

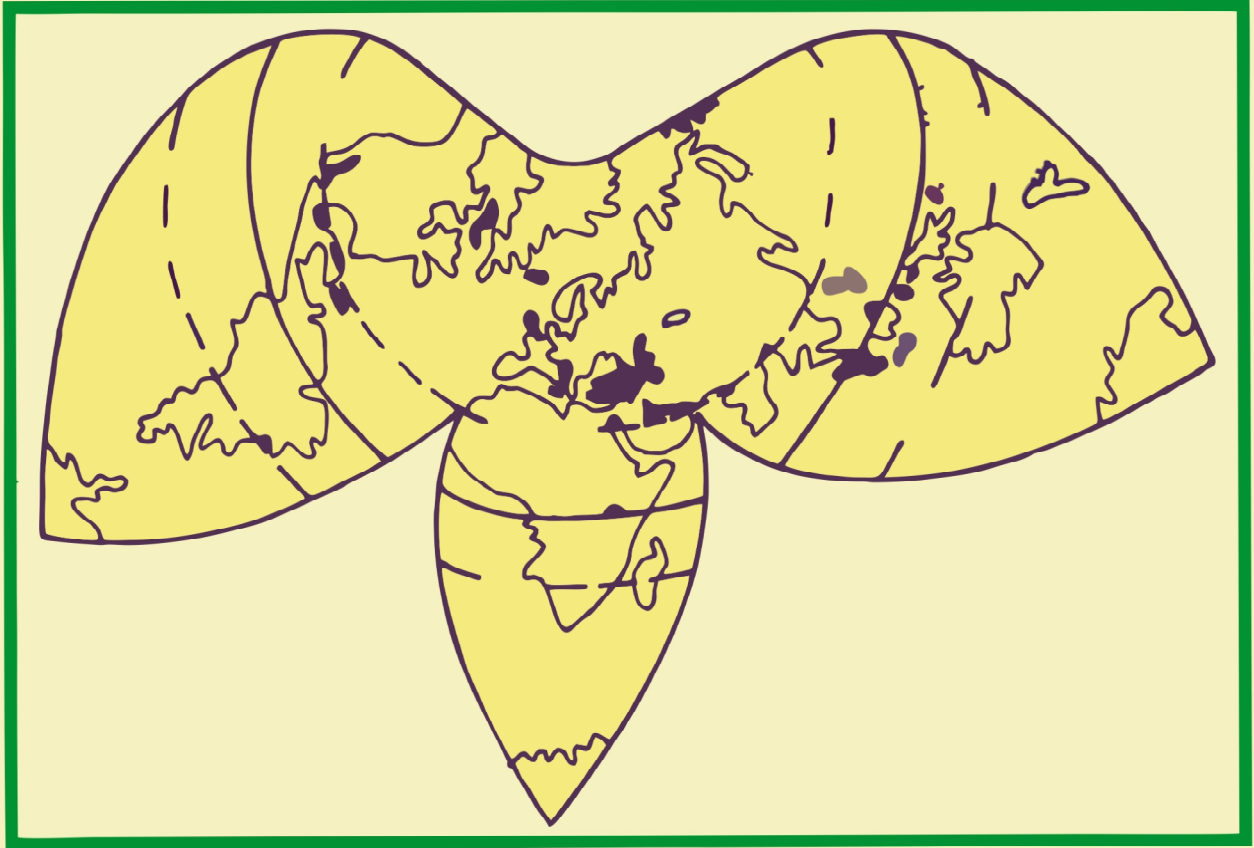


GEOSOUND



YERBİLİMLERİ

**Science and Technology
Online Bulletin on Earth Science**



SAYI
NUMBER **56**

ARALIK
DECEMBER
2022



Boksit Madeni ve Çevre Sağlığı Üzerine Etkileri

Bauxite Mine and Its Effect on Environmental Health

GÜLLÜ KIRAT¹ ORCID 0000-0002-1167-0574

SERPİL SAVCI² ORCID 0000-0003-2015-2223

¹ Yozgat Bozok üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği bölümü, Yozgat/Türkiye

² Yozgat Bozok üniversitesi, Şehir ve Bölge planlama bölümü, Yozgat/Türkiye

Geliş (received): 09/09/2022

Kabul (Accepted): 20/12/2022

ÖZ

Alüminyum (Al), yerkabuğunda silisyum ve oksijenden sonra en bol bulunan üçüncü ve reaktif bir element elementtir. Dünyadaki Al ana kaynağı boksit yatakları olup, metalik alüminyumun %99'unu karşılamaktadır. Yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, yüksek korozyon direnci ve düşük yoğunluğundan dolayı, endüstride demirden (Fe) den sonra en fazla kullanılan metaldir. Kırmızıdan kahverengine kadar değişen boksit mineralleri, doğal olarak oluşan heterojen bir mineraldir ve başlıca alümina, gibsit, bohemit ve dijaspor olmak üzere bir ya da daha fazla alüminyum hidroksit mineralinden oluşmaktadır. Ayrışma süreci, çeşitli magmatik, sedimanter ve metamorfik kayaçların milyonlarca yıl boyunca tropikal ve subtropikal iklimlere maruz kalmasını içermektedir. Boksit yatakları, yüksek miktarda alüminyum ve alüminyum oksit içerdiğinden ve kolay işlenebilir olmasından dolayı alüminyumun kaynağıdır. Kimya, inşaat, ulaştırma, gıda, elektrik, makine, yüksek alüminalı ateş tuğlaları, demir – çelik üretiminde, zımpara kağıdı ve zımpara taşı malzemelerinde üretiminde kullanılmaktadır. Çeşitli madencilik süreçleri, hem madencilik faaliyetleri sırasında hem de maden kapatıldıktan sonraki yıllar boyunca çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Madencilik faaliyetleri, makine ve ekipmanın ürettiği ses, patlatma işlemi, delme, kazma ve kırma, gürültü, ısı, nem, ultraviyole radyasyon ve radyoaktif maddeler gibi sorunlara maruz bırakabilir. Madencilik faaliyetlerinin çevresel sorunları arasında su, toz ve sızıntı nedeniyle toprak kirliliği yer almaktadır. Madencilik işlemi sırasında atık ürünler toprağa emildiği için toprak kirliliği veya toprak kirlenmesi meydana gelmektedir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum (Al), boksit yatakları, toprak kirliliği, madencilik

GÜLLÜ KIRAT, gullu.kirat@yobu.edu.tr

ABSTRACT

Aluminum (Al) is the third most abundant and reactive element in the earth's crust after silicon and oxygen. The main source of Al in the world is bauxite deposits, which supplies 99% of metallic aluminum. Due to its high thermal and electrical conductivity, high corrosion resistance and low density, it is the most used metal in industry after iron (Fe). Bauxite minerals ranging from red to brown is a naturally occurring heterogeneous mineral and consists of one or more aluminum hydroxide minerals, mainly alumina, gibbsite, bohemite and diaspor. The weathering process involves the exposure of various igneous, sedimentary and metamorphic rocks to tropical and subtropical climates over millions of years. Bauxite deposits are the source of aluminum because they contain high amounts of aluminum and aluminum oxide and are easily processed. It is used in the production of chemistry, construction, transportation, food, electricity, machinery, high alumina fire bricks, iron - steel production, sandpaper and grinding stone materials. Various mining processes have adverse effects on the environment, both during mining operations and for years after the mine is closed. Mining activities can expose you to problems such as noise produced by machinery and equipment, blasting, drilling, digging and breaking, noise, heat, humidity, ultraviolet radiation and radioactive materials. Environmental problems of mining activities include soil pollution due to water, dust and leakage. Soil pollution or soil contamination occurs as waste products are absorbed into the soil during the mining process.

Key Words: Aluminum (Al), bauxite deposits, soil pollution, mining.

1. GİRİŞ

Alüminyum (Al), yerkabuğunun ağırlıkça %7'den fazlasını temsil eden ve silisyum ve oksijenden sonra en bol bulunan üçüncü elementtir. Alüminyum oldukça reaktif bir element olduğu için çoğunlukla oksitlenmiş halde bulunur element halinde bulunmaz (IAI, 2008). Üretim açısından boksit yatakları, dünyadaki alüminyumun ana kaynağıdır ve metalik alüminyumun %99'unu meydana getirir (IAI, 2008; IAI, 2014). Feldispatlar da dahil olmak üzere yaklaşık 250 farklı mineral alüminyum içerir, ancak bunlardan Al elde edilmesi boksite kıyasla pahalıdır ve yüksek enerji gerektirir (Donoghue vd., 2014). Boksit ilk olarak Fransa'daki Les Baux kasabası yakınlarında bulundu ve adını bu kasabadan aldı. Boksit, alüminyum üretiminde öncü olan alüminanın (Al_2O_3) ana cevheridir (IAI, 2014; Lee vd., 2017).

Yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, yüksek korozyon direnci, düşük yoğunluğu ve mekanik özelliklerden dolayı, endüstride demirden (Fe) den sonra gelen metaldir (Gülfen, 1996).

Tarih öncesi çağlardan beri boksit, sosyal, ekonomik ve endüstriyel gelişme ile bağlantılı olan topraktan çıkarılmıştır. Çeşitli madencilik süreçleri, hem madencilik faaliyetleri sırasında hem de maden kapatıldıktan sonraki yıllar boyunca çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Madencilğin çevre üzerindeki etkisini ölçmek için öncelikle alanın mevcut çevre kalitesinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Tüm çevresel boyutlar belirli bir madencilik faaliyetinden önemli ölçüde etkilenmeyebileceğinden; madencilik faaliyetinin onlar üzerindeki etkisini analiz etmek için, ayrıntılı olarak çalışmak için ilgili boyutları belirlemek gereklidir. Bu nedenle çevredeki son değişiklikler, madencilğin çevre üzerindeki etkisinin değerlendirilmesinin önemini artırmıştır (Kamble ve Bhosale, 2019).

Boksit madencilğinden kaynaklanan çevre kirliliği sadece doğrudan kirlilik nedeniyle değil, aynı zamanda kısa ve uzun vadeli zararları nedeniyle de bir endişe kaynağı olmaya başlamıştır. (Lee vd., 2017). Madencilik ve minerallerin işlenmesi çevre kirliliğine neden olmaktadır. Ayrıca her maden, yol, elektrik, demiryolu bağlantıları, su boru hatları ve maden işleme tesisi gerektirir. Madencilik ve maden işlemenin kimyasal etkileri, arazinin bozulmasından daha az olabilir, ancak genellikle daha tehlikeli ve uzun ömürlüdür. Madenlerin işletilmesi belirli çevre standartlarına uygun olmalıdır ve madencilik projelerinde, zemin ıslahı yöntemleri, bitki örtüsü, iklim, hava ve su üzerindeki olası her etkiyi kapsayan çevresel bir etki beyanı içermelidir (Kamble ve Bhosale, 2019).

Bu çalışma, boksit madeni ve bu madenin çevre sağlığı üzerindeki etkisine ilişkin bir literatür çalışmasıdır.

2. METOD

Bu literatür çalışması için Google Scholar, PubMed ve diğer araştırma sitelerinde boksit, boksitin jeolojisi ve özellikleri, boksitin oluşumu ve bulunuşu, boksitin çevresel etkilerine ilişkin ilgili anahtar kelimeler kullanılmıştır.

3. BOKSİT YATAKLARI

Kırmızımsı kahverengi renge sahip olan boksit, doğal olarak oluşan heterojen bir mineraldir ve başlıca alümina (Al_2O_3), gibsit [$\text{Al}(\text{OH})_3$], bohemit [$\gamma\text{-AlO}(\text{OH})$] ve dijaspor [$\alpha\text{-AlO}(\text{OH})$] olmak üzere bir ya da daha fazla alüminyum hidroksit mineralinden oluşmaktadır (Mitchell vd., 1961; Schulte, and Foley, 2014; Lee vd., 2017). Ayrıca boksite hematit [Fe_2O_3], götit [$\text{FeO}(\text{OH})$], kuvars [SiO_2], rutil/anataz [TiO_2], kaolinit [$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$] gibi diğer bileşikler de eser miktarda eşlik eder (Mitchell vd., 1961; Gülfen, 1996; Lee vd., 2017). Ayrıca, boksitte bulunan eser elementler arasında arsenik, berilyum, kadmiyum, krom, kurşun, manganez, civa, nikel ve uranyum ve toryum gibi doğal olarak oluşan radyoaktif maddelerde bulunur (IAI, 2014). Boksit dışında alternatif alüminyum kaynakları arasında kaolin kili, petrol şeyli, kömür atıkları ve anortosit mineralleri bulunmaktadır. Ancak boksit rezervleri yüksek olmasına rağmen, ekonomik olarak ucuzdur (Mitchell vd., 1961; Lee vd., 2017).

Tablo 1. Ülkemizde bilinen boksit yatakları [5]. (Gülfen, 1996)

Bölgesi	Boksit türü	Rezerv ($\times 10^3$ ton)	% Al_2O_3	% SiO_2
Seydişehir	Böhmitik	27.296	52-56	5-10
Antalya-Akseki	Böhmitik	15.229	50-62	4-10
Antalya-Alanva	Diasporitik	9.007	45-60	8-20
Adana-Saimbeyli	Diasporitik	11.500	50-52	8-11
Zoguldak-Kokaksu	Böhmitik	9.280	41-51	8-18
Mersin-Ayrancı-Bolkardağ	Diasporitik	3.930	55-58	3-8
Hatay-Payas	Demirli	69.720	18-30	15-24
Gaziantep-İslahiye	Demirli	145.800	30-46	9-22
İsparta-Yalvaç	Demirli-Diasporitik	115.585	30-40	17-25
Muğla-Milas-Bafa	Diasporitik	16.708	45-60	4-8
Muğla-Milas-Yatağan	Diasporitik	6.005	45-58	4-10

Boksit, düşük demir ve silis ana kayacının ayrışma ürünü olarak oluşur (Mitchell vd., 1961; IAI, 2008). Ayrışma süreci, çeşitli magmatik, sedimanter ve metamorfik kayaların milyonlarca yıl boyunca tropikal ve subtropikal iklimlere maruz kalmasını içermektedir ((Mitchell vd., 1961; IAI, 2014; Lee vd., 2017).

Ülkemiz toplam dünya rezervinin %1.24'üne sahip olup, toplam 430 milyon ton boksit rezervine sahiptir (Gülfen, 1996). Ülkemizde bilinen boksit yatakları; Seydişehir, Akseki, Alanya, Saimbeyli, Bolkardağ, Zonguldak, Islahiye, Payas, Yalvaç, Bafa ve Yatağan boksitleri bilinen yataklar olup, Kân ve Sebilköyü boksitleri jeolojik olarak bilinen zuhurlardır (Tablo 1) (Göksu, 1953).

Dünyadaki boksit kaynaklarının yüzde doksanı tropikal bölgelerde bulunurken, diğer enlemlerde kalanlar jeolojik geçmişlerinde uzun süreli hava koşullarına maruz kalmışlardır (IAI, 2014). Orta ve Güney Amerika'da, özellikle Brezilya, Gine ve Avustralya'da büyük boksit rezervleri bulunmaktadır. (IAI, 2014; Lee vd., 2017).). Malezya'da boksit kaynakları ağırlıklı olarak Sabah'ta Bukit Mengkabau ve Labuk Vadisi, Johor'da Sungai Rengit ve Teluk Ramunia, ve Pahang'da Bukit Goh'da bulunmaktadır (PK., 2004; Lee vd., 2017).

Gine, yaklaşık olarak 15.3 milyar metrik ton ile dünyanın en büyük boksit rezervlerine ev sahipliği yapmaktadır (Mosier, 1986b). Avustralya, Queensland'deki Weipa boksit yatağındaki Adoom madeninde, yaklaşık olarak 3.2 milyar ton toplam cevher bulunmaktadır (Taylor vd., 2008). Güney Amerika'daki önemli boksit yatakları arasında Pitinga, Tucuruí, Paragominos, Porto Trombetas, Cataguases ve Poço de Caldas bulunmaktadır (Bárdossy ve Aleva, 1990; Boulangé ve Carvalho, 1997; Valetton ve diğerleri, 1997; Schulte ve Foley, 2014).

4. BOKSİT MİNERALLERİ

4.1. Alümina

Doğada saf kristal halinde bulunabilen alümina korund olarak adlandırılır. Alüminyum oksit ise, sentetik alümina kristalleri olup, alümina ismi kullanılmaktadır (Clausev ve Brady, 1991).Saf alüminanın rengi beyaz olup, içerdiği eser miktardaki elementlere göre farklı renklerde bulunmaktadır. Mavi renkli olan safir ve kırmızı renkli olan yakut olarak

isimlendirilmektedir (Alp, 1990; Terem, 1965). Kuvars, hematit ve manyetit içeren türlerine ise, zımpara taşı adı verilmiştir (Alp, 1990; Gülfen, 1996; Lee vd., 2017).

Alüminyum (Al) metali, modern endüstrinin en fazla ihtiyaç duyduğu metaldir. Teknolojinin gelişmesiyle kullanım miktarı ve çeşitliliği artan Al'a olan ihtiyacın artacağı tahmin edilmektedir. Bazı teknik özelliklerine göre, alüminyum gibi değerliliği yüksek olan alümina (Al_2O_3); biyo-medikal malzemeler, aşındırıcılar, boya, katalizör, dolgu maddesi, refrakter malzeme, yalıtım malzemesi ve saflaştırma sistemleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Erdemoğlu vd., 2018).

Alüminanın günümüzde teknolojik ve fiziksel özelliklerinden, yüksek Al tenörüne sahip olmaları, doğada yaygın bir olarak bulunmaları, madencilik yöntemlerinin ucuz ve kolay olması, daha basit zenginleştirme ve hazırlama işlemleri gerektirmelerinden dolayı kil mineralleri, alümina üretimi için en bol bulunan boksit dışı kaynaklar olarak görülmektedir. Kil minerallerinden alümina üretimi için geliştirilmiş Asit Liç Süreci bazı özelliklerinden dolayı, alümina üretiminde en fazla kullanılan bir yöntemdir (Erdemoğlu vd., 2018).

4.2. Gibsit

Toprağımsı, gri, yeşilimsi, beyaz ve az da olsa turkuaz renkte ve yarı şeffaf bir mineraldir (Şekil 1). Mohs sertlik skalasında 3.0-3.5, özgül ağırlığı 2.3-3.4 g/cm³ arasında değişen ve kostik çözünme sıcaklığı yaklaşık olarak 100°C'dir (Alp vd., 2008; Gök, 2019).

Al bakımından zengin nefelin, feldspat veya korund minerallerinin bozunmasıyla oluşan sekonder bir mineraldir, ancak magmatik kayaların hidrotermal alterasyonu ile oluştuğu düşünülmektedir (Aydoğanlı, vd., 1982; Gülfen, 1996). (Alp, 1990; Gülfen, 1996; Schulte ve Foley, 2014; Lee vd., 2017).

Gibsitler ($Al(OH)_3$) genellikle, yüksek yağış ve sızıntı, sıcak ve nemli bölgelerde ayrılmış kayalardan oluşmaktadır (Mutakyahwa vd., 2003). Yüzeysel oluşumlarda gibsitin yaygın bir şekilde bulunması, uzun süreli yüksek yoğunluklu bozunma süreçlerinin etkisine bağlıdır (Tchakoute vd., 2015). Topraklarda bulunan gibsit bolluğu ve tropik ortamlardaki ayrışma ürünleri, gelişmiş toprakların karakteristiği olan ileri ayrışma aşamalarının bir göstergesidir

[25]. Gipsit, ayrışmanın son ürünü olarak kabul edilmektedir (Vazquez, 1981). Bu nedenle, değişken basınç, pH ve sıcaklık koşullarında sulu gipsit mineralinin incelenmesi, gipsit/alüminohidroksit içeren suların dinamik süreçlerini ve dolaşımını anlamak için çok önemlidir (Funakawa vd., 2008; Huang vd., 2002; Ali ve Padmanabhan, 2017).



Şekil 1. Farklı renklerdeki gipsit minarelleri [20, 29]. (Anonim, 2019b; Gök, 2019).

4.3. Böhmit

Kırmızı kahverengi ve grimsi kahverengi renklerde bulunan (Şekil 2), sertliği 3.5-4.0 ve özgül ağırlığı 3.0-3.2 g/cm³ ve kostik çözünme sıcaklığı yaklaşık olarak 250°C'dir. Bu mineral Akdeniz bölgesinde yaygın bir şekilde bulunmaktadır ve gipsitin dehidratasyonu sırasında ara ürün şeklinde meydana gelmiştir (Gülfen, 1996; Alp vd., 2008; Gök, 2019).

4.4. Diaspor

Diaspor ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), böhmitin hafif metamorfizma ve diyajenezi ile meydana gelmiştir. Yeşil, kahverengi, sarı, leylak, beyaz ve toprak renginden griye kadar değişen renklerde olup, şeffaf veya yarı şeffaf bir mineraldir (Şekil 3). Özgül ağırlığı 3.3-3.5 g/cm³ ve sertliği 6.5-7.0

ve çözünme sıcaklığı yaklaşık olarak 260°C'dir. Kalsine edildiğinde aşındırıcı olarak ve refrakter tuğla üretiminde kullanılmaktadır (Alp vd., 2008; Gök, 2019; Gülfen, 1996).



Şekil 2. Farklı renklerdeki böhmīt minarelleri [20, 30]. (Anonim, 2019c; Gök, 2019).

5. BOKSİTİN ÖZELLİKLERİ

Çoğu kırmızı çamur, kaba kum ve ince parçacıklardan oluşur. İşlenen hammaddeye bağlı olarak, üç ton boksitten yaklaşık bir ton alümina, iki ton alüminadan bir ton alüminyum üretilmektedir. Alüminyum cevherinin kimyasal bileşimde alüminyum, oksijen ve silikatın hakim olduğu gipsit, Bohemite ve diaspora mineralleri ile daha az miktarda götit, hematit, kalonit ve kuvars gibi minerallerden oluşmaktadır (Hao vd., 2010). Gipsit, esas olarak tropikal bölgelerdeki büyük lateritik tip tortularda bulunan bir alüminyum trihidroksittir. Ekonomik açıdan önemli alüminyum boksit cevherinin üç bileşenli minerallerinden biri olup, bayerit, nordstandit ve doyleit gibi üç polimorf içermektedir (Kloprogge vd., 2002). Bohemite veya alüminyum oksit hidroksit, özellikle Çin ve Avrupa ülkelerinde birçok boksit yatağında yaygın olarak bulunan bir alümina monohidrattır (Plunkert, 2000). Boksit yataklarına bağlı olarak fiziksel özellikler birbirinden farklı olabilir. Boksitin kırmızı ve kahverengi renginin başlıca nedeni, demirin en bol bulunduğu hematit ve götittir. Birçok boksit mineralinin yerinde özgül

ağırlığı 1.5 ile 2.4 arasında değişmektedir, ancak bazıları 3.7'ye kadar çıkabilmektedir (Geoffrey vd., 2013; Feisal vd., 2019).

6. BOKSİTLERİN KULLANIM ALANLARI

Boksit yatakları, yüksek miktarda alüminyum ve alüminyum oksit içerdiğinden ve kolay işlenebilir olmasından dolayı alüminyumun kaynağıdır. Endüstriyel olarak boksit yataklarından saf alüminyum oksit ve elektrolitik indirgenme ile alüminyum metali elde edilmektedir. Metalik alüminyum kimya, inşaat, ulaştırma, gıda, elektrik, elektronik ve makine gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Gülfen, 1996).

Saf alümina kullanımının dışında yüksek alüminalı ateş tuğlaları, sentetik mullit, döküm sanayiinde, demir – çelik üretiminde, monolit çimentoda, fırın tuğlasında harç malzemesi şeklinde kullanılmaktadır (Demirci, 1988). (Sertliği yüksek diasporitik boksitler zımpara kağıdı ve zımpara taşı malzemelerinde üretiminde kullanılmaktadır (Gülfen, 1996).

7. BOKSİT MADENCİLİĞİNİN ÇEVRE SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİSİ

Madencilik faaliyetleri gürültü, ısı, nem gibi fiziksel ve kimyasal tehlikelere, ultraviyole radyasyon ve radyoaktif maddeler gibi ergonomik sorunlara maruz bırakabilir. Makine ve ekipmanın ürettiği ses, patlatma işlemi, delme işlemi, kazma ve kırma işlemlerinden insan kulağını etkileyebilecek gürültü potansiyel olarak sağlığa zararlıdır. Madencilik faaliyetlerinin çevresel sorunları arasında su, toz ve sızıntı nedeniyle toprak kirliliği yer almaktadır. Madencilik işlemi sırasında atık ürünler toprağa emildiği için toprak kirliliği veya toprak kirlenmesi meydana gelmektedir. Toprağın dengesiz pH'ı, tahrip olmuş tarım ürünleri veya güvensiz mahsuller dahil olmak üzere tarımsal faaliyetleri etkileyecek ve sonunda ekonomik sorunlara yol açacaktır. Alüminyum hidroksit, demir oksit ve ağır metaller içeren kirli su sağlığımıza zarar verebilir. Alüminyum bir nöro-toksindir ve Alzheimer ve kemik hastalıklarıyla bağlantılıdır. Bu arada, boksit içindeki demir oksit, potansiyel olarak kronik alımda aşırı demir yüklenmesine neden olarak gastrointestinal semptomlara, karaciğer

hastalığına, kardiyomiyopatilere, diyabete ve hiperpigmentasyona neden olabilir (Lee vd., 2017; Rosli vd., 2021).

8. SONUÇLAR

Alüminyum (Al), yerkabuğunun ağırlıkça %7'den fazlasını temsil etmektedir. Alüminyum oldukça reaktif bir element olduğu için çoğunlukla oksitlenmiş halde bulunur element halinde bulunmaz. Üretim açısından boksit yatakları, dünyadaki alüminyumun ana kaynağıdır. Boksit yatakları yüksek miktarda alüminyum ve alüminyum oksit içerdiğinden ve kolay işlenebilir olmasından dolayı alüminyumun kaynağıdır. Metalik alüminyum kimya, inşaat, ulaştırma, gıda, elektrik, elektronik ve makine gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Saf alümina kullanımının dışında yüksek alüminalı ateş tuğlaları, sentetik mullit, döküm sanayiinde, demir - çelik üretiminde, monolit çimentoda, fırın tuğlasında harç malzemesi şeklinde kullanılmaktadır. Sertliği yüksek diasporitik boksitler zımpara kâğıdı ve zımpara taşı malzemelerinde üretiminde kullanılmaktadır. Çeşitli magmatik, sedimanter ve metamorfik kayaçların milyonlarca yıl boyunca tropikal ve subtropikal iklimlere maruz kalmasıyla, boksit yatakları oluşmuştur. Boksit madenciliğinden kaynaklanan çevre kirliliği sadece doğrudan kirlilik nedeniyle değil, aynı zamanda kısa ve uzun vadeli zararları nedeniyle de bir endişe kaynağı olmaya başlamıştır. Madencilik ve minerallerin işlenmesi çevre kirliliğine neden olmaktadır.

9. KAYNAKLAR

- Ali, A.M. and Padmanabhan, E., 2017. The impact of pH and Temperature on Gibbsite reactivity with Quartz. *Int J Petrochem Res.* 1(1): 40-45. doi: 10.18689/ijpr-1000108
- Alp, A., 1990. Zonguldak boksitlerinin Alümina üretiminde Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Ocak.

- Alp, A., Yıldız K., Taşkın E. ve Cebeci A., 2008. Diasporitik boksitlerden alümina üretiminde mekanik aktivasyonun etkisinin araştırılması. Proje no: 106M121, Tübitak, Ankara.
- Anonim, 2019b. <https://www.britannica.com/science/gibbsite> (Erişim tarihi 15 Haziran, 2019).
- Anonim, 2019c. <https://www.mindat.org/gm/707> (Erişim tarihi 31 Mart, 2019).
- Anonim, 2019d. <https://www.definehediye.com/diyaspor--sultanit--dfdk53512> (Erişim tarihi 31 Mart, 2019).
- Aydoğanlı, O., Ersoy, H. ve Kocaefe, M., 1982. Türkiye Alüminyum Envanteri, MTA Ens., Yay. No:181, Ankara.
- Bárdossy, G., and Aleva, G.J.J., 1990. Lateritic bauxites: Amsterdam, Elsevier, Developments in Economic Geology, 27, 624 p.
- Boulangé, B., and Carvalho, A., 1997. Chapter 1—The bauxite of Porto Trombetas, in Carvalho, A., Boulangé, B., Melfi, A.J., and Lucas, Y., eds., Brazilian bauxites: São Paulo, Universidade de São Paulo, p. 55–72.
- Clausev, H.R. ve Brady, G.S., 1991. Materials Handbook, Thirteenth Edition, McGraw-Hill Inc. New York.
- Demirci, A., 1988. TC. Başbakanlık – DPT- Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Alüminyum hammaddeleri (Boksit), Yayın No: DPT 2121 ÖİK:326, Ankara,
- Donoghue, A.M., Frisch, N. And Olney, D., 2014. Bauxite mining and alumina refining: process description and occupational health risks. J Occup Environ Med. 56(5 Suppl):S12-7.
- Erdemoğlu, M., Birinci, M. ve Uysal, T., 2018. Kil minerallerinden alümina üretimi: güncel değerlendirmeler, Politeknik Dergisi, 21(2): 387-396.
- Feisal, N.A.S., Hashim, Z., Jalaludin, J. and Hashim, J.H., 2019. A Short Review of Bauxite and Its Production: Environmental Health Impact on Children in Mining Areas. Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences Vol.15 Supp 3.

- Funakawa, S., Watanabe, T. and Kosaki, T., 2008. Regional trends in the chemical and mineralogical properties of upland soils in humid Asia: With special reference to the WRB classification scheme. *Soil Science and Plant Nutrition*. 54(5): 751-60. doi: 10.1111/j.1747-0765.2008.00294.x
- Geoffrey, B., Pan, W., John, G., Ajay, K., et al. 2013. Joint Australia China Aluminium Industry. Technology Symposium.
- Gülfen, M., 1996. Milas Boksit Cevherlerinin Sülfürik Asit Çözeltisindeki Çözünürlüğü” , Yüksek Lisans Tezi, SıAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Gök, R., 2019. Düşük Modüllü Metalurjik Boksit Cevherlerinin Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 101 sayfa
- Göksu, E. 1953. Akseki (Antalya) Boksit Yataklarının Jeoloji, Jönez ve Maden Bakımından Etüdü ve Diğer Türkiye ve Avrupa Boksitleriyle Mukayesesi. *Türkiye Jeoloji Kurumu*, 79-140
- Hao, X., Leung, K., Wang, R., Sun, W. and Li, Y., 2010. The Geomicrobiology of Bauxite Deposits. *Geoscience Frontiers*. 1: 81-89.
- Huang, P.M., Wang, M.K., Kampf, N. and Schulze, D.G., 2002. Aluminum hydroxides. In *Soil Mineralogy with Environmental Applications*. Soil Science Society of America: Madison.
- IAI., 2008. Fourth sustainable bauxite mining report. London, United Kingdom: International Aluminium Institute (IAI).
- IAI., 2015. Bauxite residue management: best practice. UK: International Aluminium Institute (IAI).
- Kamble, P.H. and Bhosale, S.M., 2019. Environmental Impact of Bauxite Mining: A Review. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, Volume 7 Issue I.

- Kloprogge, J.T., Ruan, H.D., and Frost, R.L., 2002. Thermal Decomposition of Bauxite Minerals: Infrared Emission Spectroscopy of Gibbsite, Boehmite and Diaspore. *Journal of Materials Science*. 37(6), 1121-1129.
- Lee, K.Y., Ho, L.Y., Tan, K.H., Tham, Y.Y., Ling, S.P., Qureshi, A M, ... Nordin. R. Bin, 2017. Environmental and occupational health impact of bauxite mining in Malaysia: A review *International Medical Journal Malaysia* 16 (2) 137–150
- Mitchell, J., Manning, G.B., Molyneux, M., and Lane, R.E., 1961. Pulmonary fibrosis in workers exposed to finely powdered aluminium. *Br J Ind Med*.18:10- 23.
- Mosier, D.L., 1986a. Grade and tonnage model karst type bauxite deposits, in Cox, D.P. and Singer, D.A., eds., *Mineral deposit models: U. S. Geological Survey Bulletin* 1693, p. 258
- Mutakyahwa, M.K.D., Ikingura, J.R. and Mruma, A.H., 2003. Geology and geochemistry of bauxite deposits in Lushoto District, Usambara Mountains, Tanzania. *Journal of African Earth Sciences*. 36(4): 357-69. doi: 10.1016/S0899-5362(03)00042-3
- Plunkert, P.P., 2000. Bauxite and Alumina. *U.S. Geological Survey Minerals Yearbook*.
- PK, T., 2004. The mineral industry of Malaysia. *U.S. geological survey minerals year minerals yearbook*. 15.1-.7.
- Rosli, N., Rahman, R.A., Razelan, I.S.M., Ismail, A. and Hasan, M., 2021. Impact of Bauxite Mining on Quality of Life: An Analysis of Road Users. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 682, 012040 IOP Publishing, doi:10.1088/1755-1315/682/1/012040
- Schulte, R.F., and Foley, N.K., 2014. Compilation of gallium resource data for bauxite deposits: *U.S. Geological Survey Open-File Report* 2013–1272, 14 p., 3 separate tables, <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20131272>.
- Taylor, G., Eggleton, R.A., Foster, L.D., Tilley, D.B., Le Gleuher, M., and Morgan, C.M., 2008. Nature of the Weipa bauxite deposit, northern Australia: *Australian Journal of Earth Sciences*, v. 55, suppl. 1, p. S45–S70.

- Tchakoute, H.K., Rüschler, C.H., Djobo, J.N.Y., Kenne, B.B.D. and Njopwouo, D., 2015. Influence of gibbsite and quartz in kaolin on the properties of metakaolin-based geopolymer cements. *Applied Clay Science*. 107: 188-194. doi: 10.1016/j.clay.2015.01.023
- Terem, H.N., 1965. Metalurji, İ.Ü. Sinai Komisyon Kürsüsü, 3. Baskı, Şirketi Mürebbiye Basımevi, İstanbul.
- Valeton, I., Schumann, A., Vinx, R., and Wieneke, M., 1997. Supergene alteration since the upper Cretaceous on alkaline igneous and metasomatic rocks of the Poços de Caldas ring complex, Minas Gerais, Brazil: *Applied Geochemistry*, v. 12, p. 133–154.
- Vazquez, FM., 1981. Formation of gibbsite in soils and saprolites of temperaturehumid zones. *Clay Minerals*. 16(1): 43-52.



Jura-Kretase Yaşlı Demirkazık Formasyonunun Üst Seviyelerindeki Çört Oluşumu (Karaisalı Kuzeyi-Adana)

The Occurrence Of Chert Which Exist On Upper Level Of Jurrassic-Cretaceous Old Demirkazık Formation (North Of Karaisalı-Adana)

SACİT SABAZ¹ 0000-0002-4934-765X
KEMAL GÜRBÜZ¹ 0000-0003-1997-1635

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

Geliş (received): 04/10/2022

Kabul (Accepted): 21/11/2022

ÖZ

Çalışma konusu Adana ili Karaisalı ilçesinin 15 km kuzeyinde bulunan Gildirli köyü civarında yer alan 42 m yanal uzunluğunda tabakalı, kırık ve çatlaklı yapı gösteren mikritik kireçtaşı Demirkazık Formasyonunda yer alan çört oluşumlarıdır. Bu çalışma kapsamında Demirkazık Formasyonunda incelenmiş olan çörtlü oluşumlar, birimin tüm seviyelerinde yer almaktadır. İncelemeye konu olan çörtler şekil, boyut, bulundukları tabaka konumuna ve iç yapılarına göre sınıflandırılmıştır. 5-175 cm arasında uzunluğunda olanlara çört merceği, 1-7 cm uzunluğunda nodül şeklinde olanlara çört yumrusu ve tabakaların kırık çatlakları arasında gelişen çört oluşumuna ise yüzey sıvamasıyla oluşan çört şeklinde tanımlanmıştır. Çört seviyelerinin kalınlıkları 1-6 cm arasında değişmektedir. Çört mercekleri tabakalara paralel ve/veya yanal yönde düzenli ve düzensiz (dağınık) uzandığı görülmüştür. Birimin üst kısımlarında çört yumruları yer alırken orta ve alt kısımlarında çört mercekleri ve yüzey sıvamasıyla oluşan çörtler gözlenmiştir. Çört oluşumlarını sağlayan silis kaynağının ise kuvarşça zengin kayalardan geldiği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Demirkazık Formasyonu, Çört merceği, Çört yumrusu

Sacit SABAZ sacitsabaz@gmail.com

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü,
Adana

ABSTRACT

The micritic limestone Demirkazık Formation, which presents a stratified, fractured and cracked structure with a lateral length of 42 m, located around the village of Gildirli, 15 km north of the Karaisalı District of Adana province. In the scope of this study, the cherted levels examined were included in all levels of the unit. The examined cherts were classified according to their location in the layer, their length, shape, size and internal structure. 5-175 cm long between the decal lens, 1-7 cm long in the form of nodules between the decal lump and the layer broken cracks developed in the structure of the chert formed by surface plastering is grouped as chert. Chert levels range from 1-6 cm thick. It has been observed that the lenses extend regularly or irregularly in the lateral direction. While there are chert nodules on the upper surfaces of the unit, chert lenses and cherts formed by surface plastering were observed in the middle and lower parts. It is believed that the silica rock that provides the formation of chert is quartz-rich rocks

Keywords: *Demirkazık Formation, Chert lens, Chert tube*

GİRİŞ

Silisyum dioksit bileşimli sert tortul bir kayaç olan, çörtler ile ilgili yapılan bu çalışma, Türkiye'nin güneyinde Neojen Adana havzası olarak adlandırılan Kuzeyde Toros Dağları, Batıda Ecemiş Fay Zonu ve Güneydoğu'da Amanos Dağları ile çevrili, Paleozoyik'ten günümüze kadar kayaların yer aldığı havzanın, kuzey kesiminde bulunan Demirkazık Formasyonu birimleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı Adana-Karaisalı ilçesinin yaklaşık 15 km kadar kuzeyinde Gildirli köyü'nün hemen 1-1.5 km. güneybatısında yer almakta olup, bölgeye karayolu ile ulaşılmaktadır (Şekil 1).

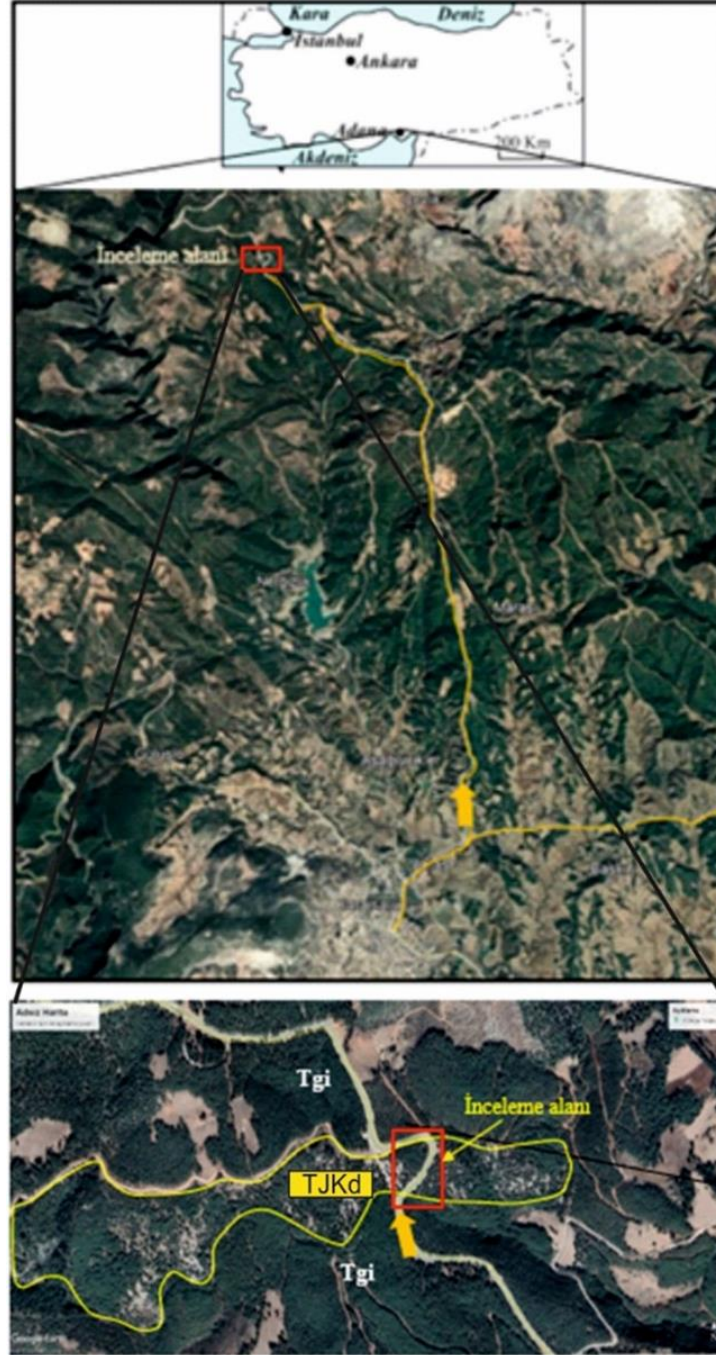
Adana havzası Tersiyer istif tabanda Oligosen-Erken Miyosen evresinde, tamamiyle karasal akarsu ve göl ortamlarını ile temsil edilen Gildirli ve Karsantı formasyonları ile başlamaktadır. Paleotopoğrafik yükseltilerde ve havzanın kenar kesimlerinde Erken-Orta Miyosen zaman aralığında Kaplankaya ile Karaisalı formasyonları, daha derin kesimlerde ise Cingöz ve Güvenç formasyonları çökelmiştir. Kaplankaya formasyonu, alttaki Gildirli formasyonu ile uyumlu olup, üzerine gelen resifal nitelikli Karaisalı formasyonu ile yanal ve düşey geçişlidir. Langiyen-Serravaliyen aralığında ise Cingöz formasyonuna ait denizaltı yelpazeleri ve bunların üzerine gelen Güvenç formasyonu ile temsil edilmektedir. Güvenç formasyonu istifin üst kesimlerine doğru sığlaşarak Tortoniyen yaşlı Kuzgun formasyonuna aşınmalı bir dokanakla geçer. Tortoniyen yaşlı Kuzgun formasyonu karasal, sığ denizel ve deltayik sediman aralanmakta olup Kuzgun, Memişli ve Salbaş tuf üyelerine ayrılmıştır. Kuzgun formasyonu üzerinde

Handere formasyonuna ait sığ denizel kırıntılılar ve evaporitik ile akarsu sedimanları yer alır. Bütün bu Miyosen sedimanları Kuvaterner yaşlı taraça, kaliçi oluşumları ve alüvyon tarafından örtülmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Jura-Kretase yaşlı Demirkazık Formasyonunda gelişen çörtlerin sınıflanması, litolojik özelliklerinin araştırılması, oluşumunu etkileyen dışsal (tektonik) ve içsel etkenlerin ortaya konulmasıdır(Şekil 2). Çörtler, Adana havzası temelinde yer alan Jura-Kretase yaşlı Demirkazık Formasyonu'nun üst seviyelerinde ve genelde Adana havzası sedimanlarının (Gildirli formasyonu) diskordanslı dokanağına yakın kesimlerinde yer alan oluşumlarıdır. Farklı şekil ve uzunluklarda nodüler ve mercekler şeklinde bulunan çörtler ile ilgili yapılan bu çalışmayla, bu oluşumların kökenine ışık tutulmaya çalışılmıştır.

Çört yoğun silisli tortul kayaç içeren son derece sert, mikrokristalen ve kriptokristalen bir kuvarsdır (Lapidus, 1990). Silisleşmenin ana kontrol faktörleri silika oranı ve çevre koşullarına, içine yerleştikleri birimin özelliklerine bağlıdır (Boggs 1987). Çörtler küçük nodüller, mercekler veya bantlı yapılar olarak kendilerini gösterirler. Günümüze kadar çörtler ile ilgili birçok çalışma yapılmış ve bu çalışmalar; (Murchey ve Jones (1992), "Pangaea'da Permien silisli tortul olay" adlı çalışmasında çörtün esas olarak kriptokristalen ve mikrokristalen kuvarstan oluşmuş yaygın bir silisli kaya türü olduğunu ortaya koymuşlardır. Hala tartışmalar olsa da genellikle çörtteki silikanın esas olarak üç kaynaktan kaynaklandığı bunların; biyolojik, karasal ve volkanik hidrotermal olduğunu ve biyolojik kaynağın esas olarak, organizmaların (radyolarian, sünger) ve deniz tabanında biriken diğer kabukluları veya iskeletleri olduğu belirlenmiştir (DeMaster ve ark. 1983; Ragueneau ve ark. 2000; DeMaster 2002; Nelson ve ark. 2002; Qu ve ark. 2017). Volkanik hidrotermal kaynak esas olarak genellikle deniz dibinde biriken volkanik patlamanın ürettiği silisli hidrotermal akışkan olduğunu açıklamışlardır (Maliva vd. 2005; Perry ve Lefticariu 2007). Bramlette (1946), silisli organizmaların ölümü sonucu kavkıdaki silisin eriyiğe geçerek diyajenez sırasında hareketlendiğini çözelti şeklinde kayaç içerisinde dolaşarak düşük erirlik noktalarında kuvars olarak kristallenmekte olduğunu belirtmiştir. Knauth (1979), meteorik suların silisleşme sürecine katkı sağladığını, çörtleşmenin meteorik suların ile deniz alanının altında kalan birimin kırık ve boşluklu kısımlarında geliştiği bir model önermiştir. Çörtlerin yapısal farklılıklara göre katmanlı ve katmansız olarak sınıflandırıp katmanlı olanların bağımsız bir stratigrafik birim oluştururken, katmansız olanların

nodüler, mercek biçiminde veya bantlı yapı gösterdiklerini belirtmişlerdir (Liu ve Yan 2007; Xiao ve ark. 2009).



Şekil 1 Çalışma alanı uydu görüntüsü. (TJKd: Demirkazık Kireçtaşı, Tgi: Gildirli sedimanları, GoogleEarth görüntüsü)

Figure 1. Inspection site view (TJKd: Demirkazık Formation, Tgi: Gildirli Formation, GoogleEarth images)



Şekil 2. Sedimentolojik kesit ölçülen yol yarmasının görünümleri. (1 nolu fotoğraf arazide kuzeyde bulunan kesitin alt kısmını, 4 nolu fotoğraf en güneyde üst kesimini göstermektedir).

Figure 2. Views of the road cut whose sedimentological section was measured.(Photo 1 shows the lower part of the northern section of the field, photo number 4 shows the part in the South)

METOD VE BULGULAR

Çalışma yöntemi

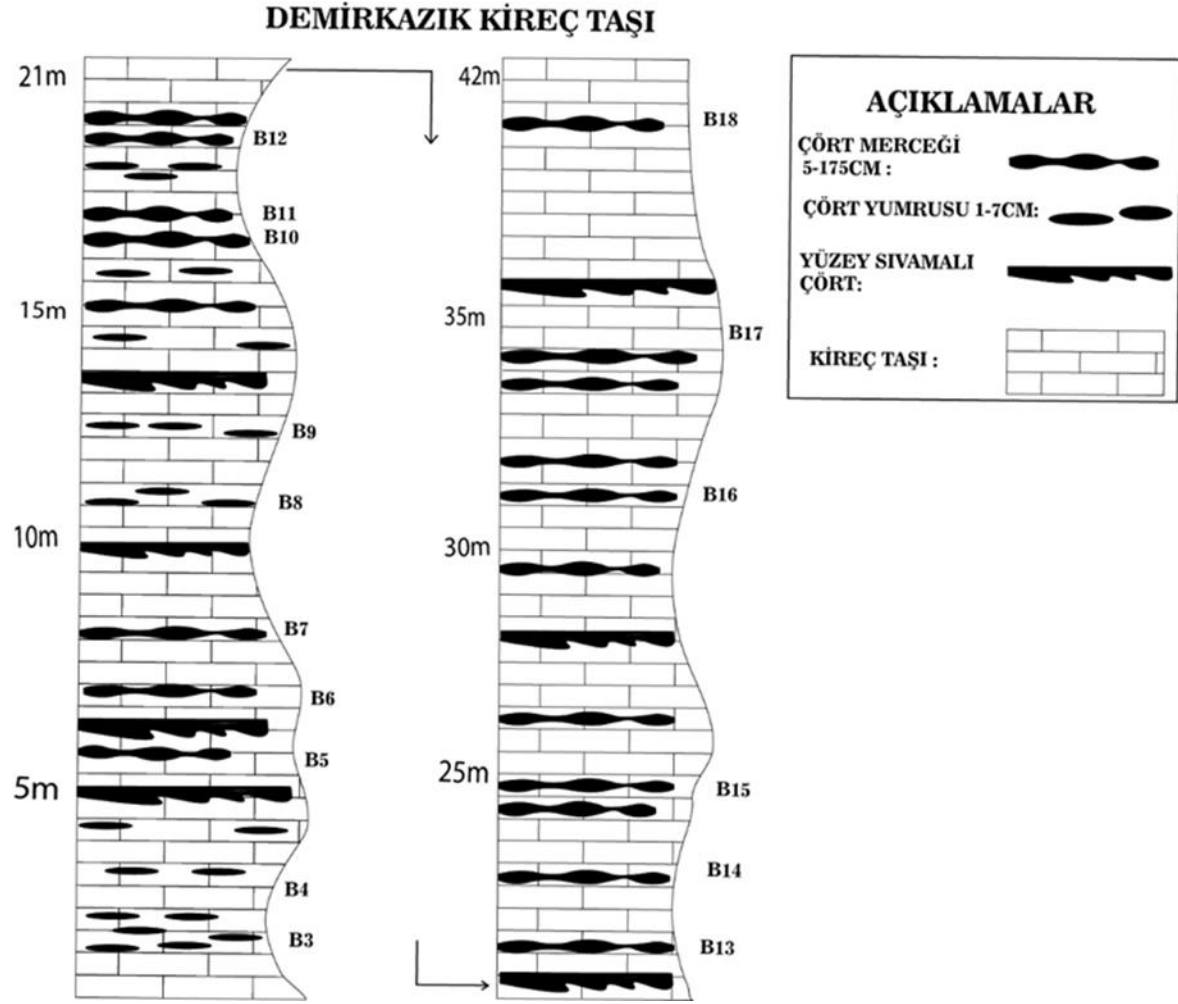
İlk etapta, Adana havzası ile inceleme alanı ve yakın civarını kapsayan bölgelerde önceden yapılmış çalışmalar ve Çörtlerle ilgili yapılan çalışmalar incelenmiştir. inceleme alanında mostra vermiş olan Demirkazık Formasyonunun toplam 42 metrelik sedimentolojik kesiti yeri

belirlenmiş olup çört seviyeleri işaretlenmiştir (Şekil 3). Kesit ölçülüp tabaka sayıları hesaplanmış ve her tabakanın ve içine yerleşmiş olan çört yumruları ve çört bantları tabaka kalınlıkları dikkate işaretlenmiştir. Ana kayaç ve çört oluşumlarını ayırt etme işleminde seyreltik HCl asit testleri yapılmıştır. Çalışma alanında yüzeylenen tüm kayaç birimleri ve bu birimler içerisinde yer alan yapısal özellikler incelenip gerekli görülen tabakalardan toplamda 25 adet olmak üzere el örneği alınarak ince kesit hazırlanmıştır. Elde edilen ince kesitler, polarizan mikroskoplarda incelenip, Folk (1962) ve Dunham (1962) göre sınıflandırılması yapılmıştır. Elde edilen bulgular, fotoğraflanan Kayaç örnekleri ve ince kesit görüntüleriyle birlikte analiz edilmiştir.

Çörtler arazideki gözlemler temel alınarak, tabaka içindeki konumlarına, iç yapılarına, şekillerine ve boyutlarına göre sınıflandırılmıştır.

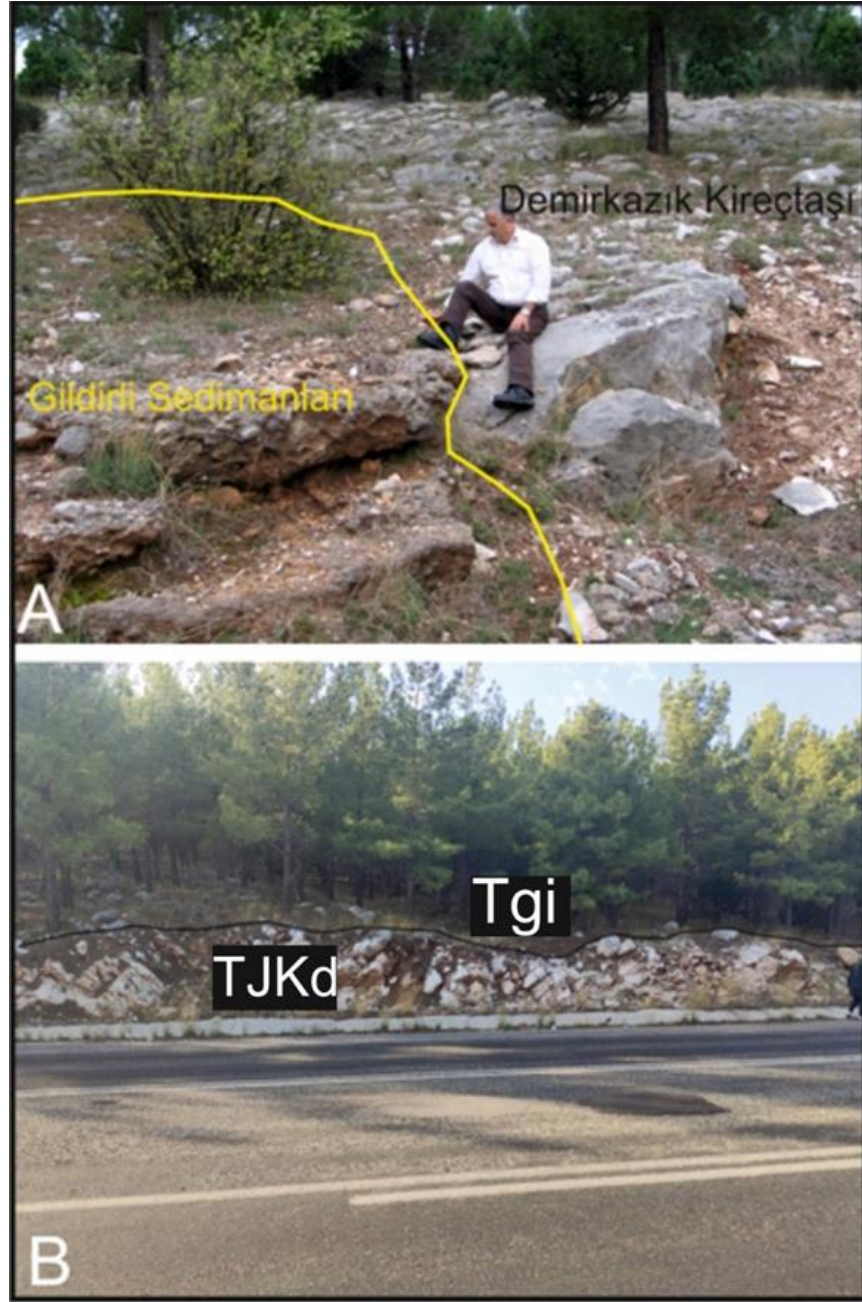
Demirkazık Formasyonu ve Çört Oluşumu

Yol yarması boyunca açığa çıkan Demirkazık Formasyonunun yaklaşık 35-40 derece civarındaki eğimli tabakalarını Üst Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Gildirli Formasyonu açısız uyumsuzlukla üzerlemektedir. Çalışma alanındaki Demirkazık ve Gildirli Formasyonlarının sınırları şekil 4.'te gösterilmiştir. Belirtilen alandaki yol yarması boyunca Jura-Kretase yaşlı Demirkazık Formasyonu genel olarak mikritik kireçtaşı ve yer yer çört yumruları, çört mercekleri içermekte olup kırık ve çatlaklıdır. Tabaka kalınlıkları 15 cm-248 cm arasında kalınlıkta olduğu ve ana kaya (kireçtaşı) içinde yer alan çörtlü oluşumların arazideki gözlemler temel alınarak düzenli-düzensiz (dağınık) yapı gösterdiği tespit edilmiştir



Şekil 3. Demirkazık Formasyonu Çört Seviyelerini Gösteren Sedimantolojik Kesit.

Figure 3. Demirkazık Formation, Sedimentology cross section showing chert levels

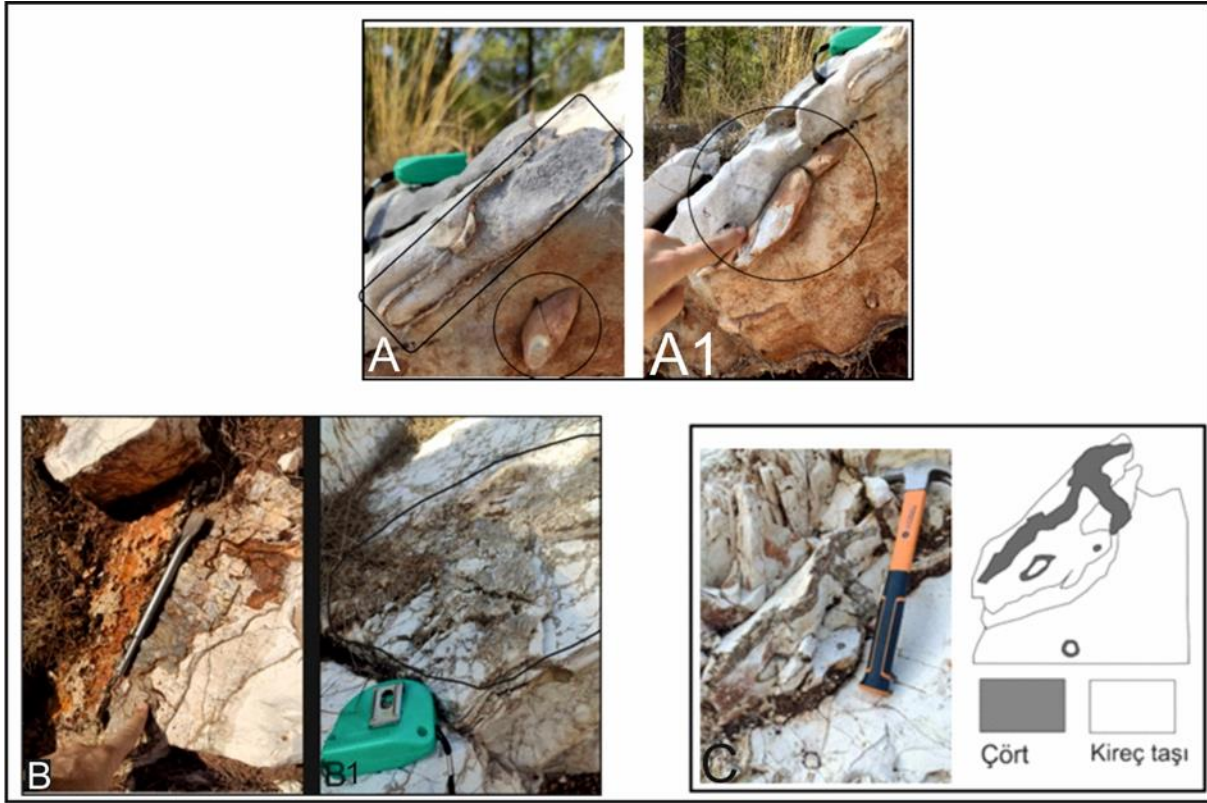


Şekil 4. A: Demirkazık ve Gildirli formasyonları arasındaki sınır, B: Demirkazık ve Gildirli yol yarmasının görünümü (TJKd: Demirkazık Formasyonu, Tgi: Gildirli Formasyonu)

Figure 4. A: Demirkazık and Gildirli formation boundary. B: View of Demirkazık and Gildirli road cut (TJKd: Demirkazık Formation Tgi: Gildirli Formation)

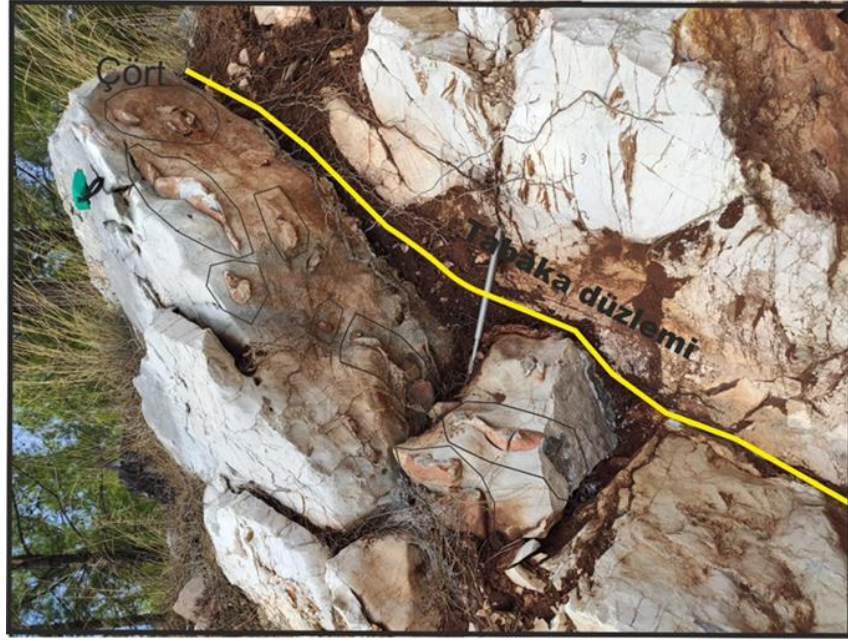
Tabakadaki Konumlarına, Şekillerine, Boyutlarına ve İçyapılarına Göre Çört Oluşumları

Demirkazık Formasyonunda üç farklı şekilde çört oluşumu tespit edilmiş ve bu şekiller bulundukları konuma göre farklılıklar göstermişlerdir. Birimin üst seviyesinde yer alan çörtlü oluşumlar yoğunlukla yumrulu (nodüler) şekillerde gelişirken orta ve alt kısımlarda mercek (lens) şeklinde, tabaka aralarındaki çörtler ise yüzey sıvaması görünümünde geliştikleri tespit edilmiştir. Bu görünüm özelliklerinden çalışma alanında bulunan çörtlü oluşumlar şekillerine göre; yumrulu, mercek ve yüzey sıvaması şeklinde oluşumlar olarak tanımlanmıştır (Şekil 5, 6, 7, 8).



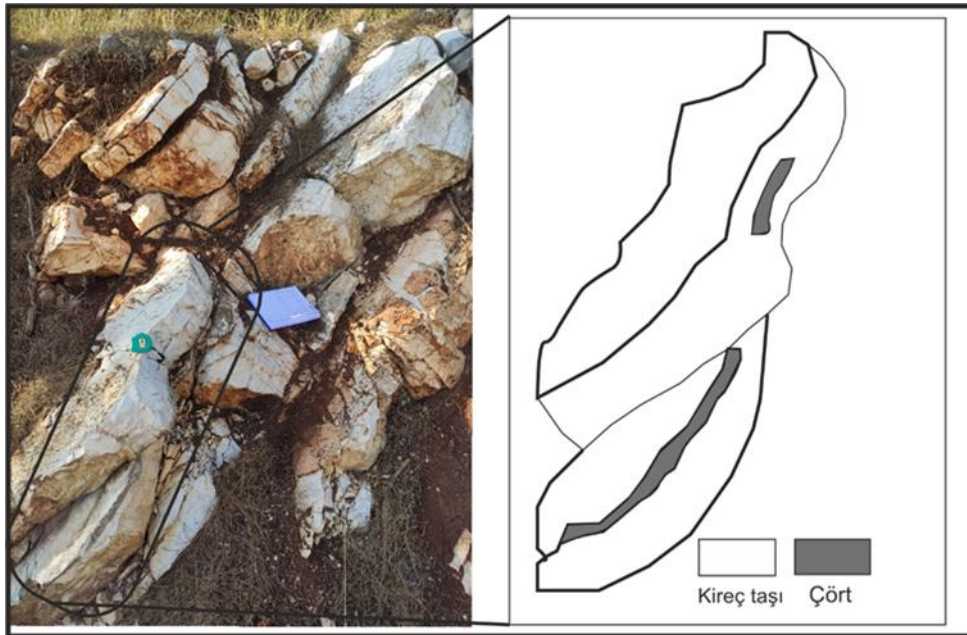
Şekil 5. A,A1: çört yumrusu B,B1: yüzey sıvamasıyla oluşan çörtler C: çört merceği

Figure 5. A,A1: chert nodule B,B1: chert formed by surface coating C: chert lens



Şekil 6. Sedimentolojik kesitin 6 m. seviyesinde, tabakanın üst kesiminde tabakaya paralel gelişmiş çört oluşumlarının arazi görünüşleri. Kahve renkli çört oluşumları, açık gri renkli, kireçtaşı tabakası üzerinde farklı boyut-şekillerde düzensiz yamalar şeklinde tespit edilmiştir. (Şerit metre çapı:6cm)

Figure 6. Field views of chert formations parallel to the layer in the upper part of the unit at 6 m level of the sedimentological section. Brownish light gray colored chert formations were detected as irregular patches of different sizes and shapes on the limestone layer. (Diameter of Tape:6 cm)



Şekil 7. Tabakalanma düzlemlerine paralel gelişmiş grimsi-kremsi renkli çört oluşumlarının kireçtaşı içinde ve yüzeyindeki görünümü, sedimantolojik kesitin 7.metre seviyelerinde. (Şerit Metre çapı:6cm)

Figure 7. The appearance of grayish-creamy colored chert formations parallel to the bedding planes in and on the surface of the limestone, at the 7th meter levels of the sedimentological section. (Diameter of Tape:6cm)



Şekil 8. Sedimantolojik kesitin 35 m seviyelerinde, tabakalar arasında yüzey sıvaması şeklinde gelişen çörtlü oluşumların genel görünümü. (Çekiç:34cm)

Figure 8. General view of cherty formations that developed as surface plastering between layers at 35 m levels of the sedimentological section. (Hammer:34 cm)

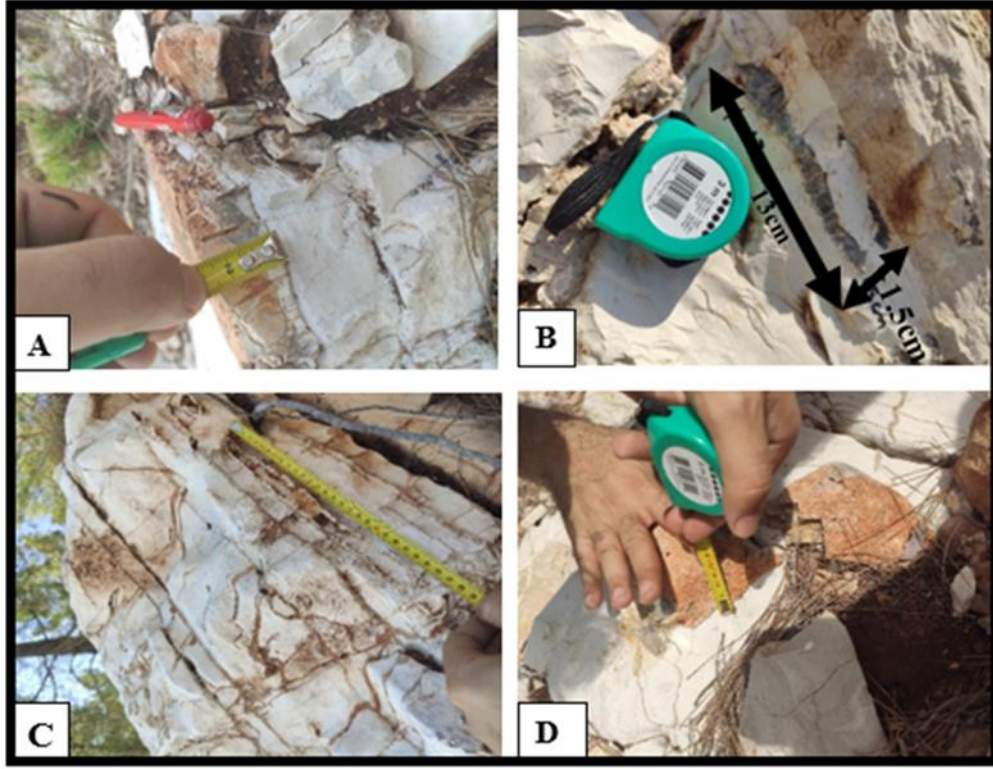
Çalışma alanında yer alan çörtlü oluşumların boyutları tabakalar halinde incelenmiştir. Yapılan incelemelerde çört merceği, çört yumrusu ve yüzey sıvaması şeklindeki çörtlü oluşumların kalınlık ve uzunluklarının, içinde geliştikleri tabakaların kalınlıkları ve uzunlukları ile ilişkisi olmadığı tespit edilmiştir. Toplam 49 tane ölçüm yapılmıştır. Çört kalınlığı 1.5 cm ve 11 cm arasında ve içinde bulundukları kireçtaşı tabaka kalınlıklarının ise 15 cm-248 cm arasında olduğu gözlenmiştir (Çizelge 1).

Tablo 1. Çalışma alanındaki Kireçtaşı tabakalarında gelişen çört merceği kalınlık ve uzunluk ölçümleri.

Table 1. Thickness and length measurements of chert lens developed in limestone layers in the study area.

ÇÖRT MERCEĞİ	UZUNLUK	KALINLIK
MAKSİMUM	156 cm	11 cm
MİNİMUM	13 cm	1.5 cm
ORTALAMA	83.5 cm	6.2 cm

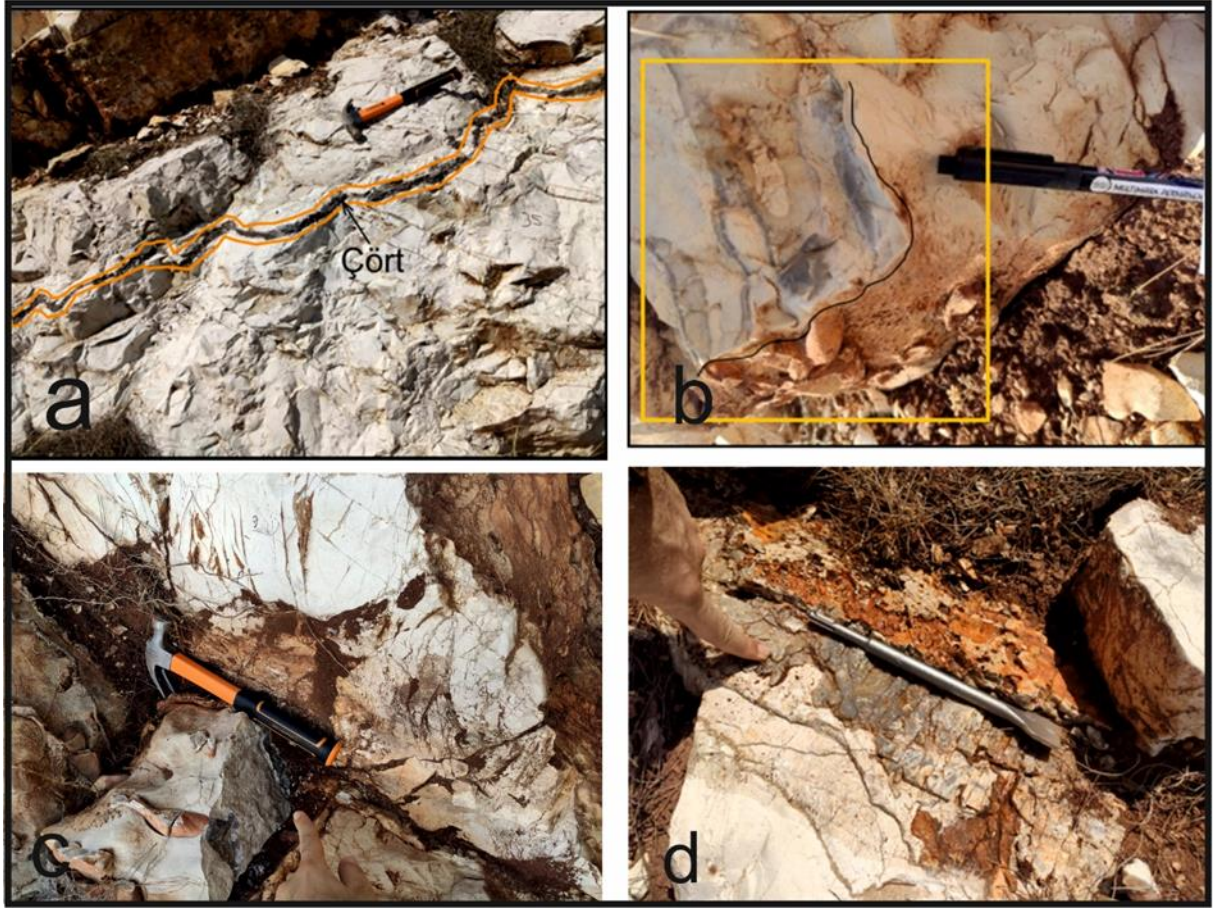
Tabakayla yanal yönlü yüzey sıvamasıyla oluşan çörtün 2.7cm kalınlıktaki görünümü (Şekil 9A). Yanal uzunluğu 13 cm ve kalınlığı 1.5 cm olan çört merceklerinin alt ve üst sınırlarının anakaya dokanaklarıyla geçişli olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 9B). Tabakalanmaya paralel uzanan 28 cm uzunluğunda ve 2.5 cm kalınlığındaki çört merceğinin görünümü (Şekil 9C). 5 cm kalınlık sunan çört yumrusunun görünümü (Şekil 9D). Çört yumruları kendi sınıflarında 1-7 cm arasında kalınlık sunduğu ve anakaya dokanakları ile geçişli olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanındaki kireçtaşı tabakalarında gözlenen uzun ve/veya eş boyutlu iri kuvars kristallitli çörtler ve porselenimsi çört oluşumunun yaygın olduğu gözlenmiştir. Mikrokristalen-porselen doku, çalışma alanındaki en yaygın dokudur. Çörtler genel olarak kremi ve gri renkli kırık ve çatlaklıdır (Şekil 10).



Şekil 9. Yumru, mercek ve yüzey sıvaması şeklindeki çörtlerin kalınlık ve uzunluklarını gösteren ölçümler

Figure 9. Measurements showing the thickness and length of cherts in the form of tuber, lens and surface coating

- a. Sedimantolojik kesitin 19. metre seviyelerinde yer alan, çalışma alanında en yaygın olarak gözlenen, grimsi renkli ve porselen görünümlü çört merceklerinin genel görüntüsü (Şekil 10a).
- b. Sedimantolojik kesitin 22. metre seviyelerinde görünen çört merceğinin kremsi-grimsi renkli porselen görünümü (Şekil 10b).
- c. Sedimantolojik kesitin 6. metre seviyelerinde yer alan Kireçtaşı tabakalarına paralel gelişen ve genelde birimin üst kesimlerinde yer alan gri-krem renkli çört yumrularının porselenimsi görünümü (Şekil 10c).



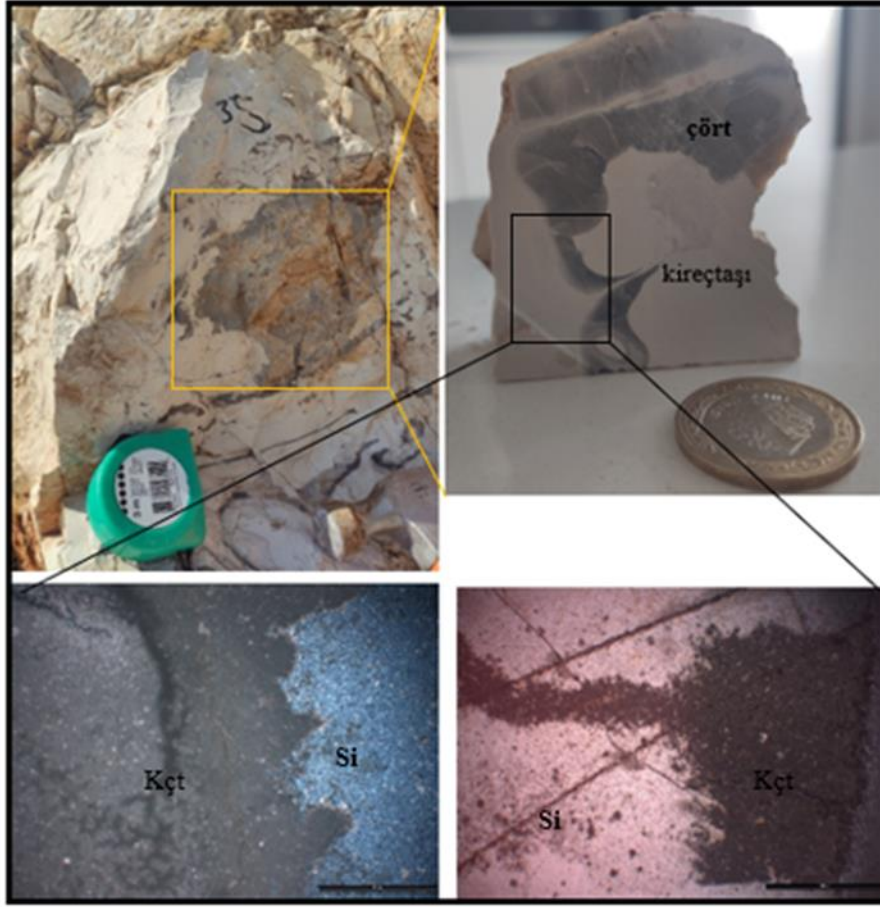
Şekil 10. a, b: Çört merceği c: çört yumrusu d: yüzey sıvımalı çört

Figure 10. a,b :Chert Lens c: Chert tuber (Nodul) d: chert with surface coating

d. Sedimantolojik kestin 5 metre seviyelerinde bulunan ve tabakalar arasındaki boşluklu-kırık çatlaklı yapıların arasına yerleşmiş gri renkli, bol kırık ve çatlaklı yüzey sıvıması şeklindeki çörtlerin genel yaygın görünümü (Şekil 10d).

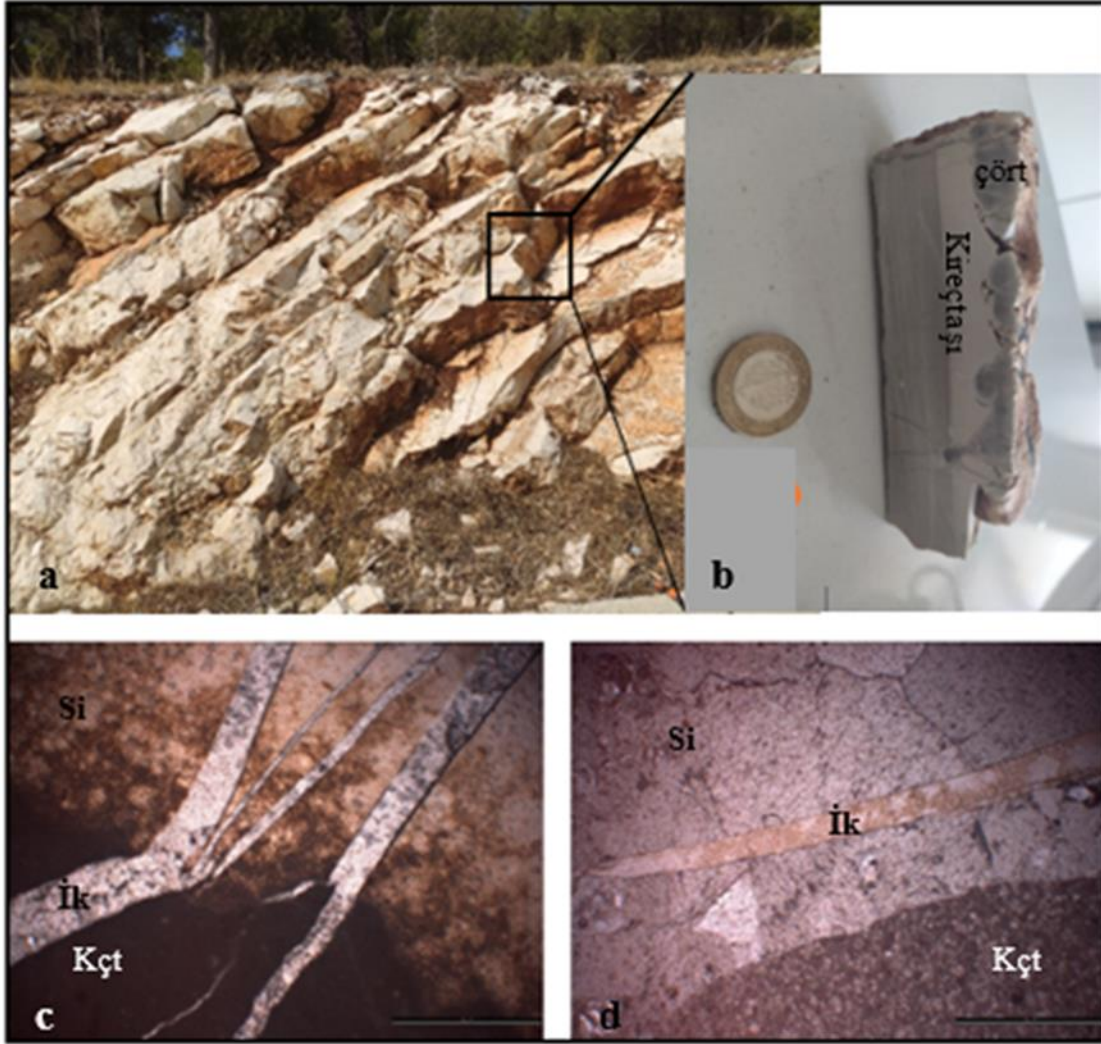
Petrografik Özellikler

Mikrokristalin kireçtaşının yerini alan porselenimsi mikrokristalen kuvars görünüşleri Şekil 11’de verilmiştir. Gelen silisçe zengin kimyasal miktarın ortama giriş yerinin gözlemlendiği, ana kayanın dayanımı gibi özelliklere bağlı olarak düzensiz yayılım difüzyon gelişimi gözlemlenmiştir (Şekil 11; B10 örneği).



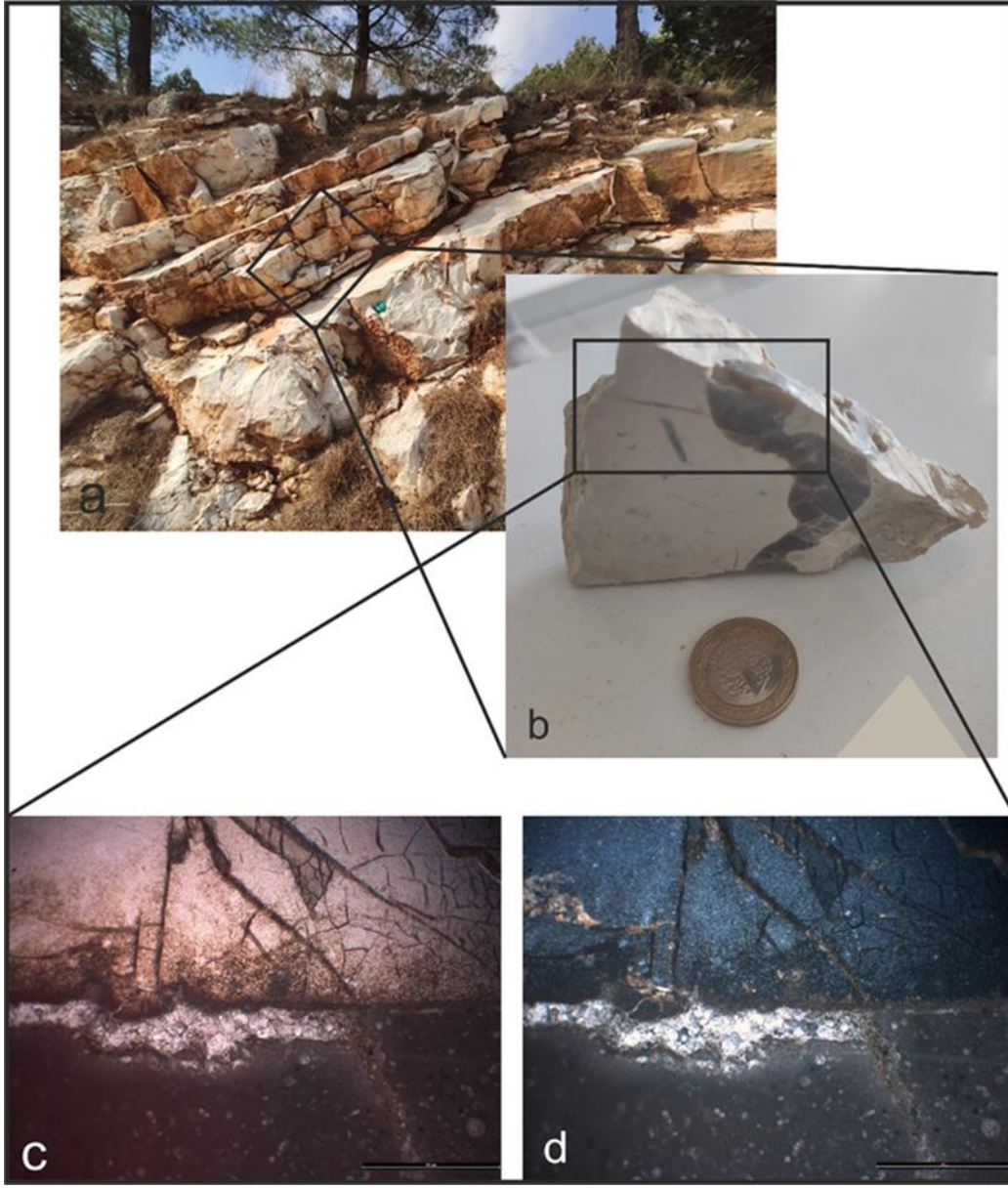
Şekil 11. Şekil 3'deki sedimantolojik kesitte 15-20 metre seviyelerindeki B10 kireçtaşı örneğinin saha, makro ve mikro görünüşleri.

Figure 11. Field, macro and micro views of the B10 limestone sample at 15-20 meters in the sedimentological section in Figure.



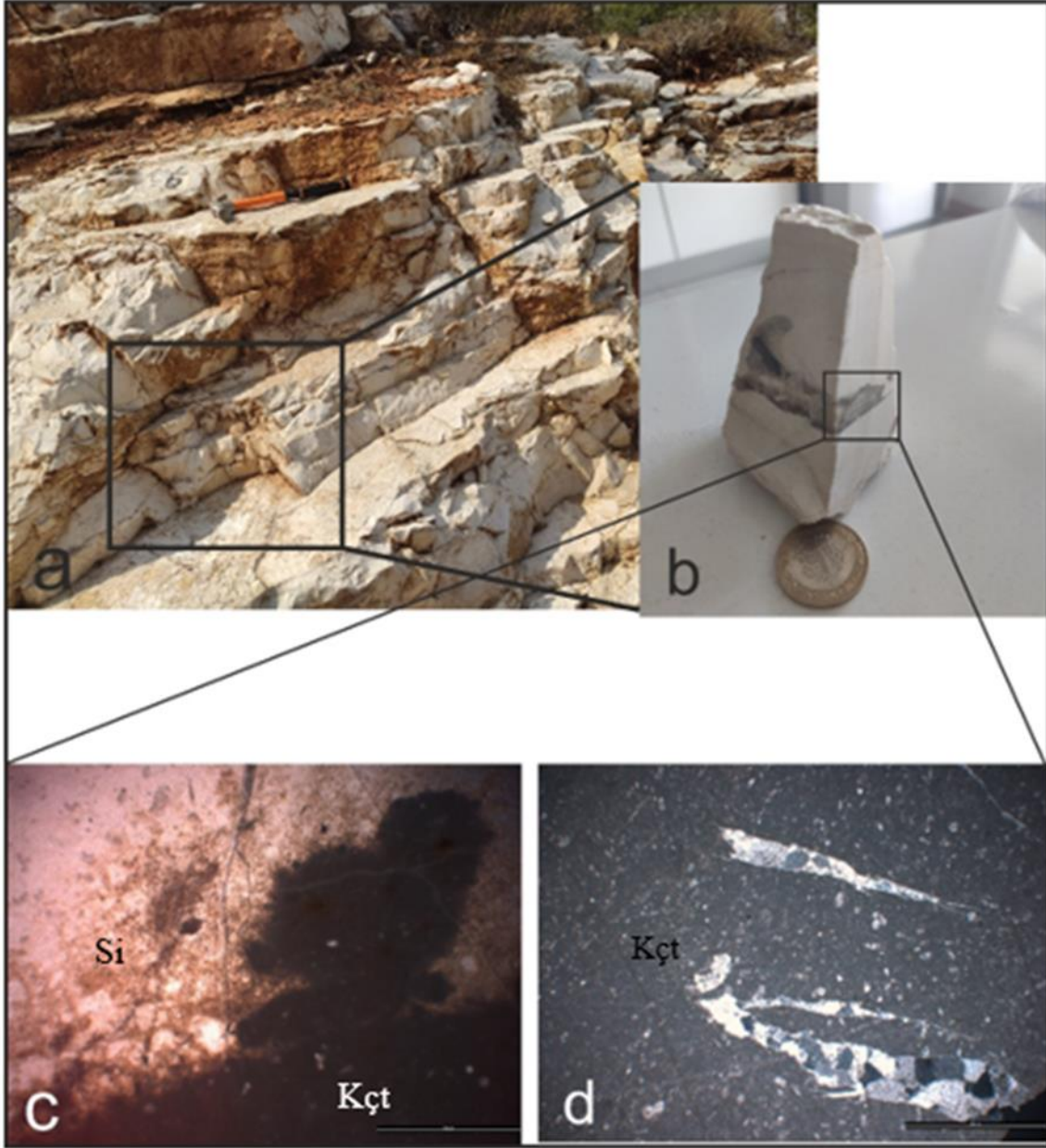
Şekil 12. Şekil 3’de ölçülen sedimentolojik kesitin 15-21. Metre seviyelerindeki B11 kayaç örneğinin saha ve mikroskopik görünümü. Silis ve kireçtaşı geçiş dokanağı, (İk:ikincil silisleşme sonrası gelişen kalsit damarı Si: Silis Kçt: Kireçtaşı).

Figure 12. Field and microscopic view of the B11 rock sample at the 15-21 m levels of the sedimentological section measured in Figure 3. Silica and limestone transition zone



Şekil 13. Şekil 3’de Sedimentolojik kesitin 30 m seviyelerindeki B16 kayaç örneğinin, saha, kayaç numunesi ve mikroskobik görünümü. (c: tek nikol d: çift nikol görüntüsü)

Figure 13. The field, rock sample and microscopic view of the B16 rock sample at 30 m levels of the sedimentological section in Figure 3. (c: single nicol d: double nicol)



Şekil 14. Sedimantolojik kesitin 30 m-35 m seviyelerindeki B17 kayaç örneği, saha ve mikroskopik görüntüleri. (Kalsit minerallerinden oluşan Fosil kavkısının yerini almış kuvars mineralinin görünümü (d)). (c: tek nikol, d: çift nikol) görüntüsü)

Figure 14. B17 rock sample, field and microscopic images of the sedimentological section at 30 m-35 m levels. (Appearance of quartz mineral replacing the fossil shell consisting of calcite minerals (d)). (c: single nicol d: double nicol)

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Adana Baseni kuzey kesimlerinde Jura-Kretase temel kayaçları içerisinde gözlenen silisleşmelerin boyut, tabakalardaki konumları ve şekilleri incelenerek aşağıda belirtildiği üzere sınıflandırılmıştır. Bu jeolojik evrimi detaylı anlatabilmek için Adana Baseni kuzey kesimine ait bir jeolojik evrim modeli enine taslak kesitler üzerinde açıklanmıştır. Bütün bu çalışmaların sonucunda:

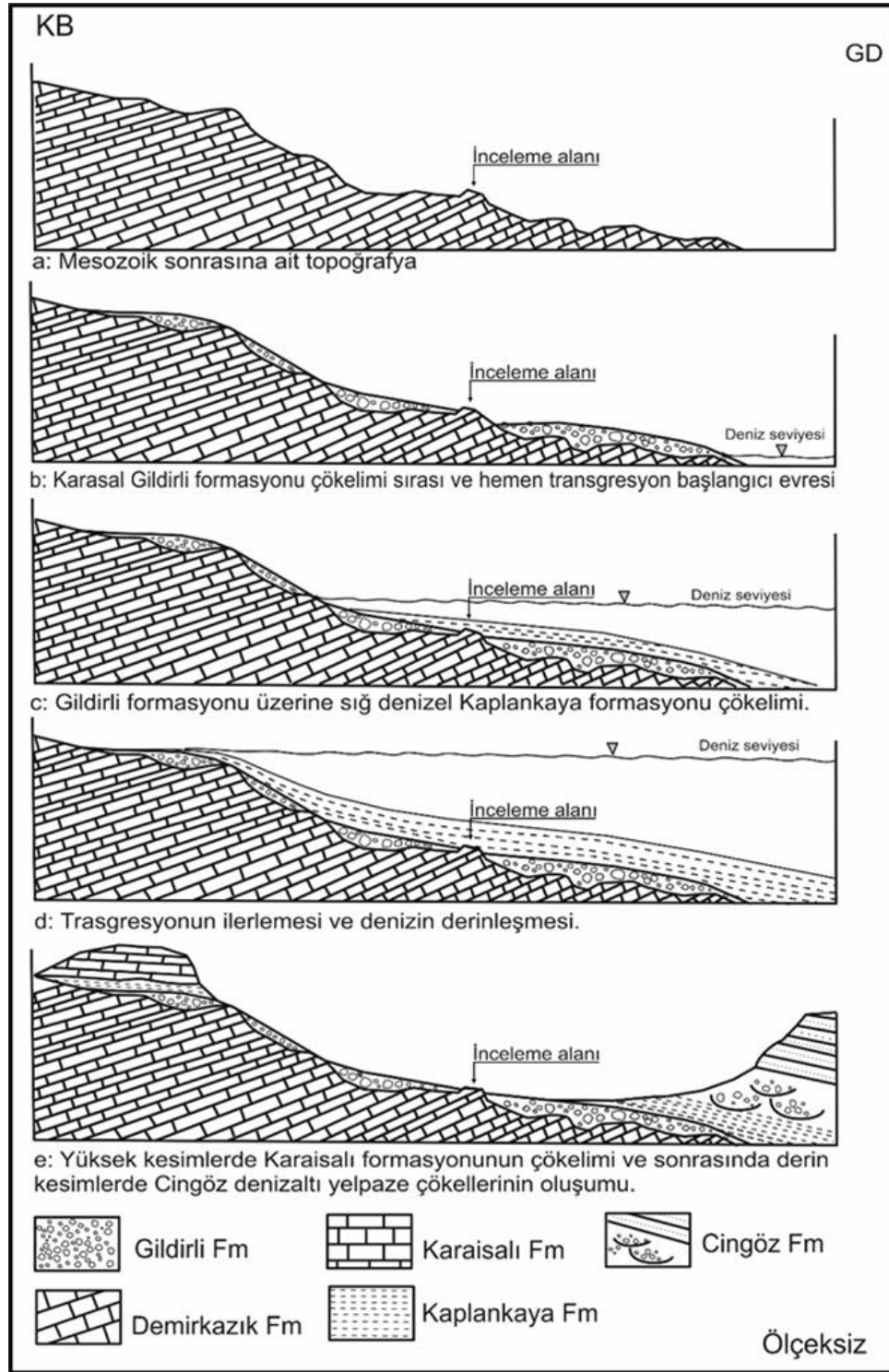
Çört oluşumlarının diskordans yüzeylerine yakın kesimlerde yoğunlaşması bu oluşumların ikincil olduğunu göstermektedir. Çört oluşumları boyutlarına, şekillerine, tabakadaki konumlarına ve iç yapılarına göre sınıflandırılmıştır.

Çört oluşumlarının bölgeye ilk denizel transgresyon sırasında ve hemen sonrasında oluştuğu saptanmıştır (Şekil 15). Bu tip oluşumlarla ilgili literatür taramasında gözlenen ve yaygın olarak kullanılan Bustillo (1998) tarafından önerilmiş olan modele uygun olduğu saptanmıştır (Şekil 16).

Bu çalışma ile edinilen bulgular ortamdaki silis zenginleşmesinin:

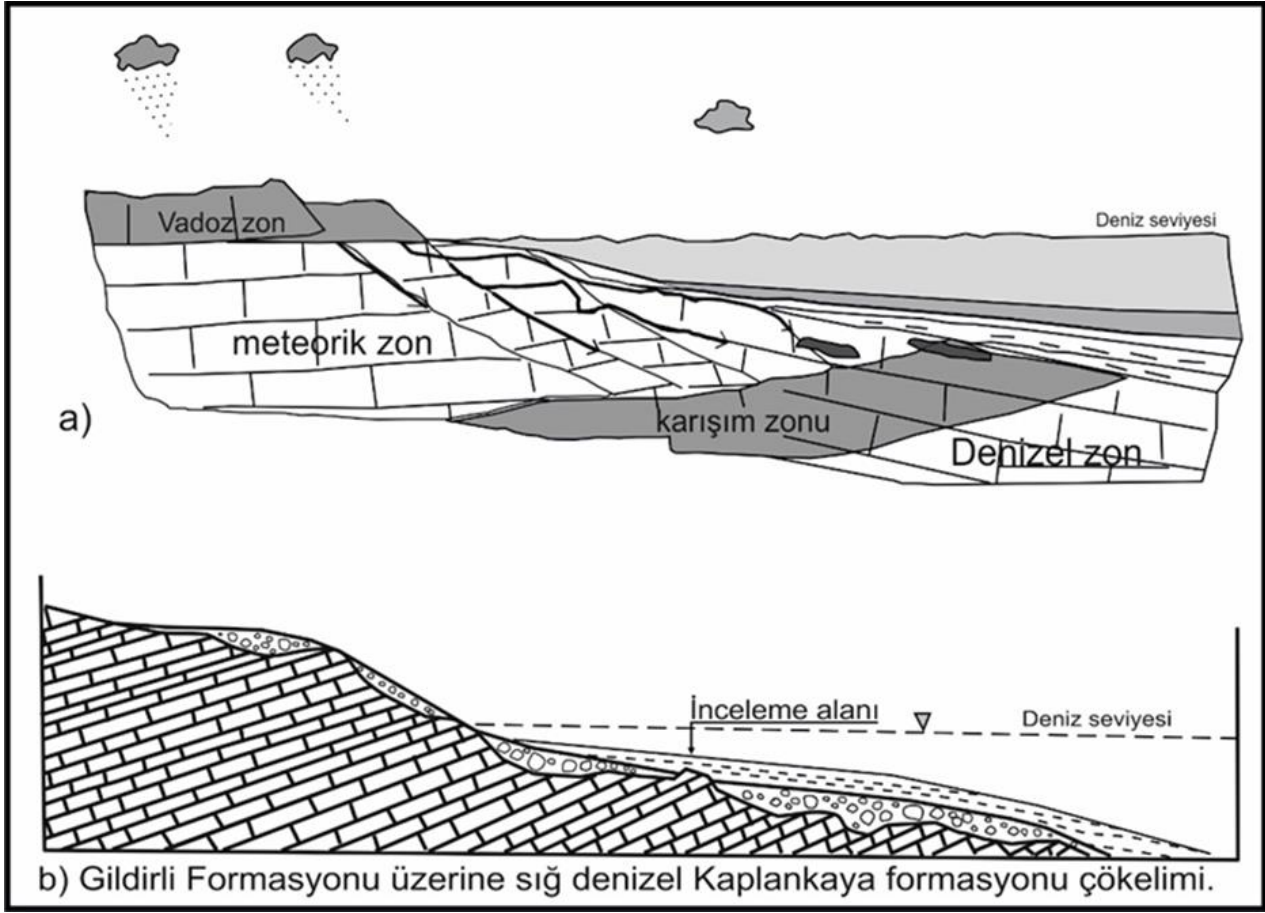
- a) Deniz suyundaki silis miktarının varlığı/yokluğu
- b) Gildirli fm. silisli (radyolarit, çört) çakıllarının olabilirliği
- c) Yüzeyde yer alan ofiyolitik kayaçların neden olabileceğini düşündürmektedir.

Bu çalışma ile elde edilen verilerin daha geniş alanlarda yaygınlaştırılması ve sonuçlarının jeokimyasal verilerle de desteklenmesi önerilebilir.



Şekil 15. İnceleme alanı ve civarı için geliştirilmiş jeolojik taslak enine kesit.

Figure 15. Geological draft cross-section developed for the study area and its vicinity.



Şekil 16. İnceleme alanı Jura-Kretase yaşlı kireçtaşlarındaki silisleşmelerle ilgili Bustillo (1998) tarafından önerilen oluşum modeli (a) ve inceleme alanına uyarlanan model (b).

Figure 16. The formation model proposed by Bustillo (1998) for silicifications in the Jurassic-Cretaceous aged limestones of the study area (a). model adapted to the study area (b).

KAYNAKLAR

- Bustillo, M.A. 1998 Meteoric water participation in the genesis of Jurassic cherts in the subbetic of southern Spain — a significant indicator of penecontemporaneous emergence. Elsevier Sedimentary Geology, 119, 85-102 p.
- Boggs S. Jr., Principles of Sedimentology and Stratigraphy, Macmillan Publishing Company, New York, USA, 771, 1987.
- Bramlette, M.N., 1946 The Monterey Formation of California: U.S. Geol. Survey, Prof, Paper, 212
- DeMaster DJ (2002) The accumulation and cycling of biogenic silica in the Southern Ocean: revisiting the marine silica budget. Deep Sea Research. Part II (49): 3155-3167.
- DeMaster DJ, Knapp GB, Nittrouer CA (1983) Biological uptake and accumulation of silica on the Amazon continental shelf. Geochim Cosmochim Acta 47: 1713-1723.
[https://doi.org/10.1016/0016-7037\(83\)90021-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(83)90021-2)
- Dunham, R.J. (1962) Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Classification of Carbonate Rocks (Ed. W.E. Ham), Am. Assoc. Pet. Geol. Mem., 1, 108–121.
- Folk, R.L., 1962, Spectral subdivision of limestone types, Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 1, p. 62–84.
- Knauth, L.P., 1979. Origin of chert in limestone. Geology 7, 274–277.
- Lapidus, D. F. (1990) Collins Dictionary of Geology, Collins, London and Glasgow, 565p.
- Liu XY, Yan JX (2007) Nodular Chert of the Permian Chihshia Formation from South China and Its Geological Implications. Acta Sedimentologica Sinica 25(5): 730-736 Lapidus F., Winstanley I., Collins Dictionary of Geology, Collins, Glasgow, 565, 1990.
- Murchev BL, Jones DL (1992) Amid-Permian chert event: Widespread deposition of biogenetic siliceous sediments in coastal, island arc and oceanic basins. Paleogeogr Paleoclimatol Paleocol 96(1-2): 161-174. [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(92\)90066-E](https://doi.org/10.1016/0031-0182(92)90066-E)
- Maliva RG, Knoll AH, Simonson BM (2005) Secular change in the Precambrian silica cycle: insights from chert petrology. Geol Soc Am Bull 117: 835-845.
<https://doi.org/10.1130/B25555.1>

- Nelson DM, Anderson RF, Barber RT, et al. (2002) Vertical budgets for organic carbon and biogenic silica in the Pacific sector of the Southern Ocean, 1996–1998. *DeepSea Research II* 49 (9-10): 1645-1674.
- Perry ECJ, Lefticariu L (2007) Formation and geochemistry of Precambrian cherts. *Treatise on Geochem* 7: 1-21. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/07138-3>
- Ragueneau O, Treguer P, Leynaert A, et al. (2000) A review of the Si cycle in the modern ocean: recent progress and missing gaps in the application of biogenic opal as a paleoproductivity proxy. *Glob Planet Change* 26: 317-365.
- Qu Y, Wang J, Xiao S, et al. (2017) Carbonaceous biosignatures of diverse chemotrophic microbial communities from chert nodules of the Ediacaran Doushantuo Formation. *Precambrian Res* 290: 184-196.
- Xiao CT, Ding J, Hu WS et al. (2009) A study on palaeoecology in upwelling phase region of middle Permian in the lower Yangtze area. *Acta Sedimentol Sin* 27: 319-325.



Malatya Ovacık Fay Zonunun Yazıhan Segmentinin İstatistiksel Deprem Risk Analizi

Statistical Earthquake Risk Analysis of Yazıhan Segment of Malatya Ovacık Fault Zone

ULAŞ İNAN SEVİMLİ¹ 0000-0003-1168-2150
ULVİ CAN ÜNLÜGENÇ² 0000-0002-6608-6607

¹Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Adıyaman

²Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği, Adana

Geliş (received): 06/10/2022

Kabul (Accepted): 20/12/2022

ÖZ

Günümüzde deprem oluş zamanlarının karma dağılım yaklaşımı kullanılarak, meydana gelebilecek olası depremlerin hesaplamaları yapılmaktadır. Bu çalışmada ise, depremlerin meydana gelme zamanları için olasılık hesapları yapılmıştır. Bu analizlerde deprem risk analizi modellerinde Gamma, Lognormal, Weibull ve Exponential dağılım modelleri kullanılmaktadır. Hazırlanan veri seti kullanılarak bahsi geçen dağılım modelleri ile yapılan çalışmalarda, KS ve RMS değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen modellerle ait birikimli dağılım fonksiyon grafikleri incelenerek hazırlan veri setine uygun model belirlenerek istatistiksel olarak deprem risk analizleri gerçekleştirilmiştir. 1900–2021 yılları arasında Malatya ili kuzeyinde gözlemlenen, Malatya Ovacık Fay Zonunun Yazıhan segmenti üzerinde meydana gelen depremler veri seti olarak kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yazıhan; Deprem; Malatya Fayı; İstatistiksel Risk Analizi

Ulaş İnan SEVİMLİ

usevimli@adiyaman.edu.tr

Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Adıyaman

ABSTRACT

Today, calculations of possible earthquakes that may occur later are made by using the mixed distribution approach of earthquake occurrence times. In this study, probability calculations were made for the occurrence times of earthquakes. In these analyses, Gamma, Lognormal, Weibull and Exponential distribution models are used in earthquake risk analysis models. KS and RMS values were calculated in the studies carried out with the aforementioned distribution models using the prepared data set. By examining the cumulative distribution function graphs of the models obtained, the distribution model suitable for the prepared data set was selected and statistically earthquake risk analyzes were carried out. The earthquakes that occurred on the Yazihan segment of the Malatya Ovacık Fault Zone, observed in the north of Malatya between the years 1900-2021, were used as the data set.

Keywords: *Yazihan; Earthquake; Malatya Ovacık Fault Zone; Statistical Risk Analysis*

GİRİŞ

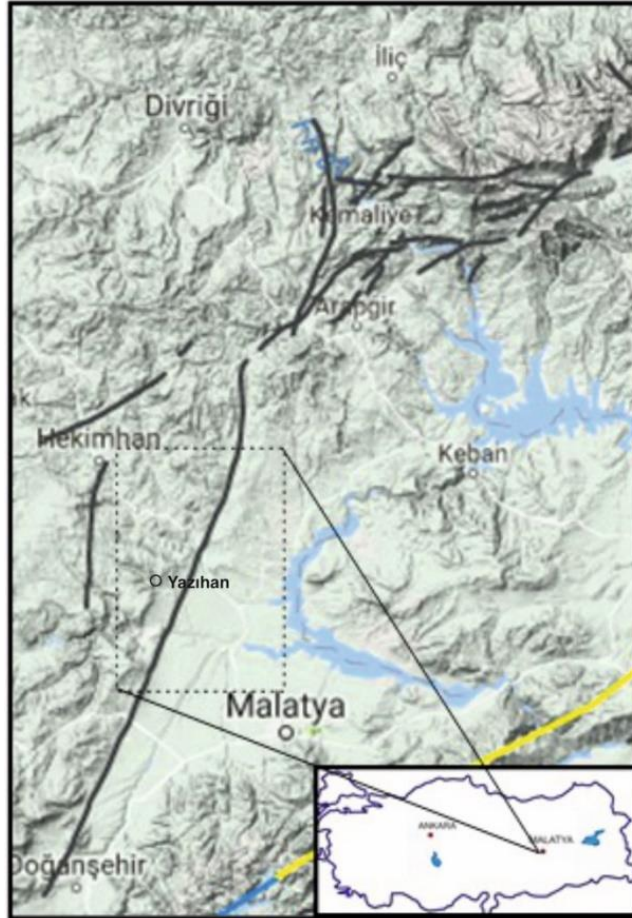
Ülkemiz jeolojik konumu nedeniyle aktif fay kuşaklarının etkisi altındadır. Bu kuşaklar geçmişten günümüze birçok yıkıcı deprem üretmiş ve önemli miktarda mal ve can kaybına neden olmuşlardır. Bir bölgedeki deprem riskinin bilinmesi ve buna uygun önlem alınması, olası depremin doğuracağı can ve mal kaybını en aza indireyecektir. Depremler, yeryüzünde görülen en büyük doğal afetlerin başında gelmektedir. Deprem kestirimi yeterince ilerleme kaydedilmediği için, yapılan deprem tehlike/risk çalışmaları büyük oranda önceden meydana gelmiş depremler kullanarak istatistiksel yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmalarda, meydana gelmiş tarihsel ve aletsel deprem verilerinden veri setleri oluşturulmakta böylelikle depremlerin olma olasılıkları ve tekrarlanma periyotları istatistiksel olarak hesaplanmaktadır.

Bu makalede ülkemizin ve dünyada önemli bir konumda olan deprem üretme potansiyeli oldukça yüksek olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ile Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) gibi doğrultu atımlı özelliğe sahip yaklaşık KD doğrultu Doğanşehir-Ovacık arasında yer alan Malatya – Ovacık Fay Zonu’nun önemli bir parçası olan Malatya Fayının etki alanında kalan Malatya ili kuzeyinin istatistiksel deprem risk analizi değerlendirilmiştir. Merkezi Yazihan (Malatya) olmak üzere Malatya fayı boyunca yaklaşık çap 35 km’lik daire içerisinde 1900-2021 yılları arasında meydana gelmiş magnitudü 2 –x arasında değişen 901 adet deprem

verilerinden hazırlanmış deprem risk analizlerine göre, belirli zamanlarda depremin olma olasılığı istatistiksel olarak hesaplanmıştır.

METOD VE BULGULAR

Bu çalışmada Malatya Fayı üzerinde, bugüne kadar olan ölçülmüş deprem verileri içerisinde, merkez noktası Yazihan (Malatya) olan, 35 km yarıçapında bir daire içerisinde yer alan deprem ($M>2$) verileri kullanılarak, Yazihan ve çevresi için istatistiksel deprem risk analizleri yapılmıştır. Toplam 1523 deprem verisinden $M>2$ ve üzeri 901 deprem seçilmiş ve kullanılmıştır.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

İstatistiksel yöntemler, depremlerin oluş zamanının modellemelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Depremlerin oluşma zamanlarının modellenmesi ile ilgili Literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Deprem oluş zamanlarının modellenmesinde yaygın kullanılan dağılımlar arasında Weibull dağılım modeli (Hagiwara, 1974; Udias, 1975; Utsu, 1984; Rikitake, 1991; Sykes at all, 2003), Gamma Dağılım modeli (Udias, 1975; Utsu, 1984) ile Lognormal Dağılım modeli (Nishenko at all, 1987; Goes, 1996; Shimazaki, 2002; Erişoğlu ve ark., 2011) sayılabilir .

Utsu (2002) yapmış olduğu bu çalışmada, deprem oluş zamanlarının modellenmesinde sıkça kullanılan Üstel, İki Parametrelili Üstel, Weibull, Gamma ve Lognormal dağılımlarını incelemiştir. Yakın zamanlarda yapılan çalışmalarda büyük depremlerin oluş zamanlarının modellemelerinde matematiksel modellemelerin yanında Novel modellerde de gelişmeler olmuştur (Matthews at all, 2002; Parsons 2004). Brownian modeli, magnitudü 7 ve daha büyük depremlerin Marmara Deniz'i tabanında meydana gelme zamanlarının tahmininde kullanılmıştır (Matthews at all, 2002). Lee ve Tasi (2005) ise Tayvan'da 1900-2001 yılları arasında $M \geq 5$ büyük depremlerin oluş zamanlarının modellenmesinde Weibull, Gamma, Poisson ve lognormal dağılımlarına göre incelemiş, bu dağılımlar arasında Gamma dağılımının daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Kagan ve Jackson (2000), Gutenberg Richter dağılımı yöntemini Filipinler adasının kuzey kesimlerinde meydana gelen deprem tahminleri için kullanmıştır. Shimazaki (2002) ise Nankai depremlerinin oluşma zamanlarının modellenmesinde Lognormal, Poisson, İki Parametrelili Üstel, Weibull ve Gamma dağılımlarını kullanmıştır. Seher ve Main (2004), deprem verilerinin farklı boyutlardaki Multi-line, Sinüzoidal, polinom ,modellemelerini kullanarak ortaya koydukları üç parametrelili doğrusal bir modelleme ile tahmin etmiştir. Parsons (2004), paleoseismik veriler kullanarak Poisson, Lognormal, ve Brownian modellerinin sonuçlarını incelemiştir. Stein vd. (1997), 1939-92 yılları arasında Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda (KAFZ) magnitudü 6.7'den büyük olan toplam 10 adet depremin verisini kullanarak gelecek 30 yıllık periyot içerisinde olası depremlerin oluş zamanlarını istatistiksel modellemeler kullanarak tahmin etmişlerdir. Erişoğlu vd. (2011) yapmış oldukları çalışmada, Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde 1960'dan 2008'e kadar olan magnitudü 3 ve üstü depremleri kullanarak deprem oluş zamanı modellemesinde karma dağılımları kullanmışlardır

Yapılan bu çalışma ile depremlerin meydana gelme zamanlarının modellenmelerinde, Erişoğlu vd. (2011)'in önermiş oldukları karma dağılımlar kullanılmış ve istatistiksel olarak deprem oluş zamanı modellemeleri yapılmıştır. Bu çalışmada, Weibull-Gamma, Lognormal-Lognormal, Lognormal-Weibull, Gamma-Gamma, Exponential-Exponential, Weibull-Weibull, Exponential-Lognormal, Exponential-Weibull, Gamma-Lognormal karma dağılım modelleri kullanılmıştır.

BÖLGESEL JEOLojİ ve TEKTONİK

Avarasya Levhası ile Arabistan ve Afrika Levhaları'nın kuzeye doğru hareketi sonucunda arada kalan Anadolu Bloğunun KAFZ ve DAFZ boyunca batı-güneybatıya doğru kaçışı bölgesel tektonik açasından önemli rol oynamaktadır. Malatya Ovacık Fay Zonu (MOFZ) yaklaşık 240 km uzunluğunda olup Anadolu Bloku içerisindeki doğuda DAFZ'na yaklaşık paralel KD-GB doğrultulu sol yanal faydır. Daha önceki çalışmalarda fay zonunun son birkaç milyon yıldır aktif olmadığı ileri sürmesine rağmen, son yapılan çalışmalar bunun aksi yönde olduğunu ileri sürmektedir.

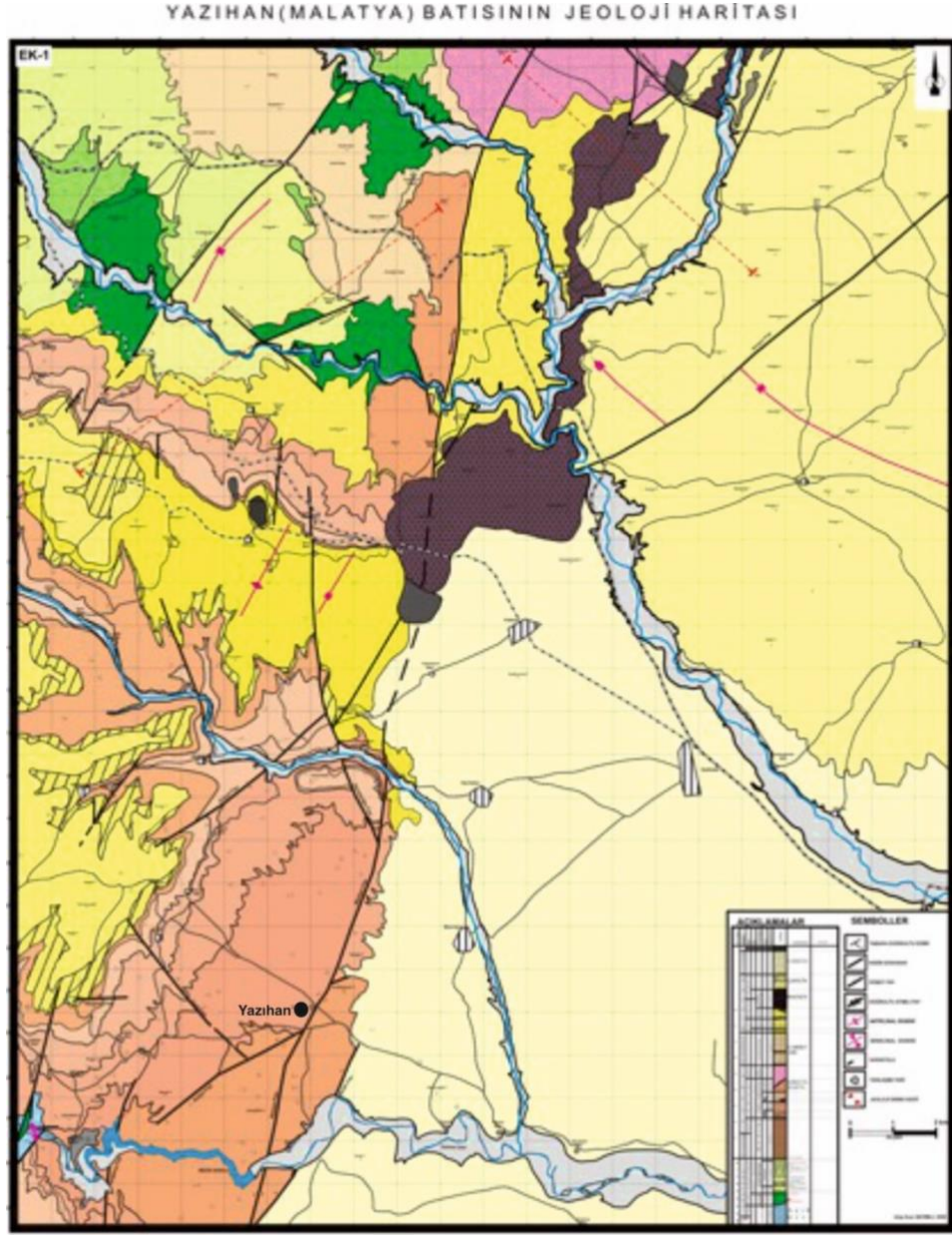
Bölgeyi etkileyen DAFZ ve KAFZ'nun etkisi ile ortaya çıkan sıkışma tektoniği rejimine (emin misiniz? Referans ekleyin lütfen) bağlı olarak oluşmuş olan Malatya Fayı Malatya ilinin batısında Doğanşehir- Akçadağ- Arguvan- Arapkir doğrultusunda uzanmaktadır (yerleşim alanlarını şekilde gösteriniz lütfen).

İnceleme alanında jeolojik birimler, temelde Üst Jura – Alt Kretase yaşlı Horasançal formasyonu ile başlamaktadır. Formasyon, Geç Kampaniyen öncesinde gelişen tektonik bindirme ile Hocalıkova ofiyoliti tarafından örtölmüştür. Hekimhan formasyonu, transgresif bir istif karakterinde olup Üst Kampaniyen – Maastrichtiyen döneminde bölgeye yerleşmiştir. Çökelme alanının kapanması ile birlikte, Paleosen döneminde Medik formasyonu, Hekimhan formasyonunu açasal uyumsuzlukla örtmüştür. Orta – Üst Eosen döneminde gelişen ikinci büyük bir transgresyonla birlikte bölgeye Tohma formasyonu çökelmiştir. Leylek volkanitleri, Havzanın kapanması sırasında Tohma formasyonunu üzerini uyumsuzlukla örtmektedir. Havzanın kapanması sonucunda Oligosen döneminde bölgede karasal nitelikli Yeşilpınar formasyonu çökelmiştir. Alt Miyosen döneminde ise gelişmeye başlayan Malatya Fay

Zonunun etkisi ile birlikte bölgede küçük transgresyonlar başlamıştır. Bunun sonucunda Çavuş formasyonu Yeşilpınar formasyonunu açısal uyumsuzlukla örtmüştür. Ansurçay formasyonu, Burdigaliyen döneminde açısal uyumsuzlukla Çavuş formasyonu örtmüştür. Havzanın tekrar sığlaşması ile birlikte Alt – Orta Miyosen yaşlı Akyar formasyonu bölgede çökelmiştir. Yamadağ volkanitleri orta-üst miyosen döneminde bölgede var olan birimleri örtmüştür. Üst Miyosen yaşlı Parçikan formasyonu Yamadağ volkanitlerini uyumsuzlukla örtmektedir. Plio-Kuvaterner yaşlı Mısırdere formasyonu açısal uyumsuzlukla Parçikan formasyonunu örtmekte, son olarak bu birimleri açısal uyumsuzluk ile Kuvaterner yaşlı Alivyon ve Taraçalar üzerlemektedir (Sevimli, 2009) (Şekil 2.).

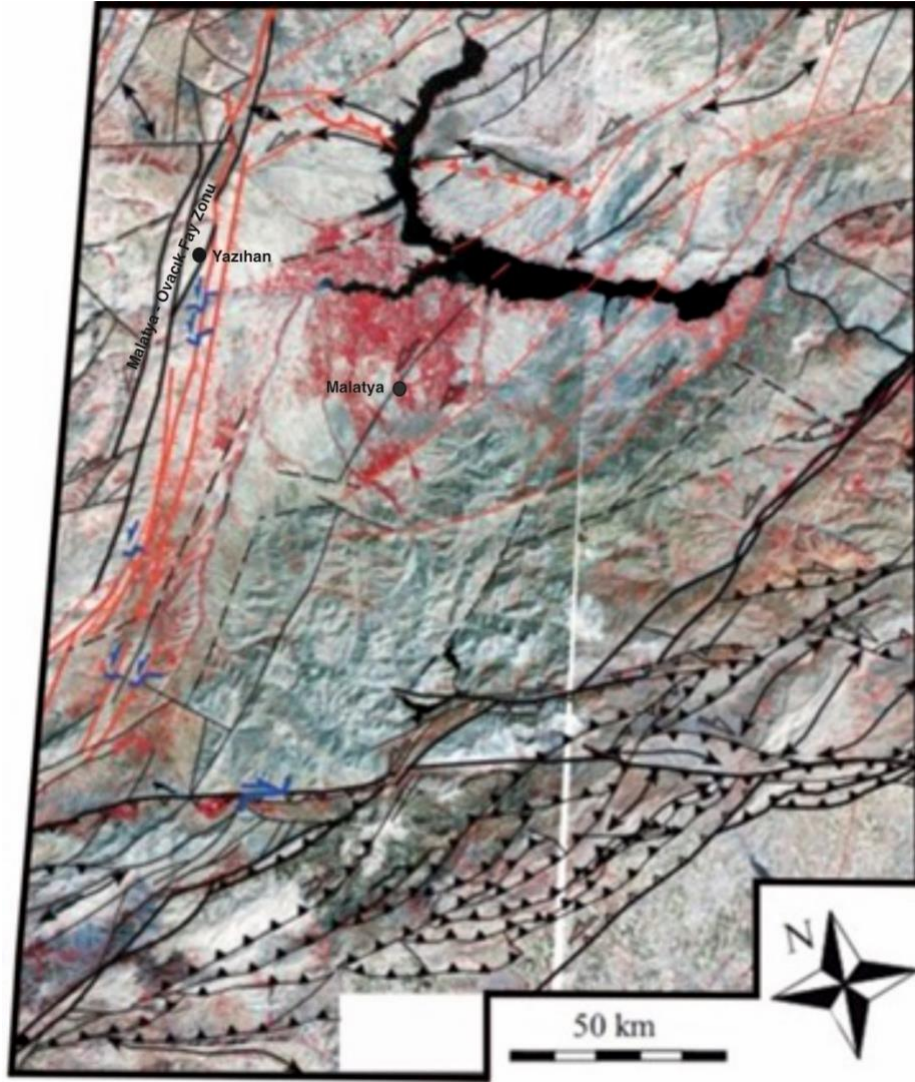
Malatya Fayı:

Malatya Fayı, ilk kez Aktimur'un (1979) yılında hava fotoğraflarından yararlanarak "Malatya Fayı" olarak isimlendirmiştir. İnceleme alanında yaklaşık KD doğrultulu olarak uzanan Malatya – Ovacık Fay Zonunun bir segmenti olan fay, Pliyosen'den genç bir fay olduğu belirtilmekte (Aktimur, 1979; Koçyiğit vd., 1998; Westaway at all, 2001 Sevimli, 2009;) olup, fayın diri ya da pasif bir fay olduğu yönünde farklı görüşler ortaya atılmaktadır. Bu konuda (Aktimur, 1979; Koçyiğit vd., 1998 Sevimli, 2009;), Malatya – Ovacık fay zonunun halen aktif bir fay olduğu yönünde fikir öne sürerlerken, (Westaway at all, 2001) ise onlara tam zıt fikir öne sürüp Malatya – Ovacık fay zonunun diri fay olmadığını ve bu fayın 3-5 milyon yıl önce aktif bir fay olduğunu belirtmişlerdir. Doğu Anadolu Fay Zonunun gelişmesi ile birlikte fayın etkinliğinin durduğunu öne sürmüşlerdir. Doğrultu atımlı sol yanal bir fay olarak uzanan Malatya – Ovacık Fay zonu (Arpat vd., 1972; Aktimur, 1979) Doğanşehir ilçesinin yaklaşık 5 km. güneybatısından başlamakta ve çalışma sahamız içerisinde de uzanımına devam ederek kuzeyde Arapkir ilçesinin 10 km. batısında çatallandığı ve birinci çatalın kuzeye doğru Ilıç'ın 15 km. güneybatısına kadar uzandığını ve diğer çatalın kuzeydoğuya doğru yaklaşık 25 km. uzanmakta olduğu (Şaroğlu, vd., 1987) tarafından da ileri sürülmektedir (Şekil 3).



Şekil 2. Yazihan ve yakın civarının jeoloji haritası ((Sevimli 2009)’den değiştirilerek).

Figure 2. Geological map of Yazihan and its surroundings (modified from (Sevimli 2009)).



Şekil 3. Şekil 3. Malatya – Ovacık Fay zonunun bir kısmının uydu görüntüsü üzerinde CBS analizi yapılarak işlenmiş yapısal haritası (Kaymakçı vd., 2006).

Figure 3. Structural map of Malatya – Ovacık Fault zone processed by GIS analysis on satellite image (Kaymakçı et al., 2006).

Modelleme ve Deprem Risk Analizi

Literatür incelendiğinde, deprem oluş zamanlarının modellenmesiyle ilgili çalışmalarda en yaygın kullanılan dağılımlar olarak Gamma, Üstel, Weibull ve Lognormal dağılımları gösterilebilir (Erisoğlu vd, 2011).

Modelleme:

T ard arda meydana gelen iki deprem arasındaki oluş zamanını gösteren rassal değişkenimiz olsun. T rassal değişkeninin olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(t)$ ve birikimli dağılım fonksiyonu $F(t)$ ile gösterilsin. Deprem oluş zamanlarının modellenmesinde bir depremden sonra t anına kadar bir depremin meydana gelmediği bilindiğinde $t + \Delta t$ aralığında bir deprem meydana gelme olasılığı

$$P(\Delta t | t) = \frac{P(t < T \leq t + \Delta t)}{P(T \geq t)} \quad (1)$$

şeklinde tanımlanır. İstenilen koşullu olasılık hazard fonksiyonu olarak adlandırılır ve T 'nin güvenilirlik fonksiyonu $S(t)$ olmak üzere,

$$h(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{f(t)}{S(t)} \quad (2)$$

eşitliği ile elde edilir.

Deprem Oluş Zamanlarının Modellenmesinde Önemli Bazı Dağılımlar:

Literatür incelendiğinde, deprem oluş zamanlarının modellenmesiyle ilgili çalışmalarda en yaygın kullanılan dağılımlar olarak Üstel, Gamma, Lognormal ve Weibull dağılımları gösterilebilir. Bu dağılımlara ait olasılık fonksiyonu ve birikimli dağılım fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır.

a) Üstel Dağılım

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad t > 0 \text{ ve } \lambda > 0$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$E(t) = \lambda$$

b) Gamma Dağılımı

$$f(t) = t^{\alpha-1} \frac{e^{-t/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \quad t > 0 \quad \alpha, \beta > 0$$

$$F(t) = \frac{\Gamma_x(\alpha)}{\Gamma(\alpha)}$$

$$\Gamma_x(\alpha)$$

tamamlanmamış gamma fonksiyonu olarak isimlendirilir ve

$$\Gamma_x(\alpha) = \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

şeklinde hesaplanır.

$$E(t) = \alpha\beta$$

c) Weibull Dağılımı

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta} \right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{t}{\beta} \right)^\alpha} \quad t > 0 \quad \alpha, \beta > 0$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\beta} \right)^\alpha}$$

$$E(t) = \beta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\alpha} \right)$$

d) Lognormal Dağılım

$$f(t) = \frac{e^{-\left\{ \frac{1}{2} \left[\frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right]^2 \right\}}}{t \sigma \sqrt{2\pi}} \quad t > 0 \quad \mu, \sigma > 0$$

$$F(t) = \Phi \left\{ (\ln t - \mu) / \sigma \right\}$$

Burada Φ normal dağılımın birikimli dağılım fonksiyonudur ve

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{\ln t - \mu}{\sigma}} e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

şeklinde hesaplanır.

$$E(t) = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

Deprem Oluş Zamanlarının Modellenmesinde Karma Dağılım Yaklaşımı

Karma dağılım yaklaşımı kullanıldığında kitle içerisinde g (≥ 2) tamsayı olmak üzere, g tane farklı gizli sınıfın veya alt grubun olduğunu varsayımı yapılır. Sonlu karma dağılım fonksiyonu,

$$f(t | \psi) = \sum_{k=1}^g \pi_k f_k(t | \theta_k)$$

şeklinde tanımlanır. Burada $k = 1, \dots, g$ olmak üzere $f_k(t | \theta_k)$, k . alt grupta t gözlem vektörünün olasılık yoğunluk fonksiyonu, θ_k bilinmeyen parametre vektörü, $\pi_k, \pi_k \in (0,1)$

ve $\sum_{k=1}^g \pi_k = 1$ koşuluyla k . alt grubun kitle içerisindeki oranı ve $\psi = (\pi, \theta)$, $\pi = (\pi_1, \dots, \pi_g)$ ve

$\theta = (\theta_1, \dots, \theta_g)$ bilinmeyen vektörlerini içeren karmanın bilinmeyen parametre vektörü olarak tanımlanır.

Karma Dağılımın Parametrelerinin EM Algoritması İle Tahmini

Karma dağılımının parametrelerinin tahmininde kullanılan EM algoritması etkin yöntemdir (McLachlan ve Peel 2001). EM algoritmasında tamamlanmamış gözlem vektörü $t_1, \dots, t_n$ ve gizli sınıf vektörleri $z_1, \dots, z_g$ şeklinde gösterilsin. EM algoritmasının E adımı gizli sınıf vektörü $z_i = (z_{1i}, \dots, z_{gi})$ tahmininde, $E(z_{ki} | t_i)$ kullanılır.

$$\hat{z}_{ki} = E(z_{ki} | t_i) = \frac{\pi_k f(t_i | \theta_k)}{\sum_{s=1}^g \pi_s f(t_i | \theta_s)}$$

EM algoritmasının M adımında, E adımında elde edilen $E(L)$, $\sum_{k=1}^g \pi_k = 1$ koşulu altında maksimize edilir. $\pi = (\pi_1, \dots, \pi_g)$ ve $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_g)$ bilinmeyen vektöründeki parametrelerin tahmini için, Lagrange yöntemi kullanılır. Alt grubun kitle içindeki oranının tahmini,

$$\hat{\pi}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki}, \quad k = 1, \dots, g$$

şeklinde yapılır.

$f_k(t | \theta_k)$, k . alt grupta t gözlem vektörünün olasılık yoğunluk fonksiyonu üstel dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu alındığında,

$$f(t | \psi) = \sum_{k=1}^g \pi_k \lambda e^{-\lambda_k t}$$

üstel dağılımların karması elde edilir. Üstel dağılımların karmasında k . alt grupta λ parametresinin en çok olabilirlik tahmin edicisi EM algoritması ile

$$\hat{\lambda}_k = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} t_i}{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki}}$$

Şeklinde tahmin edilir (Erişoğlu vd., 2011).

$f_k(t | \theta_k)$, k . alt grupta t gözlem vektörünün olasılık yoğunluk fonksiyonu Lognormal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu alındığında,

$$f(t | \psi) = \sum_{k=1}^g \pi_k \frac{e^{\left(-\frac{1}{2} \left\{ \frac{\ln t - \mu_k}{\sigma_k} \right\}^2 \right)}}{t \sigma_k \sqrt{2\pi}}$$

Lognormal dağılımların karması elde edilir. Lognormal dağılımların karmasında k . alt grupta μ ve σ^2 parametrelerinin en çok olabilirlik tahmin edicileri EM algoritması ile

$$\hat{\mu}_k = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} \ln t_i}{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki}}$$

$$\hat{\sigma}_k^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} (\ln t_i - \hat{\mu}_k)^2}{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki}}$$

şeklinde tahmin edilir.

$f_k(t | \theta_k)$, k . alt grupta t gözlem vektörünün olasılık yoğunluk fonksiyonu Weibull dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu alındığında,

$$f(t | \psi) = \sum_{k=1}^g \pi_k \frac{\alpha_k}{\beta_k} \left(\frac{t}{\beta_k} \right)^{\alpha_k - 1} e^{-\left(\frac{t}{\beta_k} \right)^{\alpha_k}}$$

Weibull dağılımların karması elde edilir. Weibull dağılımların karmasında k . alt grupta α ve

β parametrelerinin en çok olabilirlik tahmin edicileri EM algoritması ile $A_{k,r} = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} \ln t_i}{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki}},$

$$B_{k,r} = \sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} t_i^{\hat{\alpha}_{k,r}}, \quad C_{k,r} = \sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} t_i^{\hat{\alpha}_{k,r}} \ln t_i \quad \text{ve} \quad D_{k,r} = \sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} t_i^{\hat{\alpha}_{k,r}} (\ln t_i)^2 \quad \text{olmak üzere,}$$

$$\hat{\alpha}_{k,(r+1)} = \hat{\alpha}_{k,r} + \frac{A_{k,r} + (1/\hat{\alpha}_{k,r}) - (C_{k,r}/B_{k,r})}{(1/\hat{\alpha}_{k,r}^2) + (B_{k,r}D_{k,r} - C_{k,r}^2)/B_{k,r}^2} \quad k = 1, \dots, g$$

$$\hat{\beta}_k = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} t_i^{\hat{\alpha}_k}}{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki}} \right)^{1/\hat{\alpha}_k}$$

şeklinde tahmin edilir.

$f_k(t | \theta_k)$, k . alt grupta $\mathbf{t}$ gözlem vektörünün olasılık yoğunluk fonksiyonu Gamma dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu alındığında,

$$f(t | \psi) = \sum_{k=1}^g \pi_k t^{\alpha_k-1} \frac{e^{-t/\beta_k}}{\beta_k^{\alpha_k} \Gamma(\alpha_k)}$$

Gamma dağılımların karması elde edilir. Gamma dağılımların karmasında k . alt grupta α ve β parametrelerinin en çok olabilirlik tahmin edicileri EM algoritması ile, $\psi(\cdot)$ digamma fonksiyonu, $\psi'(\cdot)$, trigamma fonksiyonu olmak üzere

$$\hat{\alpha}_k = \hat{\alpha}_{k-1} - \frac{\ln(\hat{\alpha}_{k-1}) - \psi(\hat{\alpha}_{k-1}) - \ln \left(\frac{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} t_i}{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki}} \right) + \frac{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} \ln(t_i)}{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki}}}{\frac{1}{\hat{\alpha}_{k-1}} - \psi'(\hat{\alpha}_{k-1})}$$

$$\hat{\beta}_k = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki} t_i}{\hat{\alpha}_k \sum_{i=1}^n \hat{z}_{ki}}$$

şeklinde tahmin edildiği belirtilmektedir (Erişoğlu vd., 2011).

Bu çalışmada ise karma dağılım modellerinden olan Weibull-Gama, Lognormal-Lognormal, Lognormal-Weibull, Gama-Gama, Exponential-Exponential, Weibull,Weibull, Exponential-Lognormal, Exponential-Weibull, Gama-Lognormal karma dağılım modelleri kullanılmıştır.

Malatya ili kuzeyinde yer alan Yazıhan ilçesi merkez olmak üzere 35 km yarıçap alan içerisinde meydana gelmiş olan magnitüdü 2 ve üzerinde olan 921 adet deprem verisi kullanılmıştır. Elde edilen deprem verileri 1900 ile 2021 tarihleri arasında meydana gelmiş depremlere aittir. Bu verilerden 107 tanesi 3 ve üzeri, 13 tanesi 4 ve üzeri, 2 tanesi de 5 ve üzeri magnitütte depremlere aittir.

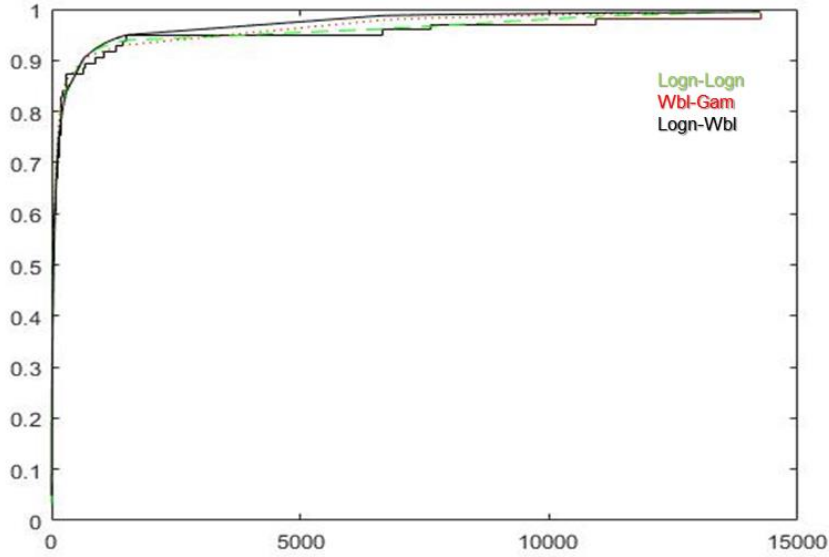
1900–2021 yılları arasındaki depremlerin oluş zamanları öncelikle Weibull-Gama, Lognormal-Lognormal, Lognormal-Weibull, Gama-Gama, Exponential-Exponential, Weibull,Weibull, Exponential-Lognormal, Exponential-Weibull, Gama-Lognormal karma dağılım modelleri dağılımı ile modellenmiştir. Parametre tahminleri, Kolmogorov Smirnov (KS), AIC (Akaike Information Criterion) ve MSE (Mean Square Error) değerleri Şekil 4., 5., ve 8.’de verilmiştir. Hesaplanan KS, AIC ve MSE istatistik değerleri göz önüne alındığında, ardışık deprem oluş süreleri modellemelerinde $M > 2$ için Logn-Logn, Wbl-Logn ve Logn-Wbl; $M > 3$ için Logn-Logn Wbl-Wbl ve Exp-Logn; $M > 4$ için ise Logn-Logn, Gam-Gam ve Wbl-Gam karma dağılım modellerinin daha uygun oldukları görülmektedir Şekil (5., 7., 9.).

NOT: Metodoloji başlığı altında kullanılan yöntemler hakkında bilgiler varsa formüller açıklamaları ile birlikte vermek gerekir.

Distributions	Estimations of Parameters					AIC	KS*	MSE (x10 ⁻⁴)
Exp-Exp	$\lambda_1=59.00$	$\lambda_2=3759.00$			$\pi_1=0.863$	1106.2	0.160	0.0050
Gam-Gam	$\alpha_{g1}=0.4301$	$\beta_{g1}=329.986$	$\alpha_{g2}=11.1888$	$\beta_{g2}=881.172$	$\pi_1=0.957$	1105.2	0.1200	0.0038
Logn-Logn	$\mu_1=9.1580$	$\sigma_1=0.2989$	$\mu_2=3.4582$	$\sigma_2=1.8952$	$\pi_1=0.043$	1083.7	0.046	0.0003
Wbl-Wbl	$\alpha_{w1}=79.00$	$\beta_{w1}=0.5641$	$\alpha_{w2}=10922.0$	$\beta_{w2}=3.5525$	$\pi_1=0.956$	1093.5	0.068	0.0009
Exp-Gam	$\lambda=55.754$	$\alpha_g=0.289$	$\beta_g=681.45$		$\pi_1=0.735$	1094.3	0.146	0.0044
Exp-Logn	$\lambda=70.7937$	$\mu=3.7008$	$\sigma=2.3510$		$\pi_1=0.206$	1090.2	0.058	0.0006
Exp-Wbl	$\lambda=50.7072$	$\alpha_w=331.308$	$\beta_w=0.3934$		$\pi_1=0.420$	1099.2	0.1106	0.0033
Gam-Logn	$\alpha_g=0.8463$	$\beta_g=75.503$	$\mu=3.7613$	$\sigma=2.3581$	$\pi_1=0.233$	1092.0	0.054	0.0005
Wbl-Gam	$\alpha_g=49.9$	$\beta_g=0.7$	$\alpha_w=0.4$	$\beta_w=6959.8$	$\pi_1=0.835$	1090.4	0.0545	0.0403
Logn-Wbl	$\mu=3.00$	$\sigma=2.00$	$\alpha_w=1103.0$	$\beta_w=4.00$	$\pi_1=0.040$	1084.0	0.1267	0.0038

Şekil 4. Magnitütü 2 den büyük depremler için Logn-Logn, Wbl-Gam ve Logn-Wbl karma dağılımı parametre tahminleri, AIC, KS ve MSE değerleri.

Figure 4. Logn-Logn, Wbl-Gam and Logn-Wbl mixed distribution parameter estimates, AIC, KS and MSE values for earthquakes with magnitude greater than 2.



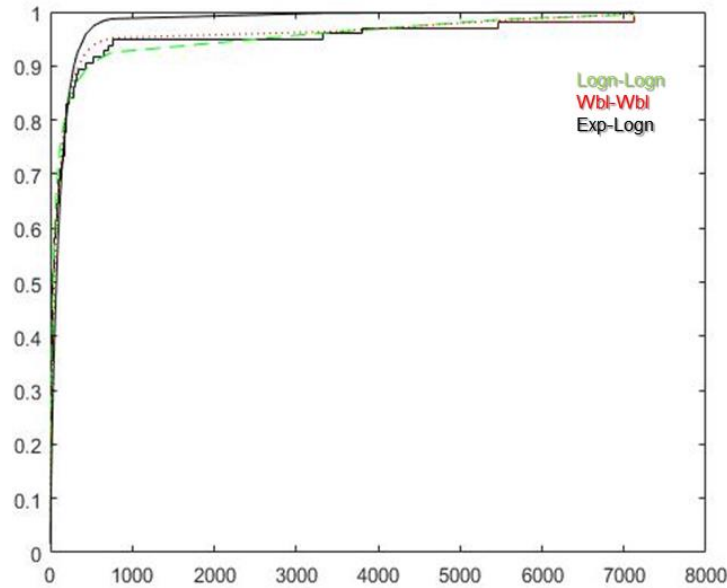
Şekil 5. Ardışık deprem oluş zamanlarına ait Logn-Logn, Wbl-Gam ve Logn-Wbl dağılımlarının birikimli dağılım fonksiyonları grafiği (M>2).

Figure 5. Cumulative distribution functions graph of Logn-Logn, Wbl-Gam and Logn-Wbl distributions of consecutive earthquake occurrence times (M>2).

Distributions	Estimations of Parameters					AIC	KS*	MSE (x10 ⁻⁴)
Exp-Exp	$\lambda_1=64.2$	$\lambda_2=2018.8$			$\pi_1=0.875$	1085.1	0.1727	0.0059
Gam-Gam	$\alpha_{g1}=0.52$	$\beta_{g1}=190.601$	$\alpha_{g2}=11.1972$	$\beta_{g2}=440.28$	$\pi_1=0.956$	1062.9	0.4853	0.0059
Logn-Logn	$\mu_1=3.4113$	$\sigma_1=1.8080$	$\mu_2=8.4701$	$\sigma_2=0.2979$	$\pi_1=0.961$	1058.8	0.0561	0.00058
Wbl-Wbl	$\alpha_{w1}=70.30$	$\beta_{w1}=0.6396$	$\alpha_{w2}=5473.8$	$\beta_{w2}=3.5948$	$\pi_1=0.956$	1060.9	0.0641	0.00065
Exp-Gam	$\lambda=55.10$	$\alpha_g=0.30$	$\beta_g=2681.7$		$\pi_1=0.676$	1082.0	0.1775	0.0062
Exp-Logn	$\lambda=122.406$	$\mu=3.4976$	$\sigma=2.1129$		$\pi_1=0.155$	1062.4	0.0451	0.0036
Exp-Wbl	$\lambda=22.6220$	$\alpha_w=205.932$	$\beta_w=0.5013$		$\pi_1=0.615$	1072.9	0.1433	0.0053
Gam-Logn	$\alpha_g=0.9517$	$\beta_g=124.8043$	$\mu=3.5040$	$\sigma=2.1162$	$\pi_1=0.842$	1064.4	0.2117	0.0109
Wbl-Gam	$\alpha_g=5468.8$	$\beta_g=3.6$	$\alpha_w=0.5$	$\beta_w=190.4$	$\pi_1=0.044$	1063.1	0.0804	0.0001
Logn-Wbl	$\mu=3.4$	$\sigma=1.8$	$\alpha_w=5646.4$	$\beta_w=3.8$	$\pi_1=0.036$	1059.0	0.0609	0.00067

Şekil 6. Magnitüdü 3'den büyük depremler için Logn-Logn, Wbl-Wbl ve Exp-Logn karma dağılımı parametre tahminleri, AIC, KS ve MSE değerleri.

Figure 6. Logn-Logn, Wbl-Wbl and Exp-Logn mixed distribution parameter estimates, AIC, KS and MSE values for earthquakes with magnitude greater than 3.



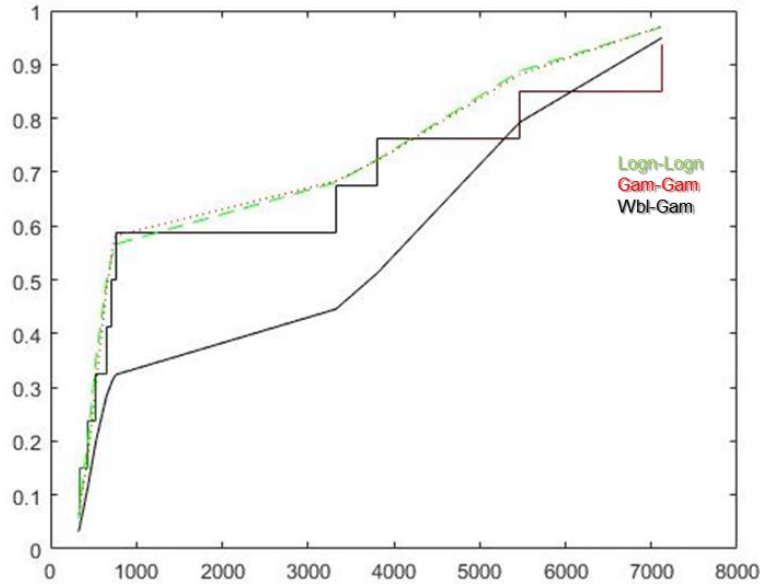
Şekil 7. Ardışık deprem oluş zamanlarına ait Logn-Logn, Wbl-Wbl ve Exp-Logn dağılımlarının birikimli dağılım fonksiyonları grafiği (M>3).

Figure 7. Cumulative distribution functions graph of Logn-Logn, Wbl-Wbl and Exp-Logn distributions of consecutive earthquake occurrence times ($M > 3$).

Distributions	Estimations of Parameters					AIC	KS*	MSE ($\times 10^{-4}$)
Exp-Exp	$\lambda_1 = 551.2$	$\lambda_2 = 3353.3$			$\pi_1 = 0.435$	195.2	0.2324	0.0185
Gam-Gam	$\alpha_{g1} = 11.199$	$\beta_{g1} = 440.228$	$\alpha_{g2} = 10.025$	$\beta_{g2} = 53.378$	$\pi_1 = 0.368$	185.1	0.2617	0.0481
Logn-Logn	$\mu_1 = 8.4578$	$\sigma_1 = 0.2998$	$\mu_2 = 6.2318$	$\sigma_2 = 0.3242$	$\pi_1 = 0.364$	185.1	0.0893	0.0039
Wbl-Wbl	$\alpha_{w1} = 595.2$	$\beta_{w1} = 3.7415$	$\alpha_{w2} = 5478.3$	$\beta_{w2} = 3.6133$	$\pi_1 = 0.636$	185.2	0.0814	0.0037
Exp-Gam	$\lambda = 2131.5$	$\alpha_g = 0.9$	$\beta_g = 2301.7$		$\pi_1 = 0.450$	200.6	0.2743	0.0252
Exp-Logn	$\lambda = 4269.0$	$\mu = 6.2$	$\sigma = 0.3$		$\pi_1 = 0.429$	188.6	0.1279	0.0072
Exp-Wbl	$\lambda = 4293.0$	$\alpha_w = 596.4$	$\beta_w = 3.8$		$\pi_1 = 0.575$	188.3	0.1061	0.0046
Gam-Logn	$\alpha_g = 11.199$	$\beta_g = 440.234$	$\mu = 6.2318$	$\sigma = 0.3242$	$\pi_1 = 0.636$	185.2	0.2644	0.0478
Wbl-Gam	$\alpha_g = 595.31$	$\beta_g = 3.7421$	$\alpha_w = 11.1989$	$\beta_w = 440.220$	$\pi_1 = 0.636$	182.9	0.0814	0.0037
Logn-Wbl	$\mu = 6.2$	$\sigma = 0.3$	$\alpha_w = 5475.8$	$\beta_w = 3.6$	$\pi_1 = 0.364$	185.5	0.1105	0.0053

Şekil 8. Magnitütü 4’den büyük depremler için Gam-Gam, Wbl-Gam ve Logn-Logn karma dağılımı parametre tahminleri, AIC, KS ve MSE değerleri.

Figure 8. Gam-Gam, Wbl-Gam and Logn-Logn mixed distribution parameter estimates, AIC, KS and MSE values for earthquakes greater than 4 magnitude.



Şekil 9. Ardışık deprem oluş zamanlarına ait Logn-Logn, Wbl-Gam ve Gam-Gam dağılımlarının birikimli dağılım fonksiyonları grafiği ($M>4$).

Figure 9. Cumulative distribution functions graph of Logn-Logn, Wbl-Gam and Gam-Gam distributions of consecutive earthquake occurrence times ($M>4$).

Birikimli dağılım fonksiyonları ve Deprem oluş zamanı dağılımlarını gösteren grafikler (Şekil 5., 7., 9.) incelendiğinde, karma dağılım için en uygun modellerin $M>2$ için Logn-Logn, Wbl-Gam ve Logn-Wbl, $M>3$ için Logn-Logn, Wbl-Wbl ve Exp-Logn; $M>$ için ise Logn-Logn, Wbl-Gam ve Gam-Gam karma dağılım modellerinin en uygun dağılımlar olduğu görülmüştür. Şekil 5. incelendiğinde, $M>2$ depremler için depremin olma olasılığı 750 gün (2,055 yıl) için %90'ın üzerinde olduğu hesaplanmıştır. Şekil 7. incelendiğinde, $M>3$ depremler için depremin olma olasılığı 500 gün (1,370 yıl) için %93'ün üzerinde olduğu hesaplanmıştır. Şekil 9. İncelendiğinde ise, $M>4$ depremler için depremin olma olasılığı 6500 gün (17,808 yıl) için %90'ın üzerinde olduğu hesaplanmıştır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İnceleme alanının istatistiksel deprem risk analizi, magnitüdü 2 ve üstü, 3 ve üstü, 4 ve üstü depremler için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Deprem risk analizi yapılırken Weibull-Gamma, Lognormal-Lognormal, Lognormal-Wbl, Gamma-Gamma, Exp-Exp, Weibull-Weibull, Exp-Gamma, Exp-Lognormal, Exp-Weibull, Gama-Lognormal karma dağılım modelleri kullanılmış ve bu dağılımlardan magnitüdü 2'den büyük olanlar için Logn-Logn, Wbl-Gam ve Logn-Wbl karma dağılım modellemeleri veri setine en uygun dağılımlar oldukları belirlenmiştir. Magnitüdü 3'den büyük olanlar için Logn-Logn, Wbl-Wbl ve Exp-Logn karma dağılım modellemeleri veri setine en uygun dağılımlar oldukları belirlenmiştir.

Zaman	mlpdf	gwpdf	glpdf	Zaman	mlpdf	gwpdf	glpdf	Zaman	mlpdf	gwpdf	glpdf
1	3,26%	4,88%	5,78%	1	2,84%	1,64%	7,81%	1	0,00%	0,00%	0,00%
10	25,99%	24,76%	24,50%	10	25,94%	11,98%	24,31%	10	0,00%	0,00%	0,00%
50	57,03%	53,40%	55,41%	50	58,54%	38,88%	50,82%	50	0,00%	0,00%	0,01%
100	69,77%	67,43%	70,49%	100	71,65%	59,37%	66,43%	100	0,00%	0,00%	0,08%
200	80,01%	79,04%	82,03%	200	81,85%	81,11%	81,56%	200	0,13%	0,07%	1,07%
500	88,92%	88,54%	89,32%	500	90,29%	97,04%	93,54%	500	30,47%	17,41%	25,82%
750	91,34%	91,35%	90,81%	750	92,46%	98,71%	95,16%	750	56,29%	32,16%	57,71%
1000	92,61%	93,01%	91,71%	1000	93,56%	99,13%	95,54%	1000	62,46%	35,69%	63,58%
1250	93,39%	94,13%	92,40%	1250	94,20%	99,31%	95,63%	1250	63,46%	36,27%	63,65%
1500	93,90%	94,94%	92,99%	1500	94,62%	99,43%	95,67%	1500	63,62%	36,39%	63,66%
2000	94,53%	96,03%	93,95%	2000	95,13%	99,58%	95,75%	2000	63,72%	36,73%	63,85%
2500	94,89%	96,74%	94,71%	2500	95,46%	99,67%	95,89%	2500	64,27%	38,04%	64,60%
3000	95,12%	97,24%	95,34%	3000	95,81%	99,74%	96,11%	3000	66,04%	41,20%	66,41%
3250	95,21%	97,44%	95,61%	3250	96,03%	99,76%	96,26%	3250	67,56%	43,67%	67,82%
3500	95,28%	97,62%	95,87%	3500	96,28%	99,78%	96,43%	3500	69,48%	46,74%	69,57%
3750	95,35%	97,77%	96,10%	3750	96,56%	99,80%	96,63%	3750	71,76%	50,33%	71,62%
4000	95,40%	97,91%	96,32%	4000	96,86%	99,81%	96,85%	4000	74,27%	54,36%	73,92%
4250	95,46%	98,03%	96,52%	4250	97,17%	99,83%	97,09%	4250	76,93%	58,67%	76,39%
4500	95,51%	98,14%	96,71%	4500	97,48%	99,84%	97,34%	4500	79,60%	63,13%	78,93%
4750	95,56%	98,23%	96,88%	4750	97,79%	99,85%	97,61%	4750	82,21%	67,58%	81,48%
5000	95,61%	98,32%	97,05%	5000	98,08%	99,86%	97,89%	5000	84,67%	71,90%	83,94%
5250	95,67%	98,40%	97,20%	5250	98,34%	99,87%	98,16%	5250	86,94%	75,97%	86,27%
5500	95,74%	98,48%	97,35%	5500	98,58%	99,88%	98,43%	5500	88,99%	79,73%	88,42%
5750	95,81%	98,55%	97,48%	5750	98,80%	99,88%	98,68%	5750	90,79%	83,11%	90,35%
6000	95,89%	98,61%	97,61%	6000	98,98%	99,89%	98,92%	6000	92,36%	86,10%	92,06%
6250	95,99%	98,67%	97,73%	6250	99,14%	99,89%	99,14%	6250	93,71%	88,69%	93,54%
6500	96,09%	98,72%	97,84%	6500	99,28%	99,90%	99,32%	6500	94,85%	90,90%	94,80%
6750	96,21%	98,77%	97,95%	6750	99,40%	99,90%	99,48%	6750	95,81%	92,76%	95,86%
7000	96,33%	98,82%	98,05%	7000	99,50%	99,91%	99,62%	7000	96,61%	94,29%	96,74%
7250	96,46%	98,86%	98,14%	7250	99,58%	99,91%	99,72%	7250	97,26%	95,54%	97,45%
A-M>2 için				B-M>3 için				C-M>4 için			
2,055	Yıl			1,370	Yıl			17,808	Yıl		

Şekil 10. Magnitüdü A-2’den; B-3’den ve C-4’den büyük depremler için risk analizi. Bu çizelgedeki açıklamalar eksiktir.

Figure 10. From the 57agnitüde A-2; Risk analysis for earthquakes greater than B-3 and C-4.

Magnitütü 4’den büyük olanlar için ise Logn-Logn, Gam-Gam ve Wbl-Gam karma dağılım modelleri veri setine en uygun dağılımlar oldukları belirlenmiştir. Tüm veri setleri için ise Logn-Logn karma dağılım modellemesi uygun dağılımlar sunmuştur.

Hazırlanan veri setlerinden elde edilen sonuçlara göre;

- magnitüdü 2 ve üzerinde olan depremler modellenerek, ardışık deprem oluş zamanları belirlenmiştir. Bu modellere göre, 750 gün içerisinde magnitüdü 2’den büyük bir depremin olma olasılığı %90’dan fazladır.

- magnitüdü 3 ve üzerinde olan depremler modellenerek, ardışık deprem oluş zamanları belirlenmiştir. Bu modellere göre, 500 gün içerisinde magnitüdü 3'den büyük bir depremin olma olasılığı %93 'den fazladır.
- magnitüdü 4 ve üzerinde olan depremler modellenerek, ardışık deprem oluş zamanları belirlenmiştir. Bu modellere göre, 6500 gün (~ 17,8 yıl) içerisinde magnitüdü 4'den büyük bir depremin olma olasılığı %90'dan fazladır.

KATKI BELİRTME

Makalenin gelişmesine katkı sağlayan hakemlere teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Aktimur, S, 1979, Malatya-Sivas Solayının Uzakdan Algılama Yöntemiyle Çizgiselliklerinin İncelenmesi. MTA Rapor No:66-51.
- Arpat, E., Şaroğlu, F., 1972, Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlem ve düşünceler, MTA Dergisi, 78, 33-39.
- Ateş R, Bayülke N. 26 Mart 1977 Palu Elazığ Depremi, Deprem Araştırma Daire Başkanlığı, (Yayımlanmamış) Ankara, 1977.
- Chien-Ping L, Yi-Ben T. A Study of Recurrence Models of Earthquakes in Taiwan, TAO 2005; 16(1): 251-271.
- Erişoğlu M, Çalış N, Servi T, Erişoğlu Ü, Topaksu M. The Mixture Distribution Models for Interoccurrence Times of Earthquakes. Russian Geology and Geophysics 2011; 52 (7): 737-744.
- Goes SDB. Irregular recurrence of large earthquakes: an analysis of historic and paleosiesmic catalogs. J. Geophysics Res. 1996; 101: 5739-5749.
- Hagiwara Y. Probality of Earthquake occurrence as obtained from a Weibull distiribition analysis of crustal strain. Tectonophysics 1974; 23: 323-318.
- Herece E, Akay E. Karlıova-Çelikhan arasında Doğu Anadolu Fayı, Türkiye 9. Petrol Kongresi 1992; 361-372.

- Hempton MR. The North Anatolian fault and complexities of continental escape, Journal of Structural Geology 1982; 4: 502-504.
- İmamoğlu MŞ. Gölbaşı (Adıyaman)-Pazarcık-Narlı(K.Maraş) Arasındaki Sahada Doğu Anadolu Fayı'nın Neotektonik İncelemesi. Yayımlanmamış doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara; 1993.
- İmamoğlu MŞ. Doğu Anadolu fay zone Gölbaşı kesimi neotektonik özellikleri ve Gölbaşı-Saray fay kaması havzası, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni 1996; 11: 176-184.
- İmamoğlu MŞ, Çetin E. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Yakın Çevresinin Depremselliği, D.Ü. Z.G. E.F. Dergisi 2007; 9: 93-123.
- Kagan Y, Jackson D. Probabilistic forecasting of earthquakes, Geophys. J. Int. 2000; 143:438-453.
- Kaymakçı, N., İnceöz, M., Ertepinar, P., 2006, 3d-Architecture- End And Neogene Evolutyon Of The Malatya Basin: İnferences For The Kinnematic Of The Malatya End Ovacık Fout Zones, T.J.E.S, Vol: 15, 123-124, Ankara.
- Koçyiğit, A., Beyhan, A., 1998. A new intracontinental transcurrent structure: the Central Anatolian Fault Zone, Turkey. Tectonophysics 284, 317-336.
- Matthews A, Barclay J. Carn S. Thompson G. Alexander J. Herd R. Williams C. Rainfall-induced volcanic activity on Montserrat. Geophysical Research Letters 2002; 29: doi: 10.1029/2002GL014863. issn: 0094-8276.
- Nishenko SP, Buland R. A generic recurrence interval distribution for earthquake forecasting, Bull. Seism. Soc. Am. 1987; 77: 1382-1399.
- Parsons T. Recalculated probability of $M \geq 7$ earthquakes beneath the Sea of Marmara, Turkey, Journal Of Geophysical Research 2004; pp: 109, B05304, doi:10.1029/2003JB002667.
- Peck, R.B., Hansen, W.E. And Thornburn, T.H., 1974. Foundation Engineering, 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York, 514 p.

- Perinçek D, Günay Y, Kozlu H. Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki yanal atımlı faylar ile ilgili yeni gözlemler, Türkiye 7. Petrol Kongresi 1987; 89-103.
- Perinçek D, Eren AG. Doğrultu atımlı Doğu Anadolu ve Ölü Deniz fay zonları etki alanında gelişen Amik Havzası'nın kökeni, 8. Petrol Kongresi 1990; 180-192.
- Rikitake T. Assessment of Earthquake Hazard in the Tokyo Area, Japan, Tectonophysics 1991; 199(1): 121-131.
- Rojay B, Heimann A, Toprak V. Neotectonic and Volcanic Characteristics of the Karasu Fault Zone (Anatolia, Turkey): the Transition Zone Between the Dead Sea Transform and the East Anatolian Fault Zone, Geodinamica Acta 2000; 14: 197-212.
- Seher T, Main IG. A statistical evaluation of a 'stress-forecast' earthquake, Geophysical Journal International 2004; 157(1): 187-193.
- Sevimli, U.İ., 2009, Yazıhan (Malatya) Batısının Tektono-Stratigrafisi, Doktora Tezi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 159 s, Adana.
- Shimazaki K. Long-term probabilistic forecast in Japan and time-predictable behavior of earthquake recurrence, Seismotectonics in Convergent Plate Boundary, Y. Fujinawa and A. Yoshida (Editors): 37-43; 2002.
- Stein RS, Barka AA, Dieterich JH. Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering, GJI 1997; 128: 594-604.
- Sungurlu O. VI. Bölge Gölbaşı-Gerger Arasındaki Sahanın Jeolojisi: TPAO Arama Grubu, Rapor No. 802, Ankara, 1973; 30 s.
- Sykes L, Nishenko S. Probabilities of occurrence of large plate rupturing earthquakes for the San Andreas, San Jacinto, and Imperial faults, California, 1983-2003. Journal of Geophysical Research 1984; 89: 5905-5927.
- Şaroğlu F, Emre Ö, Boray A. Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri, MTA Derleme No:8174, 1987; 394 s.

- Udias A, Rice J. Statistical analysis of microearthquake activity near San Andreas geophysical observatory, Hollister, California, Bulletin of the Seismological Society of America 1975; 6: 809-827.
- Utsu T. Estimation of parameters for recurrence models of earthquakes, Bulletin Earthquake Research Inst. Univ. Tokyo 1984; 59: 53-66.
- Utsu T. list of deadly earthquakes in the World: 1500-2000, in International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology Part A, edited by Lee WK. Kanamori H. Jennings PC. Kisslinger C.: Academic Press; San Diego. pp:691-717. 2002.
- Westaway, R., Arger, J., 2001. Kinematics of the Malatya - Ovacık fault zone. Geodinamica Acta 14, 103-131.



Adıyaman ve Civarının İstatistiksel Deprem Risk Analizi

Statistical Earthquake Risk Analysis of Adıyaman and It's Surroundings

ULAŞ İNAN SEVİMLİ ¹ 0000-0003-1168-2150

¹Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Adıyaman

Geliş (received): 06/10/2022

Kabul (Accepted): 03/11/2022

ÖZ

Günümüzde depremlerin oluş zamanları ve aletsel büyüklükleri kullanılarak belirli istatistik yöntemlerde kullanarak daha sonra meydana gelecek olan depremlerin oluş zamanları için olasılık hesapları yapılmaktadır. Günümüzde Deprem riski analiz modellemelerinde Gama, Lognormal, Exponential ve Weibull dağılım modelleri sıklıkla kullanılmaktadır. Adıyaman ili için yapılan deprem risk analiz modelini hazırlanırken bahsi geçen dağılım modelleri kullanılmış ve Lognormal ve Weibull dağılım modellerinin hazırlanan veri setine en uygun oldukları görülmüştür. Bölgede 1900'lü yıllardan günümüze kadar olmuş magnitüdü 3'den büyük depremler için deprem risk analizi yapılmış ve magnitüdü 3, 4 ve 5'den büyük depremlerin ardışık deprem oluş zamanları ve olasılıkları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deprem, İstatistiki Risk Analizi, Jeoloji, Adıyaman

ABSTRACT

Today, probabilistic calculations are made for the occurrence times of possible earthquakes that will occur later by using certain statistical methods by using the occurrence times of earthquakes and instrumental sizes. Gamma, Lognormal, Exponential and Weibull distribution models are frequently used in earthquake risk analysis models. While preparing the earthquake risk analysis model for Adıyaman province, the aforementioned distribution models were used and it was seen that the Lognormal and Weibull distribution models were most suitable for the prepared data set. Earthquake risk analysis has been made for earthquakes with a magnitude greater than 3 that have occurred in the region from 1900 to the present, and the consecutive occurrence times and probabilities of earthquakes with magnitudes greater than 3, 4 and 5 have been determined.

Keywords: *Earthquake; Statistical Risk Analysis; Geology; Adiyaman*

Ulaş İnan SEVİMLİ

usevimli@adiyaman.edu.tr

GİRİŞ

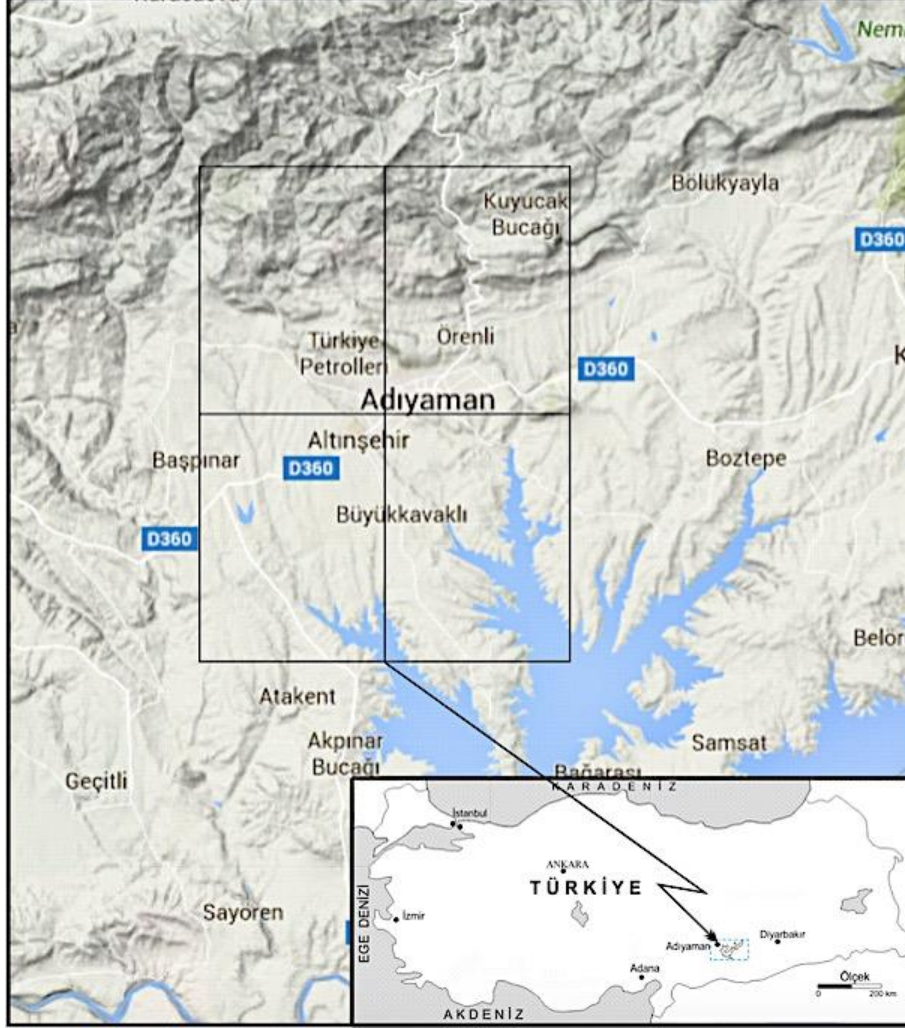
Ülkemiz, tektonik konumundan dolayı aktif fay ve fay zonlarının etkisi altındadır. Bu aktif fay ve fay zonları oluşum tarihlerinden günümüze kadar birçok büyük deprem üretmiş ve çok sayıda can ve mal kaybına neden olmuşlardır. Örneğin 1930 Hakkâri depremi (7.2), 1939 Erzincan depremi (7.9), 1999 Gölcük depremi (7.5) gibi. Deprem, dünya oluştuğundan beri var olan ve var olmaya devam edecek önemli bir doğa olayıdır. Herhangi bir alandaki deprem riskinin ortaya konulması ve bu riske karşı önlemler alınması, olası depremin meydana getireceği hasarları en aza indirecektir. Günümüzde yapılan tüm çalışmalara rağmen depremlerin ne zaman olacağı konusunda herhangi bir alet geliştirilememiştir. Günümüzde yapılan son çalışmalar, olmuş depremlerin büyüklük ve oluş zamanları kullanarak istatistiksel yöntemler kullanılarak olası deprem zamanlarının tahminine dayanmaktadır. Yapılan bu çalışmalarda önceki olmuş ve kayıt edilmiş depremlerin verilerinden yararlanarak olması muhtemel depremlerin periyotları ve olma olasılıklarını belirlemektedir.

Yapılan bu çalışmada deprem potansiyeli yüksek ve bölgemizin en önemli doğrultu atımlı fay zonlarından birisi olan Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ‘nun etkisi altında kalan inceleme alanının (Adıyaman) istatistiksel deprem risk analizi hazırlanmıştır. Adıyaman ili merkezi başlangıç noktası alınmış olup yaklaşık çapı 125 km olan daire içerisinde kalan alanda 1900-2021 yılları arasında meydana gelmiş magnitüdü 3 ve üzerinde olan 1548 adet deprem verisi kullanılarak veri setleri hazırlanmış depremlerin belirli zaman aralıklarında olma olasılıkları hesaplanmıştır.

METOD VE BULGULAR

Yapılan çalışmada DAFZ üzerinde, 1900’den günümüze kadar, Adıyaman il merkezi başlangıç noktası olup yaklaşık çapı 125 km olan daire içerisinde Magnitüdü 3’den büyük ($M>3$) deprem

verileri kullanarak, seçili alan içerisinde istatistiksel deprem risk analizi hazırlanmıştır. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nün deprem verilerinden derlemiş olduğumuz 5535 deprem içerisinde 3 ve üstü büyüklükte 1548 deprem seçilerek bu çalışmada kullanılmıştır.



Şekil 1. Yer buldur haritası ve çalışma alanı.

Figure 1. Location map.

İstatistiksel yöntemler, olası depremlerin oluş zamanlarının modellenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Depremlerin oluşma zamanları modellemeleri ile ilgili literatürde bir çok çalışma bulunmaktadır. Bu modellemelerde sıklıkla kullanılan dağılımlar Gama Dağılımı (Udias, 1975; Utsu, 1984), Weibull dağılımı (Hagiwara, 1974; Udias, 1975; Utsu, 1984; Rikitake, 1991; Sykes at all, 2003;), ve Lognormal dağılımı (Nishenko at all, 1987; Goes, 1996; Shimazaki, 2002) sayılabilir (Erisoğlu ve ark., 2011).

Utsu (2002) yapmış olduğu çalışmasında, deprem oluş zamanlarının modellenmesinde sıkça kullanılan Üstel, İki Parametrelili Üstel, Weibull, Gamma ve Lognormal dağılımlarını incelemiştir. Yakın dönemlerde yapılan çalışmalarda büyük depremlerin oluşma zamanlarının modellemelerinde matematiksel modellemelerin yanında Novel modellerde de geliştirmeler olmuştur (Matthews at all, 2002; Parsons 2004). Brownian modeli, magnitudü 7 ve daha büyük depremlerin Marmara Deniz'i tabanında meydana gelme zamanlarının tahmininde kullanılmıştır (Matthews at all, 2002). Lee ve Tasi (2005) ise Tayvan'da 1900-2001 yılları arasında $M \geq 5$ büyük depremlerin oluşma zamanlarının modellenmesinde Weibull, Gamma, Poisson ve lognormal dağılımlarına göre incelemiş, bu dağılımlar arasında Gamma dağılımının daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Kagan ve Jackson (2000), Gutenberg Richter dağılımı yöntemini Filipinler adasının kuzey kesimlerinde meydana gelen deprem tahminleri için kullanmıştır. Shimazaki (2002) ise Nankai depremlerinin oluşma zamanlarının modellenmesinde Lognormal, Poisson, İki Parametrelili Üstel, Weibull ve Gamma dağılımlarını kullanmıştır. Seher ve Main (2004), deprem verilerinin farklı boyutlardaki Multi-line, Sinüzoidal, polinom ,modellemelerini kullanarak ortaya koydukları üç parametrelili doğrusal bir modelleme ile tahmin etmiştir. Parsons (2004), paleoseismik veriler kullanarak Poisson, Lognormal, ve Brownian modellerinin sonuçlarını incelemiştir. Stein vd. (1997), 1939-92 yılları arasında Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda (KAFZ) magnitudü 6.7'den büyük olan toplam 10 adet depremin verisini kullanarak gelecek 30 yıllık periyot içerisinde olası depremlerin oluş zamanlarını istatistiksel modellemeler kullanarak tahmin etmişlerdir. Erişoğlu vd. (2011) yapmış oldukları çalışmada, Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde 1960'dan 2008'e kadar olan magnitudü 3 ve üstü depremleri kullanarak istatistiksel olarak deprem oluş zamanı modellemesinde karma dağılımları kullanmışlardır.

Bu çalışmada, deprem oluş zamanlarının modellenmesinde, Erişoğlu vd. (2011)'in önermiş oldukları istatistiksel modellemeler kullanılarak, depremlerin oluş zamanlarının modellemeleri yapılmıştır. Bu çalışmada Üstel, Lognormal, Gamma ve Weibull dağılım modellemeleri kullanılmıştır.

Bölgesel Jeolojisi ve Tektonik

Gondwana ile Avrasya arasındaki Tetis denizinin kapanması sonucu, Hakkari - Kahramanmaraş arasında devam eden ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ile kesilen Güneydoğu Anadolu bindirme kuşağı, bir bindirme fayı olup kıta-kıta çarpışması özelliğini göstermektedir. Bindirme kuşağının, Doğu Anadolu Fay Zonu tarafından kesilen bölümündeki atım miktarı yaklaşık 25 km dir. Güneydoğu Anadolu bindirme kuşağı ayrıca bir kenet kuşağıdır (Perinçek vd, 1990).

Güneydoğu Anadolu bölgesinin kuzeyinde yer alan Adıyaman ili, tektonik açıdan (Perinçek vd, 1990)'e göre 3 farklı kuşağın etkisi altındadır. Bunlar güneydeki Arap Platformu, bunun üzerine gelen Ekay zonu ve Ekay zonunun kuzeyinde kalan nap alanıdır.

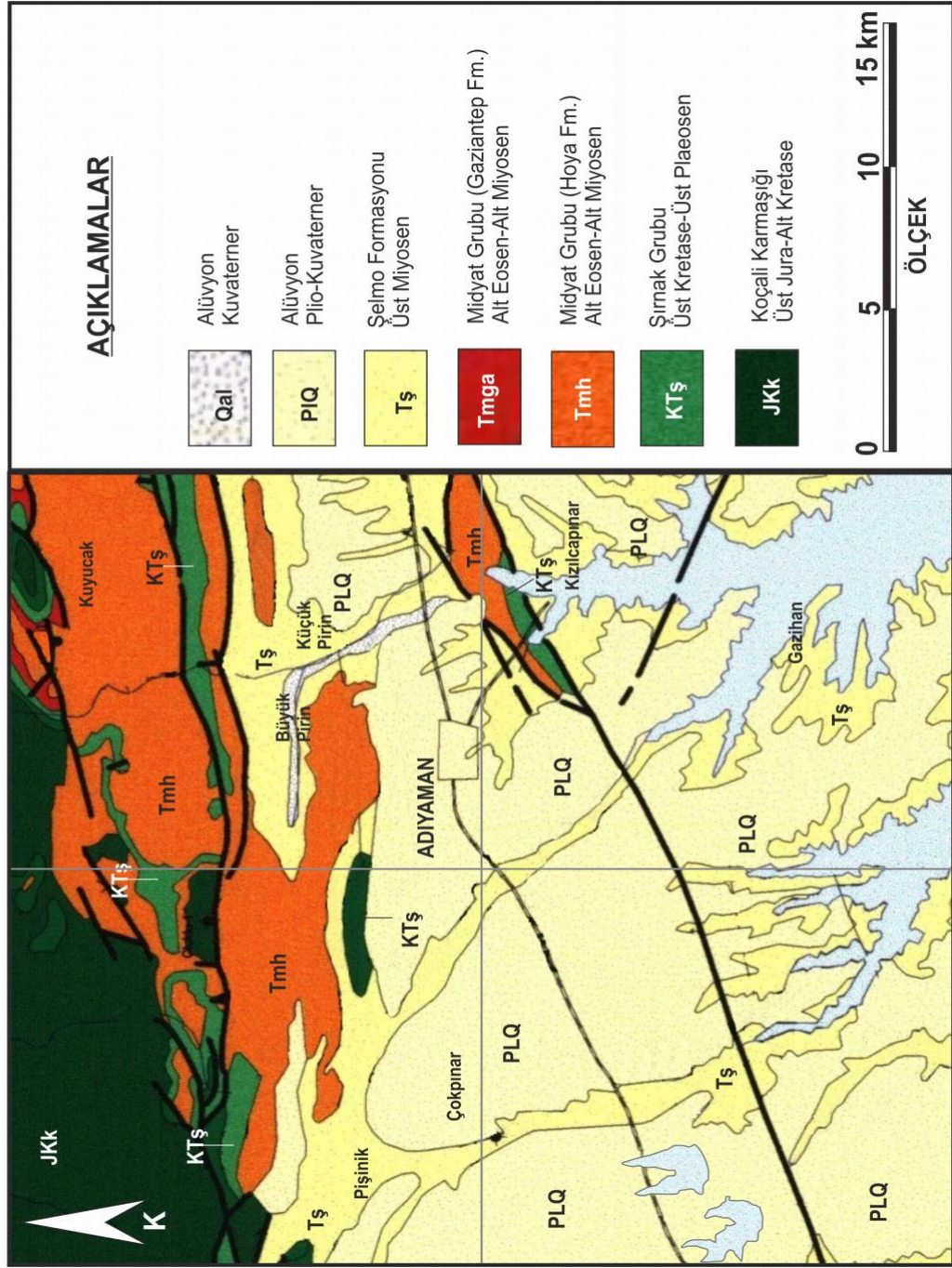
İnceleme alanının temelini Üst Kretase yaşlı Koçali Karmaşığı oluşturmaktadır. Tektonik olarak bölgeye yerleşmiş olan birim çalışma alanının kuzeybatı tarafında yüzeylenmektedir. Koçali Karmaşığı üzerine Üst Kretase – Üst Paleosen yaşlı Şırnak Grubu uyumsuz olarak yerleşmiştir. Şırnak Grubu genellikle çalışma alanının kuzey kesimlerinde ince dilimler halinde bulunmaktadır. Şırnak Grubu üzerine uyumsuz olarak Alt Miyosen – Alt Paleosen yaşlı Midyat Grubuna ait Hoya ve Gaziantep formasyonları gelmektedir. Hoya Formasyonu çalışma alanının kuzey kesiminde doğu – batı uzanımlı bir hat şeklinde yüzeylenmektedir. Gaziantep formasyonu ise kuzey kesimlerde çok küçük bir alanda yüzeylenmektedir. Midyat Grubu üzerinde uyumsuz olarak Üst Miyosen yaşlı Şelmo Formasyonu bulunmaktadır. Birim çalışma alanının orta ve güney kesimlerinde genellikle Pliyo-Kuvaterner birimlerin aşındığı vadi içlerinde ve aşınma alanlarında görülmektedir. Çalışma alanında en geniş yayılımı sunan Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimler aşıl uyumsuzlukla altta bulunan birimleri örtmektedir. Son olarak bu birimleri aşıl uyumsuzluk ile Kuvaterner yaşlı Alüvyon ve Taraçalar üzerlemektedir (Şekil 2).

Bu çalışmanın konusu olan Adıyaman ili civarını etkileyen ve ilin kuzeyinde yer alan Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Doğu Anadolu Bölgesinde Karlıova (Bingöl) civarında KAFZ ile yaptığı birleşme ile başlar, Antakya bölgesinde ise Ölü Deniz Fay sistemine bağlanır (Şekil 3.). DAFZ Karlıova-Antakya arasında KD-GB yönünde devam eder. Bu transform fay sisteminin uzunluğu yaklaşık 580 km dir 1969 yılından günümüze kadar DAFZ üzerinde çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda DAFZ'nun Akdeniz'in doğusunun

depremselliği ve jeodinamik evriminde bölgedeki bir başka fay sistemi olan Ölü Deniz Fayı ile birlikte önemli rol oynadığı belirlenmiştir. (Şaroğlu vd., 1987; Herece vd., 1992), DAFZ, Karlıova'nın doğusunda, KAFZ ile kesişme yerinden başladığını ve KD-GB yönünde Göynük güneybatıya doğru devam ettiğini belirtmişlerdir. Burada 17 km'lik atımı olan fay, Bingöl yöresinde biraz belirsizleşmekte, ancak Palu-Pötürge arasında tekrar belirginleşip güneybatıya doğru devam etmektedir. Hazar Gölü kuzeyinde son bulan segment, güneye sıçrama yaparak batıya devam etmektedir.

Hazar Gölü ve civarında yapılan araştırmalarda, buranın beş adet büyük deprem geçirdiği ortaya konmuştur (Hempton, 1982; İmamoğlu, 1993). Pötürge'nin kuzeyinde ise Şiro Çayı boyunca batıya devam eden segment, Karakaya baraj gövdesinin 14 km kuzeyinden geçerek, Fırat Nehri üzerinde 13 km'lik sol yönlü bir atım oluşturmaktadır (Şaroğlu vd, 1987). Güneybatıya doğru devam eden DAFZ, Çelikhan'ın güneyinden ve Adıyaman Gölbaşı ilçe merkezinden geçerek, Gölbaşı batısında 4750 m'lik bir atım oluşturmakta [İmamoğlu, 1993 ve 1996) ve Kahramanmaraş'ın güneyinde, Türkoğlu'nda, çatallanmaktadır. Bir kolu doğrultu atımın yanı sıra, eğim atım karakteri de kazanarak, güneye dönerek Amanos Fayı'nı oluştururken; bir kolu da Türkoğlu'nda doğrultu değiştirmeden güneybatıya doğru devam eder ve Bahçe kuzeyinden, Osmaniye'den ve Ceyhan'ın güneyinden geçerek, Karataş'ta Akdeniz'e girer. Son birkaç yüz yıl içinde bu fay üzerinde meydana gelen en önemli depremler, 1513 Pazarcık depremi, 1822 Kahramanmaraş depremi, 1866 Karlıova depremi, 1872 Antakya, 1874 Gezin depremi, 1875 Sivrice depremi, 1893 Çelikhan depremi, 1905 Pötürge depremi, 1971 Bingöl depremi, 1977 Palu depremi (Ateş, 1977), Haziran-Temmuz 1986 Sürgü depremleri (Şaroğlu vd, 1987) ve 1998 Ceyhan depremleridir (İmamoğlu vd, 2007).

Adıyaman İli Merkezi ve Yakın Çevresinin Jeolojisi Haritası



Şekil 2. Çalışma alanı ve yakın civarının jeoloji haritası (MTA ve (Sungurlu, 1973)'den değiştirilerek).

Figure 2. Geological map of the study area and its vicinity (modified from MTA and (Sungurlu, 1973)).



Şekil 3. Türkiye ve yakın bölgesini şekillendiren ana neotektonik yapılar (Rojay at all, 2000).

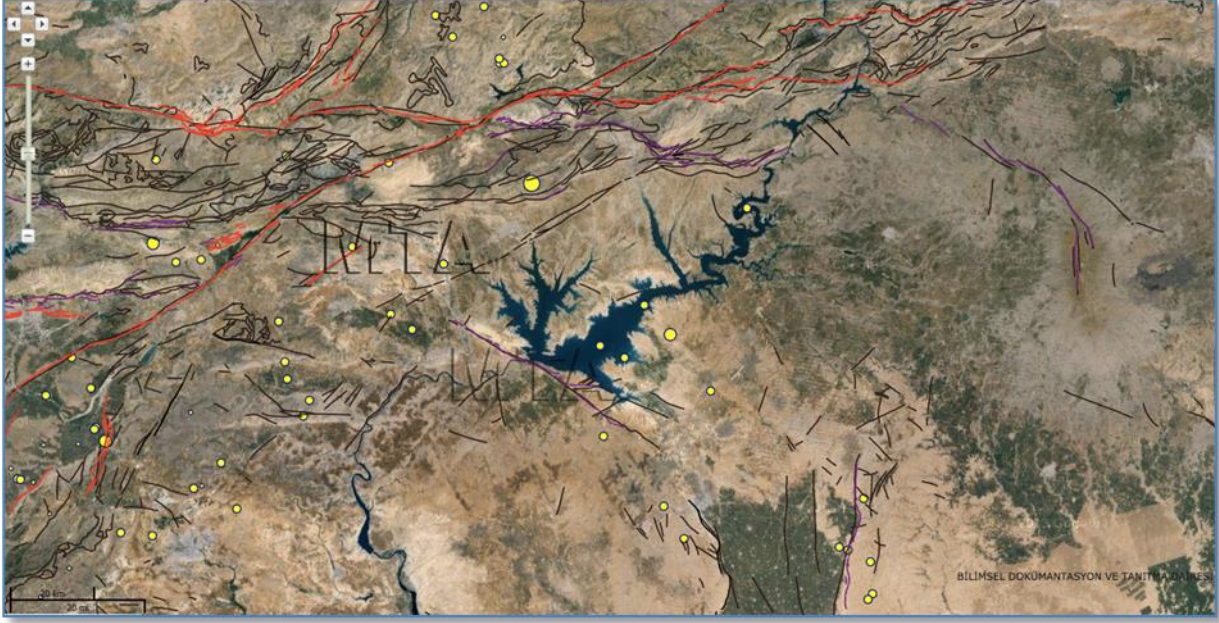
Figure 3. The main neotectonic structures shaping Turkey and its immediate region (Rojay at all, 2000).

Adıyaman Fayı:

Palu'nun batısında DAFZ'ndan ayrılan Adıyaman Fayı güney batıya doğru döner. Hazar Gölü'nün güneyinde Adıyaman'a doğru devam eder. Yaklaşık 210 Km'lik bir uzanım göstermekte olan, sol yanal atımlı fay, Fırat vadisini sol yanal olarak öteledikten sonra, Adıyaman il merkezinden geçerek, Besni güneyinde çatallanıp kaybolmaktadır (Perinçek vd, 1987) (Şekil 4).

Bozova Fayı :

Bozova Fay Zonu, DAFZ'nun sağ yanal atımı olan bir X kırığı niteliğindedir. Adıyaman güneyinde belirginleşen fay, Bozova'dan geçip, Şanlıurfa il merkezi yakınında hafif güneye dönerek, Akçakale grabeninin batı kenarını oluşturur (İmamoğlu vd, 2007). Türkiye'nin son yıllardaki deprem kayıtları incelendiğinde, bölgede bu faydan kaynaklı yoğun bir depremsellik görülmektedir.



Şekil 4. Adıyaman ili ve çevresindeki fayların konumu (www.mta.gov.tr).

Figure 4. Location of faults in and around Adıyaman province (www.mta.gov.tr).

Modelleme ve Deprem Risk Analizi

Erisoğlu vd, 2011, Deprem oluş zamanlarının modellenmeleriyle ilgili yapılmış olan çalışmalarda en çok kullanılan Weibull, Gamma, Üstel ve Lognormal dağılımları olduğunu belirtmişlerdir.

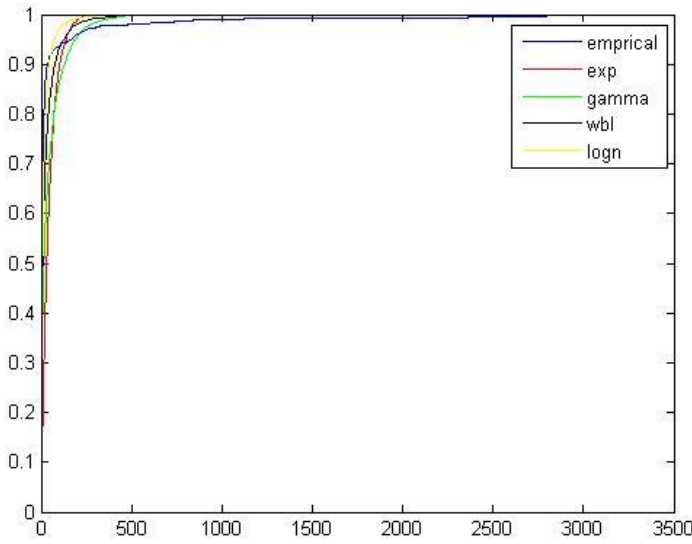
Bu çalışmada Adıyaman ili merkezi merkez olacak şekilde yarı çapı 125 km olan daire içerisinde oluşmuş olan $M > 3$ ve üzerinde 1660 adet deprem verisi elde edilmiştir. Derlenen deprem verileri 1900 ile günümüze kadar (2021) oluşmuş ve magnitüdü ($M > 3$) 3 ten büyük depremlere aittir. Bu verilerden 1660 tanesi 3 ve üzeri, 222 tanesi 4 ve üzeri, 33 tanesi de 5 ve üzeri magnitütte depremlere aittir.

1900–2021 yılları arasında elde edilen deprem verileri öncelikle Gamma, Üstel, Weibull ve Lognormal dağılımları ile modellenmiştir. Parametre tahminleri, Ortalama karesel hatanın karekök (RMS) ve Kolmogorov Smirnov (KS) değerleri Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Üstel, Gamma, Weibull ve Lognormal dağılımı parametre tahminleri, KS ve RMS değerleri.

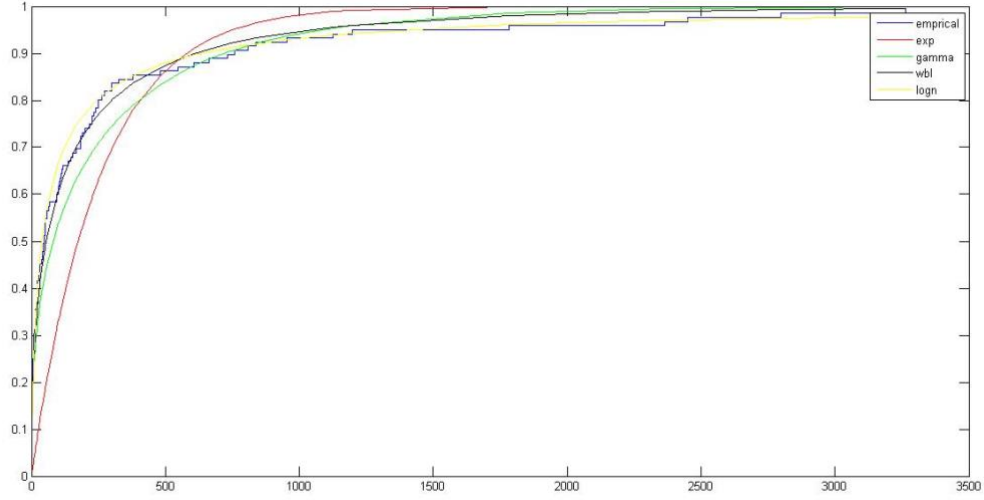
A	Dağılım	Parametre Tahminleri	KS	RMS
Magnitüt >3	Exponential	$\hat{\lambda} = 449$	0.5136	0.3277
	Gamma	$\hat{a} = 0.3848$	0.3043	0.1765
		$\hat{b} = 16.5654$		
	Weibull	$\hat{a} = 0.5543$ $\hat{b} = 16.9588$	0.1902	0.1248
Magnitüt >4	Gamma	$m = 1.3385$	0.1365	0.0735
		$\hat{a} = 2.0826$		
	Lognormal			
B	Dağılım	Parametre Tahminleri	KS	RMS
Magnitüt >3	Exponential	$\hat{\lambda} = 250.7632$	0.3608	0.2235
	Gamma	$\hat{a} = 0.3621$	0.1167	0.0671
		$\hat{b} = 692.4661$		
	Weibull	$\hat{a} = 0.4995$ $\hat{b} = 115.5496$	0.0829	0.0329
Magnitüt >4	Gamma	$m = 2.1653$	0.0724	0.0319
		$\hat{a} = 3.6779$		
	Lognormal			
C	Dağılım	Parametre Tahminleri	KS	RMS
Magnitüt >5	Exponential	$\hat{\lambda} = 1325.2$	0.2003	0.1103
	Gamma	$\hat{a} = 0.0006$	0.1064	0.0520
		$\hat{b} = 2.0464$		
	Weibull	$\hat{a} = 0.0007$ $\hat{b} = 1.1094$	0.0893	0.0478
Magnitüt >6	Gamma	$m = 1.6324$	0.0989	0.0414
		$\hat{a} = 6.2457$		
	Lognormal			

Çizelge 3. 'de, Lognormal ve Weibull dağılımlarına ait KS ve RMS istatistik değerlerine göre, ardışık deprem oluş süresinin modellemesine daha uygun oldukları görülmüştür. Lognormal ve Weibull dağılımına ait KS ve RMS parametre değerleri $M>3$ 'den büyük olan depremler için uyarlanan modellemeler diğer dağılımlara ait KS ve RMS parametre değerlerine göre daha düşük çıktığı hesaplanmıştır. Bu sonuç aynı zamanda Gamma, Weibull Exponential ve Lognormal dağılımlarının Birikimli Dağılım fonksiyonları ile Empirik Dağılım fonksiyon grafiklerinde de görülmektedir (Şekil 5., 6. ve 7.).



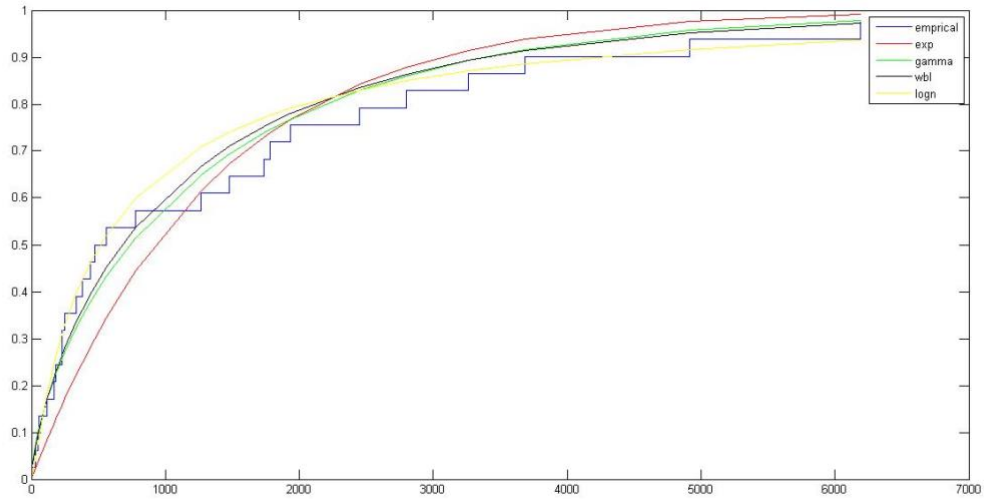
Şekil 5. Ardışık deprem oluş zamanlarına ($M>3$) ait Gamma, Exponential, Lognormal ve Weibull dağılımlarının birikimli dağılım fonksiyonları grafiği.

Figure 6. Graph of cumulative distribution functions of Gamma, Exponential, Lognormal and Weibull distributions of consecutive earthquake occurrence times ($M>3$).



Şekil 6. Ardışık deprem ($M>4$) oluş zamanlarına ait Exponential, Gamma, Lognormal ve Weibull dağılımlarının birikimli dağılım fonksiyonları grafiği.

Figure 6. Graph of cumulative distribution functions of Gamma, Exponential, Lognormal and Weibull distributions for consecutive earthquake ($M>4$) occurrence times.



Şekil 7. Ardışık deprem ($M>5$) oluş zamanlarına ait Gamma, Exponential, Lognormal ve Weibull dağılımlarının birikimli dağılım fonksiyonları grafiği.

Figure 7. Graph of cumulative distribution functions of Gamma, Exponential, Lognormal and Weibull distributions for consecutive earthquake ($M>5$) occurrence times.

Çizelge 2. $M>3$ 'den büyük depremler için risk analizi.

Zaman (Gün)	Exponential	Gamma	Weibull	Lognormal
1	0,002	0,181	0,188	0,060
10	0,022	0,428	0,526	0,565
50	0,105	0,727	0,838	0,914
100	0,200	0,861	0,931	0,970
200	0,359	0,956	0,980	0,992
500	0,672	0,998	0,999	0,999
750	0,812	1,000	1,000	1,000
1000	0,892	1,000	1,000	1,000
1250	0,938	1,000	1,000	1,000
1500	0,965	1,000	1,000	1,000
2000	0,988	1,000	1,000	1,000
2500	0,996	1,000	1,000	1,000
3000	0,999	1,000	1,000	1,000
3250	0,999	1,000	1,000	1,000
3500	1,000	1,000	1,000	1,000
3750	1,000	1,000	1,000	1,000
4000	1,000	1,000	1,000	1,000
4250	1,000	1,000	1,000	1,000
4500	1,000	1,000	1,000	1,000

Çizelge 3. M>4'den büyük depremler için risk analizi.

Zaman (Gün)	Exponential	Gamma	Weibull	Lognormal
1	0,004	0,105	0,089	0,045
10	0,039	0,241	0,255	0,263
50	0,181	0,426	0,482	0,543
100	0,329	0,537	0,606	0,666
200	0,550	0,666	0,732	0,773
500	0,864	0,841	0,875	0,879
750	0,950	0,906	0,922	0,913
1000	0,981	0,942	0,947	0,932
1250	0,993	0,964	0,963	0,945
1500	0,997	0,977	0,973	0,953
2000	1,000	0,990	0,984	0,965
2500	1,000	0,996	0,990	0,972
3000	1,000	0,998	0,994	0,977
3250	1,000	0,999	0,995	0,979
3500	1,000	0,999	0,996	0,981
3750	1,000	0,999	0,997	0,982
4000	1,000	1,000	0,997	0,983
4250	1,000	1,000	0,998	0,985
4500	1,000	1,000	0,998	0,986
4750	1,000	1,000	0,998	0,986
5000	1,000	1,000	0,999	0,987
5250	1,000	1,000	0,999	0,988
5500	1,000	1,000	0,999	0,989
5750	1,000	1,000	0,999	0,989
6000	1,000	1,000	0,999	0,990
6250	1,000	1,000	0,999	0,990

6500	1,000	1,000	0,999	0,991
6750	1,000	1,000	1,000	0,991
7000	1,000	1,000	1,000	0,992
7250	1,000	1,000	1,000	0,992

Çizelge 4. $M>5$ 'ten büyük depremler için risk analizi..

Zaman (Gün)	Exponential	Gamma	Weibull	Lognormal
1	0,001	0,012	0,007	0,000
10	0,008	0,046	0,036	0,008
50	0,037	0,120	0,108	0,076
100	0,073	0,180	0,169	0,157
200	0,140	0,267	0,260	0,281
500	0,314	0,440	0,436	0,492
750	0,432	0,537	0,532	0,591
1000	0,530	0,613	0,605	0,657
1250	0,611	0,673	0,663	0,706
1500	0,678	0,722	0,709	0,743
2000	0,779	0,797	0,779	0,797
2500	0,848	0,850	0,829	0,833
3000	0,896	0,888	0,866	0,860
3250	0,914	0,903	0,880	0,870
3500	0,929	0,916	0,893	0,880
3750	0,941	0,927	0,904	0,888
4000	0,951	0,937	0,914	0,895
4250	0,960	0,945	0,923	0,902
4500	0,966	0,952	0,930	0,908
4750	0,972	0,958	0,937	0,913
5000	0,977	0,964	0,943	0,918

5250	0,981	0,968	0,949	0,922
5500	0,984	0,972	0,953	0,926
5750	0,987	0,976	0,958	0,930
6000	0,989	0,979	0,962	0,934
6250	0,991	0,982	0,965	0,937
6500	0,993	0,984	0,968	0,940
6750	0,994	0,986	0,971	0,942
7000	0,995	0,988	0,974	0,945
7250	0,996	0,989	0,976	0,947

Şekil 5., 6., ve 7. de verilen grafikler incelendiğinde, bu dağılımların modellenmesinde, ampirik dağılıma en uygun modellerin Lognormal ve Weibull dağılımlar olduğu görülmüştür. Çizelge 2. de ise, Lognormal ve Weibull dağılımları incelendiğinde, örneğin $M>3$ 'den büyük bir depremin 50 gün içerisinde olma olasılığı (Weibull) %83,8 ve (Lognormal) %91,4'tür. Çizelge 3. de ise, Lognormal ve Weibull dağılımları incelendiğinde, örneğin 1000 gün içerisinde magnitüdü 4'den büyük bir depremin olma olasılığı %94,7 (Weibull) ve %93,2 (Lognormal)'dir. Çizelge 4. İncelendiğinde, Lognormal ve Weibull dağılımlarına göre, magnitüdü 5'ten büyük bir depremin 6500 gün içerisinde olma olasılığı %96,8 (Weibull) ve %94 (Lognormal)'dir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Adıyaman ve civarının istatistiksel metotlar kullanılarak hazırlanan deprem risk analizi, magnitüdü 3 ve üstü, 4 ve üstü, 5 ve üstü depremler için ayrı ayrı yapılmış ve şu sonuçlara ulaşılmıştır.

Deprem risk analizi hazırlanırken Gamma, Exponential, Lognormal ve Weibull dağılımları kullanılmış olup bu dağılımlar içerisinde Lognormal ve Weibull dağılım modellerinin hazırlanan veri setine en uygun dağılım oldukları belirlenmiştir.

1900-2021 yılları arasında meydana gelmiş ve magnitüdü 3 ve üzerinde olan depremler modellenmiş olup ardışık deprem oluş zamanları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda , 500 gün içerisinde magnitüdü 3’den büyük bir depremin olma olasılığı %99 (Weibull) ‘dan fazla olduğu hesaplanmıştır.

1900-2021 yılları arasında meydana gelmiş ve magnitüdü 4 ve üzerinde olan depremler modellenerek, ardışık deprem oluş zamanları belirlenmiştir. Bu modellere göre, 500 gün içerisinde magnitüdü 4’den büyük bir depremin olma olasılığı %87 (Weibull) ‘den fazla olduğu hesaplanmıştır.

1900-2021 yılları arasında meydana gelmiş ve magnitüdü 5 ve üzerinde olan depremler modellenerek, ardışık deprem oluş zamanları belirlenmiştir. Bu modellere göre, 4750 gün içerisinde magnitüdü 5’den büyük bir depremin olma olasılığı %93 (Weibull) ‘den fazla olduğu hesaplanmıştır.

KATKI BELİRTME

Makalenin gelişmesine katkı sağlayan hakemlere teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Ateş R, Bayülke N. 26 Mart 1977 Palu Elazığ Depremi, Deprem Araştırma Daire Başkanlığı, (Yayımlanmamış) Ankara, 1977.
- Chien-Ping L, Yi-Ben T. A Study of Recurrence Models of Earthquakes in Taiwan, TAO 2005; 16(1): 251-271.
- Erişoğlu M, Çalış N, Servi T, Erişoğlu Ü, Topaksu M. The Mixture Distribution Models for Interoccurrence Times of Earthquakes. Russian Geology and Geophysics 2011; 52 (7): 737-744.
- Goes SDB. Irregular recurrence of large earthquakes: an analysis of historic and paleosiesmic catalogs. J. Geophysics Res. 1996; 101: 5739-5749.
- Hagiwara Y. Probability of Earthquake occurrence as obtained from a Weibull distribution analysis of crustal strain. Tectonophysics 1974; 23: 323-318.

- Herece E, Akay E. Karlıova-Çelikhan arasında Doğu Anadolu Fayı, Türkiye 9. Petrol Kongresi 1992; 361-372.
- Hempton MR. The North Anatolian fault and complexities of continental escape, Journal of Structural Geology 1982; 4: 502-504.
- İmamoğlu MŞ. Gölbaşı (Adıyaman)-Pazarcık-Narlı(K.Maraş) Arasındaki Sahada Doğu Anadolu Fayı'nın Neotektonik İncelemesi. Yayımlanmamış doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara; 1993.
- İmamoğlu MŞ. Doğu Anadolu fay zone Gölbaşı kesimi neotektonik özellikleri ve Gölbaşı-Saray fay kaması havzası, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni 1996; 11: 176-184.
- İmamoğlu MŞ, Çetin E. Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Yakın Çevresinin Depremselliği, D.Ü. Z.G. E.F. Dergisi 2007; 9: 93-123.
- Kagan Y, Jackson D. Probabilistic forecasting of earthquakes, Geophys. J. Int. 2000; 143:438-453.
- Matthews A, Barclay J. Carn S. Thompson G. Alexander J. Herd R. Williams C. Rainfall-induced volcanic activity on Montserrat. Geophysical Research Letters 2002; 29: doi: 10.1029/2002GL014863. issn: 0094-8276.
- Peck, R.B., Hansen, W.E. And Thornburn, T.H., 1974. Foundation Engineering, 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York, 514 p.
- Nishenko SP, Buland R. A generic recurrence interval distribution for earthquake forecasting, Bull. Seism. Soc. Am. 1987; 77: 1382-1399.
- Parsons T. Recalculated probability of $M \geq 7$ earthquakes beneath the Sea of Marmara, Turkey, Journal Of Geophysical Research 2004; pp: 109, B05304, doi:10.1029/2003JB002667.
- Perinçek D, Günay Y, Kozlu H. Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki yanal atımlı faylar ile ilgili yeni gözlemler, Türkiye 7. Petrol Kongresi 1987; 89-103.
- Perinçek D, Eren AG. Doğrultu atımlı Doğu Anadolu ve Ölü Deniz fay zonları etki alanında gelişen Amik Havzası'nın kökeni, 8. Petrol Kongresi 1990; 180-192.

- Rikitake T. Assessment of Earthquake Hazard in the Tokyo Area, Japan, *Tectonophysics* 1991; 199(1): 121-131.
- Rojay B, Heimann A, Toprak V. Neotectonic and Volcanic Characteristics of the Karasu Fault Zone (Anatolia, Turkey): the Transition Zone Between the Dead Sea Transform and the East Anatolian Fault Zone, *Geodinamica Acta* 2000; 14: 197-212.
- Seher T, Main IG. A statistical evaluation of a ‘stress-forecast’ earthquake, *Geophysical Journal International* 2004; 157(1): 187–193.
- Shimazaki K. Long-term probabilistic forecast in Japan and time-predictable behavior of earthquake recurrence, *Seismotectonics in Convergent Plate Boundary*, Y. Fujinawa and A. Yoshida (Editors): 37–43; 2002.
- Stein RS, Barka AA, Dieterich JH. Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering, *GJI* 1997; 128: 594-604.
- Sungurlu O. VI. Bölge Gölbaşı-Gerger Arasındaki Sahanın Jeolojisi: TPAO Arama Grubu, Rapor No. 802, Ankara, 1973; 30 s.
- Sykes L, Nishenko S. Probabilities of occurrence of large plate rupturing earthquakes for the San Andreas, San Jacinto, and Imperial faults, California, 1983-2003. *Journal of Geophysical Research* 1984; 89: 5905-5927.
- Şaroğlu F, Emre Ö, Boray A. Türkiye’nin diri fayları ve depremsellikleri, MTA Derleme No:8174, 1987; 394 s.
- Udias A, Rice J. Statistical analysis of microearthquake activity near San Andreas geophysical observatory, Hollister, California, *Bulletin of the Seismological Society of America* 1975; 6: 809-827.
- Utsu T. Estimation of parameters for recurrence models of earthquakes, *Bulletin Earthquake Research Inst. Univ. Tokyo* 1984; 59: 53-66.
- Utsu T. list of deadly earthquakes in the World: 1500-2000, in *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology Part A*, edited by Lee WK, Kanamori H, Jennings PC, Kisslinger C.: Academic Press; San Diego. pp:691-717. 2002.



Nadir Toprak Elementi (NTE) Uranyumun Çevre Üzerine Olan Etkileri *Environmental Effects of Rare Earth Element (REE) Uranium*

SERPİL SAVCI¹ ORCID 0000-0003-2015-2223

GÜLLÜ KIRAT² ORCID 0000-0002-1167-0574

¹ *Yozgat Bozok üniversitesi, Şehir ve Bölge planlama bölümü, Yozgat/Türkiye*

² *Yozgat Bozok üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği bölümü, Yozgat/Türkiye*

Geliş (received): 09/09/2022

Kabul (Accepted): 20/12/2022

ÖZ

Nadir toprak elementleri (NTE) veya lantanitler, periyodik cetvelde atom numaraları 57'den 71'e kadar olan 15 elementi ifade etmektedir. Havacılık ve otomobil sektöründen, cep telefonlarına kadar pek çok alanda kullanılan NTE'leri çevreye kolayca yayılmakta ve radyoaktif özelliklerinden dolayı ekosistem için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Uranyum endüstriyel uygulamalarda (petrol, kataliz vb.) özel gereksinimler için kullanılan bir elementtir. İnsan sağlığı açısından düşünüldüğünde ise U ranyum kemiklerde, karaciğer ve akciğerde kansere sebep olabilmektedir. Bu çalışmada önemli bir NTE'i olan U ranyumun çevresel etkileri ve insan sağlığı üzerine olan riskleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uranyum, NTE, çevre kirliliği, insan sağlığı.

GÜLLÜ KIRAT, gullu.kirat@yobu.edu.tr

ABSTRACT

Rare earth elements (REE) or lanthanides refer to 15 elements with atomic numbers from 57 to 71 in the periodic table. REEs, which are used in many areas from the aviation and automobile industry to mobile phones, spread easily to the environment and pose a great threat to the ecosystem due to their radioactive properties. Uranium is an element used for special requirements in industrial applications (petroleum, catalysis, etc.). When considered in terms of human health, uranium can cause cancer in bones, liver and lung. In this study, the environmental effects of U ranium, which is an important REE, and its risks on human health were evaluated.

Key Words: *Uranium, REE, environmental pollution, human health.*

1. GİRİŞ

Yüzyıllar boyunca su kirliliği küresel anlamda bir ilgi alanı olmuştur. Kimyasallar, ağır metaller ve radyoaktif maddeler sucul çevrede bulunan kirleticiler arasındadır. Uranyum ise zehirliliği ve hareketliliğinden dolayı yeraltı sularında ve akiferlerde en fazla ilgi çeken radyoaktif elementtir.

Uranyum doğal olarak oluşan bir radyoaktif elementtir ve minerallerin birçoğunda bulunabilir (Noli vd., 2022). Ayrıca antropojenik aktiviteler örneğin madencilik faaliyetleri, petrole dayalı enerji üretimi, fosfatlı gübrelerin kullanımı akiferlerdeki uranyum kontaminasyonuna katkıda bulunmaktadır (Wang vd., 2022; Xiao vd., 2022; Chen vd., 2021).

Maden atıklarından gelen olumsuz etkiler küresel anlamda sosyo ekonomik dezavantajlara sahiptir ve literatürde yeraltı ve içme suyu kontaminasyonu, çevresel kalite analizleri ile ilgili çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Babayan vd., 2019; Pal ve Mandal, 2019; Aires vd., 2018; Flett vd., 2021).

Uranyum, Avrupa'da nükleer çağdan önceki yüzyılda ortaya çıkmıştır. Endüstriyel anlamda madencilik ise nükleer silahlar için uranyuma ihtiyaç duyulmasıyla birlikte II. Dünya savaşından sonra ortaya çıkmıştır. 2013'te küresel anlamda Uranyum üretimi Kazakistan, Kanada ve Avustralya olmak üzere sadece üç ülkede yaygınlaşmıştır (Winde vd., 2017).

Nükleer enerjinin kullanımı, uranyum cevherinin yeniden üretimi ve taşınımı gibi çok çeşitli endüstriyel faaliyetler içermektedir. Bu faaliyetlerin her biri özel tehlike potansiyeline sahiptir. Uranyum madeninin tozu, taşıma yollarında çevresel kirlilik oluşturmaktadır. Bu radyasyon riski nükleer tesislerde çalışan işçileri ve bölgede yaşayan insanları olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Zoriy vd., 2010; Guilmette vd., 2009).

Uranyum hem radyo toksik hem de kimyasal toksik olarak karakterize edilmektedir. Nükleer dönüşüm işlemleri süresince, radyonükleidler gama ışını yaymakta, bu da dokularda yoğun hasara sebep olabilmektedir (Arogunjo vd., 2009).

Uranyum güç tesislerinde nükleer yakıt olarak yoğun uygulamalara sahiptir. Uranyumun ana kaynağı ise toprak, kayalar, kum ve sudur (Jain vd., 2006). Nükleer güç uranyumdan çıkartılmaktadır. Elektrik üretimi için yakıt olmasından başka önemli bir ticari kullanım alanı bulunmamaktadır (Nilchi vd., 2013).

Doğada üç tane uranyum izotopu (U-234, U-235, U-238), olmasına rağmen, toplam doğal uranyumun yaklaşık % 99.3'ü uranyum-238'dir.

Madencilik faaliyeti sonucu oluşan atıklar küresel anlamda önemli bir kirlilik kaynağı oluşturmaktadır. Uranyum ise önemli bir nadir toprak elementidir ve uranyum madenciliğinden kaynaklanan kirlilik havayı, toprağı ve suyu kirletmekte, canlı hayatına olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu çalışmada uranyumun çevre ve insan sağlığı üzerine olan riskleri anlatılmıştır.

2. URANYUMUN İNSAN SAĞLIĞI ÜZERİNE OLAN ETKİLERİ

Uranyumun insan sağlığı açısından zararlı olduğu bilinmektedir. Çünkü doğal uranyumun özel radyo aktifliği oldukça düşük olmasına rağmen, kimyasal toksisitesi yüksektir. Uranyuma kronik maruziyet çoğunlukla besinlerin sindirimi ve sular yoluyla olmaktadır. Bu durum böbrek sorunları ve kemiklerde toksik maddelerin birikimi ile sonuçlanmaktadır (Brugge ve Buchner, 2011 ; Shin vd., 2016).

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ilk defa 1998 yılında içme sularında uranyumdan söz etmiş ve içme sularındaki toplam uranyum miktarının 2 µg/L olarak belirlemiştir (WHO, 2017). 2003'te bu değer 15 µg/L'ye yükseltilmiştir (Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Amerika Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve Kore Çevre Bakanlığı içme sularında izin verilen maksimum uranyum seviyenin 30 µg/L olarak belirlemiştir (WHO, 2011; EPA, 2009; ME, 2015). Bu değer aynı zamanda USA ve Avrupa içme suyu standartları için de geçerlidir (EU, 1998). EPA içme sularında uranyum için maksimum kontaminant seviyesini 0 (sıfır) olarak belirlemiştir (EPA, 2021).

İnsanların içme suları yoluyla uranyumu tükettikleri bilinmektedir. Uranyum sindirimden sonra kana geçmekte ve ilk olarak kırmızı kan hücrelerine ulaşmaktadır. Uranyum, alfa

partiküllerini yayan radyonüklitlerin 1. Grup karsinojen olarak sınıflandırılmaktadır (Karpas, 2014).

İnsanlarda uranyum alımı, akut böbrek yetmezliği ve karaciğer fonksiyon bozukluğu gibi komplikasyonlara yol açabilmektedir. Kirlenmiş bölgelerdeki radyolojik etkiler kanser ve lösemi riskini artırmaktadır. Uranyum kirlenme bölgelerinin yakınında yaşayan vatandaşlar, aerosollere, yiyecek ve su yoluyla uranyuma maruz kalmaktadır. Bu nedenle özellikle fabrika çalışanlarında uzun süreli sağlık sorunları yaşanmaktadır (Duggal vd., 2017).

Uranyuma maruz kalan farklı bitki türlerinde de büyüme hızı ve verimi etkileyen fitotoksosite gözlenmektedir. Radyasyonlar bitki hücrelerini yok ederek morfolojisinde değişikliklere neden olur. Tatlı su omurgasızlarında da gıda yoluyla giren uranyum nedeniyle olumsuz etkiler gözlenmektedir. Daha ileri testler, bu türlerin hem yiyecek hem de su yoluyla uranyuma kronik olarak maruz kaldıklarını, büyüme hızlarını ve fizyolojik süreçlerini azalttığını ortaya koymuştur (Bergmann vd., 2018).

Uranyum, endüstriyel olarak gerekli olan ağır metallere biridir (Vigier vd., 2018). Büyük ölçüde nükleer santrallerde yakıt olarak kullanılmaktadır ve dünyadaki elektriğin %14'üne katkıda bulunmaktadır. Tıp alanında, uranyum izotopları kanser hastalarında kanser hücrelerini tespit etmek ve öldürmek için radyodiagnoz sağlamaktadır. Uranyum izotoplarının diğer uygulamaları gıda endüstrileri, havacılık sektörü, uzay sondaları için yakıtta vb. şeklinde sıralanabilmektedir.

Zamora vd. (2009), içme suyu yoluyla daha yüksek uranyum alımı seviyelerinde, kimyasal toksisitenin radyo toksisitesinden daha büyük bir sağlık sorunu olacağını ortaya koymuştur. Bazen daha yüksek uranyum konsantrasyonlarını yörede onu tüketen insanların sağlık sorunlarıyla ilişkilendirmek zorlaşmaktadır. Örneğin, Güney Finlandiya'da açılan kuyulardan kaynaklanan içme suyunda çok yüksek konsantrasyonlarda doğal uranyum bulunmasına rağmen, maruz kalan nüfus arasında bu konuyu daha da karmaşık hale getiren net klinik semptomlar gözlenmemiştir. Bununla birlikte, birkaç çalışma, > 200 ng/ml içeren uzun süreli yeraltı suyu alımının, kimyasal toksisitenin etkilerinin yanı sıra radyasyona iç maruziyeti indükleyebileceğini göstermiştir. Uranyum insan vücuduna aşağıdaki yollarla girebilir;

- i) Gaz halindeki ve aerosol uranyum solunması yoluyla,

- ii) İçme suyu, gıda alımı
- iii) Deri teması ve sağlık risklerine neden olabilir.

Özellikle uranyum madenlerinde çalışan insanlar, uranyum kirliliğinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Yüksek mesleki uranyum maruziyetinde böbrekler, karaciğer ve akciğerler üzerinde kimyasal toksisite meydana gelebilir ve böbrek yetmezliği dâhil olmak üzere akut sağlık sorunlarına meydana gelebilir. Ayrıca üreme ve solunum sistemleri de uranyum maruziyetinden etkilenir (ATSDR, 2013). Uranyum maruziyetinin yanı sıra maden işçileri aynı zamanda radyoaktif bir madde olan radon gazına da maruz kalmaktadır. Bazı bölgelerde, özel olarak açılmış kuyulardaki maksimum uranyum konsantrasyonları, DSÖ sınırının 200 katından fazlasına ulaşabilir (Godoy ve diğerleri , 2019). Maden topluluktan yukarıda bulunuyorsa, uranyum kontaminasyonu sorunu çok şiddetli olabilir. Uranyum aynı zamanda bir α -parçacık yayıcıdır ve uranyum bozunma zinciri ^{238}U ile başlarken radon da dahil olmak üzere radyoaktif bozunma ürünlerinin çoğu ^{206}Pb 'de doruğa ulaşır. Alfa parçacıkları hacimlidir (2 proton ve 2 nötron) ve insan derisine nüfuz edemezler, ancak α -yayıcıları içeren parçacık halindeki maddeler solunduğunda veya yutulduğunda, radyasyona maruz kalmaya neden olur. Örneğin, Kanada'daki akciğer kanseri vakalarının %20'sinden radon gazı sorumludur (Balaram vd., 2022).

3. URANYUMUN ÇEVRE ÜZERİNE OLAN ETKİLERİ

Uranyum ve uranyum içerikli malzemeler, kimyasal ve radyolojik özellikleri nedeniyle çevre ve canlı türleri için büyük bir tehlike olarak kabul edilmektedir. Ağır metallere kaynaklanan kirlilik, su kütleleri ve dolayısıyla suda yaşayan canlılar için tehlike oluşturmaktadır. Ağır metal kirleticiler ile birlikte bulunan uranyumun çevreye verdiği zarar önemli olarak kabul edilmiştir. Uranyumun elektrik üretiminde kullanılması kaçınılmaz olduğundan, buna bağlı atıkların oluşumu ve çevrede oluşturduğu risklerin sürekli ortaya çıkması beklenmektedir (Akash vd., 2022).

Uranyum en temel ağır metallere biri olmasına ve birçok önemli uygulamaya hizmet etmesine rağmen canlılar için de tehlike oluşturmaktadır. Uranyumun başlıca olumsuz etkileri kimyasal ve radyolojik özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Liu vd., 2017).

Uranyum doğal olarak oluşan bir elementtir. Zayıf radyoaktif özelliğe sahiptir ve birçok mineralde bulunur. Bazı uranyum bileşikleri katalizör ve boya pigmentleri olarak kullanılsa da, uranyum esas olarak nükleer santrallerde yakıt olarak kullanılır (Balaram vd., 2022).

Yerkabuğundaki ortalama konsantrasyonu 2.8 µg/g'dir. Esas olarak asidik magmatik kayalarda yoğunlaşmıştır, uraninit, monazit ve zirkon gibi yardımcı minerallere dâhil edilmiştir. Uranyum, magmatik, metamorfik veya tortul kayalarda, topraklarda, kara ve okyanus suları dahil sularda çok küçük miktarlarda bulunabilir. Bir dizi yaygın uranyum oksit ve oksihidroksit benzeri uraninit (veya ziftblend) oluşturmak üzere kolayca oksitlenebilir. Tortul kayalardaki uranyum içeriği, diğer şeyler veya ortalama kabuk ile karşılaştırıldığında çok düşük olmasına rağmen, siyah şeyler, diğer redoks duyarlı ve/veya sülfid oluşturan metaller ve metaloidler ile birlikte uranyum açısından genellikle oldukça (400 µg/g'a kadar) zengindir. Bir bölgenin jeolojisi, uranyum madenciliği, termik santrallerden kömür külü bertarafı ve tarımsal uygulamalar sırasında fosfatlı gübrelerin kullanımı gibi antropojenik faaliyetlerle birlikte yeraltı suyundaki konsantrasyonunu anlamada en önemli faktördür. Uranyum, içerdiği kayaların ve minerallerin parçalanması (ayrışması) nedeniyle topraklarda ve sularda bulunabilir. Toprağa ve suya karıştıktan sonra bitkiler tarafından alınıp insanlar veya otlayan hayvanlar tarafından tüketilebilir veya suda çözünerek başka herhangi bir organizma tarafından alınabilir. Keşif amaçlı sondaj, kesme, patlatma, nakliye, stoklama ve işleme/liç gibi madencilik çıkarma faaliyetleri, yerel toprağı, bitki örtüsünü ve vahşi yaşamı etkileyebilecek şekilde havaya ve çevredeki su kütlelerine uranyum ve diğer zehirli metaller ve kimyasallar içeren toz salabilir. Yeraltı suyundaki ana uranyum kaynağı, uranyumun farklı kayalardan çıkarılmasına neden olan su-kaya etkileşimleri, çıkarılan uranyumun sudaki çözünürlüğünü artıran oksitleyici koşullar; ve çıkarılan uranyumun çözünürlüğünü daha da artırabilen karbonat gibi yeraltı suyundaki diğer kimyasallarla etkileşimi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Endüstriyel, tarımsal ve askeri faaliyetler, çevredeki su kütlelerinde daha yüksek uranyum konsantrasyonlarına katkıda bulunacaktır. Yeraltı suyunun aşırı kullanımı da daha yüksek uranyum konsantrasyonuna yol açabilir. Nükleer yakıt üretimi, işlenmesi ve bertarafı gibi faaliyetleri gerçekleştiren bir nükleer tesiste, bir miktar uranyum açığa çıkabilir. Çıkan bu uranyum çevresel veya mesleki maruziyet risklerine neden olabilir. Üç büyük NATO ülkesi olan US, Büyük Britanya ve Fransa askeri alanlarda kullanılmak üzere uranyuma sahiptir.

Uranyum düşman zırhlı araçlarına nüfuz etmesine yardımcı olan yüksek yoğunluğu nedeniyle tank zırhı ve bazı mermiler için kullanılmaktadır. Bu cephanelikler son Körfez Savaşında, Bosna ve Kosova'da da kullanılmıştır (Giere vd., 2012).

Fosfat kaya madenciliği ve işlenmesi, toksik metaller ve uranyum gibi radyoaktif elementler içeren endüstriyel atık su deşarjları nedeniyle su kalitesini etkilemektedir. Fosfat kayalarındaki ortalama uranyum konsantrasyonu $\sim 75 \mu\text{g/g}$ 'dir. Bu oran madenlerin atık su deşarjında önemli miktarda uranyum konsantrasyonuna neden olabilir. Ayrıca, büyük miktarlarda tozun salınması, madencilik alanı ve çevresinde zehirli hava kirliliği sorunları da yaratmaktadır. Yüksek konsantrasyonlarda florür ve radon gazı emisyonları da nihayetinde insan sağlığını etkileyen ciddi problemlerdir (Reta vd., 2018).

Yeraltı sularındaki ana uranyum kaynaklarından biri olan gübrelerin yaygın olarak uygulanması nedeniyle tarım topraklarına önemli miktarda uranyum girmektedir. Uranyum, farklı türdeki kayalardan, minerallerden, uranyum cevher yataklarından ve topraklardan sızma, değirmen atıklarından salınım, nükleer endüstriden kaynaklanan emisyonlar, kömürün yanması ve diğer yakıtların bir sonucu olarak çevrede mevcuttur. Uranyum içeren fosfatlı gübrelerin kullanımı da uranyumun çevreye girişinin diğer bir kaynağını oluşturmaktadır. Kadmiyum, kurşun ve civa gibi uranyum da bir nefrotoksin olarak tanımlanmıştır (Goodman, 1985). Ayrıca uranyum, arsenik ve kromla birlikte, doğal olarak oluşan ilk üç zararlı yeraltı suyu kirleticisi arasındadır. Toksik ağır metal olmasının yanı sıra radyoaktif bir elementtir ve yüksek miktarlarda tüketildiğinde böbrek yetmezliğinden kemik büyümesinin azalmasına, DNA'nın zarar görmesine kadar birçok olumsuz sağlık etkisine neden olabilir. Ancak uranyumun insan sağlığına yönelik tehdidi, radyolojik özelliklerinden çok kimyasal özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Uranyum toprakta, yüzey ve yeraltı sularında ve havada doğal olarak bulunduğundan, mesleki olarak maruz kalmayan kişiler için birincil maruziyet kaynakları, özellikle kök sebzeler ve içme suyudur. İçilebilir suyun doğrudan jeojenik olarak etkilenen yeraltı su kaynaklarından veya antropojenik faaliyetlerle kirlenmiş su kaynaklarından elde edildiği durumlarda uranyum maruziyeti artabilir.

4. SONUÇ

Endüstriyel alanda kullanılan uranyum, oldukça tehlikeli bir NTE'dir. Kimyasal gübre kullanımı ve endüstriyel atıkların direk deşarjı ile alıcı ortamlara girmekte ve çevreye yayılmaktadır. Böylece sucul bitkiler ve hayvanlar başta olmak üzere insan üzerinde de olumsuz etkileri bulunmaktadır. Uranyumun kaynağında bertaraf edilip daha sonra doğaya bırakılması gerekmektedir.

Atık sulardan uranyumun arıtılmasında kullanılan çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Adsorpsiyon, bu yöntemler arasında en ekonomik olanlarından birisidir. Uranyum atıklarının bertarafı ve yerleşim yerlerinin madencilik faaliyetlerinin yapıldığı bölgelerden uzağa taşınması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Aires, U.R.V., Santos, B.S.M., Coelho, C.D., da Silva, D.D., Calijuri, M.D., 2018. Changes in land use and land cover as a result of the failure of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. *Land Use Pol.* 70: 63–70.
- ATSDR , 2013. Toxicological Profile for Uranium. ATSDR Report. U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Division of Toxicology and Human Health Sciences. Environmental Toxicology Branch, Atlanta, USA .
- Akash, S., Sivaprakash, B., Vadivel Raja, V. C., Rajamohan, N., Muthusamy, G., 2022. Remediation techniques for uranium removal from polluted environment – Review on methods, mechanism and toxicology, *Environmental Pollution* 302: 119068.
- Arogunjo, A. M., Höllriegl V., Giussani, A., Leopold, K., Gerstmann, U., Veronese I., Oeh, U., 2009 Uranium and thorium in soils, mineral sands, water and food samples in a tin mining area in Nigeria with elevated activity, *Journal of Environmental Radioactivity* 100: 232–240.

- Babayan, G., Sakoyan, A., Sahakyan, G., 2019. Drinking water quality and health risk analysis in the mining impact zone, Armenia. *Sustainable Water Resources Management* 5: 1877–1886.
- Bergmann, M., Sobral, O., Pratas, J., Graça, M.A., 2018. Uranium toxicity to aquatic invertebrates: a laboratory assay. *Environ. Pollut.* 239: 359–366.
- Chen, L., Liu, J., Zhang, W., Zhou, J., Luo, D., Li, Z., 2021. Uranium(U) source, speciation, uptake, toxicity and bioremediation strategies in soil-plant system: a review. *J. Hazard. Mater.* 413, 125319.
- Duggal, V., Rani, A., Mehra, R., Saini, K., Bajwa, B.S., 2017. Assessment of age-dependent radiation dose and toxicity risk due to intake of uranium through the ingestion of groundwater from Northern Rajasthan, India. *Toxicol. Environ. Chem.* 99, 3:516–524.
- European Commission (EU), 1998. The Drinking Water Directive 98/83/EC.
- Flett, L., Claire L. McLeod, Jessica L. McCarty, Barry J. Shaulis, Justin J. Fain, Mark P.S. Krekeler, 2021. Monitoring uranium mine pollution on Native American lands: Insights from tree bark particulate matter on the Spokane Reservation, Washington, USA. *Environmental Research* 194: 110619.
- Giere, R., Kaltenmeier, R., Pourcelot, L., 2012. Uranium oxide and other airborne particles deposited on cypress leaves close to a nuclear facility. *J. Environ. Monit.* 14:1264–1274.
- Godoy, J.M., Ferreira, P.R., de Souza, E.M., da Silva, L.I., Bittencourt, I.C.S., Fraifeld, F., 2019. High uranium concentrations in the groundwater of the Rio de Janeiro State, Brazil, Mountainous Region. *J. Braz. Chem. Soc.* 30: (2).
- Guilmette, R.A., Miller, G., Parkhurst, M.A., 2009. Capstone depleted uranium aerosol biokinetics, concentrations and doses. *Health Physics* 96, 328–342.
- Jain, V. K., Pandya, R A, Pillai, S G., Shrivastav, P S, 2006. Simultaneous preconcentration of uranium(VI) and thorium(IV) from aqueous solutions using a chelating calix[4] arene anchored chloromethylated, *Talanta* 70: 257–266.

- Karpas, Z., 2014. Analytical Chemistry of Uranium. Environmental, Forensic, Nuclear and Toxicological Applications. CRC Press, Taylor & Francis Group, 6000, Broken Sound Parkway NW ISBN 13—978-1-4822-2060-2.
- Liu, Y., Becker, B., Burdine, B., Sigmon, G.E., Burns, P.C., 2017. Photocatalytic decomposition of Rhodamine B on uranium-doped mesoporous titanium dioxide. RSC Adv. 7, 34: 21273–21280.
- ME, 2015. Rules on Drinking Water Quality and Inspection, Etc (In Korean). Ministry of Environment in Korea, Seoul.
- Nilchi, A., T. Shariati Dehaghan, S., Garmarodi, R., 2013. Kinetics, isotherm and thermodynamics for uranium and thorium ions adsorption from aqueous solutions by crystalline tin oxide nanoparticles, Desalination 321: 67–71.
- Noli, F., Argyro Dafnomili, Georgios Sarafidis, Catherine Dendrinou-Samara, Nikolaos Pliatsikas, Maria Kapnisti , 2022. Uranium and Thorium water decontamination via novel coated Cu-based nanoparticles; the role of chemistry and environmental implications, Science of the Total Environment 838:156050.
- Pal, S., Mandal, I., 2019. Impact of aggregate quarrying and crushing on socio-ecological components of Chottanagpur plateau fringe area of India. Environmental Earth Sciences 78, 661.
- Reta, G. , Dong, X. , Li, Z. , Su, B. , Hu, X. , Bo, H. , Yu, D. , Wan, H. , Liu, J. , Li, Y. , Xu, G. , Wang, K. , Xu, S. , 2018. Environmental impact of phosphate mining and beneficiation: review. Int. J. Hydrol. 2, (4): 424–431.
- Shin, W., Jungsun Oh, Sungwook Choung, Byong-Wook Cho, Kwang-Sik Lee, Uk Yun, Nam-Chil Woo, Hyun Koo Kim, 2016. Distribution and potential health risk of groundwater uranium in Korea, Chemosphere 163:108-115.
- EPA 2021, (U.S. Environmental Protection Agency), Drinking Water Requirements for States

- and Public Water Systems: Drinking Water Regulations. United States Environmental Protection Agency (EPA), Washington, DC.
- EPA, 2009.(US EPA) Environmental Protection Agency National Primary Drinking Water Regulations. Washington DC.
- Vigier, J.F., Freis, D., Pöhl, P., Prieur, D., Lajarge, P., Gardeur, S., et al., 2018. Optimization of uranium-doped americium oxide synthesis for space application. *Inorg. Chem.* 57 (8): 4317–4327.
- Wang, Z., Zhang, L., Zhang, K., Lu, Y., Chen, J., Wang, S., Hu, B., Wang, X., 2022. Application of carbon dots and their composite materials for the detection and removal of radioactive ions: a review. *Chemosphere* 287, 132313.
- Winde, F., Brugge, D., Nidecker, A., Ruegg, U., 2017. Uranium from Africa-An overview on past and current mining activities: Re-appraising associated risks and chances in a global context, *Journal of African Earth Sciences* 129:759-778.
- WHO, 2011. Guidelines for Drinking-water Quality, fourth ed. (Geneva).
- Xiao, F., Li, H., Xie, P., Liu, J., Du, W., Li, L., Yang, S., Wu, Z., 2022. Colloidal templating of highly ordered porous amidoxime-functionalized hydrogel for intelligent treatment of uranium contaminated water. *Chem. Eng. J.* 431, 134141.
- Zamora, M.L.L., Zielinski, J.M., Moodie, G.B., Falcomer, R.A.F., Hunt, W.C., Capello, K., 2009. Uranium in drinking water: renal effects of long-term ingestion by an aboriginal community. *Arch. Environ. Occup. Health* 64 (4): 228–241.
- Zoriy, P., Ostapczuk, P., Dederichs, H., Höbig, J., Lennartz, R., Zoriy, M., 2010. Biomonitoring of environmental pollution by thorium and uranium in selected regions of the Republic of Kazakhstan, *Journal of Environmental Radioactivity* 101:414-420.



ELAZIĞ YÖRESİNDEKİ SENOMANİYEN YAŞLI BAZİK VOLKANİZMANIN (YÜKSEKOVA KARMAŞIĞI) RB-SR TÜM KAYA İZOKRON MODEL YAŞLARIYLA DEĞERLENDİRİLMESİ

*THE EVALUATION OF THE CENOMANIAN BASALTIC VOLCANISM
(YÜKSEKOVA COMPLEX) IN ELAZIG REGION WITH RB-SR WHOLE ROCK
ISOCHRON MODEL AGES*

MELEK URAL¹ ORCID 0000-0002-4174-6058

¹ Fırat üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ

Geliş (received): 28/08/2022

Kabul (Accepted): 20/12/2022

ÖZ

Bu çalışmayla Neotetis in güney kolu içerisinde yer alan ve Elazığ-Malatya ili çevresinde (East Anatolia, Turkey) yüzeyleme gösteren yığılma karmaşığı birimlerinden olan Yüksekova Karmaşığı bazik volkanitleri ilk kez tüm kaya Rb-Sr izokron yaşları bakımından irdelenmiştir. Elazığ civarından - Maden (Elazığ güneydoğusu), Harput (Elazığ kuzeyi), İspendere (Malatya güneydoğusu)- kaya örneklerinde genel olarak var olan alterasyon ve mineralojik bileşim, hem tüm kaya (K-Ar, Ar-Ar gibi) hem de mineral ayırımına (zirkon U-Pb gibi) dayalı radyometrik yaşlandırma yöntemlerinin uygulanabilirliğine imkan tanımadığından dolayı, bu kayaların yaşları Rb-Sr tüm kaya izokron metoduyla test edilmiştir. Bu çalışmalar neticesinde incelenen volkanik kaya örneklerinin tüm kaya Rb-Sr izokron yaşları 100.2 ± 3.3 My (Senomaniyen) olarak saptanmıştır. Bu yaş bölgesel literatürde stratigrafik olarak belirlenmiş yaşların önemli bir bölümüyle uyumlu ve onları destekler nitelikte olup, aynı zamanda karşılaştırılan noktalardaki kaya yüzleklerinin eş magmatik kökenli olabileceklerini de ortaya koymaktadır. Bu veriler, öncel çalışmalarda Maden Karmaşığı olarak haritalanan bazik volkanik yüzeylemelerin, yaşları bakımından Yüksekova Karmaşığı birimine ait olduklarını da ortaya koymaktadır. Sonuç olarak; öncel verilerle birlikte tüm datalar, Elazığ çevresinde yaygın yüzlekleri olan Yüksekova Karmaşığı bazik volkanitlerinin, magmanın fraksiyonlaşması ile aynı kökenden kaynaklanmış olduklarını, ancak Üst Kretase'den sonraki tektonik olaylarla yığılarak farklı paleocoğrafik alanlarda konumlandıklarını ifade etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elazığ, Türkiye, Rb-Sr tüm kaya izokron, model yaş, bazik volkanit

MELEK URAL, melekural@firat.edu.tr

ABSTRACT

Yüksekova Complex basic volcanics, which are one of the accretionary complex units located in the southern branch of Neotethys and outcropping around the province of Elazığ-Malatya (East Anatolia, Turkey), were examined for the first time in terms of whole rock Rb-Sr isochron ages in this study. Since the alteration and mineralogical composition of the rock samples from the vicinity of Elazığ (Maden, Harput, İspendere) do not allow the applicability of radiometric dating methods based on both whole rock and mineral separation, therefore, the ages of these rocks were tested with the Rb-Sr whole rock isochron method. As a result of, the whole rock Rb-Sr isochron ages of the volcanic rock samples was determined as 100.2 ± 3.3 Ma (Lower Cretaceous-Cenomanian). This age is compatible with and supports a significant part of the stratigraphically determined ages in the regional literature, and also reveals that the rock outcrops at the points being compared may be of contemporaneous magmatic origin. These data also reveal that the basic volcanic outcrops mapped as Maden Complex in previous studies belong to the Yüksekova Complex unit in terms of age. As a result; All the data together with the previous data indicate that the Yüksekova Complex basic volcanics, which are widely exposed around Elazığ, originated from the same origin with the fractionation of magma, but were located in different paleogeographic areas by aggregation with the tectonic events after the Upper Cretaceous.

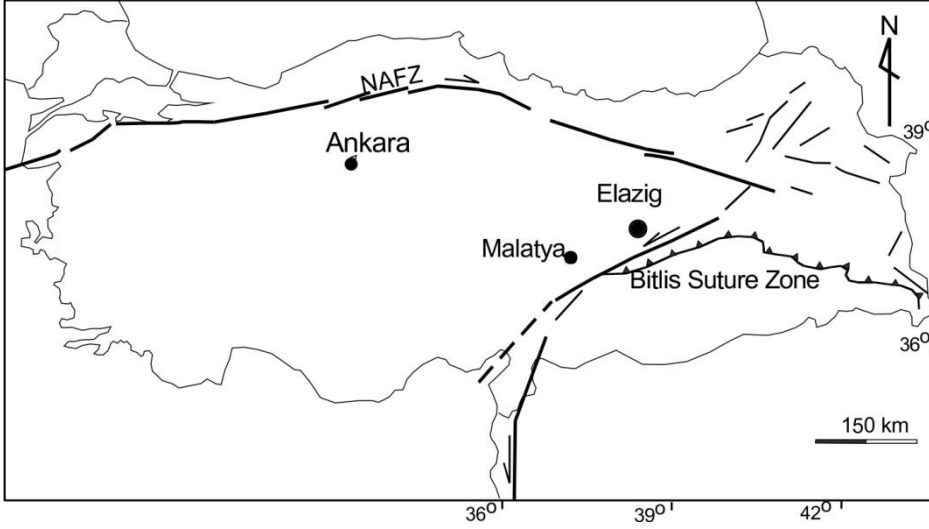
Key Words: *Elazığ, Turkey, whole rock Rb-Sr isochron, model age, basic volcanic*

1. GİRİŞ

Çalışma alanı, Bitlis suture zonu üzerinde ve Arap Platformunun kuzeyinde yer almaktadır. Başlıca birimler; Keban-Malatya ve Bitlis-Pütürge metamorfikleri ile onları kesen Baskil Magmatik yayı ile Üst Kretase sonu-Erken Tersiyer yaşlı birincil örtü birimleri oluşturmaktadır (Şekil 1, 2). Bu iki metamorfik birim arasında bir suture zonunu temsil eden, okyanusal litosfere ve yitim zonuna ait farklı kayalar içeren ofiyolitli karmaşıklar (Yüksekova Karmaşığı) yer alır (Ural et al., 2013, 2015). Maden Karmaşığı ise her üç birimin de üzerinde gelişmiş volkanosedimanter havzalarda oluşmuştur (Göncüoğlu, 2010, 2019; Yılmaz, 1993; Ural vd., 2013, 2019).

Bu çalışmayla, Neotetisin güney kolu içerisinde yer alan ve Elazığ ili çevresinde (Doğu Anadolu, Türkiye) yüzeyleme gösteren yığılma birimi ürünlerinden olan Yüksekova biriminin Elazığ batı, kuzey ve güneyindeki - Maden (Elazığ güneydoğusu), Harput (Elazığ kuzeyi),

İspendere (Malatya güneydoğusu)- bölgelerden derlenen bazik volkanik kaya örnekleri ilk kez tüm kaya Rb-Sr izokron yaşları bakımından irdelenmiştir.

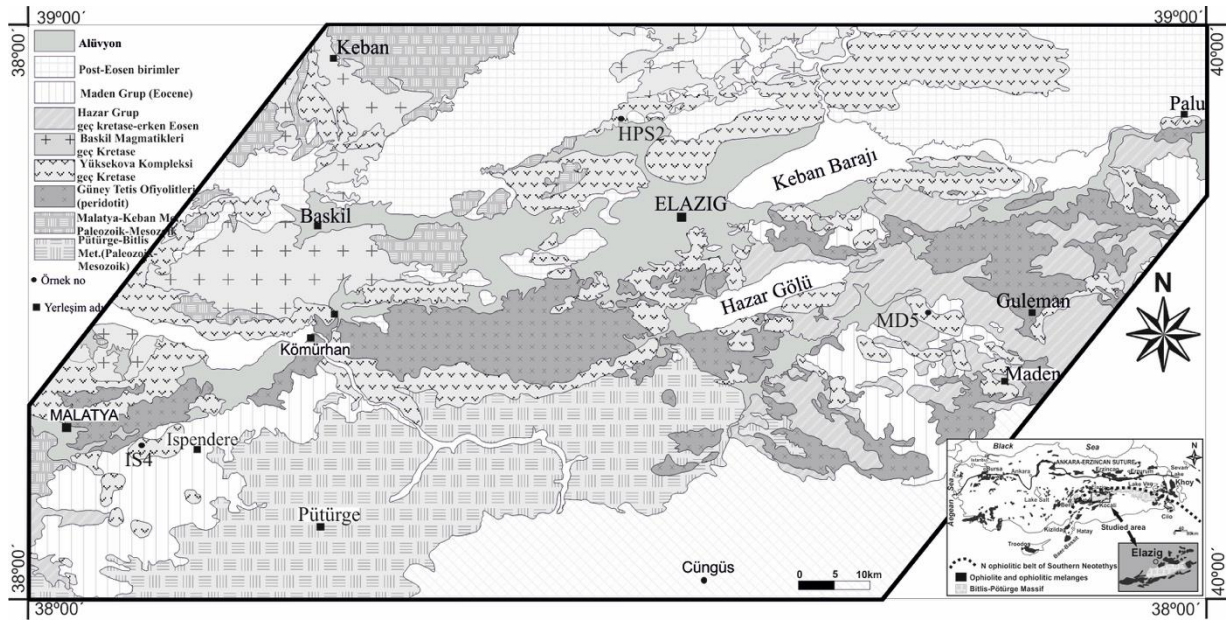


Şekil 1. İnceleme bölgesinin tektonik konumunu gösterir harita.

2. METOD

Jeokronolojik yaşlandırmalar için uygun mineralojik-kimyasal bileşimleri ile kapalı sistem şartları gereği; incelenen bazaltik volkanitler için; K-Ar, Ar-Ar, U-Pb gibi radyometrik yaşlandırma yöntemleri uygun değildir. Çünkü, bu tür kayalarda hem yaş konağının fazlalığı, hem olası alterasyon durumları, hem de K-feldspat, mika, zirkon gibi minerallerin azlığı/yokluğu gibi nedenlerden ötürü mineral ayrımı yada tüm kaya yöntemleri uygun olmamaktadır. Diğer taraftan son yıllarda tekil örneklerde uygulanan Rb/Sr izokron yöntemi ile model yaşları elde edilebilmekle birlikte, ölçülen yaşı doğru yorumlanabilmesi incelenen kaya sisteminin detaylı jeolojik, mineralojik, petrografik, jeokimyasal araştırmalara dayandırılması koşuluyla mümkün olabilir. Bu amaçla bu çalışmada Rb-Sr izotop analiz verilerini kullanarak tüm kaya izokron metoduyla örneklerin yaşlarına yaklaşımda bulunulmuş ve daha önce paleontolojik olarak da test edilen yaşlarla korelasyon imkanı denenmiştir. Tüm kaya izokron yöntemi uygulanacak örneklerin tüm kaya (ICP-MS) Rb, Sr içerikleri saptanmıştır. Bu amaçla toplam 3 adet kaya örneği (koordinatlı jeoloji haritası üzerinde gösterilmiştir) üzerinde çalışma gerçekleştirilmiştir. Örneklerin Rb, Sr izotop değerleri, ODTÜ merkezi Laboratuvarında TIMS metoduyla ölçülmüştür. Yaş hesaplamalarında kullanılan

standart sapma 0,000020 dir. İzokron yaşı hesaplamalarında isoplot Ludwig (2003) kullanılmıştır. İzokron oluşturulurken MSWD değerleri 1 ve 1 e yakın değerler tercih edilmiştir. Hesaplamalarda Rb, Sr için standart hata alt tesbit sınırları olarak ACME Laboratuvarı'nın 0,1 ve 0,5 değerleri; $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ içinse 0,001 değeri standart hata alt tesbit sınırı olarak alınmıştır. En yüksek $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ değerlerinin en düşük $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ değerlerine oranlanması ile elde edilen ortalama değer, en yüksek $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ değerinden çıkarılarak standart hata elde edilmiştir.



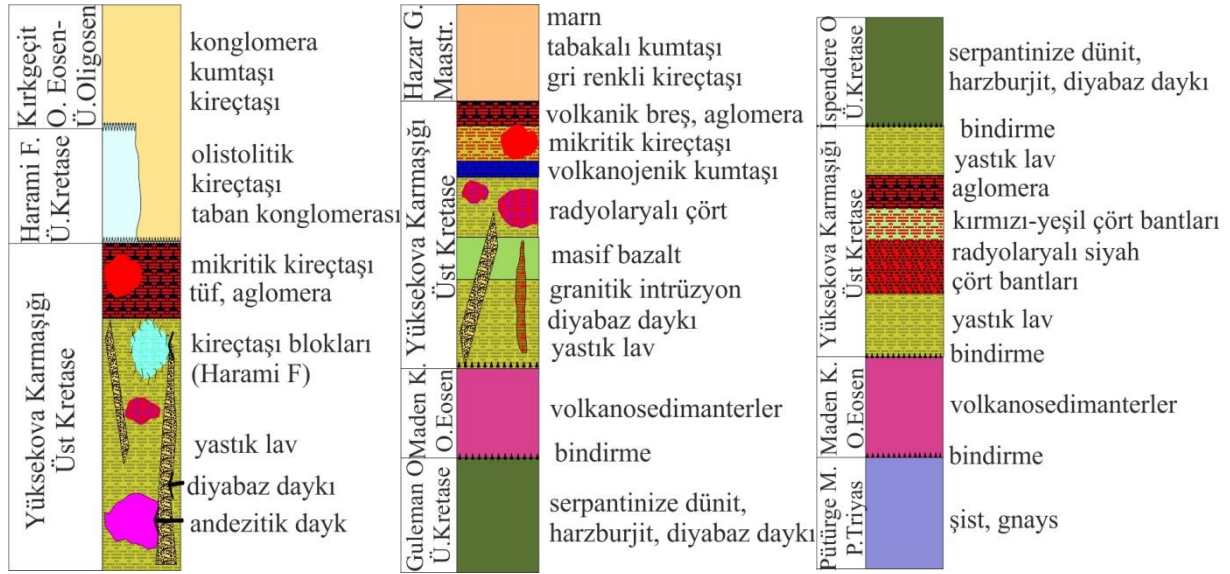
Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası (MTA, 2002'den değiştirilerek).

3. JEOLJİK ÇERÇEVE

Elazığ çevresinde Doğu Anadolu Yığılma prizması içerisinde, ofiyolitik serilere ait yani okyanusal kabuğun kendi birimleri olarak ve yaygın olarak yüzeyleme veren Yüksekova birimi, Doğu Toroslarda yer alan hemen tüm birimlerle stratigrafik-tektonik ilişkili olarak yer almaktadır (Şekil 2, 3).

Harpur çevresinde yüzeyleyen Yüksekova Karmaşığı'na ait bazik volkanik kayalar belirgin ve baskın yastık yapıları göstermekte olup, çoğunlukla dasidik dayklar ve epidotlaşmış diyabaz dayklarınca kesilmişlerdir (Şekil 3a, 4). Bu alanda ve daha kuzeyde yoğun piroklastit ve

kırmızı renkli mikritik kireçtaşı aralanmaları bulunmaktadır. Harput çevresinde Maastrihtiyen yaşlı Harami Formasyonu tabanda kırmızı renkli konglomera ile başlayıp kumtaşı ve kristalin kireçtaşlarıyla devam eden bir istif sunmakta (İnceöz, 1994; Kaya-Sarı ve İnceöz, 2001; Aksoy vd., 1999), özellikle olistolitler şeklindeki kireçtaşları Harput ve çevresinde volkanitler üzerinde yaygın bir şekilde gözlenmektedir. Birim daha kuzeyde Orta-Üst Eosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu tarafından da uyumsuz olarak örtülür (Türkmen vd., 2001).

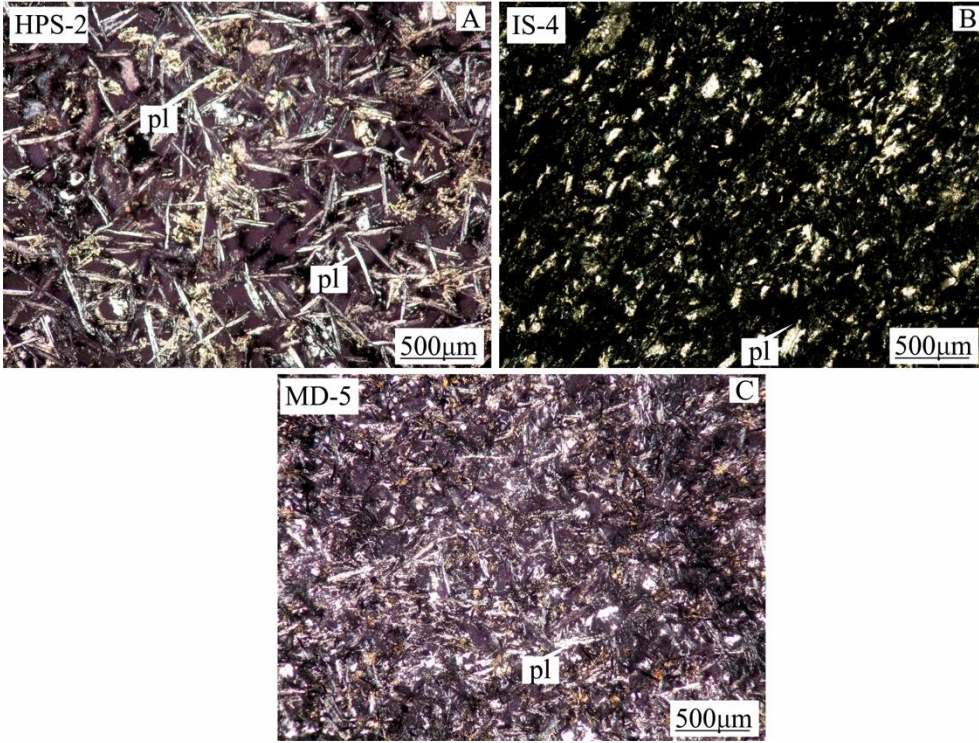


Şekil 3. İncelenen lokasyonlardaki birimlere ait stratigrafik kesitler a) Harput yöresi, (İnceöz, 1994), b) İspendere yöresi (Dündar, 2002; Beyarslan, 1991; Nurlu ve Parlak, 2010), c) Maden yöresi, (Erdoğan, 1982, Erdem, 1987; 1994; Sönmez, 1995; Kaya, 2002, Çelik, 2003).



Şekil 4. İncelenen bazaltik kaya örneklerine ait arazi görünüşleri (Ural, 2012) a. İspendere (IS-4), b. Maden (MD-5), c. Harput (HPS-2).

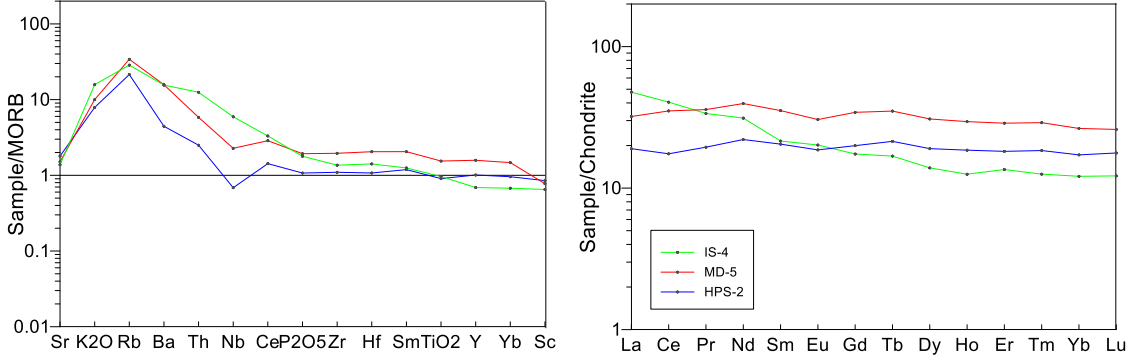
Maden ilçesi, Hazar Gölü güneyi dolaylarında Yüksekova Karmaşığı'na ait bazik volkanitler dilimler halinde Guleman Ofiyolitleri'ni üzerlemektedir (Şekil 3, 4). Bu alanda Maden birimi çoğunlukla ofiyolitleri örterken, Hazar Grubu tüm bu birimleri uyumsuzlukla üzerlemektedir (Şekil 4). Elazığ-Maden karayolu boyunca, Hazar (Eğrikavak) dolaylarında, Davudan (Kayalar), Karatop (Killan), Alacakaya yolu dolaylarında temelde yastık yapılı bazaltlar daha üstte masif, düşük yoğunluklu ve pembemsi, küçük gözenekli, dağılgan bazaltik volkanitler üzerinde yaygın olarak çamurtaşı arakatlı mikritik kireçtaşı ve radyolaryalı kırmızı renkli çörtlü kireçtaşları oturmaktadır (Ural, 2012; Ural vd., 2015, 2022). Çört bantları 10-140 cm arasında değişen kalınlığa sahiptir. En üstte gri renkli Hazar Grubu kireçtaşları birimi uyumsuzlukla üzerlemektedir. Bazaltik volkanitlere yer yer volkanik breşler ile volkanoklastik kumtaşları da eşlik etmektedir.



Şekil 5. İncelenen bazaltik kaya örneklerine ait mikroskop görüntüleri. a. Harput (HPS-2). b. İspendere (IS-4), c. Maden (MD-5).

İspendere dolaylarında yüzeyleme veren Yüksekova Karmaşığı yastık yapılı bazik volkanitler, kalınlıkları ortalama 3-4 cm'lik kırmızı-yeşil-siyahımsı çörtler gri-yeşil renkli silisifiye çamurtaşlarıyla ardalanmalı ve olası düşük dereceli bir metamorfizmanın etkisiyle yer yer

yapraklanma göstermektedir (Ural, 2012; Şekil 4). Volkanitlerin tabanında şistler tavanında ise bindirmeli olarak İspendere Ofiyolitleri gelmektedir (Beyarslan, 1991; Nurlu, 2009; Nurlu ve Parlak, 2010; Parlak et al., 2009, 2013; Karaoğlu et al., 2013) (Şekil 3b). Gri-bordomsu renkli masif ve yastık yapılı bazaltlar yer yer yaklaşık 1 cm'ye varan gözeneklere, çoğunlukla da karbonat ve silis dolgulu, oval amigdüllere sahiptirler (Ural, 2012).



Şekil 6. Rb-Sr tüm kaya izokron karşılaştırılan örneklerin tüm kaya iz element desenleri (Ural, 2012; Ural vd., 2015).

4. PETROGRAFİ

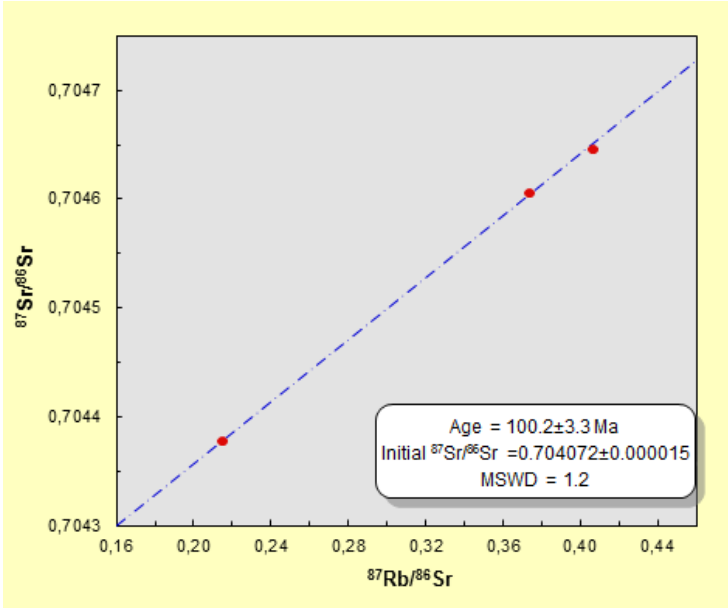
Harput yöresi volkanitleri (HPS-2), mikrolitik plajiyoklas $\pm$ piroksen $\pm$ olivin kompozisyonundaki pillow bazaltlardır (Şekil 5). Yer yer epidot oluşumları yanında opaklaşma, kloritleşme, spilitleşmeler de gözlenir. İkincil karbonat ve silis dolgularıyla gelişen amigdaloidal dokuya sahip kayaçlardır.

Maden yöresi volkanitleri (MD-5), plajiyoklas mikrolitler ile kalıntı halde ve küçük taneli piroksenlerden müteşekkil pillow bazaltlar olup subofitik, intergranüler, intersertal, fluidal kalsit, silis damar ve dolguları, ikincil kuvars, karbonatlaşma, opaklaşma, kloritleşme, serisitleşme, spilitleşme göstermekte olup kayaçlar pillow bazaltlardır (Şekil 5).

İspendere yöresi volkanitleri (IS-4), plajiyoklas mikrolitler ile kalıntı halde ve küçük taneli piroksenlerden müteşekkil bazaltlar olup karbonatlaşma ve opaklaşmalar hem hamurdan hem bileşenlerde gözlenir (Şekil 5).

5. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

İrdelenen yastık (MD-5, HPS-2) ve masif (IS-4) yapılı 3 adet volkanik kaya örneğinin tüm kaya N-MORB ile kondrite göre normalize edilmiş desenleri (Şekil 6) toleyitik ve toleyitik-kalk alkale geçiş özelliği gösterdiklerini ortaya koyarken, bu kaya örneklerinin ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) oranları 0,703660-0,706263 iken, ($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$)i oranları 0,512729-0,512934 aralığındadır (Ural et al., 2015). Lavların ϵNd i değerleri +4,03 ila +8,03 arasında olup, pozitif epsilon Nd parametresi temelde tüketilmiş bir ana magma kaynağına işaret etmektedir (Ural, 2012; Ural vd., 2015) (Şekil 6).



Şekil 7. Yüksekova karmaşığı Elazığ çevresi yüzleklerinden (Ural, 2012) 3 adet volkanik kaya örneğine (İS-4, HPS-2, MD-5) ait tüm kaya Rb-Sr izokronu diyagramı.

İncelenen alandaki daha önce Ural (2012) nin elde ettiği MD-5 (Maden), İS-4 (İspendere) ve HPS-2 (Harput) nolu volkanik kaya örneklerinin tüm kaya Rb-Sr izotop verilerine göre; 3 adet bazalt örneğinden elde edilen tüm kaya Rb-Sr izokron yaşı 100.2 ± 3.3 My olup (Şekil 7), bu yaşlar Üst Kretase alt sınırına (Alt Senomaniyen) karşılık gelmektedir. Rb-Sr tüm kaya izokron hesaplamalarından elde edilen yaş, daha önceleri Tekin vd. 2015 tarafından bazik volkanitlerle birincil stratigrafik ilişkili pelajik çörtlerden elde edilen radyolaryaların Senomaniyen erken Maastrichtiyen aralığındaki yaşlarıyla ve aynı zamanda bölgesel literatürde stratigrafik olarak belirlenmiş diğer yaşlarla (Ural ve Kaya-Sarı, 2019; Ural ve Sarı, 2019) da uyumludur. MD-5 (Maden), İS-4 (İspendere) ve HPS-2 (Harput) örneklerinin $t=0$ zamanında

aynı başlangıç $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ oranlarına= ($87\text{Sr}/86\text{Sr}$)i sahip izokron çizgisi üzerinde yer alması, bu örneklerin ait oldukları alanlardaki yüzleklerin (Maden, Harput, İspendere) eş magmatik kökenli ve aynı yaşta olabileceklerini göstermiştir (Şekil 7). Bu durum Elazığ çevresinde yaygın yüzlekleri olan Yüksekova Karmaşığı bazik volkanitlerinin Üst Kretase'den sonraki tektonik olaylarla yığıştıklarının ve farklı paleocoğrafik alanlarda konumlandıklarının bir göstergesidir. Bu yönüyle, gerek öncel çalışmalardaki sözkonusu bazik volkanitlerle doğrudan ilişkili yada ara katkılı pelajik sedimanlardaki radyolarit, planktik foraminifer gibi fosillerden elde edilen paleontolojik yaş bulguları (Tekin vd., 2015, Ural vd.,2022; Ural and Kaya-Sarı, 2019; Ural and Sarı, 2019) (Senomaniyen-Maastrichtiyen; 70-100 My) gerekse bu çalışmada ortaya konan tüm kaya izokron yöntemiyle elde edilen yaşlar (Senomaniyen; 100 ± 3 My), Elazığ yöresi çevresindeki alanlarda Maden Karmaşığı olarak kabul edilen (MD-5, IS-4) bazik volkanik kaya örneklerinin Yüksekova Karmaşığı'na ait olduklarını teyit eder.

TEŞEKKÜR

Rb-Sr tüm kaya izokron ölçümlerinden ötürü ODTÜ Merkez laboratuvar sorumlusu Doç. Dr. Serhat Köksal'a teşekkür ederim.

9. KAYNAKLAR

- Aksoy, E., Türkmen, i., Turan, M. and Meriç, E., 1999. New findings on stratigraphic position and depositional environment of Harami Formation (Upper Campanian-Maastrichtian), South of Elazığ. The Bulletin of Turkish Association of Petroleum Geologist, 11 (1), 1-15.
- Beyarslan, M., 1991. İspendere (Kale-Malatya) ofiyolitlerinin petrografik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 56s.
- Çelik, H., 2003. Mastar Dağı (Elazığ GD'su) Çevresinin Stratigrafik ve Tektonik Özellikleri, Doktora tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 95s.
- Dündar, M. K., 2004. Malatya-Pütürge arasında yüzeyleyen Maden Grubu'nun mineralojik-petrografik incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 88s.
- İnceöz, M., 1994. Harput (Elazığ) yakın kuzeyi ve doğusunun jeolojik özellikleri, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 112s.
- Erdem, E., 1987. Elazığ Kartaldere-Gölardı (Hazar gölü KD'su) yöresi magmatik kayaların petrografik incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 72s.

- Erdem, E., 1994. Pütürge (Malatya) Metamorfizitleri'nin petrografik ve petrolojik özellikleri, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 94s.
- Erdoğan, B., 1982. Ergani-Maden Yöresindeki Güneydoğu Anadolu Ofiyolit kuşağının jeolojisi ve volkanik kayalar, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 25, 49-50.
- Göncüoğlu, M.C., 2010. Introduction to the geology of Turkey: Geodynamic evolution of the pre-Alpine and Alpine terranes: General Directorate of Mineral. Res. Explor. Monography Series, 5, 1-66.
- Göncüoğlu, M.C., 2019. A review of the geology and geodynamic evolution of tectonic terranes in Turkey. Mineral resources of Turkey, 19-72.
- Kaya, A., 1993. Gezin-Maden (Elazığ) çevresinde jeolojik araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 71s.
- Kaya-Sarı, M. ve İnceöz, M., 2001. Elazığ çevresinde Harami Formasyonu'nun foraminifer içeriği ve fasiyes özellikleri, Geosound Yerbilimleri Dergisi, 39, 143-154.
- Karaoğlu, F., Parlak, O., Klötzli, U., Koller, F., & Rızaoğlu, T., 2013. Age and duration of intra-oceanic arc volcanism built on a suprasubduction zone type oceanic crust in southern Neotethys, SE Anatolia. Geoscience Frontiers, 4(4), 399-408.
- M.T.A., 2002. 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Nurlu, 2009. İspendere (Malatya) Ofiyoliti'nin kökensel incelemesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 67s.
- Nurlu, N., Parlak O., 2010. Petrography of the İspendere (Malatya) Ophiolite (İspendere (Malatya) ofiyoliti'nin petrografisi). Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (1).
- Parlak, O., Rızaoğlu, T., Bağcı, U., Karaoğlu, F., & Höck, V., 2009. Tectonic significance of the geochemistry and petrology of ophiolites in southeast Anatolia, Turkey. Tectonophysics, 473(1-2), 173-187.
- Parlak, O., Karaoğlu, F., Rızaoğlu, T., Nurlu, N., Bağcı, U., Höck, V., Öztüfekçi-Önal, A., Kürüm, S., & Topak, Y., 2013. Petrology of the İspendere (Malatya) ophiolite from the Southeast Anatolia: Implications for the Late Mesozoic evolution of the southern Neotethyan ocean. Geological Society, London, Special Publications, 372(1), 219-247.
- Sönmez, M., 1995. Hazar Köyü (Elazığ) GB'sının jeolojik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 77s.
- Tekin, U.K., Ural, M., Göncüoğlu, M.C., Arslan, M. ve Kürüm, S., 2015. Upper Cretaceous Radiolarian ages from an arc-back-arc within the Yüksekova Complex in the southern Neotethys mélange, SE Turkey, Comptes Rendus Palevol, 14 (2), 73-84.
- Türkmen, İ., İnceöz, M., Aksoy, E. ve Kaya-Sarı, M. 2001. Elazığ yöresinin Eosen stratigrafisi ve Paleocoğrafyası ile ilgili yeni bulgular, H.Ü. Yerbilimleri Bülteni, 24, 81-95.
- Ural, M., 2012. Elazığ ve Malatya Çevresindeki Yüksekova Karmaşığı Bazik Volkanitlerinin Petrokimyası, Petrolojisi ve Yaşı, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Ural, M., Sarı, B., 2019. "New Planktonic Foraminifera Data from the Upper Cretaceous Pelagic Limestones of the Yüksekova Complex in the Maden Area (Southeast of Elazığ,

- Eastern Turkey)”, The World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS, 9-13 September), Proceedings, Prague, Czech Republic.
- Ural, M., Kaya-Sarı, M., 2019. “Paleogeographic and Age Findings on Planktonic Foraminiferal Assemblages of Yüksekova Complex in the Northeast of Elazığ (Eastern Turkey)”, The World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS, 9-13 September), Proceedings, Prague, Czech Republic.
- Ural, M., Göncüoğlu, M.C., Tekin, U.K., ve Arslan, M., 2013. Elazığ ve Yakın Çevresinde yer alan Yüksekova Karmaşığındaki Volkanik kayaların Yaşı ve Jeodinamik Yorumu. In 19th International Petroleum and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey. European Association of Geoscientists & Engineers, 380-00074.
- Ural, M., Arslan, M., Göncüoğlu, M.C., Tekin, U.K. ve Kürüm, S., 2015. Late Cretaceous arc and back-arc formation within the Southern Neotethys: whole-rock, trace element and Sr-Nd-Pb isotopic data from basaltic rocks of the Yüksekova Complex (Malatya-Elazığ, SE Turkey), *Ofioliti*, 40 (1).
- Ural, M., Deniz, K., and Sayit, K., 2019. Mafic volcanic and subvolcanic rocks from the Yüksekova Complex in the İçme-Kesikköprü province (East of Elazığ, Eastern Turkey): Whole- Rock Geochemistry and Confocal Raman Spectroscopy Characterization. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Proceedings, WMESS, 9–13 September, Prague, Czech Republic, 362: 012122.
- Ural, M., Sayit, K., Koralay, O.E., & Goncuoglu, M.C. 2021. Geochemistry and Zircon U-Pb Dates of Felsic-Intermediate Members of the Late Cretaceous Yüksekova Arc Basin: Constraints on the Evolution of the Bitlis–Zagros Branch of Neotethys (Elazığ, E Turkey). *Acta Geologica Sinica-English Edition*, 95(4), 1199-1216.
- Ural, M., Sayit, K., & Tekin, U.K., 2022. Whole-Rock And Nd-Pb Isotope Geochemistry And Radiolarian Ages Of The Volcanics From The Yüksekova Complex (Maden Area, Elazığ, E Turkey): Implications For A Late Cretaceous (Santonian-Campanian) Back-Arc Basin In The Southern Neotethys. *Ofioliti*, 47(1), 65-83.