride (SbCl₅) is the most toxic. Urine tests should be performed to determine antimony toxicity in people exposed to antimony, and these people should be sanitized. In order to protect the health of especially working individuals, care should be taken to ensure that the average urine antimony level does not exceed 0.09 µg/L. According to the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH REL), the current Occupational Safety and Health Administration (OSHA PEL), the 1989 OSHA PEL, and the 1993-1994 American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH TLV), the "Concentrations Immediately Dangerous to Life or Health" of antimony was 0.5 mg Sb/m³ 8-hour time-weighted average (TWA), while the Original (SCP) IDLH (IDLH: Immediately Dangerous to Life or Health) was 0.50 mg Sb/m³ TWA. In areas where the presence of antimony is detected, clinical toxicology, pharmaceutical agents, workplace and anomaly situations in the environment we live in should be evaluated together, index calculations and risk analyzes should be made, the incidence, if any, should be taken under control and an appropriate emergency action plan should be made.

Keywords: Antimony, antimony limit values, antimony toxicity, antimony exposure

GİRİŞ

Antimon eş anlamlıları “Antimon metali, Antimon tozu, Stibium” şeklinde sıralanabilir. Yer kabuğunda, 51 numaralı atomlu gümüş renkli beyaz bir metal olan ve “yalnızlığa karşı” anlamındaki “anti monos” sözcüğünden türemiş antimonun (latin Stibium'dan Sb sembolü) genel kullanım alanı endüstriyeldir. Fiziksel özellikleri gümüş-beyazı, parlak, sert, kırılğan, katı, pul benzeri kristaller veya koyu gri, parlak bir toz şeklindedir.

Moleküler ağırlık 121.8, kaynama noktası 2975°F, erime noktası 1166°F, çözünmez, buhar basıncı 0 mmHg (yaklaşık) ve iyonlaşma potansiyeli yoktur. Spesifik yer çekimi 6.69, alevlenme noktası yoktur, üst patlama limiti ve alt patlama limiti yoktur. Yanmaz katı haldedir, ancak aleve maruz kaldığında toz halinde orta derecede patlama tehlikesi vardır. Güçlü oksitleyiciler, asitler, halojenli asitler ile uyumsuz olup, tepkime gösterebilir. Özellikle antimon, yeni oluşan (taze oluşmuş) hidrojene maruz kaldığında tepkime oluşur. Solunma, yutma, cilt ve/veya gözle teması ile maruziyet oluşabilir. Maruziyet belirtileri olarak gözlerde, ciltte, burunda, boğazda, ağızda tahriş, öksürük, baş dönmesi, baş ağrısı, mide bulantısı, kusma, ishal, karın krampları, uykusuzluk hastalığı, anoreksiya ve düzgün koku alamamak şeklinde sıralanabilir. Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezleri (CDC, bu maruziyete bağlı olarak hedef organları gözler, cilt, solunum sistemi ve kardiyovasküler sistemi olarak vermiştir (CDC, <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0036.html>).

Antimonun farklı bileşimleri farklı kullanım alanlarına sahiptir. Antimon, *antimony trioxide* (tek kullanımlık su ve içecek şişelerinde ve yiyecek tepsilerinde yaygın olarak kullanılan gıda ile temas eden plastik olan polietilen tereftalat (PET) üretiminde), antimuan tris (pet üretiminde katalizör olarak), *stibine -antimony hydride* (*Predinastik (hânedanlar öncesi) dönemde eski Mısır'lularda makyaj malzemesi olarak, göz kozmetiği (kohl) olarak*), *antimony trisulfide* (fren balatalarında ve mühimmatlarda astar olarak), *antimony pentoxide* (halojenli alev geciktiricilerde sinerji için), *antimony trichloride* (diğer antimuan maddelerinin üretiminde ara madde olarak), antimuan pentaklorit (PTFE üretiminde katalizör olarak); *antimony pentasulfide*, sodyum antimonat (yüksek teknoloji camlarının üretiminde); sodyum hegzahidroksiantimonat (yüksek teknoloji camlarının üretiminde); potasyum hegzahidroksiantimonat, (havai fişek üretiminde kullanılmaktadır), *metallic antimony vb* olarak gözlenir. Genel olarak akümülatörlerde, elektronik sanayide, plastiklerde, seramik, cam ve diğer sektörlerde kullanılmaktadır (Sundar ve Chakravarty, 2010; Snedeker, 2014; IAA, 2018; IAA, 2021). Ayrıca elemental antimon olarak da farklı kullanım alanları vardır. Bu kullanım alanları yarı iletken, kızılötesi detektör ve diyot üretimi olarak sıralanabilir. Antimonun göreceli esnekliği nedeniyle kullanıldığı alanlarda bulunmaktadır. Özellikle kurşun depolama pili, lehim, sac ve boru metali, rulman, döküm ve kalay vb. İmalatında kullanılarak farklı alaşımlar halinde bulunur. Antimon oksit, yangın geciktirici formülasyonlarda kullanılabilir. Ayrıca, patlayıcı, pigment, antimon tuzları ve yakut

cam üretiminde antimon trisülfid kullanılırken plastikler, kauçuklar, tekstil, kağıt ve boyalarda da kullanılmaktadır (Sundar ve Chakravarty, 2010; Yucel, 2020).

Arsenik (As) ve antimon, “in vitro” (laboratuvar ortamında ya da yapay koşullarda) ve “in vivo” (canlının içinde) olarak, bir “genotoksik” elementdir. Bu nedenle antimon, küresel bir kontaminasyon olarak kabul edilmektedir (Wu vd., 2011). Antimonun madencilik faaliyetleri, çevreye metal (loid) yayabilir ve doğada birikebilir. Bu biriken metal (loid), tüm canlılar ve ekosistemler için risk ve tehlike oluşturabilir (Guo vd., 2017). SbH_3 , SbF_3 , $SbCl_3$, $SbCl_5$, Sb_2O_3 , Sb_2O_5 , Sb_2S_3 , Sb_2S_5 gibi inorganik antimon bileşikleri ve metalik antimonun (Sb) canlı üzerinde olumsuz etkileri olabilir (Güven vd., 2004) ve toksik etki gösterebilir. Bitki büyümesi ve nitrifikasyon üzerinde olumsuz etkileri beklenebilir (Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı: IARC, 1989; Okkenhaug and Mulder, 2017). Kısaca antimon (Sb), doğal olarak ve/veya antropojenik faaliyetlerle doğada anomali oluşturabilir. Antimon (Sb) toksisitesi üzerine yapılan bilimsel çalışmalarındaki yoğun ilgi, her geçen gün artmaktadır.

Antimonun, olumsuz etkileri şu şekilde sıralanabilir. Antimon (III) oksit (inhalasyon) ile yapılan deneylerde, kadın sıçanlarda akciğer kanserine neden olduğu gösterilmiştir (Gebel, 1997). Antimon, memeli hücrelerinde DNA eklentileri, DNA kırıkları, gen mutasyonları, kromozom anormallikleri, klastojenite ve anöploidi gibi sorunları oluşturan genetik toksisite ya da genotoksisite göstermiştir (Asakura vd., 2009). Mesleki maruziyete bağlı; -solunum yolu tahrişi, - akciğerin toz hastalıkları belirtileri, pnömokonyoz gibi doku reaksiyonu, -ciltte antimon lekeleri ve -gastrointestinal (mide-bağırsak) semptomlar gözlenebilir. Solunum yolu rahatsızlıkları arasında kronik bronşit (bronşların iltihaplanması), kronik amfizem (hava kesecikleri hasarı; solunumla alınan oksijenin kana geçtiği yapılar), inaktif tüberküloz (verem), plevral adezyonlar (akciğerleri çevreleyen, iki katlı, ince bir zar tabakasının yapışıklığı ile iki zar arasındaki sıvı miktarının artması) ve solunum tahrişi (*kronik öksürük, hırıltılı solunum ve üst solunum yolu iltihabı ile karakterizedir*) yer alır. Suda çözünürlüğü düşük antimon bileşiklerinden oluşan küçük partiküller içeren aerosoller (*örneğin antimon oksit partikülleri*), yüksek suda çözünürlüğü olan daha büyük partiküller içerenlerden (*örneğin antimon tartrate partikülleri*) daha uzun bir süre akciğerlerde tutulurlar. Antimon trioksit ve/veya pentoksit tozuna (8.87 mg/m^3 **veya daha fazla**) maruz kalındığında pnömokonyoza neden olabileceği görülmüştür. Havadaki antimonun, terleme ve yağ bezlerinin yakınındaki gövde ve uzuvlarda “antimon leke” etkileri vardır. Bu dermatit rahatsızlık, daha çok sıcak havalarda ve yüksek sıcaklıklara maruz kalan işçilerde görülür.

Gastrointestinal (yemek borusu, mide ve bağırsaklar gibi sindirim sisteminin tüm ana organları) olarak, havada toz olarak bulunan antimon triklorür, antimon trisülfid veya antimon oksite maruz kalındığında karın ağrısı, ishal, kusma ve ülsere sebep olduğu anlaşılmıştır. Antimon metalürjisi tesislerinde çalışan kadınlarda kontrol grubuna göre kendiliğinden düşük ve menstrüasyon (regl) bozukluğu sıklığı da bildirilmiştir (Sundar ve Chakravarty, 2010). Antimon ve antimon trioksit, metal madenciliğinde, eritme ve rafine işletmelerinde, kömürle çalışan elektrik santrallerinde, çöp yakım alanlarında veya kapalı ateşleme alanlarında çalışan işçilerde sıkça görülür (Sundar ve Chakravarty, 2010; Anderson, 2012).

Havadan 8-9 g/m³ üzeri antimonoksit solunması durumunda kısa sürede bronşlar ve üst solunum yollarında kasılma ile enfeksiyon görülebilir, akciğer rahatsızlıkları meydana gelebilir. Çalışılan ortamın havasında 2.5 g/m³ antimonoksit/klorür içermesi , 8(sekiz) ay ve daha yukarı sürelerde çalışılması durumunda kan basıncında aşırı yükselme ve kalp atış ritminin bozulması meydana gelebilir. 2 mg/m³ – 70 g/m³ antimonoksit veya antimonsülfür solunması durumunda, kısa sürede bile sindirim sisteminde ani ağrılar ve kasılmalar, kusma ve kronik ülser vakaları ile karşılaşılabilir. 10 mg/m³ antimonklorür, antimonsülfür ve antimonoksitin solunum ile vücuda alınması durumunda sinir sisteminde aşırı zayıflama ve beyinde çınlama hissi gibi problemler ortaya çıkabilir. Antimon kaynaklı insan ölümü sadece küçük bebeklerde görülmektedir (ATSDR, 1992; Baldwin and Marshall, 1999; Güven vd., 2004). Antimon, klastojeniktir, ancak üç değerlikli durumda mutajenik değildir ve kanserojen bir potansiyele sahiptir (Gebel, 1997; Sundar ve Chakravarty, 2010). Kısaca antimon, akut veya kronik oral veya parenteral maruziyet oluşturabilir. Vücutta en yüksek konsantrasyonları ise tiroid, adrenal bezler, karaciğer ve böbrekte bulunur (Tylenda vd., 2015).

Orijinal (SCP) IDLH'nin (Immediately Dangerous to Life or Health) temeli: AIHA (1959), antimon ve bileşiklerine hem akut hem de kronik maruz kalma durumunda tehlike şiddetinin orta ile yüksek olduğunu bildirmiştir. Antimon trisülfüre (0,6 ila 5,5 mg/m³) kronik olarak maruz kalan işçilerde kalp anormalliklerinde belirgin bir artış olduğunu kaydetmiş ve deney hayvanlarında kalp hasarı görülmüştür. Seçilen IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health), 73 mg/m³'e kadar antimon içeren havaya kısa süre maruz kalan işçilerde karın ağrısı ve kalıcı anoreksi dahil hafif gecikmiş gastrointestinal bozuklukların kaydedildiğini bildiren raporuna dayanmaktadır (<https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0036.html>, 2024).

Çin antimon yatakları özellikle Guangxi (% 34.4), Hunan (% 21.2), Yunnan (% 12.2) ve Guizhou (% 10.2) bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Bölgede yer alan sedimanter kayalarındaki antimon, birkaç mg kg⁻¹ düzeyindedir. Madencilik faaliyetlerine bağlı olarak antimon yataklarının gözlendiği bölge, ciddi antimon kontaminasyonuna uğramıştır; bu anomaliler 0.5-1.5 mg kg⁻¹ arasında daha düşük konsantrasyon; 1.5-2 mg kg⁻¹ arasında orta konsantrasyon ve 2 mg kg⁻¹'in üzerinde olan yüksek konsantrasyon grupları olarak görülür. Bölgede yer alan nehir sularında, oldukça fazla oranda antimon yoğunlaşmış ve bitkilerde yüksek seviyelere ulaşmıştır (He vd., 2012). Xikuangshan (Guiyang, Hunan, Çin) antimon madeninin etkin olduğu nehirlerin bulunduğu içme suyunda sınır değer 13 kat Çin ve 3 kat Dünya Sağlık Örgütü (WHO, World Health Organization, 1993) yönergesini aşmıştır. Balıklarda, balık solungaçlarında, madenlerin bulunduğu lokal bölgelerdeki insan saçlarında (toksik seviyenin üzerinde) ve alg örneklerinde önemli oranlarda antimon ve arseniğin yayıldığı ve bunların insan sağlığını önemli ölçüde olumsuz olarak etkileyebileceği öngörülmüştür (Guo vd., 2009; Li vd., 2009; Fu vd., 2010; Wu vd., 2011; Wang vd., 2011). Bölgedeki gıda örneklerinde ölçülen antimony değerinin, tolere edilebilir (554 µg/gün) günlük alım miktarını geçilmemesi önemlidir. Ancak buna karşın antimonun baskın besin alım kaynakları pirinç, sebzeler (özellikle yapraklı sebzeler), içme suyu ve et/kümes hayvanları olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bu örneklerde arseniğin baskın besin alım kaynakları olarak pirinç verilmiştir. Antimonate (V) sebze, içme suyu ve saçlarda baskın antimon türleridir (Wu vd., 2010). Tayvan, Arjantin, Hindistan ve Bangladeş gibi altın madencilik faaliyetlerinin olduğu yerlerde, su kaynaklarında arsenik ve antimon kontaminasyonuna rastlanmıştır (Serfor-Armah vd., 2006).

Dünyada antimon üretiminin %88 kadarına Çin sahiptir. Ayrıca, Balkan Yarımadası, Bolivya, Cezayir, Çin, Güney Afrika, Meksika ve Peru ülkelerinde de yataklar bulunmaktadır. Ülkemizde (Tokat-Turhal, Niğde-Gümüşler, Kütahya-Simav-Gediz, İzmir-Ödemiş, Balıkesir-İvrindi-Susurluk, Bursa-İnegöl, Bilecik-Söğüt) antimon madenciliği, geçmişten bugüne devam eden bir madenciliktir. Geçmiş dönemlerde işletilmiş olan bazı eski antimon ocakları ve bunların cevher atık sahalarında, artık antimonun varlığı söz konusudur (Göncüoğlu, 1986; Yalçın 1995; Yalçın ve Yaman, 1996; Yalçın and Çopuroğlu, 2001; Yalçın, vd, 2008; Tümüklü ve Tosunbaş, 2021). Antimon tüvenan cevherden rafine antimona kadar her bir aşama, cevher zenginleştirme işlemleri, oksitli, klorürlü, sülfürlü, polisülfürlü bileşenlerin oluşturulması, cevher içerikli tozlu çalışma alanları, döküntü cevher alanları, eski maden ocakları ve bunların atık sahaları, hurda ve

eşya gibi daha bir çok farklı ticari alanlarda antimonun varlığı söz konusudur. Antimonun tüm bu işlemleri sırasında kısa, orta ve uzun süreli zamanlarda, Antimona (Sb) maruz kalan insanların, bu ağır metalin etkisi altında kaldıkları düşünülebilir. Bu etkileşimden dolayı insanlar sağlık sorunları yaşayabilir. Makalenin amacı, antimonun çıkarıldığı doğal ortamlardan üretim yapıldığı alanlara ve hatta ürünlerin bulunduğu ortamlara kadar, insan sağlığı ve çevre üzerine olası etkilerini belirlemek, bu ortamlarda dikkat edilmesi gereken durumları ve gerekli tedbirleri açıklamak şeklindedir.

MATERYAL METOD

Antimon seviyeleri

ABD jeolojik araştırma birimi, antimonun toprak konsantrasyonunu ortalama 0.48 ppm olarak belirtmiş ve konsantrasyonun 1 ila 8.8 ppm aralığından daha az olduğunu belirtmiştir. Topraklardaki Sb oranı genel olarak, 0.049 mg kg⁻¹ dir (Rodrigues vd., 2010). ABD jeolojik araştırma birimi, genel olarak yiyecek ve sudan ortalama antimon alımını, kabaca 5 µg/gün olarak tahmin etmiştir (Sundar ve Chakravarty, 2010). Bitkisel ilaçlar ve kontrolsüz diyet takviyeleri, antimonlu sıcak su uygulamalarında (therapeutic applications) sağlık sorunları oluşabileceği belirtilmiştir (Heltai vd., 2018). Gıda örneklerinde tolere edilebilir günlük alım miktarı 554 µg/gün şeklindedir (Wu vd., 2011). Arsenik kurşun-antimon atıklarının bulunduğu, eski maden ocak alanlarına ait antimon konsantrasyonları, toprakta (14.1–324 mg kg⁻¹) ve tahılda (0.05–0.103 mg kg⁻¹) olarak belirlenmiştir. Bu metallerin tarım topraklarında ve tahıllar için belirlenmiş izin verilen sınırların altında kaldığı ve tolere edilebilir seviyelerde olduğunu gösteren örnekler de bulunmaktadır (Álvarez-Ayuso vd., 2012).

İçme suyu yönergelerine göre Dünya Sağlık Örgütü: 20 µg/L; Japonya: 15 µg/L (WHO, 2003); ABD Çevre Koruma Ajansı, Kanada Sağlık ve Ontario Çevre Bakanlığı: 6 µg/L; AB ve Alman Federal Çevre Bakanlığı: 5 µg/L (Shotyk vd., 2006); DSÖ tarafından önerilen TDI, vücut ağırlığının kilogramı başına 6 µg antimondur (WHO 2004). Antimon için IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) değeri 50 mg/m³tür (NIOSH, 1985).

Hayata veya sağlığa doğrudan tehlikeli konsantrasyonlar (IDLH: Immediately Dangerous to Life or Health), NIOSH REL: 0.5 mg Sb/m³ TWA; Mevcut OSHA PEL: 0.5 mg Sb/m³ TWA; 1989

OSHA PEL: 0.5 mg Sb/m³ TWA; 1993-1994 ACGIH TLV: 0.5 mg Sb/m³ TWA; Orijinal (SCP) IDLH: 50 mg Sb/m³ (NIOSH, 2024).

Toksisitesinin Belirlenmesi

Antimon ve bileşiklerinin insan ve çevre sağlığı üzerindeki etkileri büyük farklılıklar göstermektedir. Ancak, CDC (*Centers for Disease Control and Prevention*) raporlarında, antimon toksisitesinin belirlenmesi için farklı yöntemler bulunsa da sadece geçerliliği kabul edilmiş yöntemlerin kullanılması gerektiği üzerine dikkat çekilmiştir. Antimon esas olarak idrar yoluyla insan vücudundan atıldığı için, antimon toksisitesinin belirlenmesinde kullanılan idrar testi, vücuttaki antimon seviyelerini ölçmek için en doğru, en güvenilir ve en geçerli test yöntemi olduğu vurgulanmıştır.

Genel idrar antimon ortalamasının 0.09 µg/L (0.09, 0.10) şeklinde olduğu ve yüksek oranlardaki antimonun kalp ve akciğer sorunları oluşturabileceği belirtilmiştir (Frustaci vd., 1999; Wiener and Bhandari, 2020).

CDC, ABD popülasyonunda “idrar antimon seviyeleri” aralıklarını belirlemiş olup bu değerleri 0.120-0.364 µg/gr (2010 yılı için) aralıklarındaki kreatinin olarak açıklamıştır. Antimon toksisitesinin belirlenmesinde kullanılan saç testinin onaylanmış bir yöntem olmadığı ve toksisitesinin belirlenmesinde önerilmediği belirtilmiştir (<http://www.cdc.gov/niosh/fire/spotlight.html>). Ancak bu test yöntemi, bir fikir oluşturması bakımından değerlendirilebilir.

Akut toksisite verileri olarak, ölümcül konsantrasyon verileri Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.

Table 1. Akut toksisite ölümcül konsantrasyon verileri

Table 1. Acute Toxicity Lethal Concentration Data

Türler	Referans	LC50 (ppm)	LCLo (ppm)	Zaman	0.5 saat LC (CF)	Türetilmiş Değer
Fare	Chekunova ve Minkina, 1987	720 mg/m ³	-----	?	?	?
Fare	İzmerov vd. 1982	720 mg/m ³	-----	2 saat	469 mg Sb/m ³	47 mg Sb/m ³

Tablo 2. Akut toksisite ölümcül konsantrasyon verileri*Table 2. Acute Toxicity Lethal Concentration Data*

Türler	Referans	Rota	LD50 (mg/kg)	LDLo (mg/kg)	Düzeltilmiş LD	Türetilmiş Değer
Fare	Coulston ve Korte, 1975	Oral	7.500	-----	49.000 mg Sb/m ³	4.900 mg Sb/m ³
Fare	Smyth ve Carpenter, 1948	Oral	20.000	-----	117.600 mg Sb/m ³	11.760 mg Sb/m ³
Fare	Arzamastev, 1964	Oral	1.115	-----	3.179 mg Sb/m ³	318 mg Sb/m ³
G. Domuz	Arzamastev, 1964	Oral	900	-----	2.566 mg Sb/m ³	257 mg Sb/m ³

İnsan verileri, antimon pentaklorürün (SbCl₅), antimon klorürler arasında en toksik olduğu kabul edilir (ACGIH, 1994).

TARTIŞMA

Risk Analizleri: antimonun kendisi, ortamdan taşınması, başka maddelere dönüştürülmesi, çevrede birikimi, vücut tarafından alınabilecek doz miktarı, temas şekli ve süresi, biyolojik olarak etkili olacak doz miktarı, zararlı alışkanlıklar ve ortamda diğer kimyasalların mevcut olup olmadığı, hastalığın erken belirtileri ve hastalığın ortaya çıkması gibi durumlar toksik etki unsuru sayılabilir. Yapılacak çalışmalar klinik toksikoloji, farmasötik ajanlar, işyeri ve yaşadığımız ortamdaki anomali durumları birlikte değerlendirilmelidir. (<https://www.ttb.org.tr/eweb/bergama/5.html>). Antimon için yapılacak ve hesaplanacak risk analizleri, riskin varlığının ya da yokluğunun ortaya konması için doğru sonuçlar verebilir. Bu değerleri bulmak, durum tespiti yapmak, zaman içinde maruziyetin yarattığı sağlık sorunlarının daha iyi tanımlanması, maruziyeti azaltıcı önlemlerin geliştirilmesi, antimonun seviyesinin zararlı olmayacağı eşik değerleri geçmeden sabit tutulması ve özellikle epidemiyolojik çalışmalar için önemlidir.

Antimon toksisitesi verilerinin çoğu, ilkel çalışma koşullarının hüküm sürdüğü ve denetlemelerin yetersiz kaldığı koşullarda gelişmektedir. Çalışma koşullarındaki iyileşmeler, katı kuralların uygulanması, sürekli denetim ve risk analizleri, işyerinde antimon toksisitesi insidansını önemli ölçüde azaltmıştır (Sundar ve Chakravarty, 2010). İnsidansın kontrol altına alınması için antimonun risk analizlerinin ve indeks hesaplamalarının (contamination factors, CFs; integrated pollution indexes, IPIs; enrichment factors, EFs ve geoaccumulation index, Igeo) düzenli olarak yapılması gerektiği belirtilmiştir (Guo vd., 2017).

Antimon içerikli tozlu ortamlarda toz oranları (5 mg/m³'e kadar; 12,5 mg/ m³'e kadar; 25 mg/ m³'e kadar; 50 mg/ m³'e kadar) belirlenerek mutlaka bu oranlara uygun solunum cihazları kullanılmalıdır. Ancak, bilinmeyen konsantrasyonlara veya IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) koşullarına uygun acil eylem planı yapılmalı veya planlı giriş programları uygulanmalıdır (<https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0036.html>).

Toprak Katkı Maddeleri ve Bitki Uygulanması

Antimon (Sb (III)) ve antimonatın (Sb (V)) MO-2 üzerindeki adsorpsiyon özellikleri spontan olarak, ekzotermik ve pH'a bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bunların bolluk seviyeleri, adsorpsiyonun homojen bir yüzey üzerinde ve tek tabakalı olarak gerçekleştiğini varsayan Langmiur izoterm modeli, sözde ikinci dereceden kinetik model ve dış kütle transfer modeli ile açıklanmıştır. Kısmi durum yoğunluğu (PDOS) ve Dubinin-Radushkevich (DR) izoterm modeli analizlerine göre, Sb (III) ve Sb (V)'in MO-2 yüzeyinde kimyasal olarak emildiği doğrulanmıştır (Luo vd., 2017). Aynı şekilde, bilimsel olarak izah edilen antimonun adsorpsiyonu ve uzaklaştırılması ile ilgili güncel bir çok farklı bilimsel çalışmalar da bulunmaktadır (Hasany ve Chaudhary, 1996; Xu vd., 2001; Guo vd., 2009; Liu vd., 2009; Wu vd., 2010; Leng vd., 2012; Salam ve Mohamed 2013; Ungureanu vd., 2015; vdHe vd., 2020; Liu vd., 2020; Pintor vd., 2020; Khalid vd., 2020). Antimon madencilik faaliyetlerinin bulunduğu alanlarda, antimonun bölgeye yayılmaması için toprağa bazı işlemler uygulanmaktadır. Özellikle, kalsiyum fosfat ve linyit (Kemofitostabilizasyon maddeleri) toprağa uygulandığında, mikorizal oluşum gerçekleşmektedir. Bu şekilde, ağır metal immobilizasyonu sağlandığı ve bunun ağır metal süzülümünü (leaching) engellediği belirlenmiştir (Çolak ve Aksoy, 1997; Keskin, 2009; Dartan

ve Toröz, 2013; Kara ve Ertan, 2018). Antimon ile yüksek oranda kontamine olmuş toprağı geri kazanmak için toprak katkı maddesi olan “Na-bentonit” ve “yeşil kompost” ayrı ayrı kullanılmış ve başarı elde edilmiştir. Ayrıca toprak katkı maddelerinin üzerine çim türü olan “Festuca arundinacea” birlikte kullanılmış ve başarılı olmuştur. Bu kemofitostabilizasyon katkı maddeleri (kalsiyum fosfat ve linyit), incelenen topraktaki enzim aktivitesi ve mikrobiyal fonksiyonel kapasitesini çim türlerine göre daha olumlu etkilemiştir (Wasilkowski vd., 2019).

Sierra Minera'da (SE İspanya) yapılan bilimsel çalışmada, toprakta bulunan antimonun su aracılığı ile “Yapışkan Anduz Otu” (Sümenit; *Dittrichia viscosa*) bitki köküne geçtiğı, ancak bitki parçalarında antimonun yüksek miktarlarda bulunmadığı ve toprak ıslahında kullanılabileceğı belirtilmiştir (Murciego vd., 2007; Pérez-Sirvent vd., 2012). Terk edilmiş San Antonio bölgesi antimon madencilik (Extremadura, İspanya) sahasındaki Bitki Birikim Katsayıları (PAC) üzerindeki yapılan bilimsel çalışmada, “Yapışkan Anduz Otu” (Sümenit; *Dittrichia viscosa*) önemli bir antimon bioakümülyasyon göstermiştir (Murciego vd., 2007). Madencilik faaliyetlerinin terk edildiğı sahalar üzerinde yapılan “Biyosolid Toprak Uygulamaları”nın (arıtılmış kanalizasyon çamurunu), bu topraklardaki bitki kombinasyonlarını, toprak verimliliğini ve ilgili parametrelerini önemli ölçüde iyileştirdiğı belirtilmiştir. Bu alanlarda, alkalın fosfataz, b-glukosidaz ve üreaz toprak enzimi aktivitelerinde de önemli artışlar ($p < 0.05$) gözlenmiştir. Toprak enzimi faaliyetlerindeki artışların biyosolidlerin ve bitkilerin, sinerjistik etkileri nedeniyle olduğu düşünülmüştür (Cele ve Maboeta, 2016).

Çevre Bilinci Geliştirme ve Standartlar

Madencilik faaliyetlerinden etkilenebilecek bölge halkında çevre bilinci oluşturularak, onların kaygılarını ortadan kaldıracı faaliyetlerde bulunmak, bilimsel çalışmaları baz almak, teknik uygulamaları zamanında ve doğru bir şekilde yapmak, toksisite riskini bertaraf edilebilir (Poudyal vd., 2019). Antimon işçilerinin çalışma konusu, yeri ve alanlarına uygun olarak çalışma sürelerinin güncel mevzuatlara uygun süre ile çalıştırılmasına dikkat edilmelidir. İşveren, işyerinde “sağlık ve güvenlik dokümanı” hazırlamalı ve bunu sürekli güncellenmelidir (Tatar, 2014). İş yeri ve çevresini çevre dostu yapmak, çalışanların ve bölge halkının sağlığı ve güvenliğini korumak, gözetmek ve her zaman dikkate almak, WHO'nun genel prensipleri

doğrultusunda, sürdürülebilir bir işletmenin kurulmasını sağlamak, ulusal yasa ve yönergelere uymak, gerekli tüm zorunlulukları yerine harfiyen yerine getirmek gerekir.

Özellikle hava, yiyecek, su, içme suyu, kan vb gibi hususlarda “antimon için minimum risk seviyeleri”, uluslararası kuruluşlardan WHO (World Health Organization), Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (EPA, United States Environmental Protection Agency), OSHA (The Occupational Safety and Health Administration), US Department of Health and Human Services, (ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US), CDC (Centers for Disease Control and Prevention) tarafından belirlenmiş olup, bu evrensel değerler dikkate alınmalıdır (ATSDR, 1992; WHO, 1993; Kentner vd., 1995; Gebel 1997; Gebel vd., 1998; Howd vd., 2000; US Department of Health and Human Services, 2002; WHO, 2004; Cooper ve Harrison 2009; Sundar ve Chakravarty, 2010; Year, 2013).

İlk Müdahale

Sağlık tahlillerin sonucunda antimon değerleri yüksek çıkar ise buna karşı gerekli önlemler, acilen alınmalıdır. Bu hastalara, ilk işlemler sırasında hangi oranda maruziyetin oluştuğunu tespit etmek için ve daha sonra da antimonun vücuttan atılımını ve eliminasyonu takip etmek için ilgili teknolojik analizlerin yapılması gerekmektedir. Hastalarda gerekli işlemlerden sonra, klinik durumuna göre yatış ve takip gerekmektedir. “American Association of Poison Control Centers” (AAPCC) kurallarına göre ve “Sağlık Bakanlığının” hazırladığı tedavi rehberlerine göre tedavi yapılması gerekir (<http://tatdtoksikoloji.org/klinik-toksikoloji>). Bununla beraber, antimon işletmelerinin işvereni, ciddi yaralanmalı veya ölümlle sonuçlanan iş kazalarını ve ciddi tehlikeli olayları İSG kanun ve kuralları çerçevesinde yürütmelidir. Her türlü olumsuzluğa karşı B-Planları oluşturulmalı ve gerekli tedbirler hazırlanmalı ve bunları günün koşullarına göre veya her yıl güncellemelidir.

İlk etapta antimon maruziyetinde kalan kişiler, kişisel korumaya alınmalı, sanitasyon (sağlığın korunması ve sağlığın tekrar kazanılması için uygulanan tüm işlemler) uygulanmalı ve ilk yardım esasları belirlenmelidir. Bu hususta bu alanda çalışan bireylere konuya ve sağlık tedbirlerine uygun eğitim verilmelidir. Özellikle ilk maruziyette ciltle ve gözle temas önlemeli, cilt ve gözün kirlenmesi durumunda bu alanlar temizlenmelidir. Gözleri derhal sulayarak temizlemeli ve cildi

derhal sabunla yıkamalıdır. Solunum problemi varsa derhal tıbbi destek alınmalıdır. Kıyafetler ıslanır veya kirlenir ise bunları çıkarıp günlük değişimin yapılması sağlanmalıdır (<https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0036.html>).

SONUÇLAR

Farklı madencilik faaliyetlerinde olduğu gibi antimon madenciliğinde de gerekli güvenlik ve sağlık tedbirleri olarak oluşacak riskleri yok etmek önemlidir. Özellikle madencilik faaliyetlerinin yapıldığı alanlarda, bölge halkı için ıslah çalışmalarına duyulan güveni sağlamak, madencilik endüstrisine yönelik doğru tutumlar edinmek ve yerel kurumlara olan güveni artırmak önemlidir. Madencilik faaliyetlerinin çevreyi ve canlı sağlığını bozduğu ile ilgili kötü algının kaldırılması, bir takım evrensel prensiplerin doğru bir şekilde uygulamasından geçer. Daha çevreci bir teknoloji ile çalışma prensibine sahip olmak, ilgili yasal kurallara uyumlu olmak, evrensel etik kuralları dikkate almak, şeffaf olmak, hesap verilebilir olmak ve kırsal alanlarda ekonomik büyüme endişelerini ortadan kaldırmak gibi toplumsal kabul gören işlemler madenciliğin toplum tarafından doğru algılanmasını sağlayabilir.

Antimon madenciliği hakkında sürdürülebilir güven tesisini oluşturmak gerekir. Antimon ve türevleri ile temasta olan bireyler uluslararası “*idrara antimon seviyeleri*” ile kontrol edilerek, gerekli sağlık tedbirleri kontrol altına alınabilir. Düzenli olarak yapılan bu tahlillerde, uluslararası/ulusal güncellemeleri uygulamak gerekir. Bu kapsamda idrar tahlillerini yapmak ve gerek görülürse kan, sa ve tırnak tahlillerini yapmak ve bunların tam teşekkülü “meslek hastalıkları hastanelerinde” yapılmasına dikkat etmek önemlidir. Toplum sağlığı araştırmaları, toksikoloji ve epidemiyoloji çalışmaları antimon madenciliğinde önemli olup, “meslek hastalığı klinik tanısı” koymaya ve bildirim yapmaya yetkili “meslek hastalıkları hastaneleri”ni belirlemek önemlidir. Çalışma koşulları dikkate alınarak, uluslararası/ulusal madencilik kanun ve hükümlerine uygun olarak “*İşci Sağlığı ve Güvenliğinde*” risk analizlerinin düzenli yapılması, gerekli emniyet/sağlık tedbirlerin sürdürülebilir ve denetlenebilir olması, çalışma koşullarının uluslararası nitelikte olmasını da sağlayacak, çalışanlarına güven tesis edecektir.

İşveren, ulusal mevzuatlarda yer alan “*İşverenin Genel Yükümlülükleri*” doğrultusunda hareket etmeli ve “*sağlık ve güvenlik dokümanı*” hazırlanmasını ve güncellenmesini sağlamalıdır. İşverenin kendi yapacaklarının yanı sıra, çalışanlarını da bilinendirmesi gerekir. İşveren

tarafından, antimon maruziyetine kalacak her bir bireye, “İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu” hükümlerince günlük yaşamlarında dahi arsenik ve animonitin zararlı etkilerine karşı duyarlı ve bilinçli olması gerektiği öğretilmeli ve bireyler, bu metallerin zararlarından korunma yöntemlerini ve kontaminasyon potansiyeline karşı bilgilendirilmelidir. Risk Değerlendirmesi yapılırken özellikle ulusal/uluslararası “İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği” ile belirlenen hususlar uygulanmalı, yönetmelikte istenen yükümlülükler yerine getirilmelidir.

Antimon madencilik sektöründe ilgili işletmenin sürdürülebilir olması bakımından, çevre mevzuatına uygun olarak işlemlerin yürütülmesi, “Hava (gaz, toz vb), Su (içme, kullanma, yeraltı ve yüzey), Toprak, Flora, Fauna” gibi ortamlardaki süreçlerin eşik değerler ile takip edilmesi, bunlarda düzenli ve sistematik ölçümlerin yapılması, ölçüm ve analizlerin varsa üniversitelerde yaptırılması ve kayıtlarının saklanması, cevher üretimi, cevher işleme ve atık yönetimi ve rehabilitasyon süreçlerine ulusal/uluslararası standart getirilmesi önemlidir.

KATKI BELİRTME

Makalenin gelişmesine katkı sağlayan hakemlere teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- AIHA (1959). Antimony and its compounds (excepting stibine). In: Hygienic guide series. Am Ind Hyg Assoc Q 20:515-516.
- Álvarez-Ayuso, E., Otones, V., Murciego, A., García-Sánchez, A., & Santa Regina, I. (2012). Antimony, arsenic and lead distribution in soils and plants of an agricultural area impacted by former mining activities. Science of the Total Environment, 439, 35-43.
- Anderson, C. G. (2012). The metallurgy of antimony. Geochemistry, 72, 3-8.
- Asakura, K; Satoh, H; Chiba, M; Okamoto, M; Serizawa, K; Nakano, M; Omae, K. (2009). Genotoxicity studies of heavy metals: Lead, Bismuth, Indium, Silver and Antimony. J. Occup. Health, 51, 498–512.
- Baldwin, D. R., & Marshall, W. J. (1999). Heavy metal poisoning and its laboratory investigation. Annals of clinical biochemistry, 36(3), 267-300.

- Cele, E. N., & Maboeta, M. (2016). Response of soil enzyme activities to synergistic effects of biosolids and plants in iron ore mine soils. *International journal of environmental science and technology*, 13(9), 2117-2126.
- Cooper, R. G., & Harrison, A. P. (2009). The exposure to and health effects of antimony. *Indian journal of occupational and environmental medicine*, 13(1), 3.
- Çolak, A. H., & Aksoy, H. (1997). *Rhododendron pontificum* L.(Mor Çiçekli Ormangülü)'nun Silvikültür Özellikleri Üzerine Araştırmalar (Doctoral dissertation, PhD dissertation, İstanbul, Turkey. Institute of Science and Technology, İstanbul University).
- Dartan, G., & Toröz, İ. (2013). Güney Marmara Bölgesinde Tarım Topraklarında Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 25(1), 24-40.
- Frustaci, A., Magnavita, N., Chimenti, C., Caldarulo, M., Sabbioni, E., Pietra, R., ... & Maseri, A. (1999). Marked elevation of myocardial trace elements in idiopathic dilated cardiomyopathy compared with secondary cardiac dysfunction. *Journal of the American College of Cardiology*, 33(6), 1578-1583.
- Fu, Z., Wu, F., Amarasiriwardena, D., Mo, C., Liu, B., Zhu, J., ... & Liao, H. (2010). Antimony, arsenic and mercury in the aquatic environment and fish in a large antimony mining area in Hunan, China. *Science of the Total Environment*, 408(16), 3403-3410.
- Gebel T, Claussen K, Dunkelberg H. (1998). Human biomonitoring of antimony. *Int Arch Occup Environ Health*;71(3):221-224
- Gebel, T. (1997). Arsenic and antimony: comparative approach on mechanistic toxicology. *Chemico-biological interactions*, 107(3), 131-144.
- Göncüoğlu, M. C. (1986). Geochronological data from the southern part (Niğde area) of the Central Anatolian Massif. *Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA) Bulletin*, 105(106), 111-124.
- Guo, L., Zhao, W., Gu, X., Zhao, X., Chen, J., & Cheng, S. (2017). Risk assessment and source identification of 17 metals and metalloids on soils from the half-century old tungsten mining areas in Lianhuashan, Southern China. *International journal of environmental research and public health*, 14(12), 1475.
- Guo, X., Wu, Z., & He, M. (2009). Removal of antimony (V) and antimony (III) from drinking water by coagulation–flocculation–sedimentation (CFS). *Water research*, 43(17), 4327-4335.

- Güven, A., Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Timur, S., & Metalurji, İ. T. Ü. (2004). Metallerin çevresel etkileri-III. Metalurji Dergisi, 138, 64-71.
- Hasany, S. M., & Chaudhary, M. H. (1996). Sorption potential of Haro river sand for the removal of antimony from acidic aqueous solution. Applied Radiation and Isotopes, 47(4), 467-471.
- He, M., Wang, X., Wu, F., & Fu, Z. (2012). Antimony pollution in China. Science of the total environment, 421, 41-50.
- He, X., Min, X., Peng, T., Ke, Y., Zhao, F., Sillanpää, M., & Wang, Y. (2020). Enhanced adsorption of antimonate by ball-milled microscale zero valent iron/pyrite composite: adsorption properties and mechanism insight. Environmental Science and Pollution Research, 1-12.
- Heltai, G., Györi, Z., Fekete, I., Halász, G., Kovács, K., Takács, A., ... & Horváth, M. (2018). Longterm study of transformation of potentially toxic element pollution in soil/water/sediment system by means of fractionation with sequential extraction procedures. Microchemical journal, 136, 85-93.
- Howd, R. A., Brown, J. P., Morry, D. W., Wang, Y. Y., Bankowska, J., Budroe, J. D., ... & Lewis, D. (2000). Development of California public health goals (PHGs) for chemicals in drinking water. Journal of Applied Toxicology: An International Journal, 20(5), 365-380.
- Kara, E. E., & Ertan, Kara. (2018). Toprakta Ağır Metal Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkileri ve Çözüm Önerileri. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 11(1), 56-62.
- Kentner, M., Leinemann, M., Schaller, K. H., Weltle, D., & Lehnert, G. (1995). External and internal antimony exposure in starter battery production. International Archives of Occupational and Environmental Health, 67, 119-123.vd
- Keskin, L. (2009). Bazı patlıcan genotiplerinde fide gelişimi ve besin elementi içeriklerine arbuscular mikoriza fungus uygulamalarının etkileri (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Khalid, N., Ahmad, S., Toheed, A., & Ahmed, J. (2000). Potential of rice husks for antimony removal. Applied Radiation and Isotopes, 52(1), 31-38.
- Leng, Y., Guo, W., Su, S., Yi, C., & Xing, L. (2012). Removal of antimony (III) from aqueous solution by graphene as an adsorbent. Chemical Engineering Journal, 211, 406-411.

- Liu, B. J., Wu, F. C., Deng, Q. J., Mo, C. L., Zhu, J., Zeng, L., ... & Li, W. (2009). Pollution characteristics of antimony, arsenic and mercury in human hair at Xikuangshan antimony mining area and Guiyang City, China. *Huan jing ke xue= Huanjing kexue*, 30(3), 907-912.
- Liu, H., Ying, Q., Li, C., Norra, S., & Lichtfouse, E. (2020). Enhanced Removal of Antimony in Dyeing Wastewater by Mixing Fe₃O₄ with Manganese Sand Filter Material. *Water Environment Research*.
- Luo, J., Hu, C., Meng, X., Crittenden, J., Qu, J., & Peng, P. (2017). Antimony removal from aqueous solution using novel α -MnO₂ nanofibers: equilibrium, kinetic, and density functional theory studies. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(3), 2255-2264.
- Murciego, A. M., Sánchez, A. G., González, M. R., Gil, E. P., Gordillo, C. T., Fernández, J. C., & Triguero, T. B. (2007). Antimony distribution and mobility in topsoils and plants (*Cytisus striatus*, *Cistus ladanifer* and *Dittrichia viscosa*) from polluted Sb-mining areas in Extremadura (Spain). *Environmental Pollution*, 145(1), 15-21.
- Okkenhaug, Gudny and Mulder Oca. (2017). Antimony. *Encyclopedia of Soil Science*, Vols I-Iii, 3rd Edition Pages: 146-149 .
- Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M. J., Martínez-López, S., Bech, J., & Bolan, N. (2012). Distribution and bioaccumulation of arsenic and antimony in *Dittrichia viscosa* growing in mining-affected semiarid soils in southeast Spain. *Journal of Geochemical Exploration*, 123, 128-135.
- Pintor, A. M., Vieira, B. R., Boaventura, R. A., & Botelho, C. M. (2020). Removal of antimony from water by iron-coated cork granulates. *Separation and Purification Technology*, 233, 116020.
- Poudyal, N. C., Gyawali, B. R., & Simon, M. (2019). Local residents' views of surface mining: Perceived impacts, subjective well-being, and support for regulations in southern Appalachia. *Journal of cleaner production*, 217, 530-540.
- Rodrigues, S. M., Henriques, B., da Silva, E. F., Pereira, M. E., Duarte, A. C., & Römkens, P. F. A. M. (2010). Evaluation of an approach for the characterization of reactive and available pools of twenty potentially toxic elements in soils: Part I—The role of key soil properties in the variation of contaminants' reactivity. *Chemosphere*, 81(11), 1549-1559.

- Salam, M. A., & Mohamed, R. M. (2013). Removal of antimony (III) by multi-walled carbon nanotubes from model solution and environmental samples. *Chemical engineering research and design*, 91(7), 1352-1360.
- Serfor-Armah, Y., Nyarko, B. J. B., Dampare, S. B., & Adomako, D. (2006). Levels of arsenic and antimony in water and sediment from Prestea, a gold mining town in Ghana and its environs. *Water, Air, and Soil Pollution*, 175(1-4), 181.
- Shotyk, W., Krachler, M., & Chen, B. (2006). Contamination of Canadian and European bottled waters with antimony from PET containers. *Journal of environmental monitoring*, 8(2), 288-292.
- Snedeker, S. M. (2014). Antimony in food contact materials and household plastics: uses, exposure, and health risk considerations. In *Toxicants in Food Packaging and Household Plastics* (pp. 205-230). Springer, London. 10.1007/978-1-4471-6500-2_8
- Sundar, S., & Chakravarty, J. (2010). Antimony toxicity. *International journal of environmental research and public health*, 7(12), 4267-4277.
- Sundar, S., & Chakravarty, J. (2010). Antimony toxicity. *International journal of environmental research and public health*, 7(12), 4267-4277.
- Tatar, Ç. P. (2014). Kurşun Maruziyetinin İş Sağlığı Ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi (Akü, Maden Ve Metal İşyerlerinde). TC Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Tümüklü, A., & Tosunbaş, O. (2021). Gümüşler (Niğde) Antimon (Sb) Cevherleşmesinin Mineralojik ve Jeokimyasal Araştırılması. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*, 8(1), 166-188.
- Tylenda, C. A., Sullivan Jr, D. W., & Fowler, B. A. (2015). Antimony. In *Handbook on the Toxicology of Metals* (pp. 565-579). Academic Press.
- Ungureanu, G., Santos, S., Boaventura, R., & Botelho, C. (2015). Arsenic and antimony in water and wastewater: overview of removal techniques with special reference to latest advances in adsorption. *Journal of Environmental Management*, 151, 326-342.
- Wang, X., He, M., Xi, J., & Lu, X. (2011). Antimony distribution and mobility in rivers around the world's largest antimony mine of Xikuangshan, Hunan Province, China. *Microchemical Journal*, 97(1), 4-11.

- Wasilkowski, D., Nowak, A., Michalska, J., & Mroziak, A. (2019). Ecological restoration of heavy metal-contaminated soil using Na-bentonite and green compost coupled with the cultivation of the grass *Festuca arundinacea*. *Ecological Engineering*, 138, 420-433.
- Wiener, R. C., & Bhandari, R. (2020). Association of electronic cigarette use with lead, cadmium, barium, and antimony body burden: NHANES 2015-2016. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 62, 126602.
- Wu, F., Fu, Z., Liu, B., Mo, C., Chen, B., Corns, W., & Liao, H. (2011). Health risk associated with dietary co-exposure to high levels of antimony and arsenic in the world's largest antimony mine area. *Science of the Total Environment*, 409(18), 3344-3351.
- Wu, Z., He, M., Guo, X., & Zhou, R. (2010). Removal of antimony (III) and antimony (V) from drinking water by ferric chloride coagulation: Competing ion effect and the mechanism analysis. *Separation and Purification Technology*, 76(2), 184-190.
- Xu, Y. H., Ohki, A., & Maeda, S. (2001). Adsorption and removal of antimony from aqueous solution by an activated Alumina: 1. Adsorption capacity of adsorbent and effect of process variables. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 80(3-4), 133-144.
- Yalcin, M. G. (1995). Gumusler (Nigde) Bolgesi Polimetalik Antimuan—Civa Cevherlesmesinin Mineralojisi ve Jeokimyasal Incelemesi (Doctoral dissertation, Doktora Tezi. Adana, p 165).
- Yalcin, M. G., Narin, I., & Soylak, M. (2008). Multivariate analysis of heavy metal contents of sediments from Gumusler creek, Nigde, Turkey. *Environmental Geology*, 54(6), 1155-1163.
- Yalçın, M. G., & Çopuroğlu, İ. (2001). Niğde Masifi metalik maden yataklarının mineralojisi ve jenezi.
- Yalçın, M. G., & Yaman, S. (1996). Gümüşler (Niğde) antimon-civa cevherleşmesinin mineralojik incelemesi.
- Year, F. (2013). Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
- Yucel Muhammet Bayram. (2020). Antik dönemden günümüze bir serüven: Antimuan. MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni. 29: 79-100.

- ACGIH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (1994). Antimony and compounds. In: Documentation of the threshold limit values and biological exposure indices. 6th ed. Cincinnati, OH, pp. 73-75.
- ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (1992). Toxicological profile for Antimony. US Public Health Service, US Department of Health and Human Services, Atlanta, p. 136.
- CDC, <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0036.html>
- <http://tatdtoksikoloji.org/klinik-toksikoloji>
- <http://www.cdc.gov/niosh/fire/spotlight.html> : Niosh Safety and Health Topic: Fire Fighter Fatality Investigation and Prevention Program.
- <https://www.ttb.org.tr/eweb/bergama/5.html>
- IARC, International Agency for Research on Cancer. (1989). Antimony trioxide and antimony trisulfide. In: IARC, editor. IARC Monographs. Lyon (France): IARC;. p. 291.
- IAA, International Antimony Association. (2018). IAA response to rohs pack 15 questionnaire ato, 31 p., Brussels, Belgium.
- IAA, International Antimony Asssocation. (2021). <https://www.antimony.com/antimony-2/>. 20 Şubat 2021.
- NIOSH, The National Institute for Occupational Safety and Health. (1985). NIOSH publications catalog. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Division of Standards Development and Technology Transfer.
- US Department of Health and Human Services. (2002). Agency for Toxic Substances and Disease Registry: Atlanta. GA, USA, 1-291.
- WHO, World Health Organization. (1993). Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization.
- WHO, World Health Organization. (2003). Meeting on the Introduction of the 3rd Edition of WHO Guidelines for Drinking Water Quality, Kuala Lumpur, Malaysia, 8-11 December 2003: report (No. WP) CWS/ICP/HSE/4.3/001-E). WHO Regional Office for the Western Pacific.
- WHO, World Health Organization. (2004). Guidelines for drinking-water quality (Vol. 1). World Health Organization.



Afşin-Elbistan Linyit Havzası Killerinin Fiziko-Kimyasal Özellikleri ve Seramikte Kullanılabilirliği

Physico-Chemical Properties of Afşin-Elbistan Lignite Basin Clays and Their Usability in Ceramics

Esra BAKIR¹ Orcid: 0000-0001-6180-7009

Tamer RIZAOĞLU^{1,2} Orcid: 0000-0002-4883-0842

¹KSÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği ABD, Kahramanmaraş

²KSÜ, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

Geliş (received): 12/12/2023

Kabul (Accepted): 28/12/2023

ÖZ

Bu çalışmada Türkiye'nin en büyük linyit sahası olan Afşin-Elbistan Linyit havzası Kışlaköy Açık ocağı kömürü üst seviyelerindeki kil tabakalarının seramik sektöründe kullanılabilme potansiyeli araştırılmıştır. Killerin fiziko-kimyasal karakteristiklerinin belirlenmesi için XRF (X-Ray Fluorescence), XRD (X-Ray Diffraction), mukavemet, renk, kıvam limitleri, çekme dayanımı ve su emme (porozite) analizleri yapılmıştır. Killer Alüminyum silikat hidrat ana yapısında olup Fe₂O₃ değerinin normalden yüksek (%7.233) olduğu ortaya konulmuştur. Kilin içerisinde ince yapraksı profillit katmanları tespit edilmiştir. Diferansiyal Termal Analiz (DTA) sonuçlarına göre 63 mikron altında ve montmorillonit bileşimli killerin oluşumunda gerçekleşme sıcaklıkları yaklaşık 136°C, 524°C ve 939°C' olan ve dehidratasyon, kristal su kaybı ve faz dönüşümlerini işaret eden 3 endotermik reaksiyon meydana geldiği düşünülmektedir. Killerin toplam küçülme değeri %2.81 ve boyutu 106.9 mm olarak ölçülmüştür. Su emme oranı % 0.85, pH değeri 7.9, viskozitesi 100 cc/sn, Litre ağırlığı 1320 g/L kuru mukavemeti 29.6 kg/cm² olarak ölçülmüştür. Tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde AEL (Afşin-Elbistan Linyit Havzası) killerinin safsızlıkları giderildiğinde seramikte kullanılabileceği kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Afşin-Elbistan, Kömür, Linyit, Kil, Seramik

Tamer RIZAOĞLU

tamer@ksu.edu.tr

ABSTRACT

In this study, the potential of the clay layers in the upper levels of Kışlaköy Open Pit coal in Afşin-Elbistan Lignite Basin, the largest lignite field of Turkey, to be used in the ceramic industry was investigated. XRF (X-Ray Fluorescence), XRD (X-Ray Diffraction), strength, colour, viscosity limits, tensile strength and water absorption (porosity) analyses were performed to determine the physico-chemical characteristics of the clays. Clays have aluminium silicate hydrate main structure and Fe_2O_3 value is higher than normal (7.233%). Thin leafy profillite layers were detected in the clay. According to the results of Differential Thermal Analysis (DTA), it is thought that 3 endothermic reactions occurred in the formation of clays below 63 microns and with montmorillonite composition, with temperatures of approximately 136°C, 524°C and 939°C, indicating dehydration, crystal water loss and phase transformations. The total shrinkage value of the clays was 2.81% and the size was measured as 106.9 mm. Water absorption rate was 0.85%, pH value was 7.9, viscosity was 100 cc/sec, litre weight was 1320 g/L and dry strength was 29.6 kg/cm². When all the data are evaluated together, it is concluded that AEL (Afşin-Elbistan Lignite Basin) clays can be used in ceramics when impurities are removed.

Keywords: Afşin-Elbistan, Coal, Lignite, Clay, Ceramic

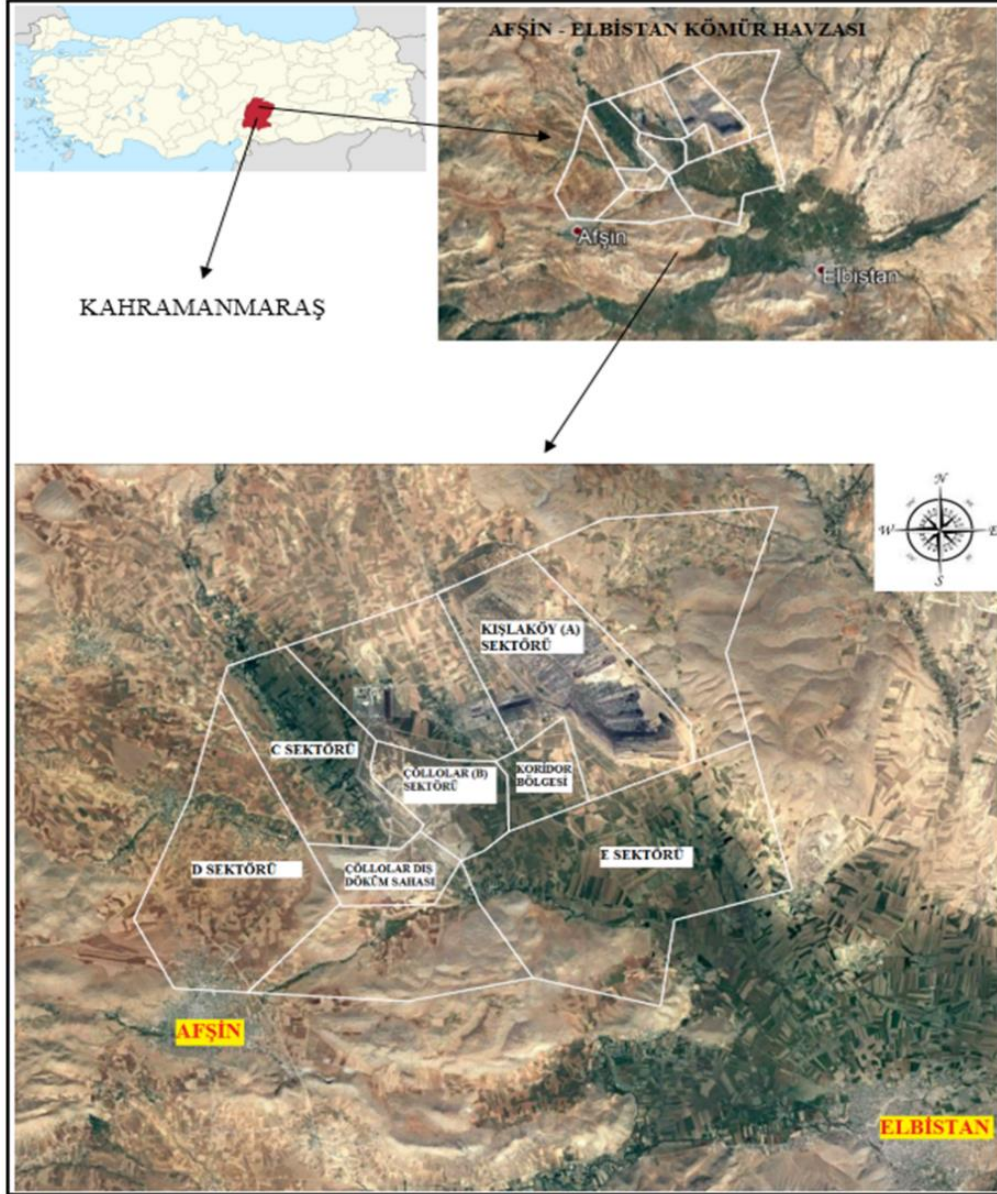
1. GİRİŞ

İnsanlık tarihi boyunca insan yaşamını kolaylaştıracak malzemelerin elde edilmesinde genellikle doğal malzemeler kullanılmıştır. İlk metal kullanımından sonra çeşitli mineraller ile (feldispat, kuvars vs) kil karışımının o günün koşullarına göre yüksek sayılabilecek sıcaklıklara kadar ısıtılıp soğutulmasıyla elde edilen seramikler Neolitik çağdan itibaren insanların hayatında hep var olmuştur. Bu dönemden öncesinde de insanoğlu seramik teknolojisi olmamasına rağmen seramiğin hammaddelerinden en önemlisi olan kilin özelliklerini biliyordu (Ünal ve Hasekioğlu., 2023)

Seramik, polimer, sondaj, petrol, gıda, kağıt, ilaç vb. birçok sektörün temel hammadde girdisini oluşturan killerin gerek nitelikleri gerekse de nicelikleri bakımından bahsedilen alanlarda kullanılmaya uygun olup olmadığı önemlidir. Bahsedilen farklı alanlarda kullanıldığından dolayı, kil mineralleri talebi ve üretimi devamlı artmakta olan endüstriyel hammaddeler içerisinde en önde gelmektedir. Bu sebeple farklı yapı ve özelliklere sahip olan killerin, sistematik olarak araştırılması gerekmektedir. Mineral kompozisyonu, yapı ve kimyasal bileşim gibi parametreler killerin endüstriyel olarak kullanılabilirliğini ortaya koymada oldukça önemlidir (Lambe, 1958). Bundan dolayı endüstriyel hammadde ihtiyacını karşılayabilecek her bir kil yatağının karakteristik özelliklerinin ortaya konularak değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Son yıllarda başta jeokimyasal ve minerolojik incelemeler olmak üzere seramik hammaddesi olabilecek minerallerin ve killerin jeolojik özelliklerini ve fiziksel karakteristiklerini irdeleyerek ele alan birçok bilimsel çalışma bulunmaktadır (Burst., 1991; Semiz, 2018; Mirdalı ve ark., 2019; Kuruoğlu ve ark., 2022; Çelik ve Kapur., 2019; Kızılkaya ve ark., 2016; M'Barek-Jemaï ve ark., 2017; Kuşçu ve Yıldız.,2016; Deniz ve ark., 2021; Güllü ve Bilgilioğlu, 2023). Kömür havzalarının oluşumu süreçlerinde de kil oluşumlarına sıklıkla rastlanmaktadır. Özellikle kömür seviyelerinde aratabakalar halinde bulunan veya kömür seviyelerinin üstünde yer alan killerin de endüstriyel hammadde olarak kullanılabilme olanakları birçok bilimsel çalışmaya konu olmuştur (Türkmenođlu ve Yavuz-Işık., 2008; Oikonomopoulos ve ark., 2015; Jordán ve ark., 2015). Bu çalışmada Afşin-Elbistan Linyitleri Kışlaköy açık işletmesinde döner kepçeli ekskavatörlerin örtü tabakası dekapajı yaptığı alanlarda yüzleklerine rastlanan killerin fiziko-kimyasal karakteristikleri araştırılmış ve bölgede yüzeyleyen killerin seramik hammaddesi olarak kullanıma uygun olup olmadığı araştırılmıştır. Afşin-Elbistan linyit havzası Kahramanmaraş ili kuzeyinde yer almakta olup linyit havzası kendi içerisinde beş alt sektöre ayrılmıştır (Şekil 1). Linyit üretim süreçleri döner kepçeli ekskavatörler vasıtasıyla belirtilen sektörler içerisinde kömür üretimi, üst seviyelerin dekapajı ve bu işlemlerden elde edilen materyallerin ilgili alanlara sevkini sağlayan bant yolları ile gerçekleştirilmektedir. Afşin-Elbistan Linyitleri Kışlaköy havzasında kömür üstü killeri kömür tabakaları ile ardalanmalı olarak yer almakta olup yer yer killerin yer yer de kömür seviyelerinin baskın olduğu gözlenmektedir (Şekil 2).

Afşin-Elbistan linyit sahasının genel stratigrafik istifi Şekil 3'de verilmiştir. En altta Neojen yaşlı turkuaz renkte taban kili, gıda, linyit horizonu ve kireçtaşlarından oluşan birim üst

seviyelere doğru Pliyosen yaşlı gölsel çökellerle devam edip yamaç molozu ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlarla son bulmaktadır. Afşin-Elbistan havzasındaki kömür horizonları içerisinde bulunan kömür katmanlarına paralel çok yüksek plastisiteli çok zayıf mukavemetli kil şeritleri bulunmaktadır (Akbulut ve ark.,2008) (Şekil 3).



Şekil 1. Havzanın ve çalışma alanının yer bulduru haritası (Baykara,2019).

Figure 1. Location map of the basin and study area (Baykara, 2019).



Şekil 2. Afşin-Elbistan linyit havzası Kışlaköy açık işletmesinden kil ve kömür seviyelerinin görünümü

Figure 2. View of clay and coal layers from the Kışlaköy open pit in the Afşin-Elbistan lignite basin

2. MATERYALVE METOD

Materyal

Bu çalışma kapsamında seramik hammaddesi olarak kullanılabilirliği araştırılan kil numuneleri Afşin-Elbistan linyitleri Kışlaköy Açık işletmesinde linyit düzeylerinin üst seviyelerinden yer yer kömür ile ara tabakalı olarak bulunan kil seviyelerinden derlenmiştir (Şekil 3). Kil örnekleri döner kepçeli ekskavatörlerin kazdığı şevlerde ve aynalardaki yüzleklerden kürek ve kazma yardımıyla alınmış olup bu işlem esnasında killerin görsel kıvamları su ile yoğrularak tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Metod

Araziden derlenen numuneler laboratuvarda kırma-eleme işlemleri ile boyutlandırılmıştır. Daha sonra killerin karakteristik özelliklerini ortaya koymak üzere elek analizi, kuru pişme ve toplu küçülme testi, su emme, kıvam limitleri, şişme, pH, pişme rengi, akışkanlık (viskozite), litre ağırlığı, mukavemet ve siyah çekirdek oluşumu (black core) testleri ile birlikte killerin karakterizasyonunu yapmak üzere X- Işınları Difraktometre (XRD), X-Ray Floresans (XRF) yöntemleri uygulanmıştır. Kil numuneleri içerisinde yer alan minerallerin sıcaklık ile

davranışlarının tespiti için Diferansiyel Termal Analizi (DTA) yapılmıştır. Killerin morfolojik özelliklerinin ortaya konulabilmesi amacıyla ile Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) analizi yapılmıştır. Numunenin elementel kompozisyonu için SEM-EDX analizi yapılmıştır.

SİSTEM	SERİ	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	ORTAM
TERSİYER	KUVARTERNER	2-10		SİLTİ KUMLU ÇAKIL	AKARSU
		10-15		LEHİM: Kırmızımsı kahve-açık yeşil renkli, yer yer karbonat yumrulu (kaliçi) içerikli az çakıllı kil. Birim içerisinde yer yer kumtaşı mercekleri yer alır.	
		5		AÇIK YEŞİL RENKLİ KİL	
	PLİYOSEN	4		KİREÇTAŞI / MAVİ KİL	GÖL
		5		BEJ GİDYA : Açık kahve-bej renkli bol fosilli killi silt.	
		50-60		GRİ GİDYA : Gri-açık kahverenkli, orta-kalın tabakalı, bol fosilli, yer yer linyit bantlı kil.	
		50-110		LİNYİT HORIZONU : Birim, Siyah-açık kahve renkli, ince-orta tabakalı, orta sertlikte olup, yer yer siyah renkli plastik kil, tabana yakın yerlerde ise yer yer yeşil renkli orta plastik kil bantıdır. Birim içinde bol gri gidya bantı ve yer yer bej gidya bantları yer almaktadır.	
		100-125		TURKUVAZ RENKLİ KİL (Taban Kili) Yeşilimsi mavi renkli, yer yer karbonat yumrulu orta plastik kil. Birimin tabanına doğru çakıl ihtiva etmekte olup, havza kenarında birim tamamen çakıllı kil konumundadır.	
		~60		KİLLİ KUMLU ÇAKIL : Kırmızımsı kahve-açık kahve renkli kil, sarımsı kahve renkli az pekişmiş, kumtaşı ve killi kumlu çakıltaşı.	

Şekil 3. Kışlaköy sahası stratigrafik kesiti (Akbulut ve ark., 2008)

Figure 3. Stratigraphic section of the Kışlaköy area (Akbulut et al., 2008)

X-Ray Difraktometre (XRD) Analizi

Kil numunesi içerisinde yer alan minerallerin tespiti için X-Ray Difraktometre (XRD) analizi Erciyes Üniversitesi Teknolojik Araştırma ve Uygulama Merkezi (TAUM)'da Bruker AXS D8 advance model cihazda yapılmış olup, elde edilen sonuçlar, High Score Plus yazılımı ile değerlendirilmiştir. Numuneler analiz öncesinde 100°C'de 24 saat etüvde kurutulmaya bırakılmış ve topraklanmanın önüne geçmek amacıyla havanda ğtlerek boyutları kltlmştir.

X-Ray Floresans (XRF) Analizi

Kil içerisinde yer alan oksitlerin belirlenmesi için X-Ray Floresans (XRF) analizi Erciyes Üniversitesi Teknolojik Araştırma ve Uygulama Merkezin (TAUM)' da PANalytical Axios Advanced cihazında gerçekleştirilmiştir. Wroxi standart seti ile kil numunesinin ana element oksitlerinin analizi yapılmıştır.

Diferansiyel Termal Analiz (DTA)

Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (TAUM) 'da PERKIN ELMER marka DIAMOND model cihazla yapılmıştır. Sıcaklık veya zaman artışına bağlı olarak deneye tabi tutulan kil numunesinin referansla arasındaki sıcaklık farkını aynı anda ölçen bir cihazla ölçüm yapılmıştır.

Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM, SEM-EDX) Analizi

Kilin morfolojik ve elementel karakterizasyonları için Erciyes Üniversitesi Teknolojik Araştırma ve Uygulama Merkezi (TAUM)'da (Leo 440 Computer Controlled Digital) cihazında Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ve Enerji Dağılım Spektroskopisi (EDX) ile belirlenmiştir. Partikllerdeki topraklanmanın görüntü alınmasına engel olmaması için analiz öncesinde %96 saflıkta etanol içerisinde 30 dakika sonikasyon işlemi uygulanmış ve kurutulmaya bırakılmış ve İridyum pskrtlmştir.

Elek Analizi

Kil numunelerine elek analizi yapılarak kil boyutu tespit edilmiştir. Farklı açıklıklardaki eleklerden geçirilen numuneler, titreşimli eleme makinesinde en üstten su verilerek süzme işlemi uygulanmış ve titreşim altında cihazın en altındaki elekten berrak su gelinceye kadar cihazın çalışması devam ettirilmiştir.

Toplam Küçülme Deneyi

İnceleme alanından derlenen killerin kuru, pişme ve toplam küçülme deneyleri Kütahya Güral Porselen fabrikasında yaptırılmıştır. Kuruma ve pişme işlemleri ile killerde küçülme değerleri hesaplanmış ve her iki küçülme değerinin toplamı ise killerin seramik alanında kullanılabilmesi için önemli bir parametre olan toplam küçülme değeri elde edilmiştir.

Su Emme Deneyi

Bu deneyde kil numunesinden elde edilmiş şekillendirilmiş parçalar normal pişme sıcaklığı koşullarında pişirilmiştir ve soğutulan numune tartılmış ve 12 saat suda bekletildikten sonra tekrar tartılarak su emme oranı tespit edilmiştir.

Kıvam Limitleri Deneyi

Afşin -Elbistan Linyitleri kömür üstü killerinin Atterberg kıvam limitleri testleri 6 adet örnek üzerinde uygulanarak Likit Limit (WL) ve Plastik Limit (WP) değerleri elde edilmiştir.

Killerin Şişme Analizi

Killerin düşük sıcaklık değerlerinde bünyesinde tuttuğu fiziksel su miktarı kilin fiziksel ve kimyasal özelliklerini denetleyen en önemli parametrelerden biridir. Killerin şişme potansiyelini belirleyen standart bir deney olmayıp plastik limiti limiti yüksek olan killerin şişme potansiyellerinin de yüksek olduğu düşünülmektedir (Akbulut ve ark., 2009).

Killerin pH Analizi

Bu standartta kilin 1 mol/l KCl veya 0.01 mol/l CaCl₂ çözeltisinde hazırlanmış 1:5(v/v)'lik süspansiyonun pH değeri cam elektrot kullanılarak ölçülmüştür.

Pişme Rengi

İnceleme alanından derlenen numunelerin pişme rengi testleri Kütahya Güral Porselen fabrikası laboratuvarında yaptırılmış olup pişme rengi ölçümü pişirilen numunenin renginin standart numune ile kıyaslanması prensibi ile çalışan renk ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Akışkanlık (Viskozite)

Akış viskozimetresi kullanılarak daha önceden hazırlanmış farklı su muhtevalarındaki karışımların belirlenen akış zaman dilimi, su ölçüsüne bağlı olarak belirtilir. Bununla beraber deney için kullanılan fordcup'un akma delik çapının bilinmesi gerekir.

Litre Ağırlığı

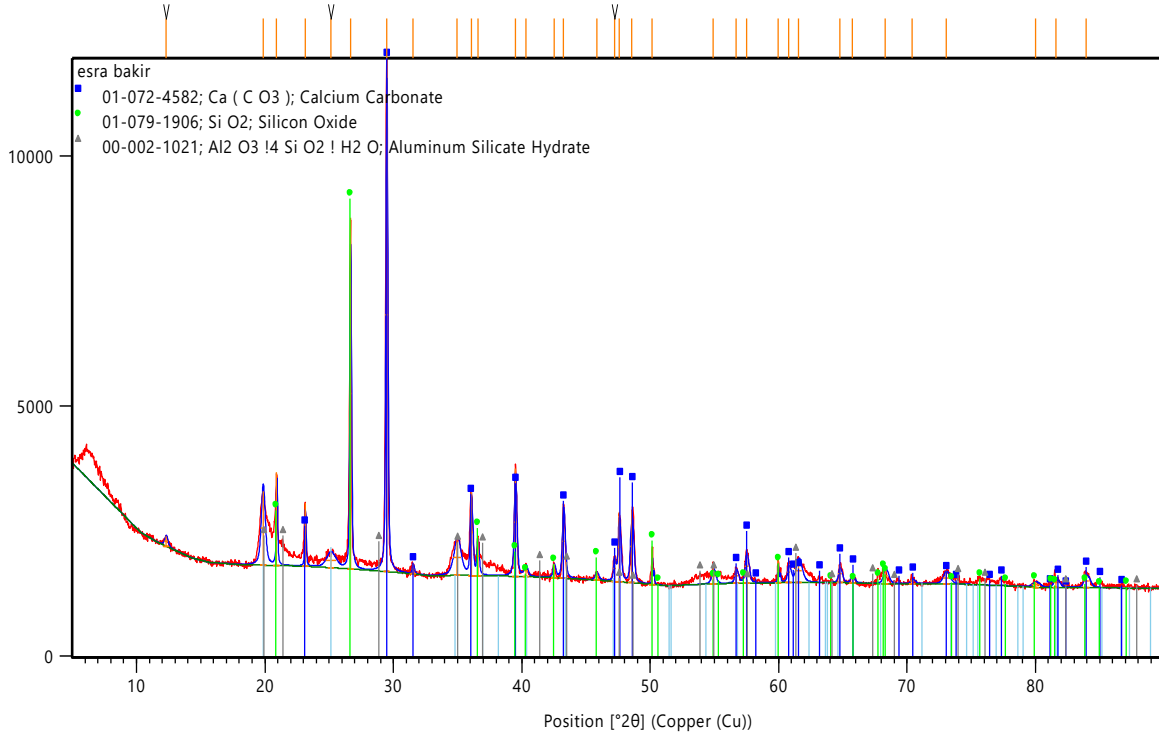
Kil numunelerinin süspansiyon içerisinde bulunan katı-sıvı oranının dolaylı olarak bulunması deneyidir. Deney sonucunda diğer bir anlamda yoğunluk ölçümü olan süspansiyonun ağırlığı tespit edilmiştir.

Mukavemet Ölçümleri

İnceleme alanından derlenen killerin mukavemet testleri Kütahya Güral Porselen fabrikası laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Numuneler mukavemet ölçüm cihazına yerleştirilmiş ve mesnetler arasındaki mesafe ölçülmüştür. Numune kırılıncaya kadar kuvvet uygulanmış ve numune kırıldığı andaki kuvvet not edilmiştir. Bu kuvvet kullanılarak kırılma mukavemeti hesaplaması yapılmıştır.

Siyah Çekirdek Oluşumu (Black core)

Killerin Siyah çekirdek oluşumu testleri de Kütahya Güral Porselen Fabrikası laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Bu analiz kömürden oluşan safsızlıkların tamamen yanıp yanmadığını tespit için yapılmaktadır.



Şekil 4. Kil numunesinin XRD analizi

Figure 4. XRD analysis of the clay sample

3. BULGULAR

XRD Analizinde elde edilen mineral içerikleri Şekil 4'te Rietvelt analiz yöntemi ile kildeki mineral dağılımları Çizelge 1'de verilmektedir. Analiz sonucunda kil numunelerinin baskın olarak CaCO_3 ve SiO_2 bileşimine sahip olduğu tespit edilirken, alüminyum silika hidrat yapısında olduğu ortaya konulmuştur.

Çizelge 1. XRD analizi sonucuna göre kil numunesinin Rietveld analiz yöntemi dağılımları

Table 1. Rietveld analysis method distributions of the clay sample according to the XRD analysis results

Ref.Kodu	Değer	Bileşik Adı	İndis.[°2θ]	Ölçek Fakt.	Kimyasal Formülü
01-072-4582	71	Kalsiyum Karbonat	0.000	0.927	Ca (CO ₃)
01-079-1906	60	Silisyum Oksit	0.000	0.618	SiO ₂
00-002-1021	17	Alüminyum Silikat Hidrat	0.000	0.055	Al ₂ O ₃ 4SiO ₂ H ₂ O

X-Ray Floresans (XRF) analizinde elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir. Ateşte kayıp değeri organik madde miktarı ile doğru orantılı olup kil numunesi içerisinde potansiyel kömür kalıntısına işaret etmektedir. XRD sonuçları ile paralel olacak şekilde yüksek SiO₂, CaO ve Al₂O₃ değerleri de dikkat çekmektedir. Seramik hammaddesi olarak kullanılabilen killerde istenen Fe₂O₃ değerinin %1’den az olması istenmektedir. İnceleme alanından derlenen killerin Fe₂O₃ oranının belirtilen limit değere göre oldukça fazla olduğu görülmektedir (Çizelge 2)

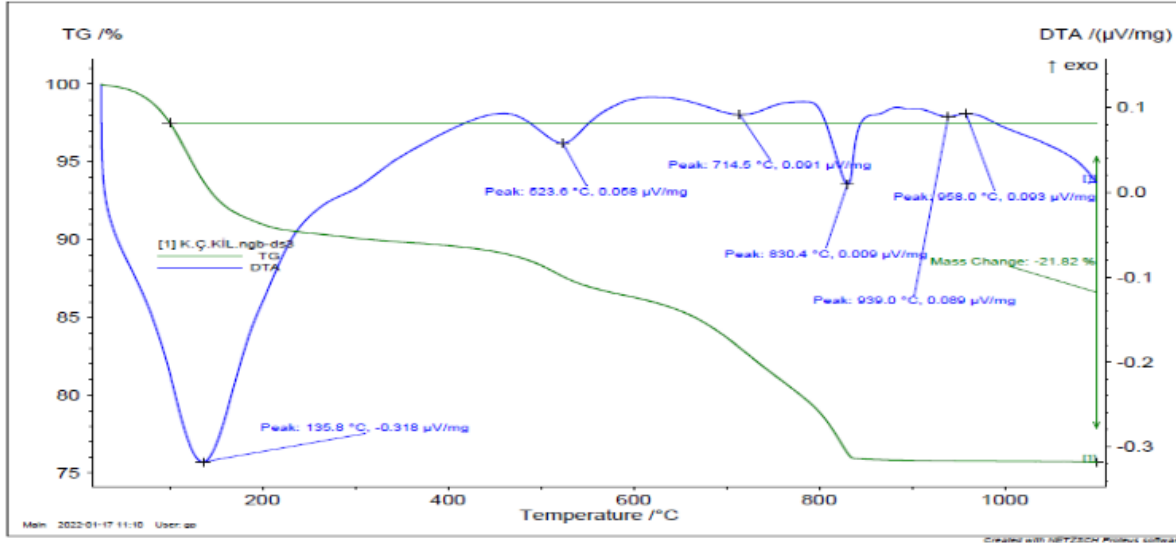
Çizelge 2. Kil numunesinin kimyasal analizi

Table 2. Chemical analysis of the clay sample

Oksitler									
Hammadde	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	A.K.*
AEL- K.Ü Kili	39.39	13.52	7.233	0.0027	1.012	15.79	0.0812	0.733	20.02

*A.K: Ateşte Kayıp

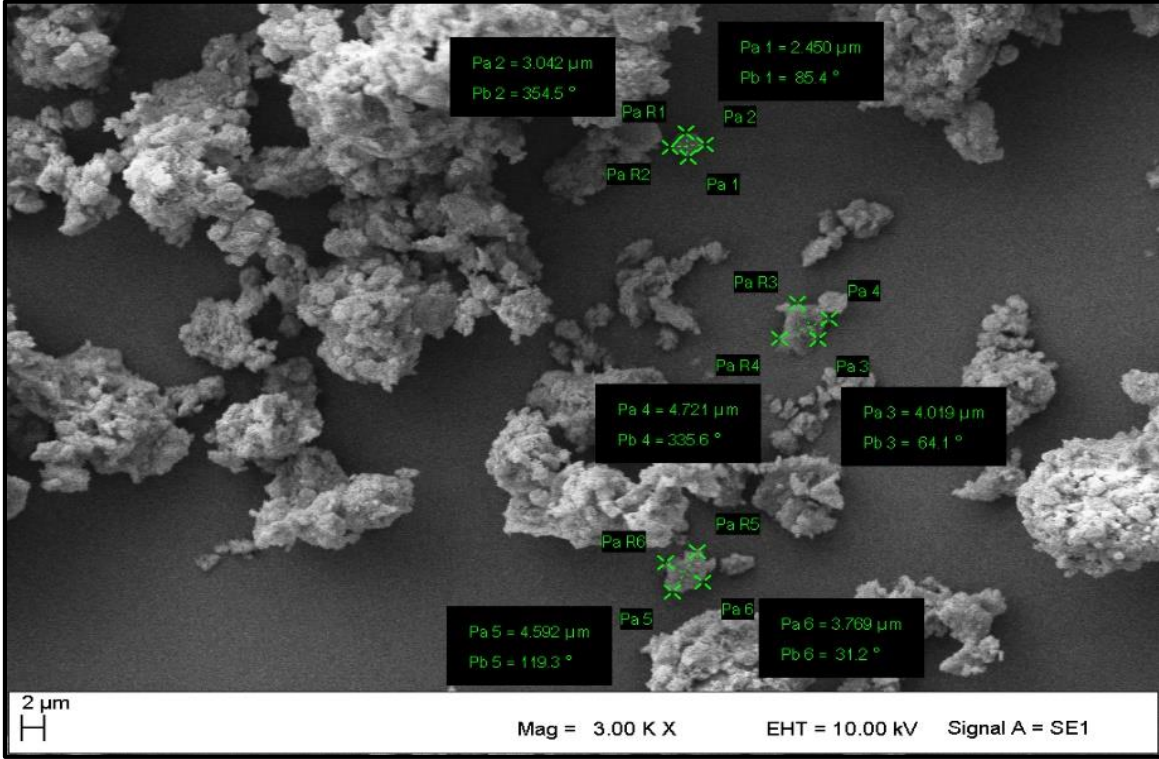
DTA analize göre montmorillonit bileşimli killerin oluşumunda gerçekleşme sıcaklıkları yaklaşık 136°C, 524°C ve 939°C’ olan ve dehidratasyon, kristal su kaybı ve faz dönüşümlerini işaret eden 3 endotermik reaksiyon meydana gelmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Kil numunesinin diferansiyel termik analizi (DTA) ile faz dönüşümleri

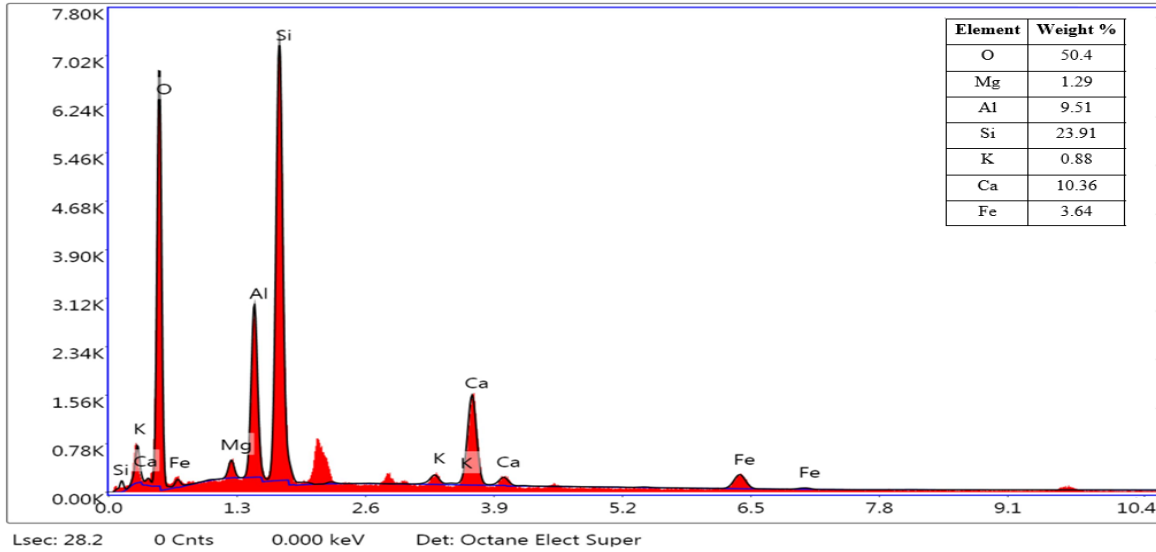
Figure 5. Phase transformations of the clay sample using differential thermal analysis (DTA)

Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM, SEM-EDX) Analizinde Farklı mikron seviyelerinde bulunan kil partiküllerinin ortalama değer olarak 4 mikron seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. Şekil 6’da kil numunesinin analiz görüntüsü, Şekil 7’de SEM-EDX analiz sonucu verilmiştir. Ağırlıkça yaklaşık %24 oranında Si, %11 Ca, %10 Al içermekte olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6. Kil numunesinin SEM analizi

Figure 6. SEM analysis of the clay sample



Şekil 7. Kil numunesinin SEM-EDX elemental Analizi

Figure 7. SEM-EDX elemental analysis of the clay sample

Elekl analizi işlemi sonunda 63 mikronluk elekten %0.9 luk kil boyutu malzeme geçmiş, kil boyutunun 63 mikronun altında olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Afşin-Elbistan Linyit Havzası Kömür Üstü Killerinin Elek Analizi Sonuçları

Table 3. Sieve Analysis Results of Overburden Clays in the Afşin-Elbistan Lignite Basin

Elek Açıklığı (mm)	Kalan Ağırlık	Geçen Ağırlık	% P Geçen	Toplam Malzeme
8 mm	0	1100	100	1100
4 mm	49	1051	95.54	
1,18 mm	295	756	68.72	
0,600 mm	229	527	47.9	
0,425 mm	115	412	37.45	
0,250 mm	104	308	28	
0,106 mm	208	100	9.09	
0,063 (63 mikron)	90	10	0.9	
Pan	10	0	0	
Toplam	1100			

Çalışma sahası killere seramik hammaddesi olarak kullanılması düşünülen killer için önemli bir parametre olan Toplam küçülme deneyi uygulanmış olup AEL kömür üstü kil numunesinin toplam küçülme değeri %2.81 olarak bulunmuştur

İnceleme alanında yer alan kömür üstü killerde ortalama su emme değeri % 0.85 olarak belirlenmiş olup limit değeri aşılmıştır.

Afşin -Elbistan Linyitleri kömür üstü killerin kıvam limitleri testleri 6 adet örnek üzerinde uygulanmış olup likit limit değeri ortalama 63.91 olarak hesaplanmıştır. Likit limit değeri 50 veya yüksek olan anorganik killer yüksek plastisiteli kil grubundadır. Plastik limit değerlerinin de ortalama 47.6 arasında olduğu tespit edilmiştir.

İnceleme alanından derlenen killer üzerinde yapılan şişme analizinde kendi ağırlıklarının 4 katı şişme potansiyeline sahip oldukları tespit edilmiş olup bu durum plastik limitin yüksek olması ile ilişkili görülmektedir.

İnceleme alanından derlenen killerin pH değeri 7.9 olarak ölçülmüştür.

Afşin-Elbistan Linyit sahası kömür üstü killerin pişme rengi bünyesinde bulunan yüksek demir konsantrasyonundan dolayı koyu sarı renktedir. Elde edilen L, a, b parametreleri ise sırasıyla Beyazlık, Kırmızılık ve Sarılık şeklinde renkleri ifade etmektedir. Analiz sonucunda L değeri 51.07, a değeri 4.7 ve b değeri de 24.29 olarak ölçülmüştür.

İnceleme alanında yer alan kömür üstü killerin viskozitesi 100 cc/ sn olarak ölçülmüştür. Viskozite yoğunlukla beraber değerlendirildiğinde seramik türlerine göre farklı reolojik özelliklerde hammadde gerekliliği ortaya çıkmaktadır. İnceleme alanı killerin yoğunluk ölçümü yapılarak litre ağırlığı 1320 g/L olarak belirlenmiştir.

Mukavemet Ölçümleri

AEL kömür üstü kil numunesinin kuru mukavemet değeri 29.6 kg/cm² olarak elde edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Kil numunesinin kuru mukavemet deneyi

Figure 8. Dry strength test of the clay sample

Pişme sonrası mukavemet tespiti işleminde inceleme alanından derlenen numuneler kurutularak ürün pişirim sıcaklık değerinde pişirilmesinin ardından mukavemet ölçüm cihazında testi yapılmıştır. AEL kömür üstü kil numunesinin pişme sonrası mukavemet değeri 223.6 kg/cm²

olarak tespit edilmiştir. Kil numunesine uygulanan pres basınç değeri 400 kg/cm^2 'dir. Bu analizde 5 numune teste tabi tutulup elde edilen sonuçların ortalama değeri alınarak mukavemet değeri bulunmuştur.



Şekil 9. Kil numunesinin pişme sonrası mukavemet ölçümü.

Figure 9. Strength measurement of the clay sample after firing.

4. TARTIŞMA

XRF ile yapılan Majör oksit analizleri değerlendirildiğinde Afşin Elbistan kili içerisinde SiO_2 (%39.39), CaO (%15.79) ve Al_2O_3 (%13.52) oranlarının diğer oksitlere göre yüksek olduğu ve XRF sonucunun diğer analitik tekniklerden SEM-EDX ile kıyaslandığında bir tutarlılığın olduğu görülmektedir. XRF analizinde Ateşte Kayıp değerinin yüksek çıkması (%20.02) kömür üstü killerin çevresindeki kömürle jenetik bir ilişkisinin olduğu ve organik bileşen (kömür, talaş, fosil, vb) içerebileceğine işaret etmektedir. Ateşte kaybın bir diğer

nedeni de yine kömürün kimyasal kompozisyonunda karbonatın olmasıdır. Ayrıca Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM) analizi sonucunda partikül boyutlarının 4 mikron altı olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma sahası killerde siyah çekirdek oluşumu gözlenmemiştir. Killerin bünyelerindeki organik madde miktarındaki artışın ortaya çıkardığı önemli problemlerden birisi de seramik ürünlerdeki siyah çekirdek oluşumu olayıdır. Yetersiz oksidasyondan dolayı organik materyallerin tamamıyla yanmaması bu tür olumsuz durumların temel kaynağıdır. Bölgede bulunan killerde organik madde miktarının çok olmasına rağmen kil ürünlerinde siyah çekirdek oluşumunun görülmemesi bölge killerinin seramik bünyelerde kullanılabilme potansiyeli açısından olumlu bir sonuçtur.

Araştırma bölgesinden derlenen kil örneklerinin su emme değerinin düşük olduğu (%0.85) tespit edilmiş ve kuru mukavemet değeri 29.6 kg/cm^2 pişme sonrası mukavemet değeri ise 223.6 kg/cm^2 olarak ölçülmüştür. Geleneksel seramikler arasında yer alan porselen karolar, mükemmel teknik özelliklere ve düşük su emme oranına sahip ürünlerdir. Seramik ürünler için bu değer <0.5 olması gerekmektedir (Gültekin,2019).

Seramik killerde Fe_2O_3 (Demir Oksit) oranı %1'den daha az, diğer amaçlar için kullanılacak kil türlerinde ise %3'ten daha az olması istenmektedir. İnceleme alanı killerde yapılan analizler sonucunda Fe_2O_3 değeri çok yüksek (%7.233) değer elde edilmiş olup bu durumun da öncelikle pişme rengini olumsuz etkilediği ve koyulaştırdığı ortaya konulmuştur. Pişme rengi testi sonucuna göre beyazlık olması gerekenden çok düşük çıkmıştır ve bu durumda çalışma alanı killerinin seramik üretiminde kullanılması bakımından olumsuz bir nokta olarak değerlendirilmektedir.

AEL kömür üstü kilinin viskozitesi 100 cc/sn ve Ph değeri de 7.9 olarak ölçülmüştür. kıvam limitleri testlerine göre killerin likit limit değeri $60 <$ olup bu değer 50 veya üzerinde olduğu anorganik killer yüksek plastisiteli kil grubuna dahil olmaktadır. Plastik limit değeri de 47.6 olarak ölçülmüştür. Killerin şişme potansiyeli kendi ağırlığının 4 katı olup plastik limitlerinin yüksek olması bu durumun bir nedeni olarak ortaya çıkmaktadır.

Çalışma sahasından derlenen kil numunelerinin toplam küçülme değeri % 2.81 olarak ölçülmüştür. Bu durum pişme sıcaklığının düşük olmasına bağlı olup sonuçta pişme küçülmesi değeri düşük olunca toplam küçülme değerini de küçültmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Afşin-Elbistan Linyitleri Kışlaköy Açık İşletmesi sahasında yer alan kömür seviyelerinin üst kesimlerindeki killer üzerinde yapılmış olan temel karakterizasyon analizleri ayrı ayrı ya da birbirleri ile korele edilerek değerlendirildiğinde sonuç olarak çalışma konusunu oluşturan killerin mevcut haliyle seramik hammaddesi olarak kullanımı için tam manasıyla uygun olmadığı, bir takım iyileştirmeler yapılarak ve safsızlıkları giderilerek kullanılabilceği. Ayrıca diğer sektörlerde kullanımı için de mevcut analitik verilerle uygun görülse bile her bir farklı alan için ayrıca detaylı tetkiklerin yapılması önerilmektedir. Yapılan analizlerde ön plana çıkan en önemli negatif unsur olarak çok yüksek Fe_2O_3 oranı görölmektedir. Bu bağlamda kilin tek başına kullanılması tavsiye edilmemektedir. Ancak kil içerisinde bulunan Fe_2O_3 miktarının separatörler ile ayrılması ya da çeşitli oranlarda daha düşük demir oksit içeriklerine sahip killerle karıştırılarak kilin ekonomiye kazandırılmasının uygun olduğu düşünölmektedir. Seramik sektörü haricinde demir oksit değerin yüksek olmasının pozitif bir unsur olduğu tuğla, kiremit üretiminde kullanılabilme olanakları mevcut olup, içerisinde demir oksit bulunmasından dolayı tuğla ve kiremitte rengi için, çimento üretiminde ise diğer materyallerle karıştırılarak zenginleştirilip kullanılması önerilmektedir.

6. TEŞEKKÜR

Çalışma Esra BAKIR'ın Yüksek Lisans Tezinden (Bakır,2022) üretilmiş olup Yazarlar araştırmayı 2020/6-8YLS numaralı proje kapsamında destekleyen, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimine teşekkür ederler. Yazarlar ayrıca makalenin son halini almasında değerli eleştiri ve önerileriyle destek olan hakemlere de teşekkür ederler.

7. KAYNAKLAR

- Akbulut,İ., Aksoy,T., Ölmez,T., Çağlan,D., Onak,A., Çam,İ., Sezer,S., Çevik,M., Çalışkan, V., Yurtseven,N., Sülükçü,S., 2008. Afşin Elbistan Kışlaköy Açık Kömür İşletmesi 2. Kısım 1. Bölüm Şev Stabilitesi Çalışması. MTA Genel Müdürlüğü Fizibilite Etüdları Dairesi Başkanlığı Jeoteknik Araştırmalar Koordinatörlüğü, Ankara.
- Akbulut,İ., Aksoy,T., Ölmez,T., Çağlan,D., Onak,A., Çam,İ., Sezer,S., Çevik,M., Çalışkan, V., Yurtseven,N., Arıcı,N., 2009. Afşin Elbistan Kışlaköy Açık Kömür İşletmesi 2. Kısım 2. Ve 3. Bölüm Şev Stabilitesi Çalışması. MTA Genel Müdürlüğü Fizibilite Etüdları Dairesi Başkanlığı Jeoteknik Araştırmalar Koordinatörlüğü, Ankara.
- Bakır, E., 2022. Afşin-Elbistan Linyit Havzası Kömür Üstü Killerinin Seramik Hammaddesi Olarak Kullanılabilirliği. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 59s, Yayınlanmamış.
- Baykara, T., 2019. Çelikler Holding Afşin Elbistan Elektrik Üretim ve Tic.A. Ş Aylık Faaliyet Raporu, Nisan 2019 Yayınlanmamış Rapor.
- Burst, J. F.,1991. The application of clay minerals in ceramics. Applied Clay Science, 5(5-6), 421-443.
- Çelik, A., Kapur, S., 2019. Adıyaman bölgesi kil yataklarının farklı pişirim sıcaklıkları sonrası renk değişimleri. Adıyaman Dergisi, 7(2), 99-115.
- Deniz, K., Kadioğlu, Y. K., Koralay, T., Güllü, B., 2021. The distribution of elements in the alteration of feldspatic minerals. Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 166(166), 167-188.
- Güllü, B., ve Bilgilioğlu, H., 2023. Sarıcakaya (Eskişehir) Granitoidindeki Pegmatitlerin Kökeni ve Endüstriyel Hammadde Potansiyeli. Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi, 5(2), 371-382. <https://doi.org/10.46387/bjesr.1347030>
- Gültekin, E.E., 2019. Porselen Karoların Su Emme, Açık Ve Toplam Gözenek Miktarlarına Sinterleme Sıcaklığı Ve Isıtma Hızının Etkilerinin Deney Tasarımı Yöntemiyle

İncelenmesi, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 8, Sayı 1, (2019), 538-548, ISSN: 2564-6605 doi: 10.28948/ngumuh.517180

Jordán, M. M., Meseguer, S., Pardo, F., & Montero, M. A., 2015. Properties and possible ceramic uses of clays from lignite mine spoils of NW Spain. *Applied Clay Science*, 118, 158-161.

Kızılkaya, N., Onal, M., Depci, T., Yücel, A., 2016. Usability of Malatya pyrophyllite in the traditional ceramic industry. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 44, No. 5, p. 052007). IOP Publishing.

Kuruoğlu, M., Taşkın, N., Özkan, İ., 2022. Saipiler Kilinin Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi ve Seramik Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *MT Bilimsel*, (22), 83-98.

Kuşcu, M., Yıldız, A., 2016. The mineralogy, geochemistry, and suitability for ceramic applications of Akharım (Afyonkarahisar, W Turkey) kaolinitic clay. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 1-17.

Lambe, T. W., 1958. "The Structure of Compacted Clay", *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, Vol. 84, No. SM2, pp. 1654-1 to 1655-35

M'Barek-Jemaï, M. B., Sdiri, A., Salah, I. B., Aissa, L. B., Bouaziz, S., Duplay, J., 2017. Geological and technological characterization of the Late Jurassic-Early Cretaceous clay deposits (Jebel Ammar, northeastern Tunisia) for ceramic industry. *Journal of African Earth Sciences*, 129, 282-290.

Mirdalı, N. K., Daday, M., Daday, M. T., 2019. Kil İçeriği Yüksek Aslantaş Baraj Gölü Çökelti Malzemesinin Seramik Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(1), 245-254.

Oikonomopoulos, I. K., Perraki, M., Tougiannidis, N., Perraki, T., Kasper, H. U., Gurk, M., 2015. Clays from Neogene Achlada lignite deposits in Florina basin (Western Macedonia, N. Greece): A prospective resource for the ceramics industry. *Applied Clay Science*, 103, 1-9.

Semiz, B., 2018. Pamukkale (Denizli) bölgesi killerinin karakteristik özellikleri ve seramik sektöründe kullanılabilirlikleri. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24(6), 1237-1244.

Türkmenoğlu, A. G., Yavuz-Işık, N.,2008. Mineralogy, chemistry and potential utilization of clays from coal deposits in the Kütahya province, Western Turkey. Applied Clay Science, 42(1-2), 63-73.

Ünal, S., Hasekiöğlu, U., 2023. İlk Tür Neolitik Çömlekçilikten Günümüze Üç Boyutlu Yazıcılarla Seramik Üretimi. Motif Academy Journal of Folklore, 16(42), 821-835.



Su Yüzey Alanlarının Belirlenmesinde Kullanılan Spektral İndekslerin Performans Analizi: Berdan (Tarsus) Baraj Gölü Örneği

Performance Analysis of Spectral Indices Used in Determination of Water Body Surface: The Case of Berdan (Tarsus) Reservoir

SEVİM YASEMİN ÇİÇEKLİ¹ Orcid: 0000-0002-8140-1265

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

Geliş (received): 9/05/2024

Kabul (Accepted): 20/05/2024

ÖZ

Nüfus artışı ile birlikte su ve sulak alanların yönetimi konusu büyük önem kazanmıştır. Teknolojideki gelişmeler sayesinde, uzaktan algılama çalışmalarında su ve sulak alanların gözlenmesinde uydu teknolojileri sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Bu araştırmanın temel amacı, Sentinel-2B verilerini kullanarak NDWI, MNDWI ve WRI bant oranlama tekniklerinin doğruluğunu araştırmaktır. Çukurova, Türkiye için tarımsal faaliyetler açısından en önemli bölgelerinden biridir, bu nedenle sulama faaliyetlerinin yönetimi konusu büyük bir önem taşımaktadır. Berdan (Tarsus) Barajı, Çukurova bölgesi için önemli bir sulama kaynağı olan Berdan Nehri üzerinde yer almaktadır. Bu çalışmada; 3 Ocak 2024 tarihinde elde edilen Sentinel-2B uydu görüntüsü Berdan Baraj Gölü alanını belirlemek için kullanılmıştır. NDWI, MNDWI ve WRI bant oranlama teknikleri kullanılarak, Berdan Baraj Gölü alanı tespit edilmiştir. Tüm yöntemler için doğruluk analizleri yapılmıştır. NDWI tekniği %98, MNDWI tekniği %97 ve WRI tekniği %98.5 doğruluk sağlamıştır. WRI en yüksek doğruluğu sağlarken, MNDWI en düşük doğruluğu sağlamıştır. Su alanlarında bant oranlama tekniklerinin, yüksek doğruluk sağladığı ve tüm yöntemlerin kullanılabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi, Değiştirilmiş Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi, Su Oranı İndeksi, Uzaktan Algılama, Sentinel-2

Sevim Yasemin Çiçekli s.y.cicekli@gmail.com

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

ABSTRACT

With population growth, the management of water and wetlands has gained great importance. Thanks to developments in technology, satellite technologies have begun to be used frequently in remote sensing studies to observe water and wetlands. The main purpose of this research is to investigate the accuracy of NDWI, MNDWI and WRI band ratio techniques using Sentinel-2B data. Çukurova is one of the most important regions for Turkey in terms of agricultural activities, so the management of irrigation activities is of great importance. Berdan (Tarsus) Reservoir is located on the Berdan River, which is an important irrigation source for the Çukurova region. In this study; Sentinel-2B satellite image obtained on January 3, 2024 was used to determine the Berdan Reservoir area. Using NDWI, MNDWI and WRI band ratio techniques, the Berdan Reservoir area was determined. Accuracy analyses were performed for all methods. NDWI technique provided 98% accuracy, MNDWI technique provided 97% accuracy and WRI technique provided 98.5% accuracy. WRI provided the highest accuracy, while MNDWI provided the lowest accuracy. It has been determined that band proportioning techniques in water areas provide high accuracy and all methods can be used.

Keywords: *Normalized Difference Water Index, Modified Normalized Difference Water Index, Water Ratio Index, Remote Sensing, Sentinel-2*

GİRİŞ

Uzaktan algılama, arazi kullanımı ve arazi örtüsünün belirlenmesi, sulak alan yönetimi, ekolojik çalışmalar ve deformasyonların izlenmesinde en çok tercih edilen disiplinlerden biridir. Su alanları, iklim kaynaklı sebeplerle değişime uğrayabilmektedir. Su kaynaklarının korunması açısından takibi gereklidir. Uydu teknolojilerinin gelişmesi ile birlikte su alanlarının tespit edilmesinde uzaktan algılama tekniklerinin kullanımı kolaylaşmıştır. Mersin'in Tarsus ilçesinin kuzeyinde yer alan Berdan Baraj gölü bölgenin içme suyu ihtiyacını karşılamakta olup, ayrıca tarım arazilerinin sulanması için kullanılan bir kaynaktır. Bu nedenle su alanının belirlenmesi ve değişiminin tespit edilmesi gereklidir. Su alanlarının tespit edilmesinde kullanılan spektral indekslerin Berdan Baraj Gölü alanının tespit edilmesindeki doğruluklarının araştırılması bu çalışmanın konusunu oluşturmaktadır. Bu çalışmada Berdan Baraj gölü ve çevresine ait Sentinel-2B uydu görüntülerine Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi (Normalized Difference Water Index, NDWI), Değiştirilmiş Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi (Modified Normalized

Difference Water Index, MNDWI) ve Su Oranı İndeksi (Water Ratio Index, WRI) bant oranlama tekniği uygulanarak, su alanları belirlenmiş ve bant oranlama tekniklerinin doğruluğu araştırılmıştır.

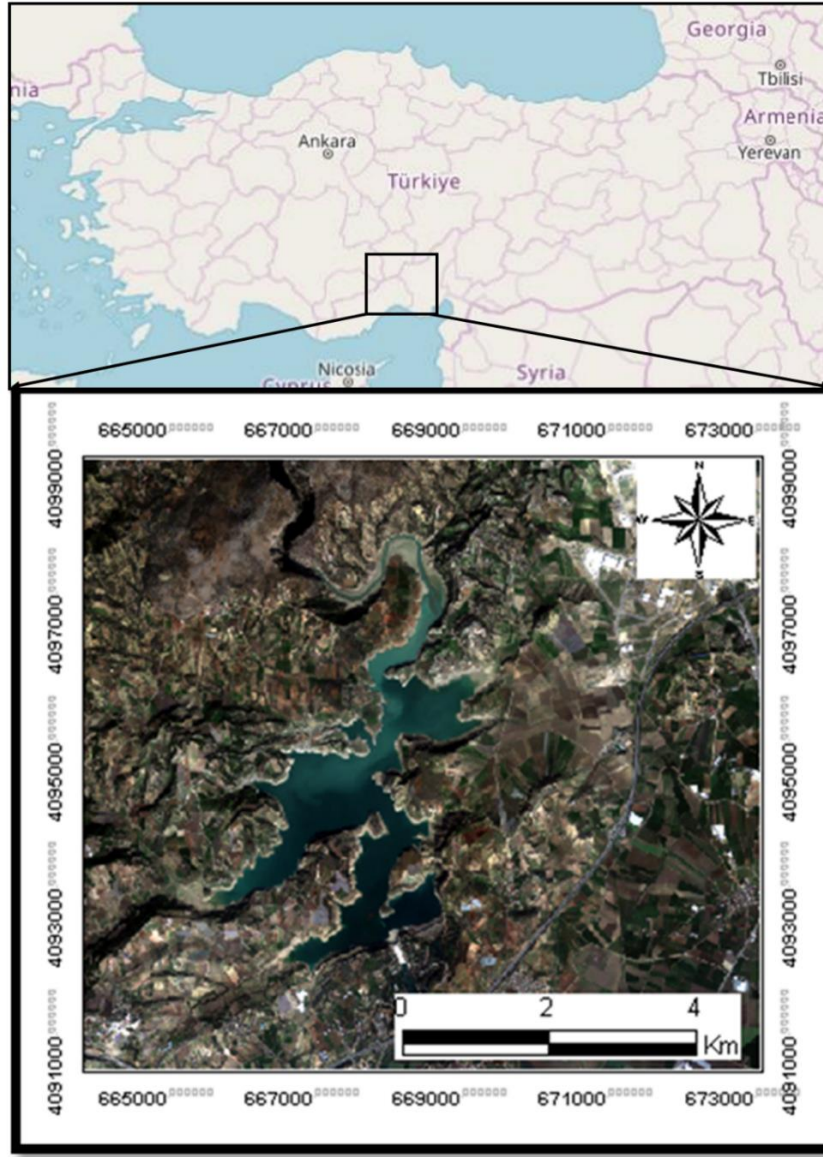
Literatürde su ve sulak alanları gözlemlemek amacıyla bant oranlama yöntemlerini kullanan birçok çalışma yer almaktadır. Mutlu vd. (2020); Akşehir gölüne ait 1995, 2010 ve 2018 Landsat uydu görüntülerine NDWI, MNDWI ve $NDWI_{GAO}$ bant oranlama teknikleri uygulamış ve %69 oranında alansal değişim tespit etmiştir (Mutlu vd., 2020). Ma vd. (2018); Çin'in Liaoning ili Panjin bölgesine ait Modis ve Landsat uydu görüntülerine NDWI, NDVI bant oranlama teknikleri uygulayarak mevsimsel değişimleri yüksek doğrulukla gözlemlemiştir (Ma vd., 2018). Deoli vd. (2022); Hindistan Nainital Gölü bölgesinin 2001, 2012, 2013 ve 2018 yıllarına ait Landsat uydu görüntülerine NDWI, WRI ve MNDWI bant oranlama tekniklerini uygulamış ve göl alanının zamansal değişimini gözlemlemiştir. NDWI tekniğinin %96,94 ile en yüksek doğruluğu veren yöntem olduğunu tespit etmiştir (Deoli vd., 2022). Aksoy vd. (2019), Burdur Göller yöresinde alan değişimi tespit etmek için NDWI bant oranlama tekniği kullanmıştır (Aksoy vd., 2019). Şekertekin vd. (2018), Yedigöze ve Çatalan baraj gölüne ait Sentinel-2 görüntülerine NDWI ve MNDWI bant oranlama tekniklerini uygulamış NDWI yönteminin MNDWI yöntemine göre daha yüksek doğruluk verdiğini tespit etmiştir (Şekertekin vd., 2018). Yılmaz (2023), farklı özelliklere göller üzerinde bant oranlama teknikleri kullanarak, yöntemleri karşılaştırmıştır (Yılmaz, 2023). Laonamsai vd. (2023), 2015 ve 2022 Ping nehrine ait uydu görüntülerine erozyonu gözlemlemek su bant oranlama tekniklerini uygulayarak yöntemleri analiz etmiştir (Laonamsai vd., 2023).

Bu çalışmanın temel amacı su alanlarının farklı bant oranlama teknikleri kullanarak tespit etmek ve tekniklerin doğruluklarını karşılaştırmaktır. Bu nedenle 3 Ocak 2024 tarihinde algılanmış Sentinel-2B görüntülerine NDWI, MNDWI ve WRI bant oranlama teknikleri uygulanmış, Otsu yöntemi ile eşik değerler tespit edilmiş, 200 adet kontrol noktası kullanılarak hata matrisleri oluşturulmuş ve doğruluk analizleri yapılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, çalışma alanının konumu ve genel özellikleri, Sentinel-2B uydusunun bantları ve dalga boyları, NDWI, MNDWI ve WRI bant oranlama teknikleri, Otsu eşik belirleme yöntemi, hata matrisi ve doğruluk analizi açıklanmıştır.

Berdan Baraj Gölü, Mersin'in Tarsus ilçesinin kuzeyinde Berdan nehri üzerinde yer almaktadır. 1984 yılında kullanıma açılmış olup, sulama ve içme suyu temini amacıyla inşa edilmiştir (Fındık, 2000). Çalışma Alanı Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Çalışma Alanı (ESA, 2024)

Figure 1. Study Area (ESA, 2024)

Bu çalışmada Berdan Baraj gölü ve çevresine ait 3 Ocak 2024 tarihinde algılanmış Sentinel 2B MSI uydu görüntüleri kullanılmıştır (ESA, 2024). Sentinel-2B bantları ve Özellikleri Çizelge 1’de sunulmuştur.

Çizelge 1. Sentinel-2B bantları ve Özellikleri (ESA, 2024)

Table 1. Sentinel 2B Bands and Specifies (ESA, 2024)

Sentinel-2 Uydu Bantları	Özellikler	
	Dalgaboyu (mikrometre)	Çözünürlük (m)
Bant-1 Kıyı Aerosol	0.442	60
Bant-2 Mavi	0.492	10
Bant-3 Yeşil	0.559	10
Bant-4 Kırmızı	0.665	10
Bant-5 Bitkiörtüsü kırmızı kenar	0.703	20
Bant-6 Bitkiörtüsü kırmızı kenar	0.739	20
Bant-7 Bitkiörtüsü kırmızı kenar	0.779	20
Bant-8 NIR	0.833	10
Bant-8A Bitkiörtüsü kırmızı kenar	0.864	20
Bant-9 Su buharı	0.943	60
Bant-10 SWIR Cirrus	1.376	60
Bant-11 SWIR	1.610	20
Bant-12 SWIR	2.185	20

Yeşil ve yakın kızıl ötesi bantları kullanarak su yüzeylerini tespit etmek için kullanılan Normalize edilmiş fark su indeksi (NDWI) bir bant oranlama tekniğidir. (McFeetes, 1996) Formülü aşağıdaki gibidir (Eşitlik 1)

$$NDWI = \frac{BAND_{YEŞİL} - BAND_{NIR}}{BAND_{YEŞİL} + BAND_{NIR}} \quad (1)$$

Değiştirilmiş Normalize edilmiş fark su indeksi (MNDWI) Yeşil ve SWIR bantları kullanarak su yüzeylerini tespit etmek için kullanılan bir bant oranlama tekniğidir. (Xu, 2006) Formülü aşağıdaki gibidir (Eşitlik 2)

$$MNDWI = \frac{BAND_{YEŞİL} - BAND_{SWIR1}}{BAND_{YEŞİL} + BAND_{SWIR1}} \quad (2)$$

Su Oranı İndeksi (WRI), yeşil, kırmızı, NIR ve SWIR bantları kullanarak su yüzeylerini tespit etmek için kullanılan bir bant oranlama tekniğidir. (Shen ve Li, 2010) Formülü aşağıdaki gibidir (Eşitlik 3)

$$WRI = \frac{BAND_{YEŞİL} - BAND_{KIRMIZI}}{BAND_{NIR} + BAND_{SWIR1}} \quad (3)$$

Çalışmada bant oranlama teknikleri uygulanmış görüntülerde eşik değerlerini tespit etmek için Otsu yöntemi kullanılmıştır. Otsu Yöntemi, eşik değeri otomatik olarak belirleyen bir teknik olup, herhangi bir görüntü için bimodal histogramda sınıf içi varyansı $\sigma^2(t)$ maksimize eder (Otsu, 1979). Optimum eşik değeri belirlemek için kullanılır.

Çalışmada hataların tespit edilmesi için hata matrisleri kullanılmıştır. Hata matrisinde dikey sütun referans veriyi, yatay sütun ise değerlendirmesi yapılacak veriyi temsil eder (Yener vd., 2006). Matris üzerinde doğruluk, köşegen toplamının referans piksellerin toplam sayısına bölünmesiyle elde edilir (Davarcı, 2011). Kappa değeri hata matrisinin köşegen elemanlarını, satır ve sütun değerleri toplamını ve toplam hücre sayısını kullanarak doğruluk analizi yapan bir yöntemdir (Çetinkaya ve Toz, 2007). Formülü aşağıdaki gibidir (Eşitlik 4).

$$Kappa = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})} \quad (4)$$

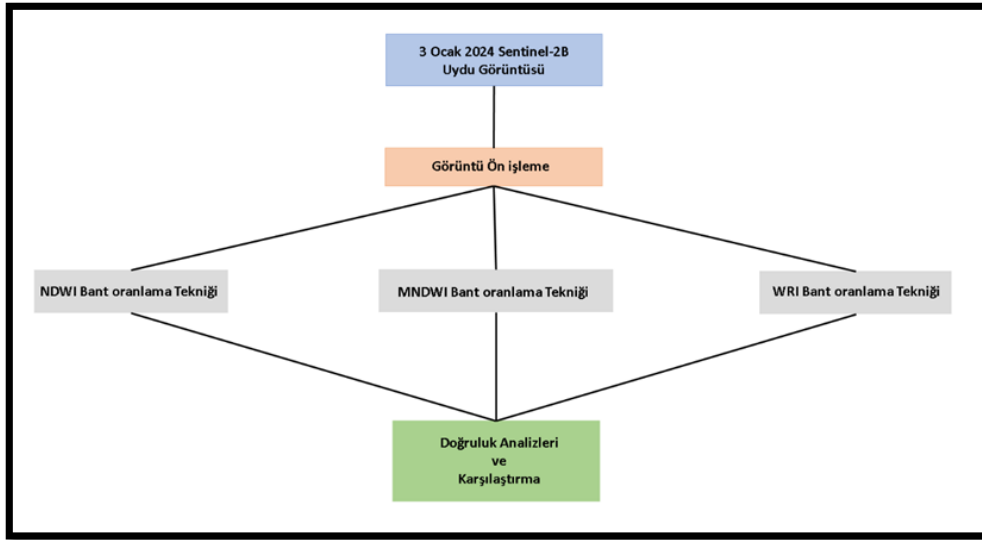
Kappa denkleminde, “r” kullanılan sınıf sayısını, “x_{ii}” hata matrisinin köşegen elemanlarını, “x_{i+}” satır toplamını, “x_{+i}” sütun toplamı ve “N” hata matrisindeki toplam hücre sayısını temsil etmektedir (Çetinkaya ve Toz, 2007).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, uydu görüntüsüne uygulanan ön işleme aşaması, bant oranlama teknikleri uygulanarak elde edilen NDWI, MNDWI ve WRI görüntüleri, Otsu yöntemi uygulanarak belirlenen eşik değerlerle oluşturulan haritalar, her bir sınıf için hesaplanan piksel sayıları ve

alanlar, hata matrisleri kullanılarak belirlenen doğruluk değerleri yer almaktadır. Elde edilen sonuçların birbiri ile uyumu ve literatürdeki çalışmalarla uyumu bölümün kapsamını oluşturmaktadır.

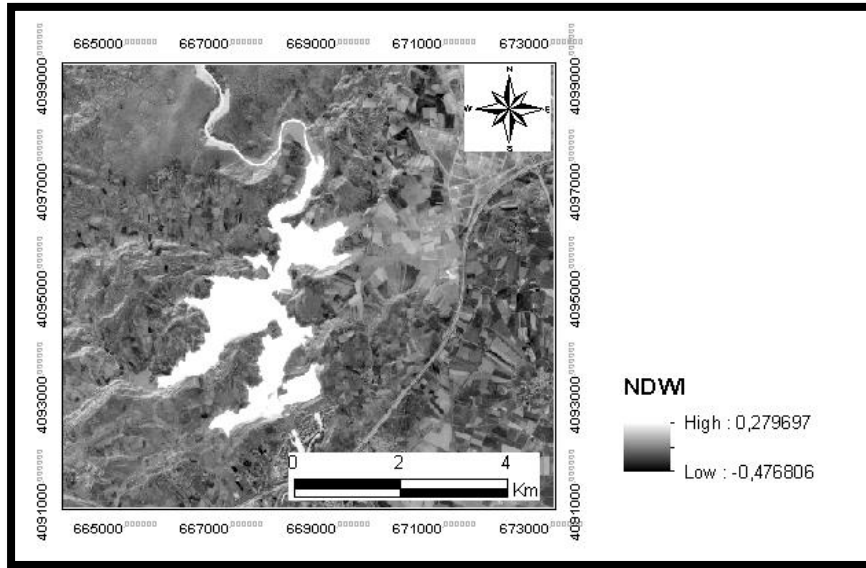
Sentinel-2B görüntüleri, ESA web sayfasından temin edilmiştir (ESA, 2024). Kullanılan görüntüler, L1C serisi olduğundan ve atmosferik düzeltmeleri yapılmış halde sunulur. Ön işleme aşamasında yalnızca görüntüler kesilmiş, NDWI ve WRI uygulanırken kullanılan SWIR₁ bandı 20m çözünürlüklü olmasından dolayı, tüm oranlama teknikleri uygulanırken kullanılan Kırmızı, yeşil ve NIR bant 20 m'ye yeniden örnekleme işlemi uygulanarak kullanılmıştır. (Şekil 2).



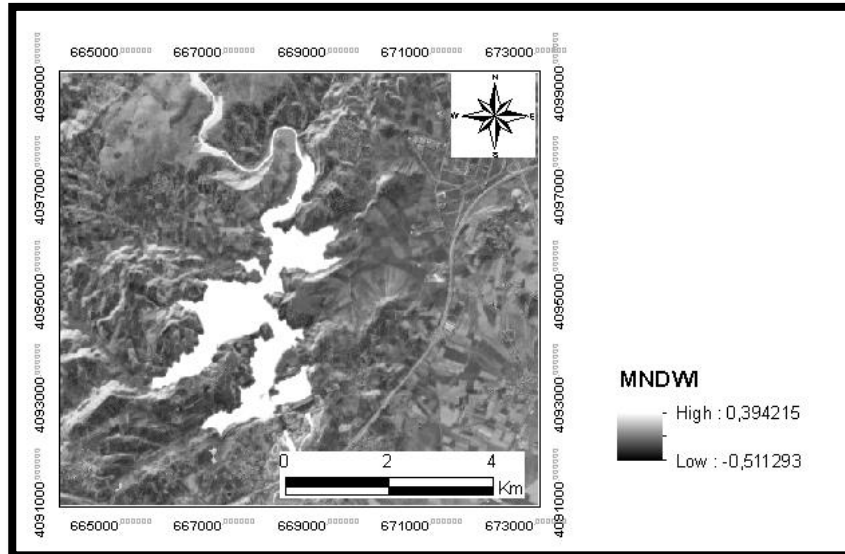
Şekil 2. İş akış diyagramı

Figure 2. Flowchart

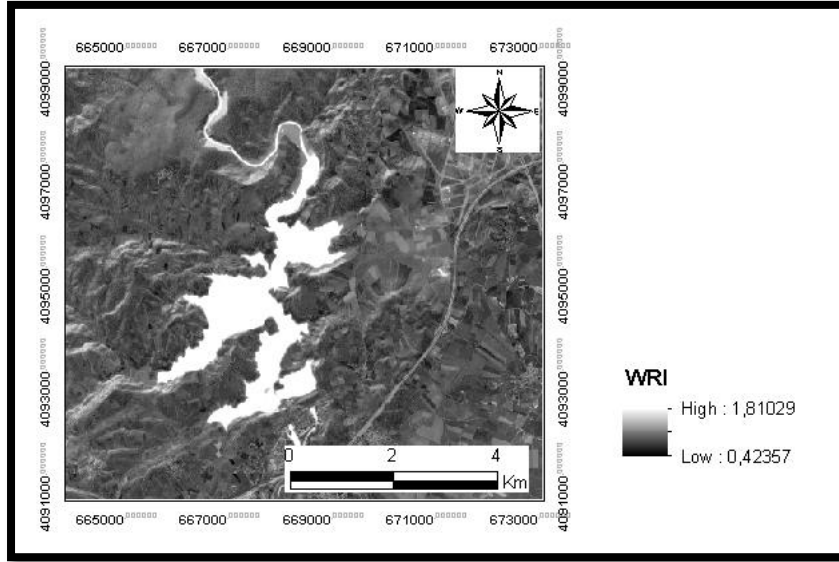
Yeniden örneklenmiş 20 metre çözünürlüğe sahip yeşil (bant 3) ve NIR (bant 8) bantları kullanılarak NDWI bant oranlama tekniği, SWIR₁ (bant 11) ve 20 metre çözünürlüğe yeniden örneklenmiş yeşil bant (bant 3) kullanılarak MNDWI, SWIR₁ (bant 11) bandı ve 20 metre çözünürlüğe yeniden örneklenmiş yeşil (bant 3), kırmızı (bant 4), NIR (bant 8) bantları kullanılarak WRI bant oranlama teknikleri uygulanmıştır (Şekil 3).



(a)



(b)

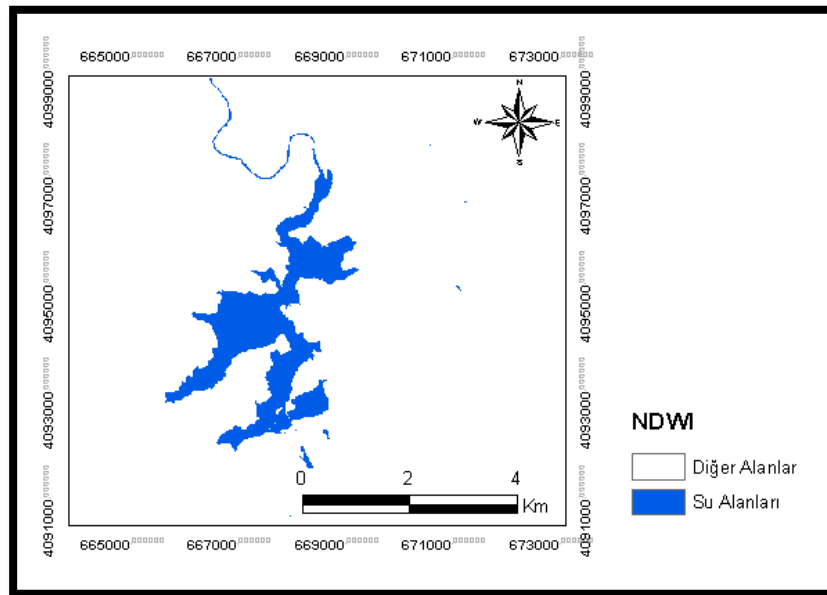


(c)

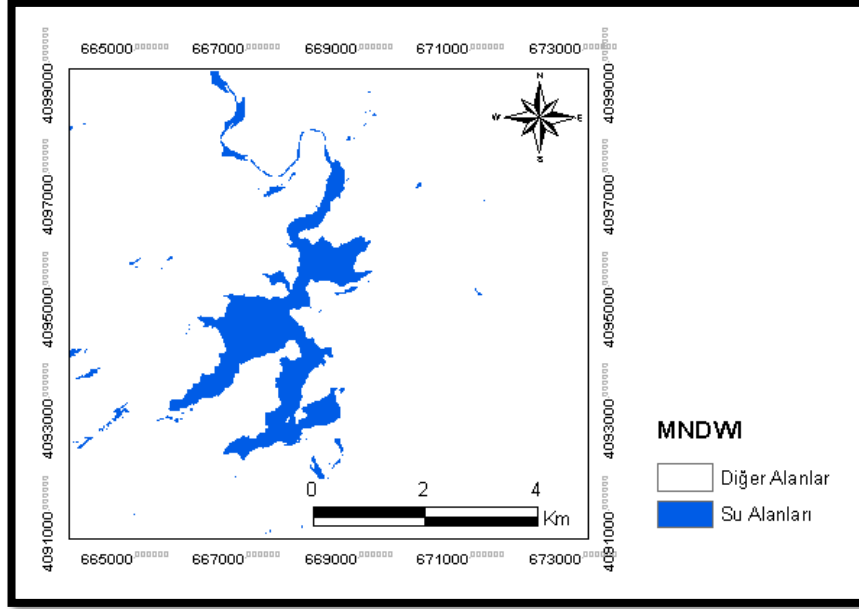
Şekil 3. (a) NDWI (b) MNDWI (c)WRI uygulanmış görüntüler

Figure 3. Images with (a) NDWI (b) MNDWI (c)WRI applied

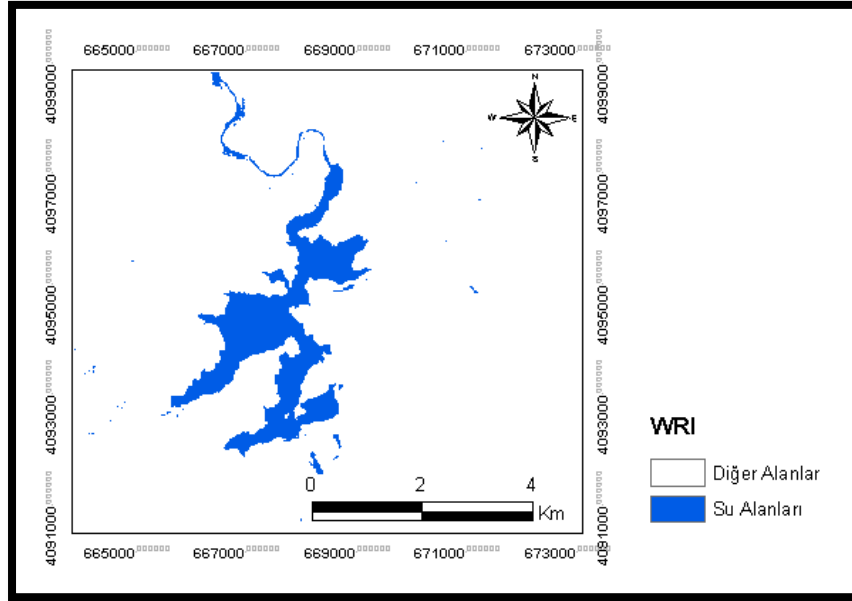
Su Alanları ve Diğer Alanlar olmak üzere iki sınıf oluşturulmuştur. Sınıflar oluşturulurken kullanılan eşik değeri Otsu yöntemi ile NDWI için 0.098, MNDWI için 0.1412 ve WRI için 1.5527 olarak tespit edilmiştir (Şekil 4).



(a)



(b)



(c)

Şekil 4. Otsu Yöntemi uygulanmış (a) NDWI (b) MNDWI (c) WRI görüntü sınıfları
Figure 4. (a) NDWI (b) MNDWI (c) WRI image classes with Otsu Method applied

NDWI, MNDWI ve WRI yöntemi ile tespit edilen sınıfların piksel sayıları ve alanları Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. NDWI, MNDWI ve WRI sınıf piksel sayıları ve alanlar

Table 2. NDWI, MNDWI ve WRI class pixel value and class area

Yöntem	Su Alanı Piksel Sayısı	Su Alanı (Km ²)	Diğer Alanlar Piksel Sayısı	Diğer Alanlar (Km ²)
NDWI	12591	5.03	202478	80.99
MNDWI	13809	5.52	201260	80.50
WRI	13104	5.24	201964	80.78

200 adet kontrol noktası ile oluşturulmuş hata matrisleri üzerinden (Şekil 5) yapılan doğruluk analizleri Tablo 3’de sunulmuştur.

		MNDWI		
		Diğer Alanlar	Su Alanı	Toplam
GERÇEK	Diğer Alanlar	186	4	190
	Su Alanı	2	8	10
	Toplam	188	12	200

		NDWI		
		Diğer Alanlar	Su Alanı	Toplam
GERÇEK	Diğer Alanlar	188	2	190
	Su Alanı	2	8	10
	Toplam	190	10	200

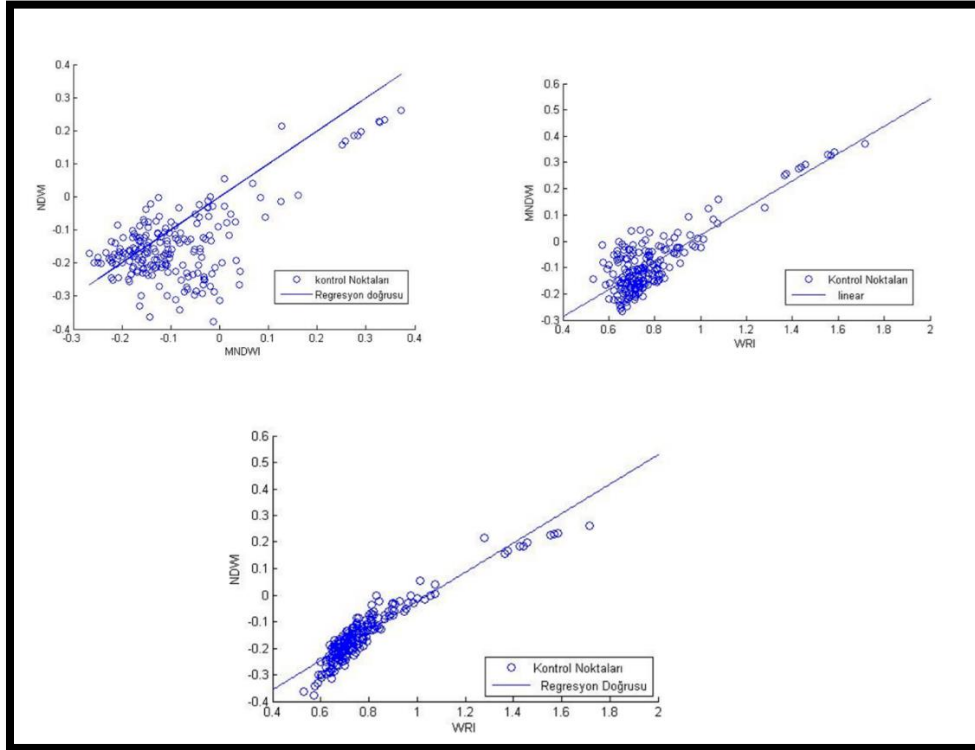
		WRI		
		Diğer Alanlar	Su Alanı	Toplam
GERÇEK	Diğer Alanlar	189	1	190
	Su Alanı	2	8	10
	Toplam	191	9	200

Şekil 5. Hata matrisleri
Figure 5. Confusion matrix

Tablo 3. Genel doğruluklar ve kappa değerleri
Table 3. Overall accuracy and kappa value

Yöntem	Genel doğruluk	Kappa değeri
NDWI	%98	0.78
MNDWI	%97	0.71
WRI	%98.5	0.834

NDWI, MNDWI ve WRI yöntemi ile tespit edilmiş su alanları sınıfları tüm yöntemlerde birbiri ile uyumludur. NDWI, MNDWI ve WRI yöntemi ile tespit edilmiş diğer alanları sınıfı da tüm yöntemlerde birbiri uyumludur. Doğruluk analizinde kullanılan 200 adet kontrol noktasının NDWI ve WRI değerleri arasındaki korelasyon katsayısı R, 0.936 dır. NDWI ve MNDWI değerleri arasındaki korelasyon katsayısı R, 0.645dir. WRI ve MNDWI değerleri arasındaki korelasyon katsayısı R, 0.842 dır. Dağılım grafikleri Şekil 6’da sunulmuştur.



Şekil 6. Dağılım Grafikleri

Figure 6. Scatter Plot

Kullanılan tüm yöntemler yüksek doğruluklu sonuç vermiştir. En düşük doğruluğu MNDWI yöntemi sağlamıştır. MNDWI yöntemi, çalışma alanındaki gölge alanlar ile su alanlarını ayırt ederken düşük performans göstermiş, bu nedenle diğer yöntemlerden daha fazla su alanı hesaplamıştır. NDWI ve WRI yöntemine göre daha düşük doğruluk sağlamıştır. Elde edilen doğruluk sonuçları literatürdeki çalışmalarla uyum sağlamaktadır. Şekertekin vd. (2018) Yedigöze ve Çatalan baraj gölüne ait uydu görüntüleri kullanarak NDWI bant oranlama tekniğinin %94, MNDWI bant oranlama tekniğinin %91.60 doğruluk sağladığını tespit etmiştir ve NDWI yönteminin su kanallarını da tespit edebildiğini, MNDWI tekniğinin bulut gölgesi gibi alanları da su kütlesi olarak tespit ettiğini belirtmiştir (Şekertekin vd., 2018). Yılmaz (2023), farklı göller üzerinde bant oranlama teknikleri uygulayarak bu indekslerin performanslarını karşılaştırılmıştır. NDWI tekniği MNDWI tekniğinden daha yüksek doğruluk sağlamıştır (Yılmaz, 2023). Laonamsai vd. (2023), 2015 ve 2022 Ping nehrine ait uydu görüntülerine erozyonu gözlemek su bant oranlama tekniklerini uygulamıştır, 2015 ve 2022 görüntülerinde WRI tekniği, NDWI yönteminden daha yüksek doğruluk sağlamıştır (Laonamsai vd., 2023).

SONUÇLAR

Su alanlarını tespit etmek, çevre çalışmaları ve sulak alan yönetimi için büyük bir öneme sahiptir. Kıyı şeritleri, iklim koşulları ve tarımsal sulama gibi su kullanımı nedeniyle değişime uğradığı için su alanları düzenli olarak gözlemlenmelidir.

Bu çalışmada Berdan Baraj Gölü su alanlarının belirlenmesi için NDWI, MNDWI ve WRI bant oranlama teknikleri kullanılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Tüm bant oranlama teknikleri, su alanlarının belirlenmesinde beklenen doğruluğu sağladığı ve kıyı çalışmalarında kullanılabileceği tespit edilmiştir. Uydu teknolojileri ve bant oranlama tekniklerinin su alanlarının belirlenmesinde kullanımı daha hızlı ve daha ekonomik bir çözüm olacaktır. İlerleyen çalışmalarda su alanlarının iklimsel koşullarla değişimi incelenecektir.

KATKI BELİRTME

Makalenin gelişmesine katkı sağlayan hakemlere teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Aksoy T., Sarı S., Çabuk A., 2019. Sulak alanların yönetimi kapsamında su indeksinin uzaktan algılama ile tespiti, Göller Yöresi. GSI Journals Serie B: Advancements in Business and Economics, 2(1):35-48.
- Çetinkaya B., Toz G., 2007. Coğrafi Veri Seçim İşlemi Sonuçlarının Değerlendirilmesinde Hata Matrisinin Kullanımı. İtü Dergisi, 6(5-6):59-68.
- Davarcı, M. A., 2011. 2006-2010 yılları arasında seyhan ve yüreğir ilçelerinde uzaktan algılama ile ekili ürün değişimi tespiti, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 114 s.
- Deoli V., Kumar D., Kuriqi A., 2022. Detection of water spread area changes in Eutrophic Lake using landsat data. Sensors, 22(6827):1-15.
- ESA, 2024. European Space Agency Data Hub. Online, <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
- Fındık, Ö. 2000. Berdan Baraj Gölü (İçel) bentik faunası. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 42 s.
- Laonamsai, J., Julphunthong, P., Saprathet, T., Kimmany, B., Ganchanasuragit, T., Chomcheawchan, P., Tomun, N. 2023. Utilizing NDWI, MNDWI, SAVI, WRI, and AWEI for estimating erosion and deposition in Ping River in Thailand. Hydrology, 10(3), 70:1-25.
- Ma F., Wang Q., Zhang M., 2018. Dynamic changes of wetland resources based on MODIS And Landsat image data fusion. EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2018(63): 1-10.

- McFeeters, S.K. 1996. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int. J. Remote Sens*, 17:1425–1432.
- Mutlu, A. Z., Kazancı, B., Özçetin, A. Y., Sarıyılmaz, F. B., 2020. Akşehir Gölü zamansal değişiminin bant oranlama yöntemleri ile belirlenmesi. *Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi (TUZAL)*, 2(1): 22-28.
- Otsu, N. A. 1979. Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern*, 9: 62–66.
- Shen, L, Li, C. 2010. Water body extraction from Landsat ETM+ imagery using adaboost algorithm. In *Proceedings of the 18th International Conference on Geoinformatics, Beijing, China*, 1–4.
- Şekertekin, A., Çiçekli, S. Y., Arslan, N. 2018. Index-Based Identification of Surface Water Resources Using Sentinel-2 Satellite Imagery. *2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, 610-614.
- Xu, H., 2006. Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 27(14): 3025–3033.
- Yener, H., Koç, A., Çoban, H. O., 2006. Uzaktan algılama verilerinde sınıflandırma doğruluğunun belirlenmesi yöntemleri, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri B*, 56/2.
- Yılmaz, O. S., 2023. Uzaktan algılama teknikleri ile su yüzeylerinin tespit edilmesinde kullanılan su çıkarma indekslerinin performans analizi. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 4(2), 242-261.



Tufanbeyli Fatmakuyu Yöresi (Adana) Kireçtaşlarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi

Investigation of the Useability of Tufanbeyli Fatmakuyu Region (Adana) Limestone as Concrete Aggregate

ÖZEN KILIÇ¹ Orcid: 0000-0002-8398-0897

EVİRİM TEKELİ¹ Orcid: 0000-0001-7571-8648

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

Geliş (received): 9/01/2024

Kabul (Accepted): 12/02/2024

ÖZ

06.02.2023 tarihinde gerçekleşen Kahramanmaraş merkezli 2 büyük deprem neticesinde 50000 den fazla vatandaş hayatını kaybetmiştir. Özellikle Adana da yıkılan yapılar incelendiğinde üç unsurun bu yıkıma sebep olduğu görülmekle birlikte bu üç unsurdan biri olan uygun olmayan beton sınıfının olduğu ve yıkılan tüm yapıların 2000 yılı öncesinde yapılmış ve yapılarda kırmataş kullanılmadığı bunun sonucu olarak da beton dayanımının yetersiz olduğu ve yapıların depreme direnç gösteremeyerek yıkıldığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada Adana İli Tufanbeyli İlçesi Fatmakuyu Mahallesi'nde bulunan kireçtaşının hazır beton üretiminde beton agregası olarak kullanımının uygunluğu araştırılmıştır. Çalışma esnasında TSE normlarınca kabul edilen deney ve yöntemler kullanılmış; Fatmakuyu yöresi kireçtaşlarının kimyasal, mineralojik, petrografik, fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucu çıkan sonuçlar ile TS 706 EN 12620 standartları karşılaştırılmış ve Fatmakuyu kireçtaşlarının hazır beton agregası olarak değerlendirilmesinde bir sakınca olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Agregası, Fatmakuyu/Tufanbeyli/Adana, XRF, XRD, TG, Kireçtaşı

Özen KILIÇ¹ zenkilig@cu.edu.tr

EvrİM TEKELİ tekeli_evrin@hotmail.com

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü,
ADANA

ABSTRACT

More than 50000 citizens lost their lives as a result of 2 major earthquakes centered in Kahramanmaraş, which took place on 06.02.2023. Especially when the destroyed structures in Adana are examined, it is seen that three elements caused this destruction, but one of these three elements is an unsuitable concrete class, and all the destroyed structures were built before 2000 and crushed stone was not used in the structures, as a result of which the concrete strength was insufficient and the structures collapsed without being able to resist earthquakes. In this study, the suitability of limestone found in Fatmakuyu Neighborhood of Tufanbeyli District of Adana Province to be used as a concrete aggregate in ready-mixed concrete production was investigated. During the study, experiments and methods accepted by TSE norms were used; analyses were made to determine the chemical, mineralogical, petrographic, physical and mechanical properties of the limestones of the Fatmakuyu region. the results obtained from the analyses were compared with the TS 706 EN 12620 standards and it was concluded that there is no harm in evaluating Fatmakuyu limestones as ready-mixed concrete aggregates.

Keywords: Aggregate, Fatmakuyu/Tufanbeyli/Adana, XRF, XRD, TG, Limestone

GİRİŞ

Ülkemizde nüfusun hızı bir şekilde artması sonucu konut ihtiyacının hızlı bir şekilde arttığı; konut projeleri ile birlikte kentsel dönüşüm projeleri, otoyol, köprü ve baraj gibi büyük projelere olan taleplerin de arttığı görülmektedir. Konut ihtiyacının artması sonucunda da yapıları meydana getiren hammaddelerin ve bu hammaddelerden oluşturulan yapılar daha da önemli bir hal almaktadır. Bu husus Kahramanmaraş Elbistan ve Pazarcık merkezli 11 ilimizi etkileyen ve çok sayıda insanımızı kaybettiğimiz 06.02.2023 tarihinde ve sonrasında meydana gelen depremler sonrasında standartlara uygun malzeme kullanımının önemi acı bir şekilde anlaşılmıştır.

Bilindiği üzere, beton; çimento, ince agrega ve iri agregadan meydana gelen kompozit bir malzemedir (Nagabhushana ve Sharada, 2011). Agregada özelliklerinin bilinmesi betonun kalitesi açısından son derece önemlidir. Bu da betonun ana bileşeninin agregalar olduğunun betonun ana bileşenini oluşturan agrega miktarı da beton miktarına göre paralel bir şekilde artmaktadır (Korkanç ve Tuğrul, 2003). İnşa edilen yapıların beton bileşimine giren ve karışımın %80'ine yakın bir oranda bulunan agreganın kalitesi, direkt olarak hazırlanan beton karışımının dizaynını etkilemekte ve en az çimento kadar önemli bir bileşen olarak rol oynamaktadır.

Agregalar; beton, asfalt, demiryolu balastı, otoyol ve köprü ve benzer inşaat sektörü uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır (Langer, 2001). Bina, köprü, otoyol gibi çeşitli inşaat

sektörlerinde kullanılacak olan doğal agreganın seçiminde, bu agregaların jeolojik özelliklerinin yanı sıra bir takım fiziksel ve mekanik özelliklerinin de bilinmesi gerekmektedir. Agreganın inşaat sektöründe hangi alanda kullanılacağına fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek karar verilmelidir (Al Harti, 2001). İleriki zamanlarda oluşabilecek agrega kaynaklı sorunların önüne geçilmiş olacaktır. Özgül ağırlık, su emme, birim hacim ağırlık, parçalanma direnci, don kaybı direnci gibi özellikler kırmataş amacıyla kullanılacak olan agregalarda bilinmesi gereken temel özellikler arasında yer almaktadır (Sevdiinli, 2005).

Bu çalışmada Adana İli Tufanbeyli İlçesi sınırları içerisinde bulunan Fatmakuyu Ocağı'nda üretimi gerçekleşen malzemenin hazır beton üretiminde ki kullanım olanakları araştırılmış ve değerlendirilmiştir. Kırma taş (agrega) malzemesinin üretim maliyetinin düşük olması ve hazır beton karışımının yaklaşık %70'ine varan oranda agrega kullanılması nedeni ile agregalar hazır beton maliyetini belirleyen etmenlerin başında yer almaktadır.

İncelenen alanda yer alan malzemeler Adana İli Tufanbeyli İlçesi Fatmakuyu Mahallesi mevkiinde bulunmaktadır. Adana il merkezinin kuzeyinde kuş uçuşu olarak yaklaşık 160 km uzaklıkta Tufanbeyli ilçe merkezinin güney doğusunda ve kuş uçuşu olarak 16 km mesafede ve Fatmakuyu mahallesinin 900 m güney doğusunda yer almaktadır. 1/25000 ölçekli topoğrafik haritada Adana L36c2 paftasında yer almaktadır

Tekeli (2023)'de yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında Tufanbeyli İlçesi Fatmakuyu Mahallesi'nde oluşmuş kireçtaşlarının malzeme özelliklerinin belirlenmesinde ve yol yapımında kullanımının uygunluğunu ortaya koymuştur.

Ege ve Tonbul (2003)'de yapmış oldukları çalışmada Tufanbeyli havzası ve yakın çevresinin jeomorfolojisini incelemiş ve Toros orojenik kuşağında yer alan Tufanbeyli Havzası ve yakın çevresinde Kambriyenden günümüze kadar olan dönemlerde oluşmuş çeşitli jeolojik formasyonları saptamışlardır.

Kahraman, Kılıç ve Kılıç (2015)'de yapmış oldukları çalışmada Adana ili Saimbeyli yöresi kireçtaşlarının malzeme özelliklerini belirlemiş ve kırmataş olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yine Uçar ve Anıl (2008)'de yapmış oldukları çalışmada Tarsus Sağlıklı köyü kalker ocağı kırmataşlarını örnek olarak almış ve beton agregasının hazır beton tesislerinde kullanılma kriterlerini incelemişlerdir.

Güneyli (2010)'da yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında Adana ve çevresinde üretilen agregaların beton üretiminde kullanılabilirliklerini incelemiştir.

Kılıç ve Anıl (2002) yapmış oldukları çalışma ile Adana yöresi kireçtaşlarının yol stabilizasyonunda ve kireç üretiminde kullanımını incelemişler ve Yaşar ve Erdoğan (2003) ise Ceyhan (Adana) kireçtaşlarının agrega olarak betonda kullanılabilirliğini araştırmışlardır.

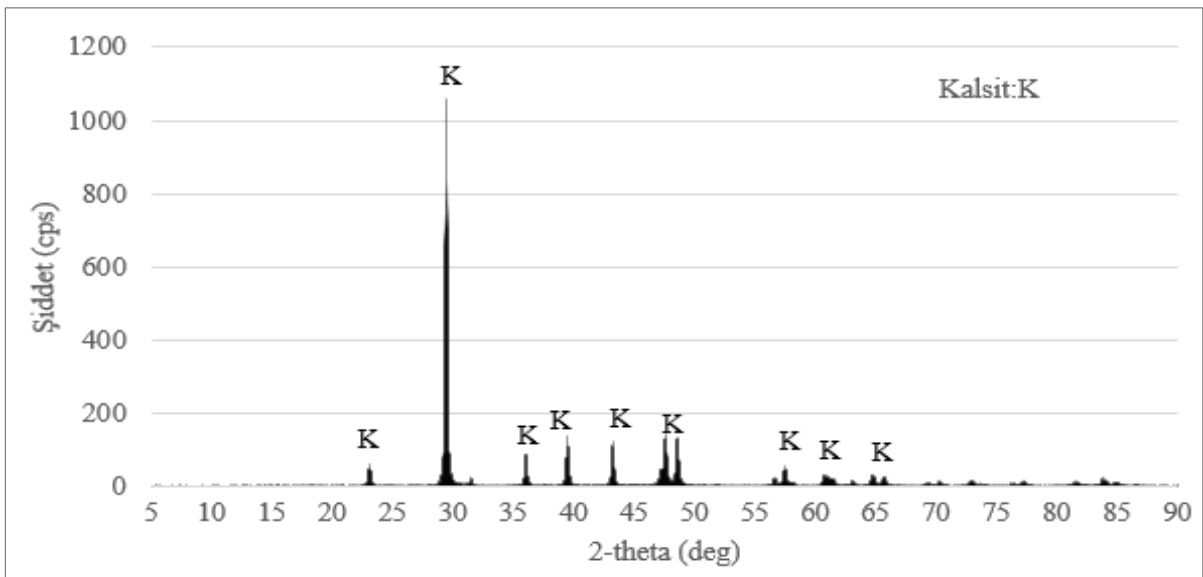
Fatmakuyu yöresinde oluşmuş malzemenin üretim kolaylığı göz önüne alındığında bu bölgede üretilecek olan hazır betonun da maliyetini önemli oranda azaltacaktır.

METOD VE BULGULAR

Fatmakuyu Mahallesi mevkiinde oluşmuş malzemelerden standartlara uygun olarak alınan numunelerin kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacı ile X-Ray Fluoresance (XRF) X-Ray Diffraction (XRD), termogravimetrik analiz yapılmıştır. Fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacı ile iri agregaların donma ve çözülme etkisine karşı direnci Los Angeles aşınma dayanım, su emme, porozite ve birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Agregada içerisindeki betonun yapısını bozabilecek unsurların tespiti için ise suda çözünen klor tayini, asitte çözünen sülfat organik madde tayini alkali-silis reaktivitesi ve ince malzemenin kalitesi, metilen mavisi deneyleri yapılmıştır. Kireç taşının yapısını daha iyi anlayabilmek için ise ince kesit alınmış ve petrografik analize tabii tutulmuştur. Çıkan sonuçlar doğrultusunda kireçtaşının hazır betonun karışımına uygun olup olmadığı belirlenmiştir.

X-Ray Diffraction (XRD)

Çalışma Sahası'ndan alınan örnekler üzerinde Rigaku Miniflex 600 model XRD cihazı ile 20 5-90° 2 derece/dk hızla çekilerek yapılmıştır. Analiz sonucu çıkan değerler Şekil 1'de verilmiş olup analiz sonucunda örneklerin yüksek oranda kalsitten oluştuğu belirlenmiştir.

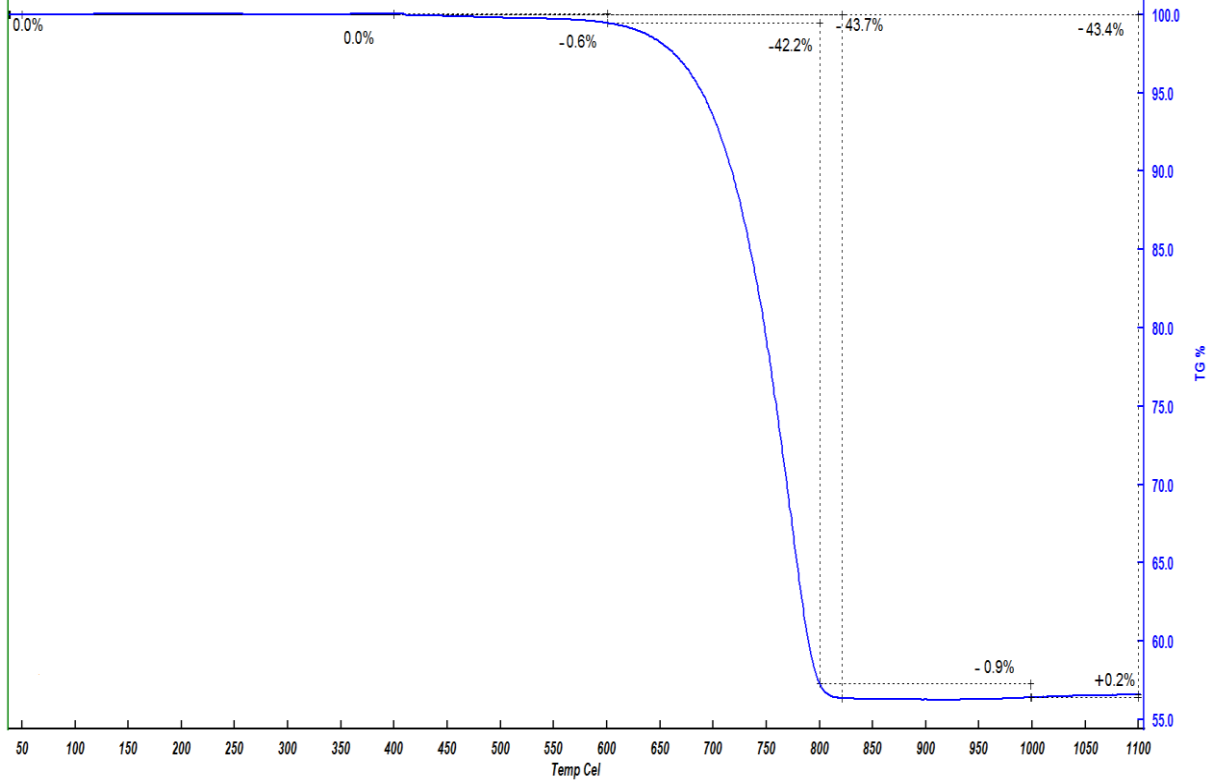


Şekil 1. Örneğin XRD Analiz Sonucu

Figure 1. The Result of XRD Analysis

Termogravimetrik (TG) Analizi

Fatmakuyu kireçtaşından alınan örneğin sıcaklık artışı sonucunda kaybettiği (%) ağırlık miktarının tespiti doğrultusunda Termogravimetrik (Thermo Gravimetric, TG) analiz yapılmıştır. -0,5 mm boyutundaki kireçtaşı numunesi etüvde 105°C 'de bekletilerek kurutulmuş ve agat havanda -63µm boyutuna öğütülmüştür. Analiz, Hitachi marka 7300 model STA cihazı kullanılarak oda sıcaklığı ile 1100 °C arasında, azot atmosferde ve 10 °C/dk ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. TG analiz eğrisi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Örneğin TG Analiz Sonucu

Figure 2. The Result of TG Analysis

TG eğrisi incelendiğinde kireçtaşı numunesinin dekompozisyonunun tek basamakta gerçekleştiği ve ağırlık kaybının %42,2 'lik kütle kaybının 600-820°C aralığında olduğu tespit edilmiştir. Oda sıcaklığı ile 1100 °C arasındaki toplam kütle kaybı ise ağırlık kaybı % 43,4 olarak belirlenmiştir.

X-Ray Fluorescence (XRF)

Fatmakuyu Mahallesi mevkiinde oluşmuş malzemelerden standartlar doğrultusunda alınan numuneler standartlar doğrultusunda azaltma işlemi gerçekleştirilmiş ve öğütülmesi sonucu analize tabii tutulmuştur.

Malzeme içeriğini belirleme amacı ile numuneye Panalytical marka X-Ray Fluoresence (XRF) cihazı yardımı ile malzeme içeriğine dair analiz yapılmış ayrıca ateşte kaybını bulabilmek amacıyla da kızdırma kaybı deneyine tabi tutulmuştur. Analiz sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Örneğin XRF ve Kızdırma Kaybı Deneyi Sonucu

Table 1. The Result of XRF and Glow Loss Experiment

Oksit	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	Cl	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CuO	Yb ₂ O ₃	Lu ₂ O ₃	KK
%	0,86	0,71	0,90	0,03	0,34	0,06	54,24	0,17	0,05	0,02	0,02	42,58

Fiziksel Özellikler

Adana Tufanbeyli Fatmakuyu mahallesinden getirilen örnekler üzerinde numunelerin birim hacim ağırlığı, su emme ve porozite değerleri TS 1097-6 ve TS 1097-7 standartlarına göre belirlenmiştir ve sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Kireçtaşına Ait Fiziksel Özellikler

Table 2. Physical Properties of Limestone

Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	Su Emme Oranı	Porozite (%)
2,66	0,74	1,599

Çizelge 2’de verilen sonuçlara göre su emme oranının ilgili standart olan TS 2513 standardına göre limit değeri olan <%1,80 sağladığı görülmüştür. Birim hacim ağırlığının >2,55 g/cm³ olduğu ve porozitelerinin Tarhan (1989)’a göre %1-2,5 aralığında olduğu için az boşluklu kayaç sınıfında olduğu değerlendirilmektedir.

İri Agregaların Donma ve Çözülme Etkisine Karşı Direnci

Deneyin ilgili standardı olan TS EN 1367-2 ‘e göre hazırlanmış ve standardın verdiği tarifler ve eşitlikteki hesaplama yöntemi ile yapılmıştır.

$$MS = 100 \times \frac{(M_1 - M_2)}{M_1}$$

M₁: Deney yapılacak olan numunenin ilk tartımı.

M₂: Deneyden sonucunda 10 mm’lik elek üstünde kalan agreganın deney sonu kütlesi.

Yapılan hesaplamalar neticesinde örneğin magnezyum sülfat don kaybı değeri %7,65 olarak hesaplanmıştır. Bulunan bu değer standartlar doğrultusunda numunenin MS18 kategorisinde olduğu tespit edilmiştir.

Los Angeles Aşınma Dayanımı

Los Angeles aşınma dayanımının tayini için ilgili standart olan TS EN 1097-2'e göre yapılmıştır ve eşitlikteki değer yardımı ile hesaplanarak aşınma kaybı değeri bulunmuştur.

$$LA = \frac{5000-m}{5000}$$

LA: Los Angeles katsayısı

m: 1,6 mm'lik elekten geçemeyen malzemenin kütlesi, g

Eşitlikteki formül ile yapılan hesaplama sonucunda numunenin LA değeri %26,1 olarak tespit edilmiştir.

Asitte Çözünen Sülfat

İlgili deney TS EN 1744-1'e göre gerçekleştirilmiş ve eşitlikte verilen hesaplama doğrultusunda sonuç bulunmuştur.

$$\text{Sülfat Muhtevası}(\%) = \frac{M_7}{M_6} \times 34,30$$

M₇: Deney numunesi ile hazırlanan karışımın kütlesi, g

M₆: Deneye tabi tutulacak kireçtaşı parçasının kütlesi, g.

Suda Çözünen Klor Tayini

Deney ilgili standart olan TS EN 1744- 1'de belirtilen şartlarda yapılarak ve eşitlik yardımı ile hesaplanarak sonuç bulunmaktadır.

$$\text{Klor Miktarı (C)} = 0,000709 \times V_7 \times W$$

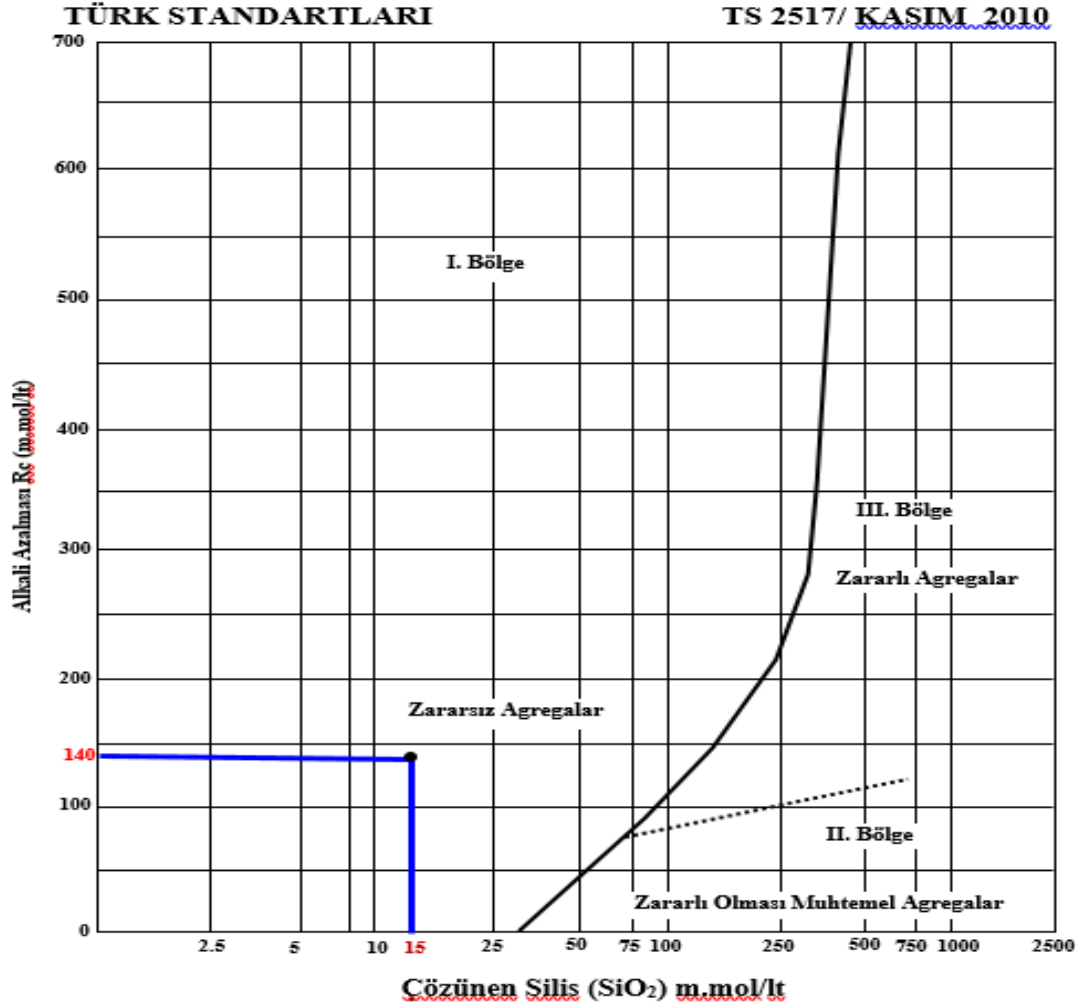
V₇: Hacimsel olarak tüketilen klor miktarı.

W: su ve agreganın kütlece oranı

Alkali-Silis Reaktivitesi

İlgili deney standardı olan TS 2517'e uygun olarak yapılmış ve inceleme sonucunda Alkali Azalması (Rc)= 140 m.mol/ltve Çözünen Silis (SiO₂)= 15 m.mol/lt olarak saptanmıştır (Şekil 3).

Standart ölçüsünde bulunan değerler Şekil 3'deki grafiğe işlenmiş olup 1. bölgede, yani "Zararsız Agregalar" bölgesinde olduğu grafik üzerinden de anlaşılmaktadır.



Şekil 3. Örneğin Alkali-Silis Reaktivitesi Sonucu

Figure 3. As a Result of Alkali-Silica Reactivity

Organik Madde Tayini

İlgili deney TS EN 1744-1'de belirtilen şartlarda yapılmış ve renkteki değişimin incelenmesi esasına dayanılarak sonucu bulunmaktadır.

TS EN 1744-1:2009+A1 İlgili standartlar ışığında deney numunelerine analizler yapılmış ve deneyler sonuçlar Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Analiz Sonuçları

Table 3. Analysis Results

Yapılan Deneş	Analiz Sonucu
Suda Çözünen Klor	0,0026
Asitte Çözünen Sülfat	0,0019
Organik Madde	YOK

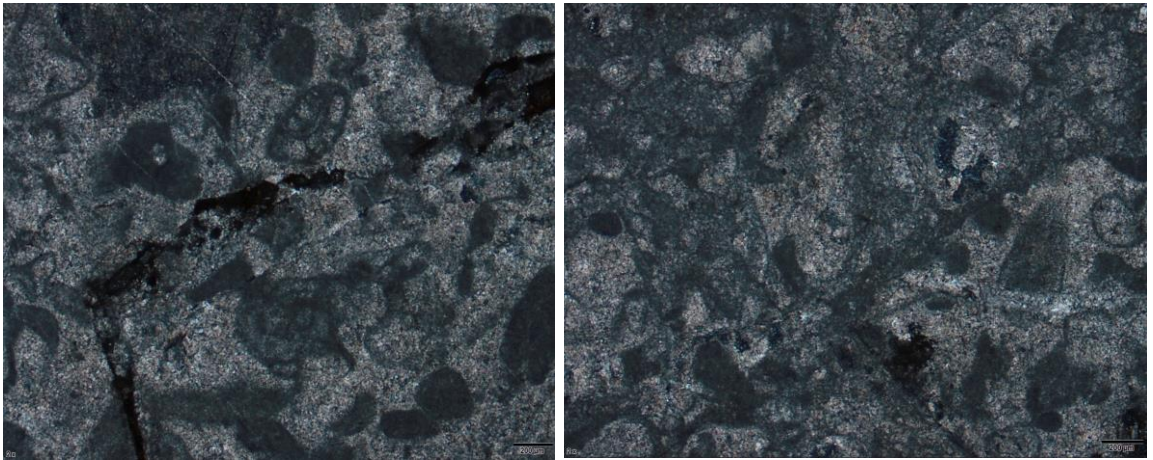
İnce Malzemenin Kalitesi, Metilen Mavisı Deneyi

Deneyin ilgili standardı olan TS EN 933-9 (2001)’e göre gerçekleştirilmiş ve MB değeri 1,5 olarak tespit edilmiştir.

Petrografik İnceleme

Petrografik İnceleme sonucunda agreganın ana kolojenezinin kalsit olduğu ve bununla birlikte tamamına yakınının mikritik boyda matriks dolgusu şeklinde olduğu görülmüştür.

Fosil Kavlıkları kısmen kalsitleşmiş farklı orjinde bol miktarda gözlemlenmiştir. İkincil çatlaklar yine mikrokalsitler ve demir oksitler ile doldurulmuştur. Bu mineral içeriğine göre kayaç ismi biyomikritik kireçtaşı olarak adlandırılmaktadır. Şekil 4’de numune ince kesit görüntüsü verilmektedir.



Şekil 4. Numune İnce Kesit Görüntüsü

Figure 4. Sample Thin Section Image

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışma için Adana İli Tufanbeyli İlçesi Fatmakuyu Yöresinde bulunan kireçtaşı numunelerinin üzerinde bir takım analizler yapılmış ve hazır beton içeriğinde bulunan agrega olarak kullanılabilirliği irdelenmiştir. Gerçekleştirilen deneylere ait sonuçlar ve istenilen standartlar toplu bir şekilde Çizelge 4’de verilmiştir.

Kimyasal analizler (XRF) sonucunda kireçtaşlarının %96,82 CaCO₃ ve %0,17 Fe₂O₃ içerdiği görülmüştür. XRD, petrografik-mineralojik inceleme ve TG analizi sonucu agreganın yüksek oranda kalsit minerallerinden oluştuğu gözlenmiştir.

Çizelge 4. Deneysel Sonuçları ile Standartların Karşılaştırılması

Table 4. Comparison of Experimental Results and Standards

Yapılan Deneysel	Standartların İstediği Sınır Değerler	Yapılan Deneysel Sonuçlar
Su Emme Oranı	≤ 3	0,74
Tane Şekli Tayini-Yassılık Endeksi	≤ 25 Fi	22 Fi
İnce Malzemenin Kalitesi, Metilen Mavisini Deneyi	≤ 1,5 gr	1,5 gr
İri Agregaların Donma ve Çözülme Etkisine Karşı Direnci	≤ %18	% 7,65
Alkali Silika Reaktivitesi	1. Bölge Zararsız Agregalar	1. Bölge Zararsız Agregalar Sınıfı
Asitte Çözünebilen Sülfatın Tayin Edilmesi	≤%0,4	%0,0019
Suda Çözünebilir Klorürün Tayin Edilmesi	<%0,01	%0,0026
Organik Maddelerin Tayin Edilmesi	Negatif	Negatif (Yok)
İri Agregaların Parçalanmaya Karşı Direnci (Los Angeles)	Beton ≤ %35	%26,1

Hazır beton kalitesini etkileyecek olan parametreler açısından incelendiğinde suda çözünen klor miktarı %0,2’den az olduğu, asitte çözünen sülfatın %1’den az olduğu, organik madde içermediğinin tespiti yapılmıştır.

Ağırlıkça su emme oranının 0,74 olduğu ve bu oranın uygun olduğu, Porozite oranına göre az boşluklu olduğu, Birim Hacim Ağırlığı değerinin uygun olduğu belirlenmiştir.

MgSO₄ don kaybı değerinin standart değerden düşük olduğu ve İnce malzemenin kalitesi (metilen mavisi) değerinin standartlar içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan çalışma neticesinde bölgedeki kireçtaşlarının; TS 706 EN 12620 standardında “Beton Agregaları”, TS 699 "Tabii Yapı Taşları Muayyene ve Deney Metotları" standartlarında istenilen özelliklere uygun olduğu ve hazır beton agregası, kullanımını için engel teşkil etmeyeceği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

Al Harthi, A. 2001. A Field of the Determined the Strength Characteristic of Crushed Aggregate. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 60:193-200.

Ege, İ., Tonbul S., 2003. Tufanbeyli Havzası ve Yakın Çevresinin (Adana) Jeomorfolojisi, Coğrafi Bilimler Dergisi, 2003, 1(2), 103-122 Adana.

Güneyli A., 2010. Adana ve Çevresinde Üretilen Agregaların Beton Üretiminde Kullanılabilirlikleri Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, s. 69

Kahraman E., Kılıç A.M., Kılıç Ö., 2015., Adana-Saimbeyli-Avcıpınarı Yöresi Kireçtaşlarının Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Değerlendirilmesi, 7.Ulusal Kırmataş Sempozyumu 5-6 Mart 2015, 293-300, İstanbul.

Kılıç, Ö., M. Anıl, “Determination of the Properties of Adana Region Limestone-Investigation of Usage of Lime Production and Highway Stabilization”, IXth International Mineral Processing Symposium, 18-20 September, Extended Abstracts, 247-249, Cappadocia, Turkey, (2002).

Korkanç, M ve Tuğrul, A. 2003. Niğde Yöresi Bazaltlarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 3-4 Aralık 2003, 99-106, İstanbul.

Langer, W., 2001. Construction Materials: Crushed Stone, Sand, and Gravel. Encyclopedia of Materials: Science and Technology (Second Edition), 1537-1545.

Nagabhushana, H. and Sharada Bai, 2011. Use of Crushed Rock Powder as Replacement of Fine Aggregate in Mortar and Concrete, Indian Journal of Science and Technology, Vol (4): 8: 917-922.

Sevdiñli, G., 2005. Ceyhan (Adana) Dolayı Yapı Taşı Potansiyelinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, s.134.

Tekeli, E. 2023., Tufanbeyli İlçesi Fatmakuyu Mahallesi Mevkiindeki Malzeme Ocağının Yol Yapımında Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, s.55.

Tarhan, F., 1989. Mühendislik Jeolojisi Prensipleri, KTÜ Yayınları, Trabzon.

TS EN 1367-2 (İngilizce Metin), 2010. Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri için Deneyler Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi, Ankara.

TS EN 1097-2 (İngilizce Metin), 2010. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini için Metotlar (Los Angeles Deney Metodu), Ankara.

TS EN 1097-6 (İngilizce Metin), 2013. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, Ankara.

TS EN 1097-7 (İngilizce Metin), 2009. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler- Bölüm 7: Dolgu (filler) Tane Yoğunluğunun Tayini - Piknometre Yöntemi, Ankara.

TS EN 1744-1:2009+A1, 2013. Agregaların Kimyasal Özellikleri için Deneyler- Bölüm 1: Kimyasal Analiz. TSE, Ankara.

TS 2517, 2010. Agregaların Potansiyel Alkali Silis Reaktifliğinin Tayini. TSE, Ankara.

TS 699, 2009. Tabii Yapı Taşları-Muayene ve Deney Metotları. TSE, Ankara.

Uçar H., Anıl M. 2008., Kırmataşların Beton Agregasında ve Hazır Beton Tesislerinde Kullanılma Kriterleri Örnek Uygulama Sağlıklı Köyü Kalker Ocağı, Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 19 (4), 20-28, Adana.

Yaşar, E., Erdoğan, Y., (2003), Ceyhan (Adana) Kireçtaşlarının Agregata olarak Betonda Kullanılabilirliği, 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 3-4 Aralık 2003., 205-211. İstanbul



Adana İlinin Depremselliği ve Deprem Üretebilecek Fayları

Seismicity of Adana Province and Faults that may Produce Earthquakes

ULVİ CAN ÜNLÜGENÇ¹ Orcid: 0000-0002-4092-7041

AHMET CAN AKINCI¹ Orcid: 0000-0002-6608-6607

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 01330, Balcalı-Sarıçam, ADANA

Geliş (received): 19/04/2024

Kabul (Accepted): 18/07/2024

ÖZ

Alp-Himalaya Dağ kuşağı üzerinde yer alan Türkiye'nin güney kesimlerinde Afrika ve Arap levhaları, milyonlarca yıldır arasında sınır oluşturan transform Ölü Deniz Fay Zonu boyunca güneyden kuzeye doğru hareket ederek Anadolu levhacığını sıkıştırılmaktadır. Bu stres 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. Afrika ve Arap levhaları arasında sınır oluşturan yaklaşık kuzey-güney uzanımlı transform nitelikli Ölü Deniz Fay Zonu'nun bir segmenti Hatay bölgesinin kuzey kesimlerinde Kıbrıs tarafından gelen suture ile Serinyol taraflarında birleşirken bu bölgede üç levhanın bir noktada kesiştiği üçlü birleşme bölgesini oluşturmaktadır. Ölü Deniz Fay Zonunun diğer bir segmenti Suriye üzerinden Karasu grabeninin güney sınırı boyunca Gaziantep ilinin batı-kuzeybatısına doğru uzanmaktadır. İlimizin yakın güney kesimlerinde yer alan bu tektonik suturlar Adana bölgesini depremsellik açısından aktif duruma getirmektedir. Adana bölgesinin sismisitesi, belirtilen bu suturlar ile birlikte Doğu Anadolu Fay Zonu, Ecemiş Fay Zonu, Hellenic-Kıbrıs yayı ve dalları gibi aktif faylar tarafından kontrol edilmektedir. Adana ili ve yakınında geçmişte depremler üretmiş ve gelecekte de üretebilecek aktif faylarımız bulunmaktadır. İlimize yakın olan yerlerdeki faylardan bazıları: Adana il merkezinin D-GD kesimindeki Yumurtaalık Fayı, Ceyhan-Karataş fayı, Misis-Yakapınar bölgesinden kuzey yönünde İmamoğlu ilçe merkezine doğru uzanan İmamoğlu (Misis-Yakapınar) Fayı, Kozan'dan güneybatıya doğru Adana Baseninin içerisinden Çatalan barajının kuzeyinden KD-GB uzanımında Mersin'e doğru uzanan Kozan Fayıdır. Bunlarla birlikte Osmaniye yakınlarında yaklaşık kuzey-güney uzanıma sahip Toprakkale ve daha kuzey kesimlerde Savrun ve Çokak fayları bulunmaktadır. Adana ili batısında yaklaşık K15-25D uzanımına sahip sol yönlü doğrultu

atımlı Ecemiş Fay Zonu yer almaktadır. Belirtilen bu faylar bölgenin depremselliğini denetleyebilecek yüzey kırıkları olup, bu çalışmada bu faylar ile ilgili bilgiler sunulmuş ve 2023 Şubat depremleri ardından genel bir değerlendirmesi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Adana, Depremsellik, Aktif faylar, Doğu Anadolu Fayı, Anadolu levhacığı

Ulvi Can ÜNLÜGENÇ ulvican@cu.edu.tr

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölümü, 01330, Balcalı- ADANA

ABSTRACT

The African and Arabian plates limited by transform Dead Sea Fault Zone, located in the southern parts of Türkiye on the Alpine-Himalayan Mountain belt, are compressing our Anatolian platelet by moving from South to North along the Dead Sea Fault Zone for millions of years. As a result of these compressions, the African Plate continues to subduct underneath Cyprus in the south-southwestern parts of Cyprus in the Mediterranean, but in the southeastern parts of Cyprus, this tectonic suture extends northeastwards to our country borders with a transform fault lineament through Latakia and Samandağ (Hatay). While a segment of the transform Dead Sea Fault Zone, which presents approximately a north-south trend and forms the border between the African and Arabian plates, merges with the suture extending from Cyprus in the northern parts of the Hatay region around the Serinyol side, it forms a triple junction zone where three plates intersect at one point in this region. Another segment of the Dead Sea Fault Zone extends through Syria, along the southern border of the Karasu graben, towards the west-northwest of Gaziantep province. These tectonic sutures located in the near southern parts of Adana province also put our region active in terms of seismicity. The seismicity of the Adana city is controlled by active faults such as the Eastern Anatolian Fault Zone, Ecemiş Fault Zone, Hellenic-Cyprus arc and its branches, along with these mentioned sutures. There are active faults in and near Adana province that have produced earthquakes in the past and may do so in the future. Some of the faults in places close to our city: Yumurtalık Fault in the E-SE part of Adana city center, Ceyhan-Karataş fault, İmamoğlu (Misis-Yakapınar) Fault, which extends from the Misis-Yakapınar region towards the İmamoğlu district to the north direction, and the Kozan Fault, which extends from Kozan to the Southwest, within the Adana Basin, from the North of the Çatalan Dam, towards Mersin in a NE-SW direction. Apart from these, there are the Toprakkale fault, which have an approximately North-south trending, near Osmaniye, and Savrun and Çökak faults in the far northern parts. In the West of Adana province, there is the left-lateral strike-slip Ecemiş Fault Zone which extends approximately N15-25E. The specified faults are surface ruptures that can control the seismicity of the region, and in this study, information regarding these faults has been presented along with a general evaluation following the February 2023 earthquakes.

Keywords: Adana city, seismicity, active faults, East Anatolian Fault Zone, Anatolian platelet.

GİRİŞ

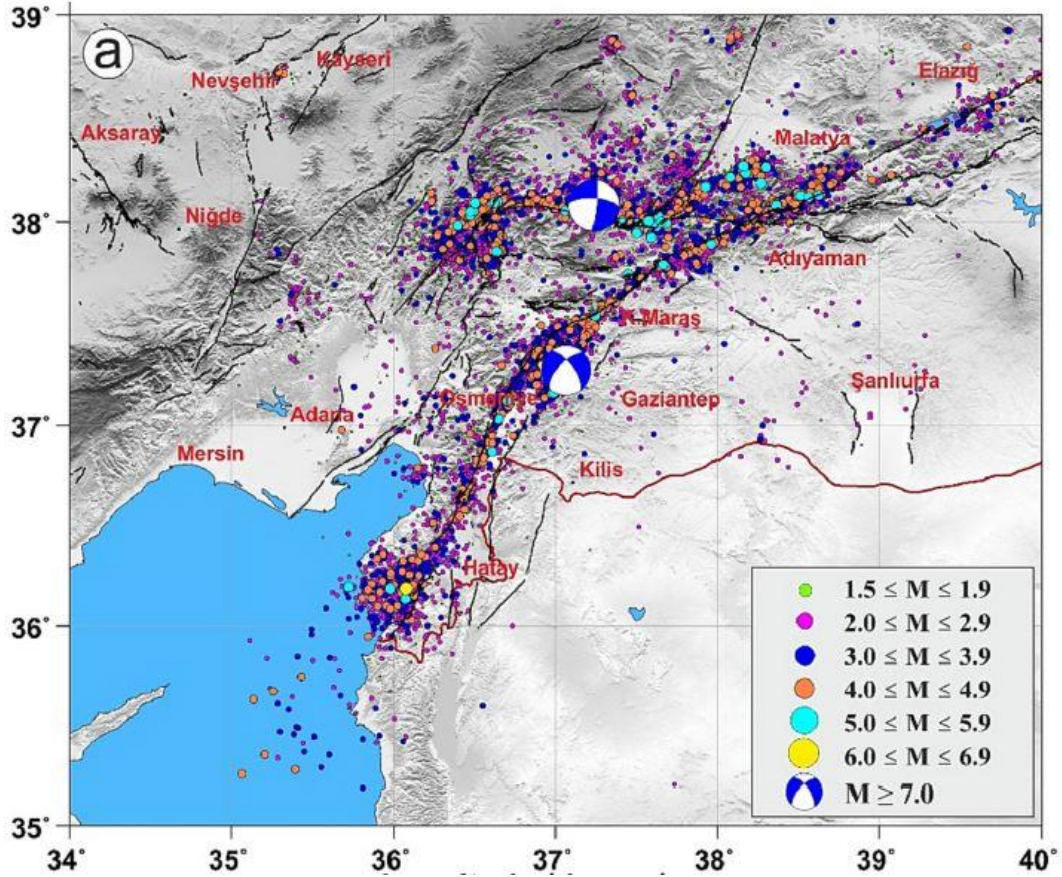
Türkiye yerküre üzerinde depremler üretebilecek aktif fay zonları ile çevrelenmiş bir coğrafya üzerinde yer almaktadır. Anadolu Bloğu, kuzeyde Avrasya, güneyde Afrika ve Arap levhaları arasında sıkışmalı/çarpışmalı tektonik rejim etkisi altında, Alp-Himalaya dağ silsilesi üzerinde yer alan bir deprem ülkesi konumundadır. Bu kompresyonel jeodinamik etkileşim sonucunda ülkemiz Kıbrıs'ın güney-güneybatı kesimleri boyunca Akdeniz'in içerisinde Afrika levhası-Anadolu levhacığı arasında (Afrika levhasının Anadolu levhası altına daldığı) bir dalma-batma olayının devam ettiği ve sismik açıdan aktif olan bir bölge tarafından sınırlanmaktadır. Kızıldeniz'den ülkemize doğru uzanan Ölüdeniz Fay Zonu Afrika ve Arap levhalarını birbirinden ayıran transform faylı bir sınırdır. Her iki levha bu transform faylı sınır boyunca göreceli hızlarla kuzeye Anadolu levhacığının yer aldığı bölgeye doğru hareket etmekte ve Anadolu Bloğunu sürekli olarak sıkıştırılmaktadır. Arap-Afrika levhaları ile Anadolu levhacığının bir araya geldiği Hatay'ın Amik Ovası (Serinyol ve yakın civarı) Ölüdeniz Fay Zonu ve Doğu Anadolu Fay Zonunun birleştiği yer sismik yönden oldukça aktif üçlü birleşme bölgesini oluşturmaktadır (Över ve Ünlügenç, 1998; Över vd., 2002, 2004a), Amik ovası (Antakya) civarında levhaların birleştiği-birbirini sıkıştırdığı bölgeyi oluşturmaktadır. Arap levhasının milyonlarca yıl boyunca kuzeye doğru olan bu hareketi neticesinde günümüzde Arap levhası-Anadolu Bloğunun sınırları boyunca kıta-kıta çarpışması gerçekleşmekte ve bu sınır boyunca depremler meydana gelmektedir. Sol Yanal Doğrultu Atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu bu uzun süreli kıta-kıta çarpışmaları nedeniyle meydana gelmiştir. Uzun yıllar boyunca bu suture boyunca biriken potansiyel enerjinin anlık olarak kinetik enerjiye dönüşmesiyle yer kabuğunda özellikle aktif olan fay zonlarında depremler oluşmaktadır. Nitekim, çok uzun yıllar boyunca birikmiş olan potansiyel enerji Amanos fayı ile paralel konumda bulunan (Amik Ovasının güney sınırını oluşturan) Ölüdeniz Fay Zonunun ülkemize uzandığı doğu kolu üzerinde episantrı Gaziantep'in 22 km batı-kuzeybatısındaki Sofalaca bölgesinde 6 Şubat 2023 tarihinde 7.8 büyüklüğünde bir depremin meydana gelmesine neden olmuştur. Bu deprem aynı bölgede Doğu Anadolu Fay Zonu boyunca dört segmentin kırılmasına neden olmuş ve aynı gün içerisinde yine Doğu Anadolu Fay Zonunun yaklaşık doğu-batı uzanımlı olan kuzey segmenti olan Sürgü-Çardak Fayı üzerinde 7.6 büyüklüğünde bir diğer depremin meydana

gelmesine neden olmuştur. Bu yıkıcı depremlerden 14 gün sonra da 20.2.2024 tarihinde Samandağ ve Antakya'da 6,3 (Mw) büyüklüğünde meydana gelen deprem Kıbrıs-Antakya Transform Fayı (CAT) üzerinde meydana gelmiş olup (Över vd., 2023), bölge ve yakın civarında birçok insanın yaşamını yitirmesine ve binaların yıkılmasına neden olmuştur (Şekil 2).

Doğu Akdeniz'de yer alan Çukurova bölgesi ve çevresi levhaların bir araya geldiği üçlü birleşme bölgesine yakın olması nedeniyle 1. ve 2. derece deprem bölgesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Bölge, majör olarak, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) Ecemiş Fay Zonu (EFZ) ve Helen-Kıbrıs Yayı (CAT; Över vd., 2004a, b) gibi önemli aktif tektonik yapılar arasında sismik açıdan etkin bir alan içerisinde yer almaktadır (Şekil 2). Dolayısı ile belirtilen bölgenin sismik aktivitesi son günlerde yaşanan büyük depremlerin oluşmasına neden olmuştur. Bu çalışmanın amacı Adana ili ve yakın çevresinde yer alan Ceyhan-Karataş, Yumurtalık, İmamoğlu (Misis), Kozan, Savrun, Saimbeyli, Osmaniye-Toprakkale fayları gibi önemli fay hatları hakkında mevcut bilgileri derleyerek 2023 Şubat depremlerinin ardından bölgenin sismisitesi açısından çok yönlü bir değerlendirmesini yapmaktır.

BÖLGEYİ ÇEVRELEYEN BAŞLICA FAYLAR VE DEPREMSELLİK

Ülkemiz tektonik konumu nedeniyle yerküre üzerinde her an depremler 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. Ülkemizi yaklaşık doğu batı yönünde boydan boya kesen yaklaşık 1550 km uzunluğundaki Sağ yanal doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı olan ve yaklaşık 560 km uzunluğundaki Sol Yanal Doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Zonları (DAFZ) boyunca Türkiye'de büyüklü-küçüklü birçok depremler meydana gelmiştir (Şekil 3). Türkiye Levhacığı (Anadolu Levhacığı-AN) kuzeyde Avrasya (EU), güneyde Afrika (AF) ve Arap (AR) levhaları arasında geç Miyosen dönemine kadar sürekli sıkıştırıldığından bir deprem ülkesi konumundadır. Bölge geç Miyosen sonrasında da transtansiyonel rejim etkisi altında bulunmaktadır (Över vd., 2002; Över vd., 2004a).

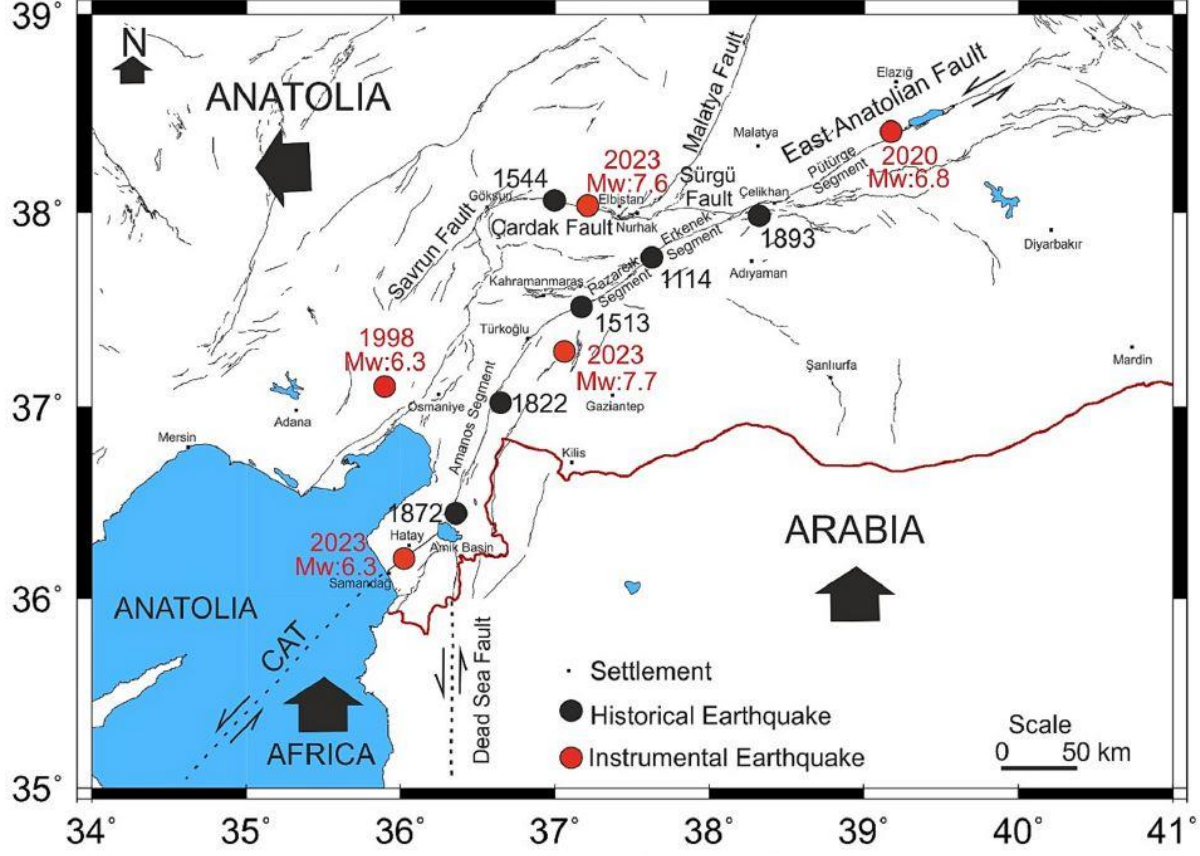


Şekil 1. 6.2.2023 depremlerinin Focal Analizi ve aktif fay zonları üzerindeki ana şok episantir lokasyonları (06-20.02.2023 arası) ve artçı deprem dağılımı (Över vd., 2023).

Figure 1. Focal Analysis of the earthquakes on 6.2.2023 and main shock epicenter locations on active fault zones (between 06-20.02.2023) and aftershock distribution (Över et al., 2023).

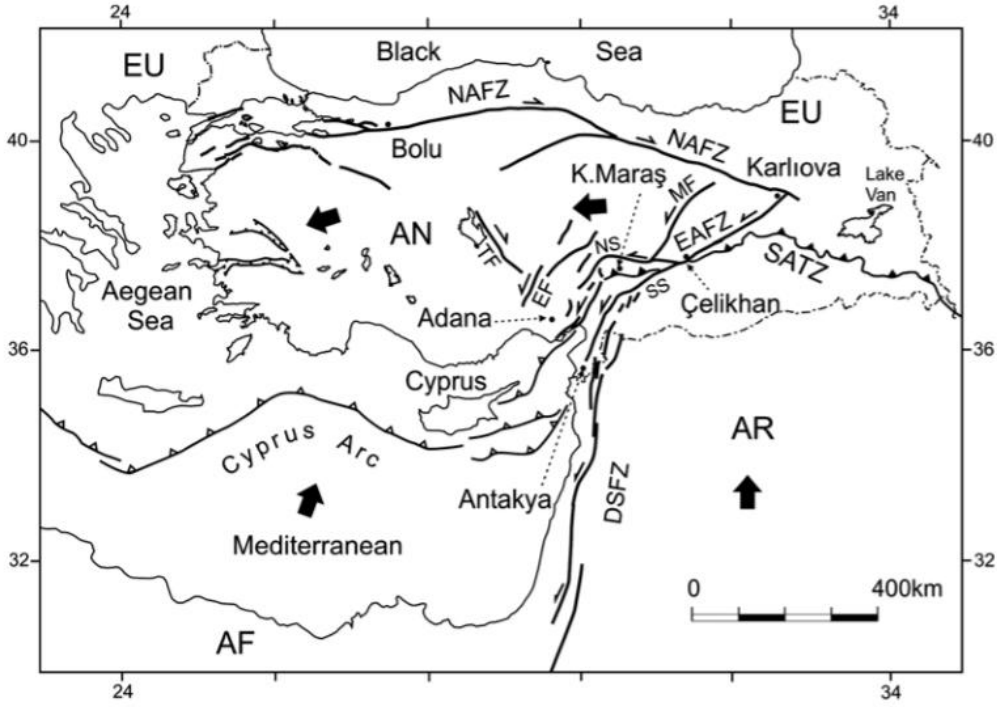
Türkiye'nin Güneydoğu kesimlerinde meydana gelen depremlerin üzerinde olduğu fay hatları uzun yıllardır birçok yer bilimci tarafından ilgi duyularak çalışılan ve farklı segmentlerle tanımlanan 560 km uzunlukta Sol yanal Doğrultu Atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)'dur. Yaklaşık 2 milyon yıl öncesinden 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; Westaway, 2004; Herece, 2008; Duman ve Emre, 2013; Akıncı ve Ünlüenç, 2023; Ünlüenç vd, 2023; Över vd., 2023). 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 uzanmakta olup, diğer bir kolu ise Karasu vadisi

güneyinden kuzeydoğu yönünde Gaziantep'e kadar uzanan Arap-Anadolu levhalarının sınırını oluşturan bir fay zonudur.



Şekil 2. Bölgede tarihsel ve aletsel dönemde meydana gelen yıkıcı depremleri gösteren harita. (Wessel and Smith, 1998; Över et al., 2023)

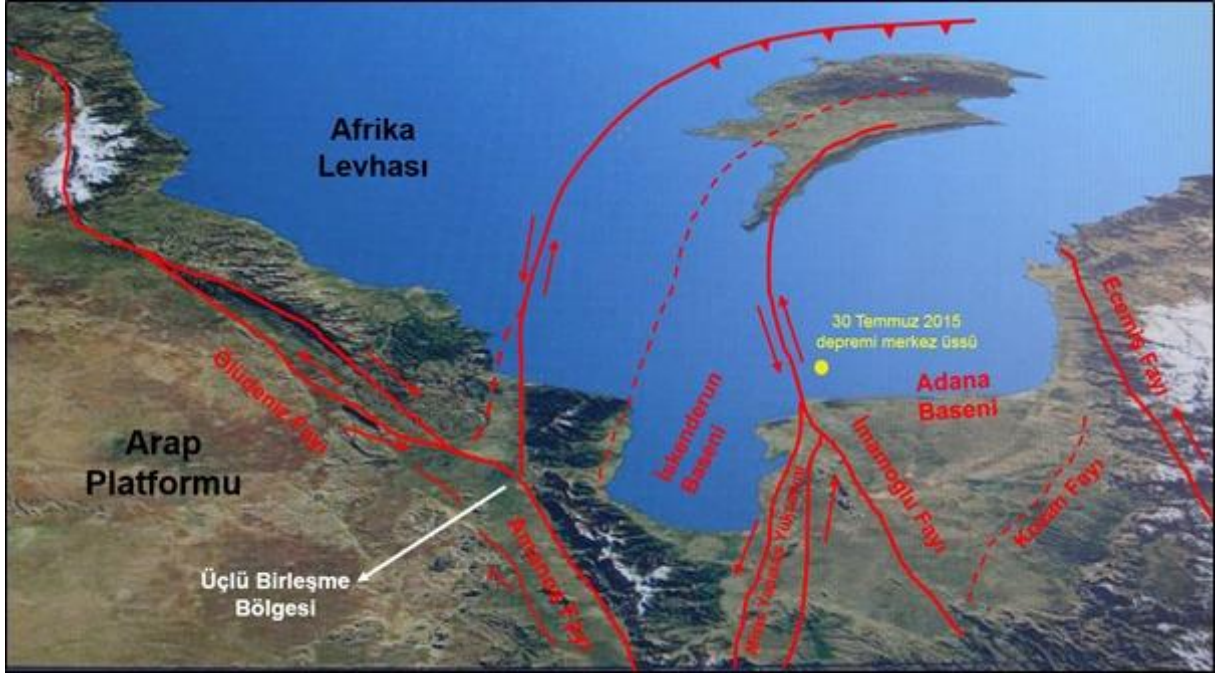
Figure 2. Map showing destructive earthquakes occurred during historical and instrumental periods in the region. (Wessel and Smith, 1998; Över et al., 2023)



Şekil 3. Türkiye'nin aktif fay hatları haritası (Duman ve Emre 2013).

Figure 3. Map of active fault lines in Turkey (Duman and Emre, 2013).

Ülkemizdeki depremlerin oluşmasına neden olan jeolojik faktör, yer kabuğu üzerinde yer alan levha ve levhacıkların kabuk üzerindeki süreklilik arz eden bağıl hareketleridir. Bu levhalar bazen birbirine doğru yaklaşır (Afro-Arap levhalarının Anadolu levhacığı sınırları), bazen birbirinden uzaklaşırlar (Kızıldeniz'in açılması gibi), bazen de levhalar birbirlerinden transform faylı sınırlar (Ölü Deniz Fayı gibi) boyunca hareket ederler. Arap ve Afrika levhaları Anadolu Blokunun güneyinde yer almakta olup, kuzeye doğru hareketleri nedeniyle Anadolu Blokunu sürekli olarak kuzeye doğru sıkıştırılmaktadır. 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 güney kesimlerinde okyanusal kabuk yapısı ile Kıbrıs'ın altına dalmaktadır (Şekil 3, 4; Ünlüenç, 1993).

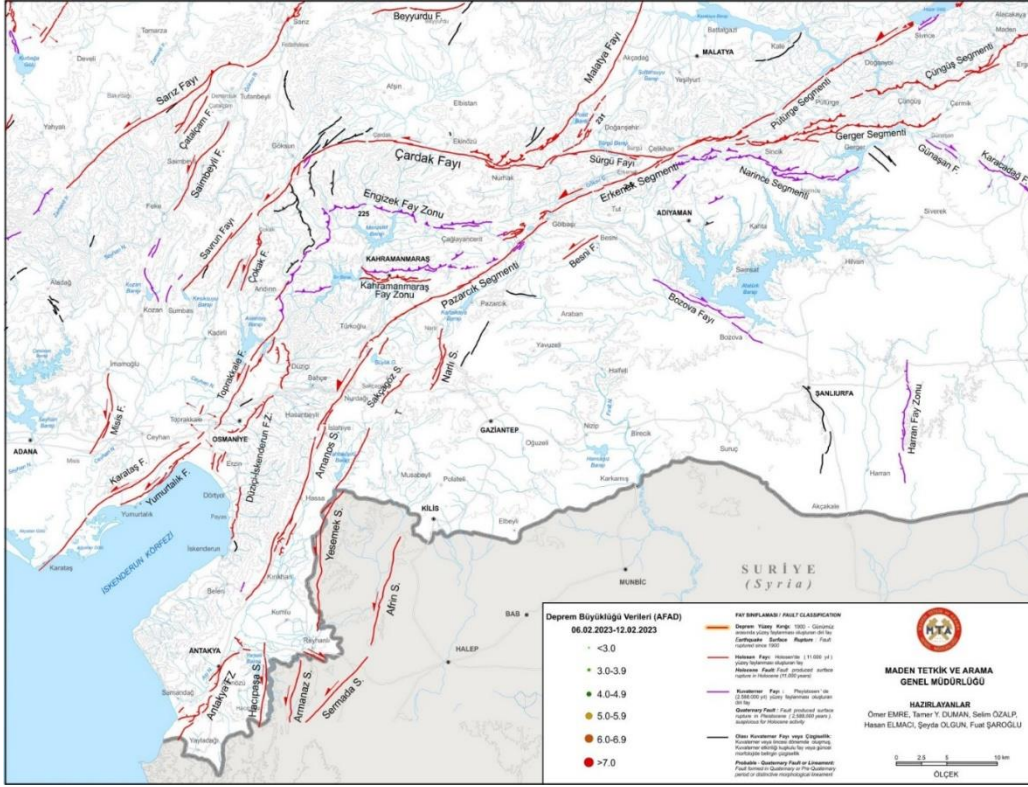


Şekil 4. Çukurova Bölgesi ve yakın civarının levha sınırlarını gösterir major tektonik hatları (Ünlügenç vd., 2011, Ünlügenç ve Akıncı, 2017, 2018, Ünlügenç vd., 2021, 2022).

Figure 4. Major tectonic lineaments showing the plate boundaries of the Çukurova Region and its vicinity (Ünlügenç et al., 2011; Ünlügenç and Akıncı, 2017, 2018; Ünlügenç et al., 2021, 2022).

ÇEVRE İLLERDEKİ AKTİF FAYLAR

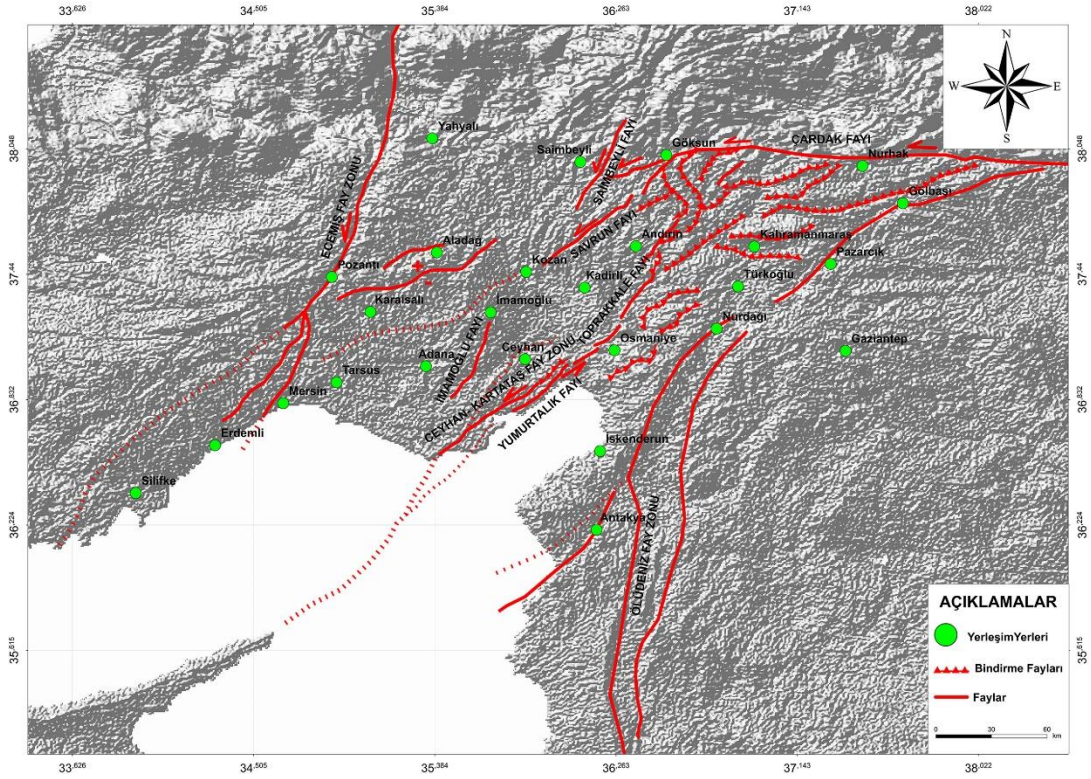
Afro-Arap levhalarının transform Ölüdeniz Fay Zonu boyunca göreceli hızlarla sürekli kuzeye doğru hareketleri, kuzeyindeki Anadolu Bloku arasında depremlerin oluşmasına olanak sağlayan aktif faylarla sınırlanan sismikçe aktif tektonik bir zon oluşturmuştur. Yılda yaklaşık 1,8-2 cm kuzey yönlü bir hareket yaparak Afrika levhasından transform Ölüdeniz Fayı boyunca 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 batıya doğru (20-25 mm/yıl) hareket etmektedir (Westaway, 2004; Herece, 2008; Duman, ve Emre, 2013; Menekşe, 2016; Emre, ve diğ, 2016).



Şekil 5. GD Anadolu Bölgesindeki Aktif Fay Zonlarını gösterir harita (Emre ve diğ., 2013).

Figure 5. Map showing the active fault zones in the Southeastern Anatolia Region (Emre et al., 2013).

Afro-Arap levhalarının sürekli olarak kuzeye doğru 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 değerlendirilmiştir (Şaroğlu vd., 1992; Duman ve Emre 2013; Ünlügenç vd., 2023; Över vd., 2002, 2004a, 2023). Bölgede son yaşanan depremler, Ölüdeniz Fay Zonu'nun Türkiye sınırlarına ulaştığı kesimlerde Yesemek segmentinin kuzey ucunda (Gaziantep'in BKB'sı), Sol yanal doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Zonunun daha çok orta ve güney kesimlerindeki segmentlerinde (Amanos, Pazarcık, Gölbaşı, Erkenek), kuzey kol üzerindeki Sürgü-Çardak Fay segmenti üzerinde meydana gelmiştir (Şekil 5, 6).



Şekil 6. İnceleme bölgesindeki aktif fayların geometrileri (Ünlüenç ve diğ., 2023).

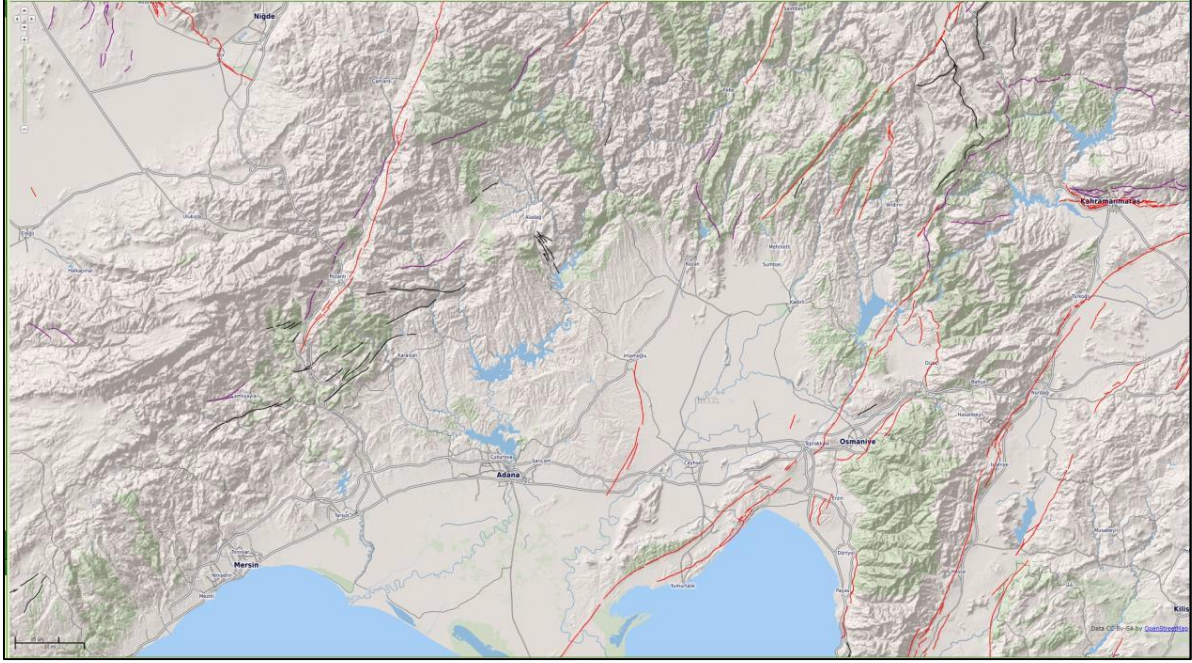
Figure 6. Geometries of the active faults in the study area (Ünlüenç et al., 2023).

ADANA BÖLGESİ CİVARINDAKİ FAYLAR

Doğu Akdeniz’de yer alan Çukurova bölgesi ve çevresi, depremler üretebilecek 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 bölgedeki sismik aktiviteler son günlerde yaşadığımız büyük depremlerin oluşmasını sağlamıştır.

Adana ili ve yakınında ise geçmişte depremler üretmiş ve gelecekte de üretebilecek nitelikte aktif fayları barındırmaktadır. Bunların başlıcaları; Adana şehir merkezinin D-GD’unda bulunan Ceyhan-Karataş fayı, Yumurtalık Fayı, Misis-Yakapınar bölgesinden kuzey yönünde İmamoğlu ilçe merkezine doğru uzanan İmamoğlu (Misis-Yakapınar) Fayı, Kozan bölgesinden Adana Baseninin içerisinden 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 ile Adana havzasını batıda sınırlayan Sol yanal doğrultu atımlı Ecemiş Fay Zonu bulunmaktadır (Şekil 5). Bu faylar bölgenin depremselliği ve tektonik konumu açısından büyük önem arz etmektedir (Şekil 6).



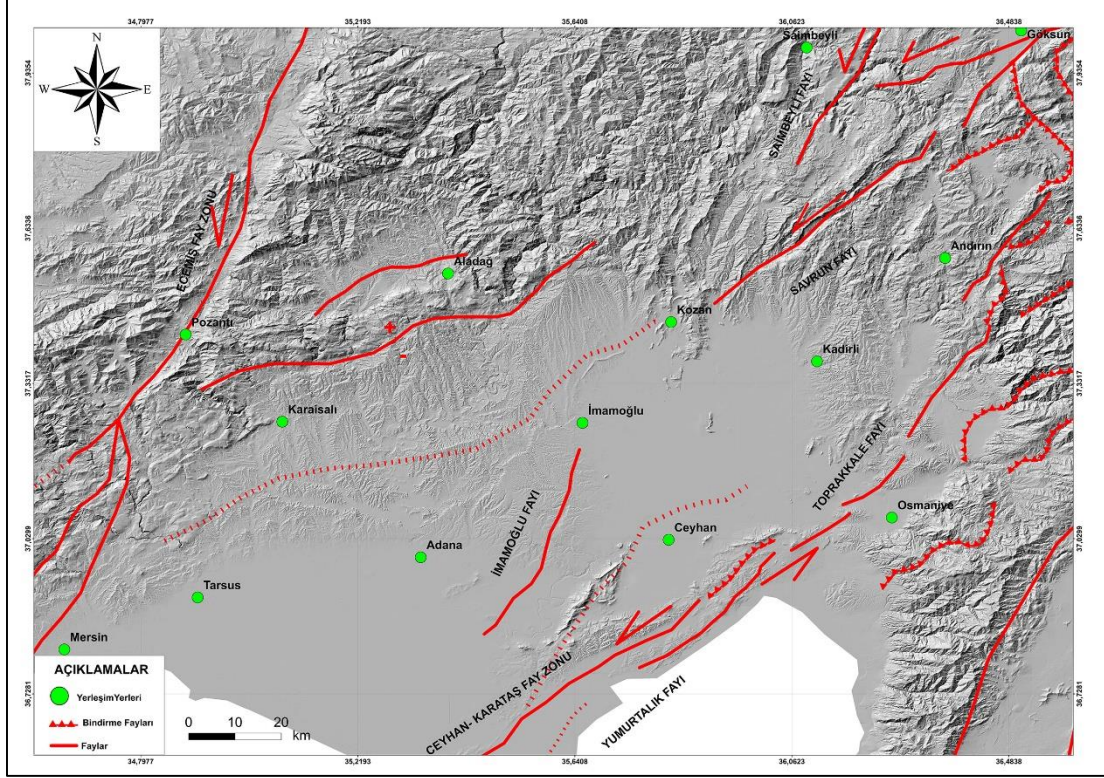
Şekil 7. Çukurova Bölgesindeki önemli Aktif fay hatlarının kabartma uydu fotoğrafı üzerindeki konumları.

Figure 7. Locations of significant active fault lines in the Çukurova Region on a relief satellite image.

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 7). 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 profillerinin incelenmesi ve yorumu ile elde edilebilmektedir. İmamoğlu (Misis-Yakapınar) fayının ters bileşenli sol yanal doğrultu atımlı bir fay olduğu görülmektedir (Ünlüenç, 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 bir deprem meydana gelmiştir. Ayrıca, 27 Haziran 1998 yılında Adana'da meydana gelen ölümlere ve yıkımlara da neden olan 6.3 büyüklüğündeki "Adana depremi" de bu fay hattı üzerinde meydana gelmiştir.



Şekil 8. Adana ili civarındaki aktif faylar (Ünlüenç ve diğ., 2023).

Figure 8. Active faults in the vicinity of Adana Province (Ünlüenç et al., 2023).

Ceyhan-Karataş Fayı

Ceyhan-Karataş Fayı, yenilenmiş Türkiye Diri Fay Haritasına göre İskenderun Körfezi kuzeyinde K40°D uzanımlıdır. Doğuda Osmaniye ile batıda Karataş ilçesi arasında parçalı olarak yaklaşık 64 km boyunca izlenebilen fay, ters atım bileşenli sol yanal doğrultu atım karakterindedir. Fayın kuzey bloğu morfolojik olarak daha yukarıda bulunmaktadır. Karataş fayının doğudaki 16 km'lik kısmı Erken-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. Karataş yöresinde Akdeniz'e ulaşan fay, deniz tabanından güneybatı yönünde Kıbrıs'a doğru devam etmektedir. 3 Ocak 1994'te Kurtkulağı Mb= 5.0 ile 30 Temmuz 2015'te Tuzla Açıkları-Adana (Akdeniz) merkez

üssünde yerel saat ile 01:00'de aletsel büyüklüğü Kandilli rasathanesi tarafından $M_l=5.2$ 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 7).

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-İmraniye arasında, 24,5 km'lik bölümünde çok belirgin olan fay, morfolojik olarak çok belirgin olup, kıyıya paralel olarak uzanır (Şekil 7). Bu bölümde, K50D uzanımlı 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).

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 $K33^\circ D$ 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 7, 8). Yaklaşık 20 km uzunluktaki kuzey bölüm çoğunlukla Geç Miyosen yaşlı kırıntılı çökelleri kesmekte olup, yer yer de bu çökellerle Erken Maestrihtiyen-Geç 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 9).



Şekil 9. Adana-Osmaniye illeri ve yakın çevresinin Deprem Tehlike Kaynakları (Kara vd., 2020).

Figure 9. Earthquake hazard sources in Adana-Osmaniye provinces and their vicinity (Kara et al., 2020).

Ecemiş Fay Zonu

Orta Toroslar ile Doğu Toroslar arasında sınır oluşturan Sol Yanal Doğrultu Atımlı Ecemiş Fay Zonu, Adana havzasının kuzeybatı-batı sınırını oluşturmaktadır 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 10). 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. 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.



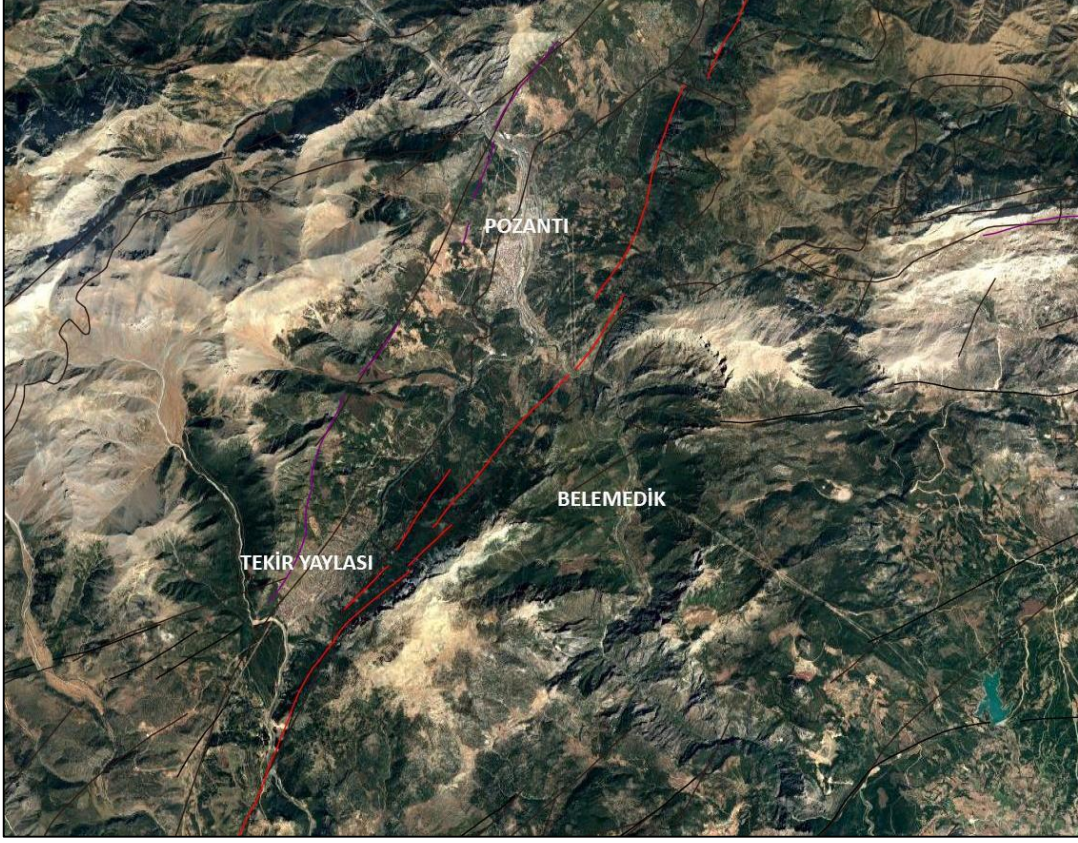
Şekil 10. Sol yönlü doğrultu atımlı Toprakkale fayının ve daha doğudaki İskenderun-Düziçi Fay hattının uzanımını gösterir eşyükseleti haritası (MTA harita arşivinden).

Figure 10. Contour map showing the extent of the left-lateral strike-slip Toprakkale fault and the Iskenderun-Düziçi fault line to the east (from MTA map archives).

Savrun ve Kozan fayları

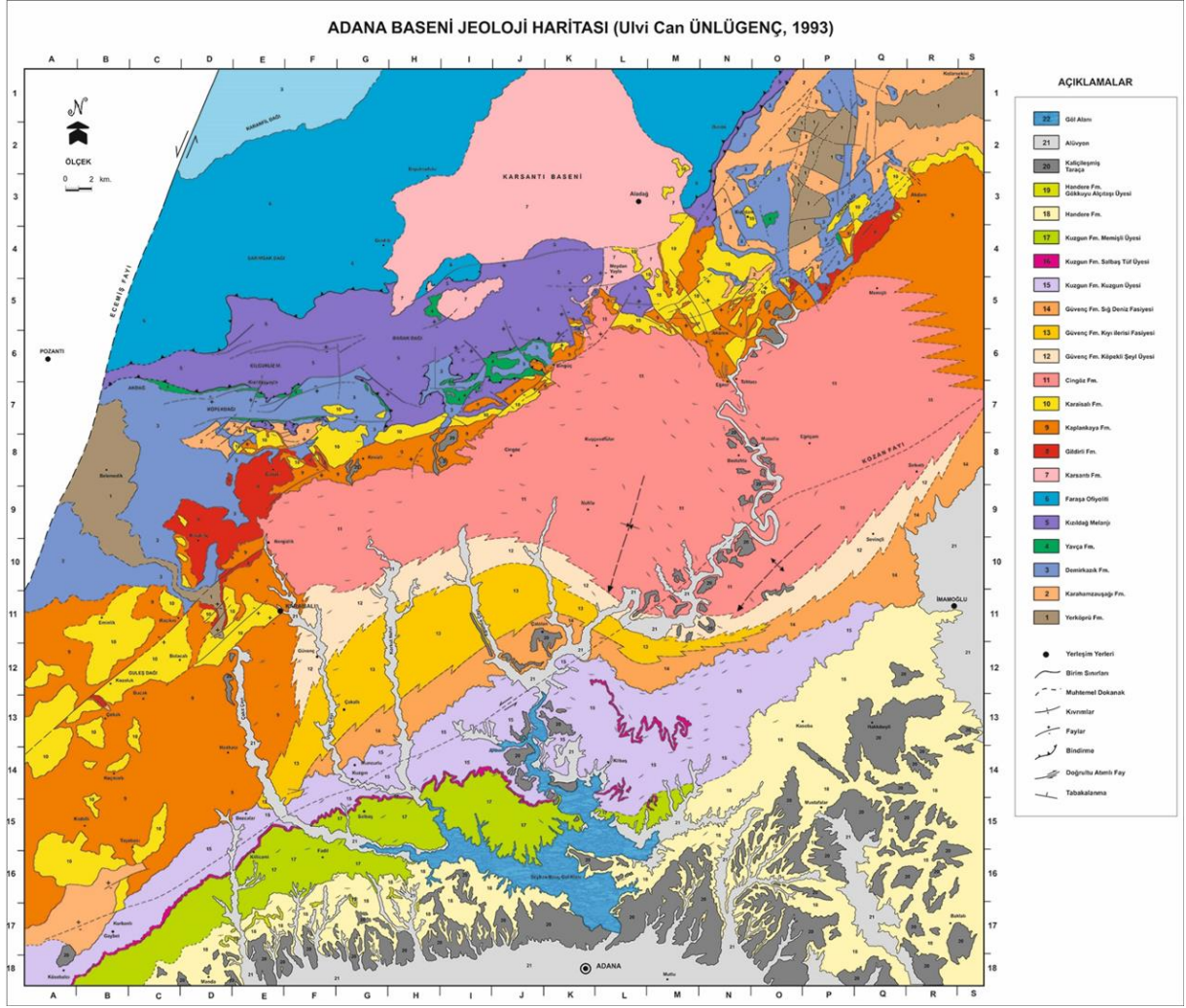
Savrun ve Kozan Fayları Perinçek vd. (1987) tarafından KD-GB gidişli normal faylar olarak tanımlanmaktadır. Doyuran vd. (1989) hem Savrun hem de Kozan faylarının toplam uzunluğunun 200 km olduğu ileri sürmektedir. Kozan fayının Savrun Fay Zonu'nun güneybatı uzantısı olduğu (Şekil 7, 11) ve Savrun bölgesinin Arap levhasının kuzey kenarındaki bir kenet zonu boyunca oluşan ve neotektonik dönemde yeniden aktifleşen eski bir zayıflık zonu olduğu belirtilmektedir (Pampal, 1984; 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 (Ünlüenç, 1993). 6 Şubat depremleri ardından Adana yöresinin sismisitesi için oldukça tartışmalı hale gelen Savrun Fayı için bazı çalışmacılar (Prof. Dr.

Süleyman Pampal, Prof. Dr. Cenk Yaltrak) sosyal medya üzerinden aktif olduğunu gösteren herhangi bir veri elde etmediklerini belirtirken güncellenen diri fay haritasında (MTA) halen aktif (Holosen Fayı) olarak görülmektedir.



Şekil 11. Ecemiş Fayı'nın Pozantı, Belemelik ve Tekir civarındaki uzanımının uydu fotoğrafı üzerindeki görünümü (Ünlüenç ve Akıncı, 2019).

Figure 11. Satellite image showing the extent of the Ecemiş Fault in the vicinity of Pozantı, Belemelik, and Tekir (Ünlüenç and Akıncı, 2019).



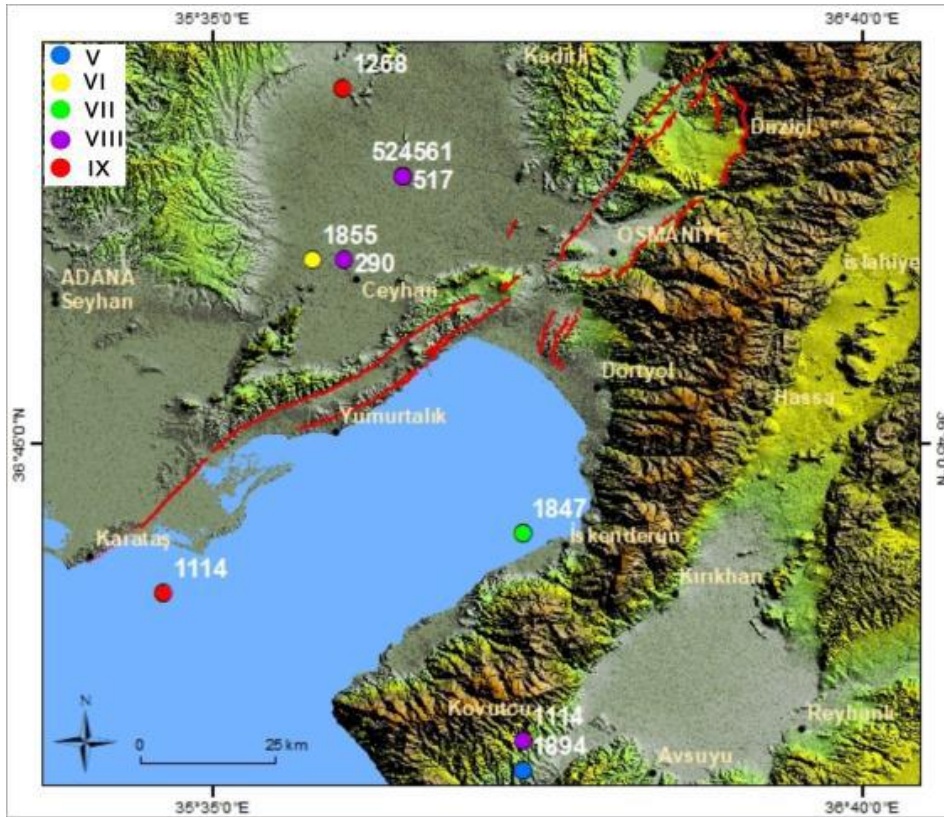
Şekil 12. Adana Havzasının Jeoloji haritası ve Kozan Fayının havza içerisindeki konumu (Ünlüenç, 1993).

Figure 12. Geological map of the Adana Basin and the location of the Kozan Fault within the basin (Ünlüenç, 1993).

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 12, 13). 1114 ve 1268 yıllarında meydana gelen IX şiddetindeki depremler Çukurova bölgesindeki ilk önemli deprem kayıtlarındandır. 1500-1800 yılları arasındaki dönemde Tarsus-Antakya-Halep ekseninde sıklıkla meydana gelen, hasar yapıcı depremler 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.

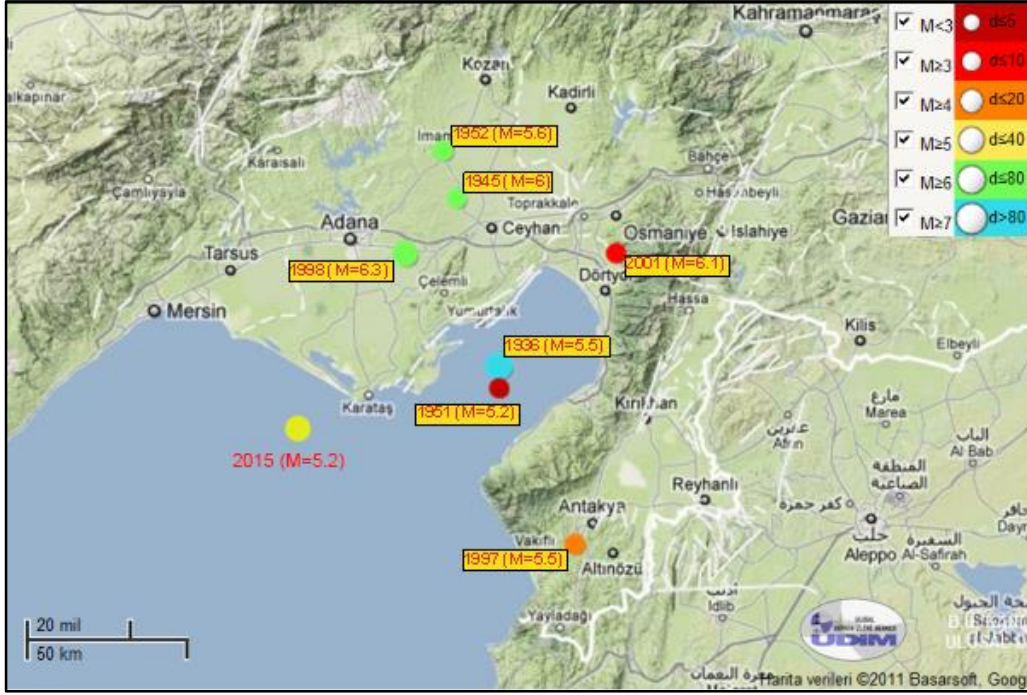


Şekil 13. Çukurova bölgesinde meydana gelen tarihsel depremleri gösterir harita (Soysal vd., 1981).

Figure 13. Map showing historical earthquakes in the Çukurova region (Soysal et al., 1981).

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, 7). 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 12).

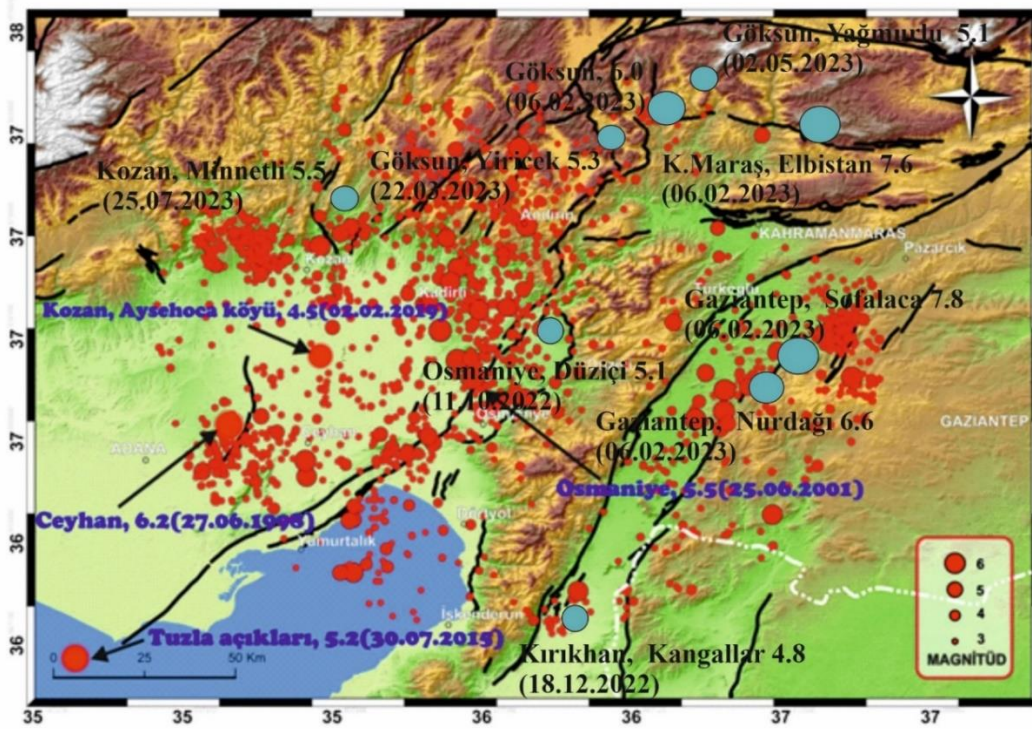


Şekil 14. Çukurova bölgesi ve yakın çevresinde aletsel dönemde meydana gelmiş önemli depremler (B.Ü., Kandilli Rasathanesi, Deprem Araştırma Merkezi (2011).

Figure 14. Significant earthquakes recorded during the instrumental period in the Çukurova region and its vicinity (B.Ü., Kandilli Rasathanesi, Deprem Araştırma Merkezi, 2011).

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 12). Daha sonra, 1998 yılında da 6.3 büyüklüğündeki Adana-Ceyhan depremi bu fay üzerinde meydana gelmiş ve Çukurova bölgesinde yıkıcı hasara neden olmuştur (Şekil 13, 14). 1997 yılında Hatay'da meydana gelen 5.7 büyüklüğündeki deprem ve 2001 yılında Dörtöy (Hatay)'da meydana gelen 5.4 büyüklüğündeki deprem, 2001 yılında Osmaniye'de meydana gelen 6.1 büyüklüğündeki deprem, 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. 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 14). 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-Kösepinarı 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 5.1 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.



Şekil 15. Bölgede 1998-2023 yılları arasında 4 büyüklüğünün üzerinde meydana gelen deprem episantırlarının işaretlendiği harita (Ünlügenç ve diğ., 2023).

Figure 15. Map indicating the epicenters of earthquakes with magnitude greater than 4 that occurred between 1998 and 2023 in the region (Ünlügenç et al., 2023).

SONUÇLAR

Levhaların bir araya geldiği üçlü birleşme bölgesine yakın-komşu olması nedeniyle, Çukurova bölgesi ve çevresi büyük depremler üretebilecek önemli aktif faylarını kapsamaktadır. Çukurova bölgesinin sismisitesi, belirtilen bu süturlar ile birlikte Doğu Anadolu Fay Sistemi, Ecemiş Fay Zonu, Hellenic-Kıbrıs yayı ve dalları gibi ana aktif yapılar tarafından kontrol edilmektedir. 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 uzanımına sahip Toprakkale Fayı ve Adana batısında yaklaşık K15-20D uzanımına sahip sol yönlü doğrultu atımlı Ecemiş Fayı'dır (Orta Anadolu Fayı). Burada, Ceyhan-Karataş, Yumurtalık, İmamoğlu, Toprakkale faylarının bazı kesimlerinde ters bileşenli sol yönlü atıma sahip oldukları dikkat çekmektedir. Özellikle Adana kentine çok yakın bir konumda yer alan İmamoğlu fayı, birkaç on yılda önemli depremler üretmiştir. Güneydeki Karataş ve Yumurtalık fayları Doğu Anadolu fayının en GD uzanımı niteliğinde ve Akdeniz kıyı şeridinde paralele yakın bir uzanımla deniz altından GB yönünde devam etmektedir. Ecemiş fayı ise Gülek-Pozantı-Elekgölü koridoru 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 güneye (Akdeniz'e doğru) ve güneybatıya (Bolkar Dağları güney kesimleri) doğru segmentlerinin bulunduğunu sahasal olarak destekleyen yerel mostralara bulunmakla beraber detay çalışılması gereken önemli bir husustur. Bu Fay zonu uzun süredir suskun olarak bölgede yer almaktadır. 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. Sonuç olarak bölgedeki bahse konu bu fay zonlarının ve risklerinin daha iyi anlaşılabilmesi için daha fazla sahasal, sismik (jeofizik) ve paleosismolojik çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmalar yürütülürken yeni ve mevcut yapı stoğunun da depreme dirençli bir standarta getirilmesi için gerekli çalışmaların yapılması büyük önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

- Akıncı, A. C., Ünlüenç, U.C., 2023. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri: Sahadan Jeolojik Veriler, Değerlendirme ve Adana için Etkileri. *Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38(2), ss. 553-569, Adana.
- 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.
- Herece, E., 2008. Doğu Anadolu Fayı (DAF) Atlası. General Directorate of Mineral Research and Exploration. Special Publications, Ankara, Serial Number, 13, 359.
- Kara, M., Ünlüenç, 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.

- Över S, Ünlüenç 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.
- Över, S., Ünlüenç, U.C., Bellier, O., 2002. Quaternary stress regime change in the Hatay region (SE Turkey). *Geophys. J. Int.* 148, 1–14.
- Över, S., Özden, S., Ünlüenç, U.C., 2004a. Late Cenozoic stress distribution along the Misis Range in the Anatolian, Arabian, and African plate intersection region, SE Turkey. *TECTONICS*, Vol. 23, TC3008, doi:10.1029/2002TC001455, 2004.
- Över, S., Kavak, K.S., Bellier, O., Özden, S., 2004b. Is the Amik Basin (SE-Turkey) a Triple Junction Area? Analyses of SPOT XS Imagery and Seismicity. *Int. J. Remote Sens.* 25 (19), 3857–3872.
- Över, S., Demirci, A., Özden, S., 2023. Tectonic implications of the February 2023 Earthquakes (Mw7.7, 7.6 and 6.3) in south-eastern Türkiye. *Tectonophysics* 866 (2023) 230058
- 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., Kolçak, D., Altınok 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.
- Ünlüenç, 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.
- Ünlüenç, U.C., Akıncı, A.C., Güneyli, H., 2011. Çukurova Basen Kompleksinin Tektonik Elementleri, *ATAG 15*, 19-22 Ekim 2011, s 6., Adana.
- Ünlüenç, U. C., Akıncı, A. C., 2017. Kızıldere-Güveloğlu (Ceyhan-Adana) Civarının Tektono-Stratigrafisi, *Çukurova Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 32(2):85-99, Adana.
- Ünlüenç, 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.
- Ünlüenç, U.C., Akıncı, A.C., 2019. Çukurova Bölgesinde Deprem Üreten (Aktif) Fayların Geometrilerinin Belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, Bireysel Araştırma Projesi Proje No: FBA-2017-8064.
- Ünlüenç, 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.
- Ünlüenç, U.C., Akıncı, A.C., Öçgün, A.G., 2023. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş- Gaziantep Depremleri; Adana İli ve Yakın Kesimlerine Yansımaları. *Yerbilimleri (Geosound)*, Haziran, 2023, Sayı: 57, s. 1-41, Adana.
- Ünlüenç, U.C., Türkmen, S., Çetin, H., Güneyli, H., Nurlu, N., Akıncı, A. C., 2023. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri (Mw 7,8- Mw 7,6) Değerlendirme ve Saha Gözlem Raporu, Çukurova Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, https://jeoloji.cu.edu.tr/storage/Duyurular/cu_deprem23.pdf

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.

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.

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>.