



## **Palu ve Keban Baraj Gölü Arası, Fırat Nehri Kıyısı Sedimanlarının Jeokimyasal Özellikleri ve Endüstriyel Hammadde Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi**

*Geochemical Features and Study of the Industrial Raw Materials Usability of the Euphrates River Bank Sediments Between Palu and Keban Dam Lake*

**Aynur İrmak<sup>1</sup>, Leyla Kalender<sup>1\*</sup>, Mehmet Yılmaz<sup>2</sup>, Özge Erdoğan Yamaç<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Fırat Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119 Elazığ

<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 23119 Elazığ

Geliş/Received : 09.01.2017 • Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 16.03.2017 • Kabul/Accepted : 14.04.2017 • Baskı/Printed : 01.08.2017

*Araştırma Makalesi/Research Article*

*Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

**Öz:** Palu ve Keban Baraj gölü arası Fırat Nehri kıyısı sedimanlarının kimyasal bileşimleri, Fırat Nehir sedimanlarının sub-litaranit ve feldispatlı litaranit olarak adlandırılabilmesine işaret etmektedir. Ana oksit içerikleri bakımından, Holosen Fırat Nehir sedimanlarının, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO ve TiO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının, UCC (üst kıtasal kabuk)'dan yüksek ve SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O ve P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> bakımından ise tüketilmiş olduğu söylenebilir. Söz konusu sedimanların Pb izotop bileşim oranlarının büyük çoğunluğu, nehir sedimanlarının yerel litolojik birimlerin ayrışmasının doğal sonucu olduğunu göstermektedir. Özellikle, <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb (=1,20 – 1,22) oranı dikkate alındığında, P2, P4, P13, P17, P30, P43, P44, P46 ve P49 kodlu örnek noktalarında nehir sedimanlarının daha çok mafik volkano-sedimenter kayalardan gelen doğal kurşun değerleri aralığında olduğu belirlenmiştir. Fırat Nehri akım yönü boyunca yüzeyleyen, Pliyo-Kuvaterner yaşlı Palu Formasyonu, Üst-Miyosen-Pliyosen yaşlı Çaybağı Formasyonu ve Üst Kretase yaşlı Elazığ Magmatitlerinin litolojik özelliklerini taşıdığını göstermektedir. Fiziko-mekanik deneyler Fırat Nehri kıyısı sedimanlarının; görünür özgül ağırlıklarının 2,6 gr/cm<sup>3</sup>, optimum bitüm içeriğinin % 4,6, karışım türü stabilite değerlerinin >2300 kg olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, Doğu Anadolu Fay Zonu batısından alınan sediman örneklerinin (P39'dan P50'ye kadar), fiziko-mekanik özellikleri, kil boyu malzeme içeriğinin, P1 den P38'e kadar alınan nehrin doğusundaki sediman örneklerinden yüksek olduğunu göstermektedir. Elde edilen tüm sonuçlar, P1 nolu örnek noktasından P39'a kadar, Doğu Anadolu Fay Zonu doğusunda, nehir sediman örneklerinin, agregata olarak hem beton hammaddesi hem de bitümlü sıcak karışım üretiminde, inşaat endüstrisinde hammadde olarak kullanımının stabilite ve akma açısından uygun olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Agregata, Endüstriyel hammadde, Fırat Nehir Sedimanları

**Abstract:** Chemical composition of the Fırat River bank sediments which are located between Palu and Keban Dam Lake show that the Fırat River's sediments can be named as sub-litharenite and felspar litharenite. In terms of the major oxide contents in the Holocene Euphrates River sediments, the concentrations of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, and TiO<sub>2</sub> are higher than UCC (Upper Continental Crust), and SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> concentrations are depleted. Pb isotope composition ratios of the studied sediment samples show that the natural weathering of the local lithologic unites is to be more effective on the river sediment chemistry than anthropogenic effects. Especially, at the P2, P4, P13, P17, P30, P43, P44, P46 and P49 sample locations are determined that the river sediments are mostly between natural lead values which come from the mafic volcano-sedimentary rocks due to <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb (1.205 – 1.22) ratio. The units have characterization of Plio-Quaternary Palu Formation, Upper Miocene Çaybağı Formation, and Upper Cretaceous Elazığ Magmatic rocks. Physico-mechanical experiments show that the sediments of the Fırat River have 2.6 gr/cm<sup>3</sup> specific weight and sediments' optimum bitumen is 4.6 % and their mixture type stability value is 2300 kg. The physical-mechanical features of the sediments at the sample sites from P39 to P50 in the western East Anatolian Fault Zone show that clay size fractions are higher than the updown river sediment samples which

are taken from P1 to P38 in the eastern fault zone. The obtained results indicate that the river sediment samples from P1 to P39 at the west of East Anatolian Fault Zone are suitable for both raw material for cement or aggregate and bituminous hot mixture production as raw materials in the construction industry in terms of stability and fluxing.

**Key Words:** Aggregate, industrial raw material, The Fırat River sediments,

## GİRİŞ

Palu ve Keban Baraj Gölü arasındaki Fırat Nehri kıyı sedimanlarının, kaynak kayaların ve endüstriyel hammadde olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi bu araştırma makalesinin konusunu oluşturmaktadır. Bu çalışma, sözkonusu sedimanların jeokimyasal özellikleri ile beton hammaddesi agrega ve BSK (Bitümlü Sıcak Karışım) olarak endüstriyel alanda kullanılabilirliğinin belirlenmesi için yapılan fiziko-mekanik deney sonuçları ve yorumlarını içermektedir. Çalışma alanı, Palu ilçe merkezinin kuzey doğusundan başlayıp Keban Baraj gölüne kadar uzanan Fırat Nehri boyunca uzanan kıyı sedimanlarını kapsamaktadır (Şekil 1). Fırat Nehri, kuzeyde Murat Nehri ve Karasu Nehrinin, Elazığ-Palu ilçesinin güneyinde birleşmesi ile başlayıp, Malatya, Adıyaman, Urfa illerini geçerek, Suriye sınırından Türkiye'yi terk etmektedir (Şekil 1). Kırıntılı sedimanlar, daha önceden var olan mağmatik, sedimanter ve metamorfik kayaların ayrışmasından türeyen taşınmış kırıntılardan oluşmaktadır. Yeryüzünün yaklaşık olarak %70'i sedimanter (çökel) kayalarla kaplıdır. Bunlar; çoğunlukla çakıltası, kumtası, silttası, kireçtası, şeyl ve görece daha az miktarlarda tuz oluşumları, demirtaşı, kömür ve çörtten oluşmaktadır (Tucker, 1981). Bir sedimanter oluşum için çok farklı malzemeye ihtiyaç vardır. Kum ve çakılın bu malzemeler arasındaki önemi çok büyüktür. Kırıntılı sedimanlar diyajenez geçirinçeye kadar sediman olarak adlandırılırlar. Diyajenezden sonra, sedimanter kayaç adını alırlar. Toprak oluşumundan farkları, organik maddeleri hiç ya da çok az içermeleridir (<% 0,5). Kum ve çakılın doğada bir arada bulunmasına karışık (tüvenan) agrega denir (Beare vd. 1994; MEGEP, 2001). Bu kapsamda, kıyı sedimanlarının endüstriyel

hammadde olarak kullanılmasıyla ilgili literatür kapsamında birçok çalışma bulunmaktadır. Örneğin; kâğıt sanayiinde kullanılan kaolen (kil) dolgu görevi yapar,  $Fe_2O_3$  ve CaO miktarı çok az olmalıdır. Öğütülmüş olarak kullanıldığında % 80'i 40 mikron iriliğinde olup, beyazlığı yüksek olmalıdır. Kağıt sanayiinde, kaplama alanında kullanılan, (Kuşe) Kaolenin  $Al_2O_3$  oranı yüksek, demirsiz olması ve % 80'in 2 mikronun altında öğütülmesi gerekir. Cam endüstrisinde züccaciye cam kalitesi kuvars kumunun  $Fe_2O_3$  miktarı maksimum % 0,02 düz cam kalitesi kuvars kumunun  $Fe_2O_3$  miktarının ise maksimum % 0,1 olması istenmektedir, dökümde kullanılan kum ise tipik olarak yarı-köşeli veya yuvarlak şekillidir. Tane boyutu dağılımı uniform ve % 85-95'i 0,6 mm ile 0,15 mm arasında, % 5-12'si ise 0,075 mm'den küçük olmalıdır. Döküm kumunun özgül ağırlığı ise 2,39 ile 2,55 arasında ve su emme kapasitesi düşük olması gerekmektedir (Başar ve Aksoy, 2012). Nehir, deniz, çöl, eski göl ve dere yataklarından elde edilen agregalara (kum ve çakıllar) doğal agrega denir. Bu agrega çeşitleri içinde en yaygın kullanılanı, akarsu yatağından elde edilen agregalardır. Çünkü; bunlar temiz ve düzgün danelerden oluşur. Son yıllarda, Fırat Nehir sedimanlarının, nadir toprak element dağılımları ve kirlilik indis değerleri kullanılarak metal zenginleşmeleri üzerine yapılan çalışmalar bulunmaktadır (Kalender ve Çiçek Uçar, 2013; Kalender ve Aytimur, 2016). Ancak, söz konusu sedimanların, endüstriyel alanlarda kullanılabilirliği üzerine detaylı çalışma bulunmamaktadır. Bu araştırma makalesi ile, Palu ve Keban Barajı arası, Fırat Nehri kıyı sedimanlarının jeokimyasal özellikleri, kaynak kayaları ve beton hammaddesi agrega ile BSK (Bitümlü Sıcak Karışım) olarak endüstriyel

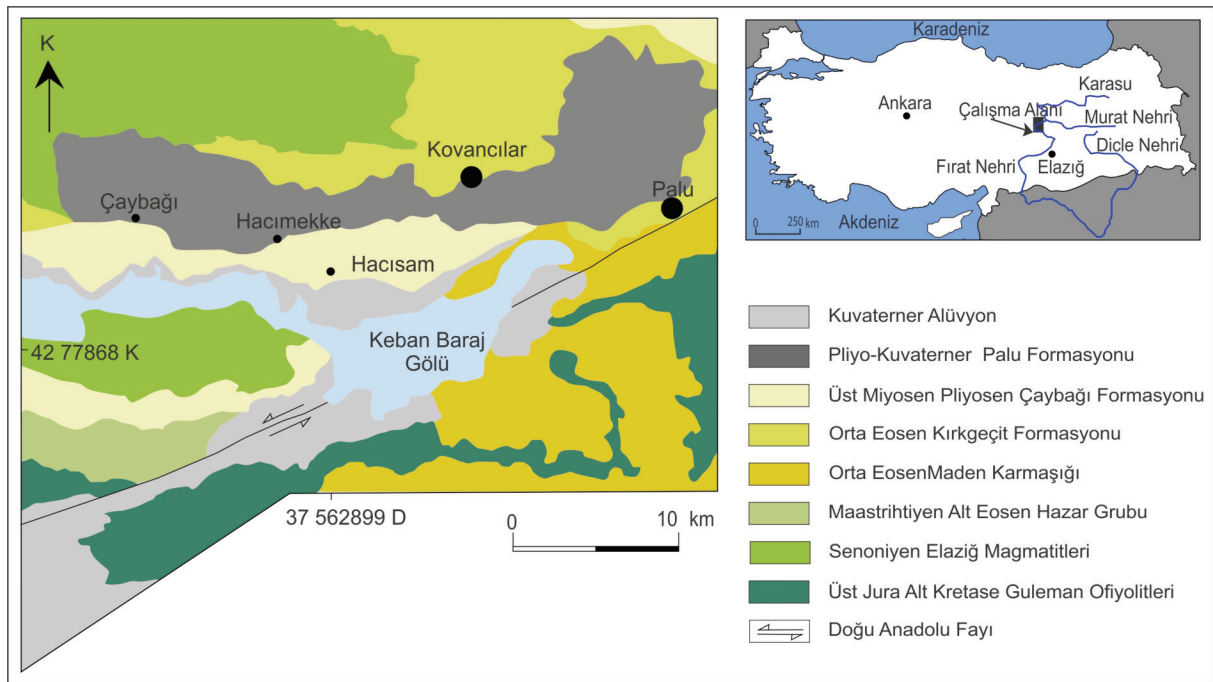
alanlarda kullanılabilirliğinin, fiziko-mekanik deneyler yardımıyla, ortaya çıkarılması hedeflenmektedir.

## COĞRAFİK DURUM

Elazığ'ın Palu ilçesinin arazisi Murat Nehri civarındaki düzlükler ile güneydeki Doğu Toros silsilesini oluşturan Akdağlar'dan meydana gelmektedir. Dalgalı ve dağınık arazi ilçe topraklarının % 86,9 gibi bir oranını oluşturmaktadır. Doğu Toros silsilesi içinde bulunan Akdağlar en yüksek noktası 2500 metre rakımlıdır. Murat nehri ilçe topraklarının içinden

geçmekte olup, vadisi genellikle dik ve sarpıtır. Palu karasal iklim bölgesinde olup yıllık sıcaklık ortalaması 13°C civarındadır.

Yağışlar genellikle ilkbahar ve sonbahar aylarında görülür. Yıllık yağış miktarı 427 mm'dir. Keban Barajı'nın yapılmasından sonra Palu ve çevresinde iklim hissedilir derecede yumuşamıştır. Yaz mevsimindeki sıcaklık farkı 3°C olarak belirirken, kış mevsimindeki sıcaklık farkı sadece 1°C olarak görülmektedir. Bunun başlıca sebebi bölge üzerinde hakim olan hava kütlelerinin karakterleri ve bölgesel yer şekilleridir (Akkan, 1972).



**Şekil 1.** Çalışma alanının yerbulduru ve jeoloji haritası (Kerey ve Türkmen, 1991; Çelik, 2008'den yeniden düzenlenerek).

**Figure 1.** Location and geology map of the studied area (modified from Kerey and Türkmen, 1991; Çelik, 2008).

## GENEL JEOLJİ

İnceleme alanı Doğu Toros orojenik kuşağında yer almaktadır. Çalışma alanı ve yakın çevresinde yaşlıdan gence doğru Guleman Ofiyoliti (Üst Kratase), Elazığ Magmatitleri (Senoniyen), Hazar Grubu (Maastrichtiyen-Alt Eosen), Maden Karmaşığı (Orta Eosen), Kırkgeçit Formasyonu (Orta Eosen), Çaybağı Formasyonu (Üst Miyosen –Pliyosen) ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı Palu Formasyonu ile alüvyal malzeme yüzylemektedir (Şekil 1). Guleman Ofiyoliti; Birim çalışma alanında, Hazar Gölü'nün doğu ve güneyinde yüzlekmektedir (Şekil 1). Guleman ofiyolitlerinin, inceleme alanındaki diğer birimlerle olan stratigrafik ve tektonik ilişkisi oldukça değişkenlik sunmaktadır. Hazar Gölü'nün doğusunda, Maden Karmaşığı, yer yer devamsız olan çakıltaşlarıyla birimin üzerinde uyumsuz olarak gözlenir. Birim litolojik olarak; harzburjit, dünit, verlit, piroksenit, gabro, bantlı gabro ile bunları kesen diyabaz dayklarından oluşan ofiyolitik bir istifdir. Birim, tektonik hatlara yakın yerlerde tamamen serpantinleşmiştir. Çeşitli yazarlar tarafından, Guleman ofiyolitlerinin, sedimanter birim içermeyen Geç Kratase yaşlı okyanusal kabuğun yayönü kalıntılarından oluşan allokton konumlu birim olduğu belirtilmektedir (Yazgan ve Chessex, 1991; Beyarlan ve Bingöl 2014; Rizeli vd. 2016). Elazığ Magmatitleri; Çalışma alanının batısında geniş yüzlekler sunar ve irili ufaklı bir çok cevherleşmeler içermektedir. Magmatik ve volkano-sedimanter özellikteki kayaçlardan oluşan birim, tabandan tavana doğru düzenli bir değişim göstermektedir. Bu nedenle, yapılan araştırmada, «Elazığ Magmatitleri» adının kullanılması önerilmiştir (Bingöl ve Aydoğdu, 1994; Turan vd. 1995); Bingöl ve Beyarlan, 1996). Birim, Elazığ güneyinde geniş yayılıma sahipken, Elazığ yakın batısındaki yüzlekler ise daha dar alanlar şeklindedir. İnceleme alanında çok geniş yer kaplayan Elazığ Magmatitlerinin litolojik birimleri, başlıca derinlik (diyoritik, granitik) kayaçları ve yüzey kayaçları (bazaltik yastık lavlar) ile temsil edilmektedir (Şekil 1).

Hazar Grubu; Tabanda kırıntılılar ile başlayıp üste doğru kumtaşı-çamurtaşı ardalanması ve üst seviyelerde ise karbonatlı birimlerden oluşmaktadır (Şekil 1). Hazar Gölü çevresinde gözlenen birim adını buradan almıştır. İnceleme alanın güney doğusunda küçük bir alanda Maden Karmaşığı üzerinde tektonik dokanaklı olup, inceleme alanının doğusunda ise, Guleman Ofiyolitleri üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır. Formasyon, altta yeşilimsi-gri renkli ince-orta tabakalı, yer yer kumlu kireçtaşı mercek ve bantları içeren kumtaşı-şeyl-marn ardalanması ile başlayıp üste doğru koyu gri renkli kalın tabakalı kireçtaşları ile son bulur (Sungurlu 1974). Birimin en alt seviyelerinde, Guleman ofiyolitlerinden türemiş gabro, serpantin ve bazaltlardan oluşan yarı yuvarlaklaşmış, eliptik şekilli, kırmızı-kahverenkli çakıltaşları yer alır. Az da olsa, inceleme alanının batısındaki Pütürge metamorfiteğine ait çörtlerden türeyen çakıllara da rastlanır. Birim, yüzlekedığı alanda yanal yönde devamsız olup üste doğru tane boyu küçülen kırmızı-kahverenkli kumtaşı-silttaşı litolojisine geçer. Çelik (2003), Hazar Grubunun yaşını, alt grupların göreceli ilişkisine dayanarak Orta Eosen olarak önermiştir. Ertürk (2016) ise, Orta Eosen yaşlı birimlerin Maden Karmaşığına dahil edilebileceğini bu yüzden Hazar Grubunun Maastrichtiyen-Alt Eosen yaş aralığında oluşmuş olabileceğini belirtmektedir. Maden Karmaşığı; Birimin genel dağılım alanı, doğuda Palu ilçesinin doğusu ve Arıcak ilçesinin kuzey kesimlerinden başlayarak, Malatya'nın güneyi ve Adıyaman'ın kuzey kesimlerine kadar uzanan yaklaşık KD-GB doğrultusunda ve Doğu Anadolu Fayı'na paralel bir zonu kapsar (Şekil 1). Bu zon içerisinde Palu-Hazar gölü arasında fayın güney kesimlerinde daha geniş bir dağılım gösterirken, bu geniş yüzylemeler Hazar Gölü'nün güneybatı kesiminden itibaren Adıyaman ilinin kuzeyine kadar devam etmektedir (Çelik, 2003; Çelik, 2008). Çalışma alanında yüzyleyen birim, bazik volkanik lavlar, dayklar, piroklastik kayaçlar ve

havza içi kökenli kireçtaşı bloklarından oluşmaktadır (Turan vd. 1995). İnceleme alanında yüzlek veren bu birim üzerine çalışma yapan araştırmacılar tarafından içerdiği fosillere bağlı olarak, birim için, Orta Eosen yaşı önerilmiştir (Perinçek ve Özkaya, 1981; Özkan, 1982; Hempton, 1984; Perinçek ve Kozlu, 1984; Sungurlu vd. 1985; Özçelik, 1985; Yılmaz vd. 1993, Turan vd. 1995). Kırkgeçit Formasyonu; Palu çevresinde yapılan arazi çalışmalarında, birimin, çalışma alanının kuzeyinde yüzlek verdiği gözlenmektedir (Şekil 1). Birim genellikle konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı araldanmasından oluşmuştur (Aksoy, 1993). Birimin tabanını teşkil eden konglomeralar yanal yönde devamlılık göstermemekte olup merceksi geometrilidir. Konglomeralar yer yer düzlemsel yer yer teknesmi çapraz tabakalıdır. Çoğunlukla dane destekli olan konglomeralarda, matriks kum ve çakıl boyu malzemedir. Çok kötü boylanmış konglomera merceklerin elemanları baskın olarak Elazığ Magmatitleri'nden daha az oranda ise Keban Metamorfitleti'nden türemiştir. Kumtaşları içerisinde bol olarak bulunan başlıca Nummulites, Discocyclina ve Assilina gibi bentik foraminiferlere dayanarak birime Orta Eosen yaşı verilmiştir (Turan ve Bingöl 1991; Çelik, 2003). Çaybağı Formasyonu; Birim güneyde Keban baraj gölü ile kuzeyde Çaybağı, Hacimekke ve Hacısam köyleri arasında doğu-batı doğrultusunda geniş yayılım gösterir (Şekil 1). Birimin tabanı, Keban Baraj Gölü altında kalmış olup bölgesel stratigrafik konum dikkate alındığında, Orta Eosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonuna ait birimlerden oluşmaktadır (Koç Taşgın, 2009). Çaybağı batısında ise, Kırkgeçit ve Palu Formasyonları birim üzerine tektonik olarak gelmektedir. Birim, konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, kömür arakatıklı kilttaşları, marn, tüfit ve kireçtaşlarından oluşmuştur. Konglomeralar genellikle kırmızı renkli, andezit, bazalt, kumtaşı ve kireçtaşı çakıllarından oluşmuştur. Bunların büyük çoğunluğunu volkanik kökenli çakıllar oluşturur.

Genellikle iyi yuvarlaklaşmış ve iyi boylanmışlardır. Kumtaşları açık gri renkli, zayıf çimentolu ve masif yapılıdır. Bunların bazı seviyelerinde 3-4 cm. boyutunda saçılmış halde çakıllar görülür. Çamurtaşları kırmızı renkli olup kömür damarları içerirler. Kilttaşları ise kömürlerle araldanmalı olarak görülür. Bunlarda çok iyi korunmuş yaprak izleri bulunur. Gri, sarı renkli, bol çatlaklı ve çatlaklar ikincil jipsle doldurulmuştur. Marnlar ise masif yapılı olup yer yer laminalanma gösterir. Tüfitler formasyonun üst seviyelerinde görülmekte olup fosil, kömür parçaları ve piroklastik kayaç parçaları içerirler. Doğu Anadolu'da Üst Eosen'den Alt Miyosen sonuna kadar volkanizma oldukça kıt olup bu tüffü seviyeler genellikle Üst Miyosen ve daha sonra gelişen volkanizmanın ürünüdür (Şaroğlu ve Güner, 1981). Çaybağı Formasyonu ise konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, kilttaşı, marn, kireçtaşı ve tüfitlerden oluşmuş olup bazalt içermektedir. Bu nedenle birim için Üst Miyosen-Pliyosen yaşı önerilmiştir (Kerey ve Türkmen, 1991). Palu Formasyonu; Birim, ilk defa Çetindağ (1985) tarafından adlandırılmış olup, konglomera, kumtaşı ve çamurtaşlarından oluşmaktadır. Çakılların litolojik bileşimi yerel olarak değişmektedir. Çalışma alanının kuzeyinde, yol yarmalarında volkanik çakılların yoğunluk kazandığı görülürken, Hacimekke köyü çevresinde kireçtaşı ve kumtaşı gibi sedimanter kökenli çakılların yoğunluğu göze çarpmaktadır (Şekil 1). Konglomera ile başlayıp yukarıya doğru bazen kumtaşı bazen de killi seviyelere kadar geçen dereceli yapıların, akarsu yatağının gittikçe dolması nedeniyle azalan akım hızlarına bağlı olduğu belirtilmiştir. Çakıllar, Elazığ Magmatitlerinin volkano-sedimanter birimleri ve Kırkgeçit Formasyonundan kaynaklanmış olup andezit, bazalt, kumtaşı ve kireçtaşlarından oluşmuştur (Kerey ve Türkmen, 1991). Pliyo-Kuvaterner yaşlı Palu Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülen Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Çaybağı Formasyonu yoğun tektonik etkiler

altında kalmış ve kanatlarının eğimi 70-80 dereceye varan antiklinal ve senklinaller oluşmuştur. Palu Formasyonu ise bu antiklinal eksenlerine paralel olarak uzanmaktadır. Donjek ve Scott tipi fasiyes geçişi yörede etkin bir tektonizmayı işaret eder (Kerey ve Türkmen,1991). Palu antiklinalinin eksenine paralel olarak uzanan ve geniş alanda yayılım gösteren alüvyon yelpazesi ve akarsu çökellerinin bu antiklinalin yükselmesine bağlı olarak oluştuğu söylenebilir. Palu Formasyonu içerisinde iç ve orta yelpaze ast-fasiyeslerinden oluşan alüvyon yelpazesi fasiyesleri ile Donjek ve Scott tipi örgülü nehir çökelleri ayrılanmıştır. Alüvyon yelpazelerinin taşınma yönünün kuzeyden güneye, örgülü nehirlerin taşınma yönünün ise doğudan batıya doğru olduğu belirtilmiş ve Donjek ve Scott tipi litofasiyes geçişlerinin oluşturduğu çevrimsel depolanma ile Pliyosen-Kuvarterner’de yörede etkin bir tektonizmanın varlığı saptanmıştır (Kerey ve Türkmen,1991).

## ANALİTİK YÖNTEM

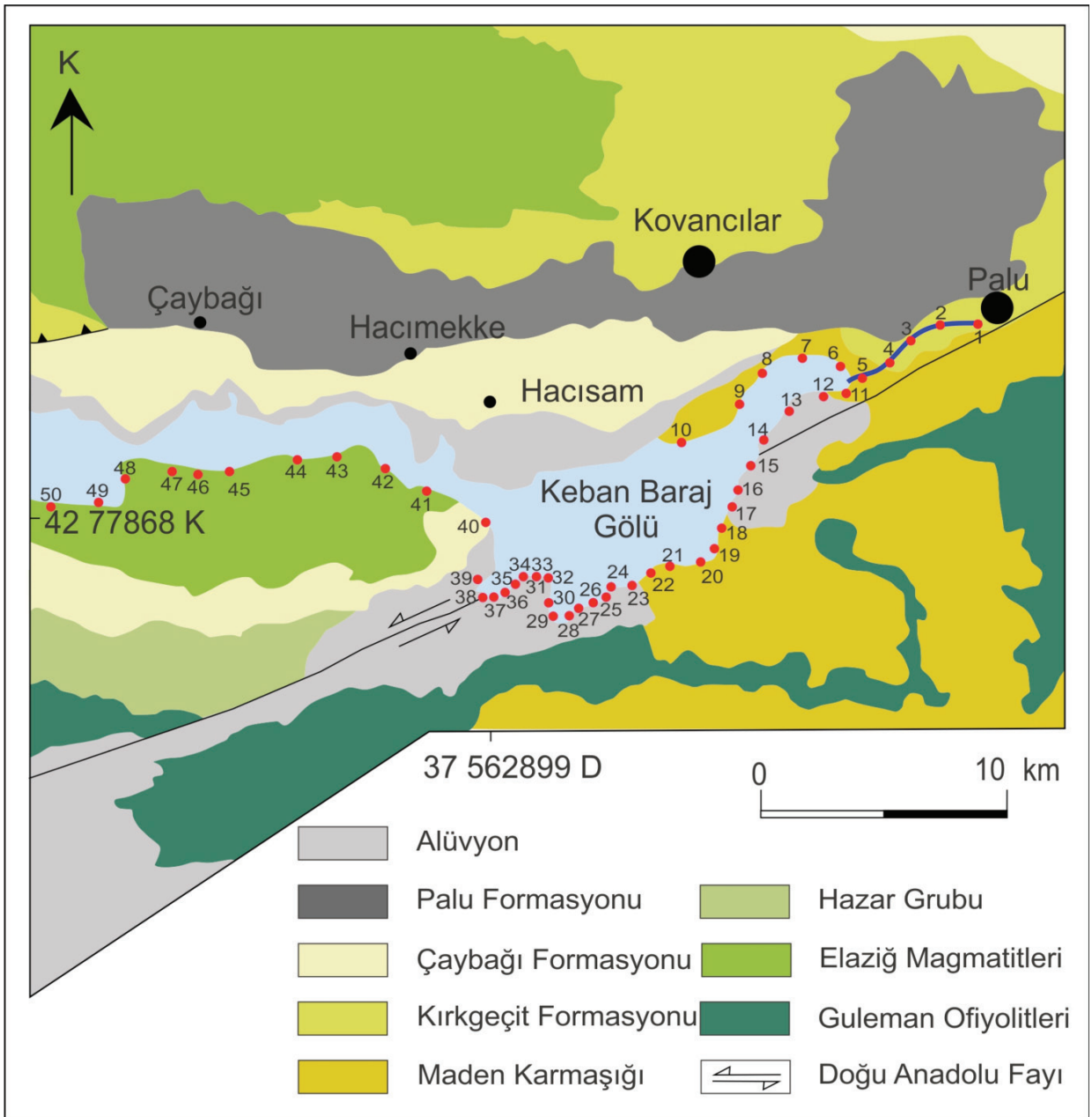
### Örnek Alımı ve Örnek Hazırlama İşlemleri

Bu çalışmada, örnek alım yöntemlerini geliştirmek, uygun tane boyu ve analiz yöntemlerini saptamak için yönlendirme çalışmaları önceden yapılmamıştır. Önceki çalışmalar ışığında (Kalender ve Bölücek, 2007, 2009) morfolojik yapının, mümkün olduğunca uygun olduğu, aktif dere yataklarının Fırat Nehri’ne karışım noktalarının üst ve alt noktalarından nehrin akım yönü boyunca toplam 50 adet nehir sediman örneği alınmıştır (Şekil 2, Çizelge 1). Çok iri taneli kırıntıların bulunmaması için örnekler, delik çapı yaklaşık 2mm’lik elekten geçirilmiştir. Dere boyunca 50-100 km aralıklarla alınan yaklaşık 2 kg ağırlığındaki dere sediman örnekleri naylon

torbalara konularak her biri numaralandırılmış ve oda sıcaklığında kurutulmuşlardır. Kurutulduktan sonra, analize uygun tane boyu fraksiyonlarının belirlenmesi için farklı elek boyutlarına (-80 + 200 mesh) ayrıştırılarak elenmiştir. Çok iri tanelerin homojenliği bozarak hatalara neden olabileceği düşünülerek, sediman örneklerinin -80 +200 mesh boyutu analize hazırlanmıştır. Eleme işleminde yaklaşık 15 g örnek tartılarak poşetlere bırakılmış ve numaralandırılmıştır.

### Kimyasal Deneylemler

Örneklerin tamamında, kurşun izotopları ( $^{204}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  ve  $^{208}\text{Pb}$ ) ve her beş örneğe bir örnek karşılık gelecek şekilde, on örnek ise ana oksit ve iz element analizleri için seçilmiştir (Çizelge 1 ve 2). 80 mesh (180  $\mu\text{m}$ ) dane boyutundaki sediman örneklerinden yaklaşık 15 gr alınarak AQ (1HNO<sub>3</sub>:1HCl: 1HF) yöntemi ile çözdürüldükten sonra, ana oksit ve bazı iz element (Ba, Ni, Sr, Zr, Y, Nb, Sc) analizleri, XRF (X-Ray Floresans) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Pb izotop bileşimlerinin saptanması için; 130 mg ve 80 mesh dane boyutundaki sediman örnekleri 4 ml HF, 1 ml HNO<sub>3</sub>, 15 M HNO<sub>3</sub> bitinceye kadar, 7 gün boyunca 140 °C ‘de sıcak levhada çözdürülmüş, Söz konusu örnekler, organik ve inorganik kirleticilerden AG-MP1-M iyon değişim yöntemi (Analytical Grade Anion Exchange) ile hidrobromik asit içerisinde saflaştırılmıştır. Tüm izotop analizleri, ICP-MS (Inductively Couple Plasma-Mass Spectrometre) ile yapılmış olup, izotop oranları hesaplanmıştır. Element analizlerinde, NIST (National Institute of Standards and Technology) 981-1Y, 983-1Y ve STD DS 10 standartları kullanılmıştır. XRF ve ICP-MS analizleri, Acme Analitik Laboratuvarlarında yapılmıştır.



Şekil 2. Örnek lokasyon haritası.

Figure 2. The sample location map.

**Çizelge 1.** Palu (Murat ve Karasu Nehirlerinin birleşme noktası) ve Keban Baraj gölü arasından alınan Fırat Nehri kıyı sediman örneklerine ait UTM-50 koordinatlar.

**Table 1.** UTM -50 coordinates of the Euphrates River bank sediment samples between Palu (mixing point of Murat and Karasu Rivers) and Keban Dam Lake.

Örnek kodları	Koordinatlar	Örnek kodları	Koordinatlar
P1	37 582713 D - 42 83339 K	P38	37 566334 D - 42 73559 K
P2	37 582675 D - 42 83598 K	P39	37 562899 D - 42 77868 K
P3	37 582650 D - 42 83711 K	P40	37 562890 D - 42 77865 K
P4	37 580930 D - 42 82628 K	P41	37 562884 D - 42 77859 K
P5	37 580868 D - 42 82603 K	P42	37 562872 D - 42 77867 K
P6	37 580766 D - 42 82860 K	P43	37 562872 D - 42 77856 K
P7	37 580684 D - 42 82493 K	P44	37 562859 D - 42 77858 K
P8	37 580642 D - 42 82505 K	<b>P45</b>	<b>37 562855 D - 42 77859 K</b>
P9	37 580597 D - 42 82491 K	P46	37 562855 D - 42 77878 K
P10	37 580593 D - 42 82446 K	P47	37 562800 D - 42 77897 K
<b>P11</b>	<b>37 580544 D - 42 82475 K</b>	P48	37 562265 D - 42 77932 K
P12	37 580511 D - 42 82475 K	P49	37 562083 D - 42 77946 K
P13	37 580519 D - 42 82494 K	P50	37 561810 D - 42 77968 K
P14	37 580505 D - 42 82496 K		
P15	37 580494 D - 42 82474 K	Fiziko-Mekanik Deneyler için seçilen	
P16	37 580480 D - 42 82480 K	örnekler	
P17	37 580442 D - 42 82476 K	P1	A1
P18	37 580408 D - 42 82463 K	P6	A2
P19	37 580362 D - 42 82455 K	P14	A3
P20	37 580337 D - 42 82442 K	P25	A6
P21	37 580294 D - 42 82414 K	P28	A7
P22	37 580180 D - 42 82410 K	P39	A8
P23	37 580161 D - 42 82406 K	P42	A9
P24	37 580123 D - 42 82409 K	P46	A10
<b>P25</b>	<b>37 580088 D - 42 82415 K</b>	P34	A11
P26	37 576907 D - 42 82445 K	P50	A12
P27	37 576443 D - 42 82346 K		
P28	37 575498 D - 42 80064 K		
P29	37 575672 D - 42 78874 K		
P30	37 574109 D - 42 77953 K		
P31	37 570183 D - 42 77016 K		
P32	37 568432 D - 42 74590 K		
P33	37 566666 D - 42 73492 K		
P34	37 566662 D - 42 73522 K		
P35	37 566667 D - 42 73540 K		
P36	37 566676 D - 42 73544 K		
P37	37 566661 D - 42 73540 K		

### Fiziko-Mekanik Deneyler

Toplanan sediman örnekleri üzerinde, zararlı kil minerallerinin miktarı hakkında fikir sahibi olmak için *metilen mavisi* deneyi, gerçekleştirilmiş, bu deney sonucuna göre kullanılabilir olduğu belirlenen agrega numunelerine elek analizi

deneyi uygulanarak gradasyonları tespit edilmiştir. Ayrıca, özgül ağırlık deneyi ile, numunelerin deformasyona karşı maksimum dayanımını (stabilite) ve maksimum yüke ulaşıldığı anda örnekte meydana gelen düşey deformasyonu (akma) tespit etmek için Marshall stabilite ve akma deneyi uygulanmıştır.



## JEOKİMYASAL BULGULAR

Çalışma alanından toplanan, sediman örneklerinden elde edilen kimyasal analiz bulguları Çizelge 2’de verilmiştir. Fırat Nehri akım yönü boyunca A1’den A12’ye ana oksit dağılımı incelendiğinde; SiO<sub>2</sub> içeriği % 42,77 ile 53,49 aralığında değişmektedir. Minimum SiO<sub>2</sub> içeriği A1 kodlu, maksimum içerik ise A12 (P 50) kodlu örneklerde saptanmıştır. En düşük Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (% 9,12) bileşimi, A7 (P28) kodlu örnekte elde edilirken, minimum Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği (% 8,89) A10 (P 46) kodlu lokasyondan elde edilmiştir. Söz konusu, örnek noktasında Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği ile birlikte K<sub>2</sub>O (% 0,19), TiO<sub>2</sub> (% 0,38) ve P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (% 0,01) düşmesine karşın, aynı örnekte MgO ve CaO içeriklerinin (% 12,84 ve 10,53) maksimum değerlerine ulaştığı görülmektedir. İz element dağılımları dikkate alındığında, A9 (P42) ve A 10 (P 46) nolu örneklerde, yüksek Ni (379 ve 609 ppm) içerikleri görülmektedir. Bu lokasyonlarda asidik magmatik kaynaklı bazı iz elementler (örneğin Ba, Sr, Zr ve Y) en düşük derişim seviyesine ulaşmaktadır. Sedimanlar içerisindeki ana oksit içeriklerinin akım yönü boyunca düzenli bir değişim tanımlamadığı görülmektedir. Fırat Nehir yatağının yer yer farklı litoloji ve tektonik hatları takip etmesi sedimanlardaki element derişimlerinin düzenlidağılımını etkilemektedir. Nehir yatağı eğimi, morfolojik olarak bu noktada killi sedimanların depolanma koşullarında etkili olabilir. En düşük demir oksit içeriğinin görüldüğü örnek noktasının fay zonu üzerinde olması tesadüfi bir durum değildir. Zira bu nokta, Fırat Nehir suyunu, farklı kaynaklardan suların karışma oranının yüksek olduğunu düşündürmektedir. Hazar Gurubunun üst seviyelerini temsil eden karbonatlı birimlerin, A10 (P46) nolu örnek noktasında, fay zonu içerisindeki su sirkülasyonlarının, suların ve sedimanların kimyasal bileşimlerini etkileyerek MgO ve CaO içeriklerinin artmasına neden olduğu anlaşılmaktadır. A9 (P42) nolu örnek noktasından itibaren A12 (P50) Keban Baraj gölü güeybatısında yeralan sedimanlardaki yüksek Ni içeriği, Elazığ Magmatitlerine ait bazik volkanik kayaçların ayrışmasına bağlı olmalıdır. Çizelge

3’de, Fırat Nehri akım yönü boyunca toplanan kıyı sediman örneklerindeki kurşun izotop bileşim oranları verilmiştir. Minimum <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb oranı (17,00) P 35 kodlu örnek noktasında, minimum <sup>207</sup>Pb/<sup>208</sup>Pb oranı (0,38) P 2, P9 ve P37 kodlu örnek noktalarında minimum <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb oranı (0,13) sadece P39 nolu örnek noktasında gözlenmektedir. Minimum <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb oranı 0,81 ila P9, P41 ve P43 kodlu örneklerde gözlenirken; minimum <sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb oranları P43 (2,00) ve P44 (2,02) örnek noktalarında görülmektedir. Maksimum <sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb oranları (≥ 20,00) P2, P14, P30, P33, P34 ve P 43 kodlu örnek noktalarında ve maksimum <sup>207</sup>Pb/<sup>208</sup>Pb oranı ise (0,42) P35 kodlu örnek noktasında gözlenmektedir. Maksimum <sup>206</sup>Pb/<sup>207</sup>Pb oranı (1,24) P9 kodlu örnek noktasında dikkat çekmektedir. Maksimum <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb (0,89) ve <sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb (2,21) oranları P25 kodlu örnekte gözlenmektedir. Bu örnek noktaları, litoloji ve tektonik oluşumlar ile ilişkilendirildiğinde; P2’nolu örneğin Palu Formasyonunun, P9’un Kırkgeçit ve Çaybağı Formasyonlarının, P 25’in güneyde Guleman ofiyolitlerinin ve P40 ila P 50’nin ise Elazığ Magmatitlerinin ayrışma ürünlerine bağlı olarak sedimanların kimyasal bileşimlerinin değişebileceğini söylemek mümkündür. P29 ila P 39 arasındaki sedimanların Pb-bileşimlerinin, nehir suyunu, Doğu Anadolu Fay Zonu’ndan kaynaklı farklı kökenli su karışımı nedeniyle değişmiş olması mümkündür.

## FİZİKO-MEKANİK BULGULAR

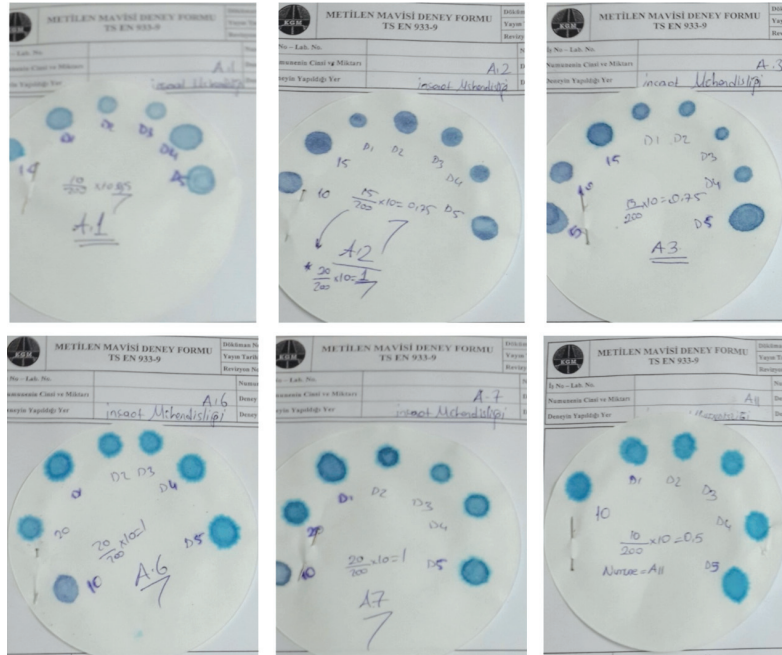
### Metilen Mavisi Deney Bulguları

Yapılan metilen mavisi deneyi sonucunda elde edilen veriler Çizelge 4’de verilmiştir. Şekil 3’de bazı kıyı sedimanlarına ait örneklerin (A1, A2, A3, A6, A7 ve A11) TS EN 933-9 (2010)’da belirtilen şartname kriterlerine uyduğu, ancak Şekil 4’de A8, A9, A10 ve A12 kodlu örneklere ait metilen mavisi deney sonuçlarının metilen mavisi şartname kriterini sağlamadığı görülmektedir. Bu nedenle çalışmanın devamı olan elek analiz deneylerinde A1, A2, A3, A6, A7 ve A11 no.lu örnekler kullanılmıştır.

**Çizelge 2.** Palu ve Keban Baraj Gölü arası Fırat Nehir sedimanlarının anaoksit (yüzde ağırlık) ve bazı iz element (ppm) analiz sonuçları.

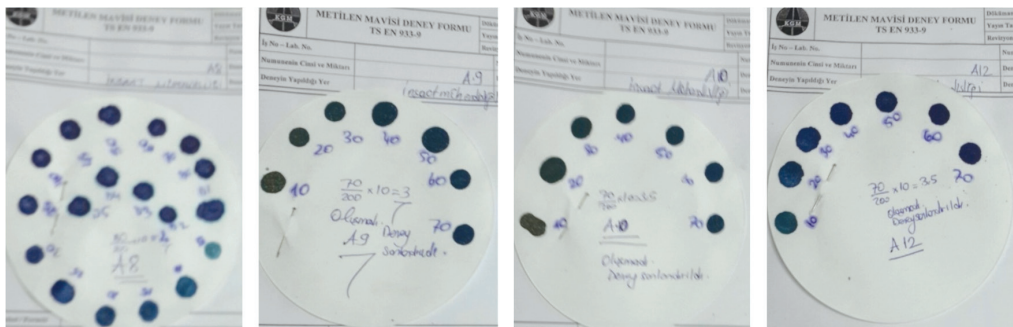
**Table 2.** Analysis results of the major oxides and some trace elements of the Euphrates River sediments between Palu and Keban Dam Lake.

Örnek kodları	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ba	Ni	Sr	Zr	Y	Nb	Sc	
P1	A1	42,77	12,03	20,17	4,14	9,02	2,15	0,58	3,11	0,13	0,23	0,203	191	80	214	549	32	23	30
P6	A2	47,87	12,66	11,72	4,10	9,54	2,42	0,89	1,83	0,13	0,17	0,098	144	82	251	231	29	12	26
P14	A3	50,94	13,31	9,29	4,21	9,05	2,87	0,87	1,47	0,13	0,16	0,059	169	72	237	143	25	10	25
P25	A6	43,81	11,92	19,20	4,04	8,68	2,23	0,73	2,98	0,12	0,22	0,165	235	81	224	363	29	15	28
P28	A7	49,90	13,34	11,06	4,27	9,22	2,69	0,81	1,77	0,13	0,18	0,082	170	71	228	209	28	8	28
P39	A8	51,70	12,90	10,31	4,30	9,00	2,77	0,82	1,98	0,16	0,18	0,064	171	73	242	154	35	12	28
P42	A9	44,81	9,12	16,15	11,05	5,02	0,88	0,48	1,27	0,04	0,15	1,029	81	609	105	114	11	6	22
P46	A10	47,77	11,41	8,89	12,84	10,53	1,01	0,19	0,38	0,01	0,14	0,649	30	379	90	26	7	5	44
P34	A11	52,24	14,81	10,72	4,40	5,12	1,89	0,85	1,82	0,11	0,18	0,083	185	114	185	159	25	10	30
P50	A12	53,49	13,69	10,56	4,21	6,39	2,26	0,82	1,98	0,10	0,17	0,109	156	100	206	171	26	8	28



**Şekil 3.** Şartname limitlerini sağlayan örneklerin metilen mavisi deneyi sonuçları.

**Figure 3.** Methylene blue test results of allowing the specification limits samples.



**Şekil 4.** Şartname limitlerini sağlamayan numunelerin metilen mavisi deneyi sonuçları.

**Figure 4.** Methylene blue test results of the samples which don't comply with the specification limits.

**Çizelge 3.** Palu ve Keban Baraj Gölü arası Fırat Nehir sedimanlarının Pb izotop analiz sonuçları.

**Table 3.** Pb isotope analysis results of the Euphrates River sediments between Palu and Keban Dam Lake.

	<sup>206</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>208</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb/ <sup>207</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb
P1	19,24	0,40	1,18	0,85	2,11
P2	20,00	0,38	1,20	0,83	2,17
P3	17,71	0,40	1,16	0,86	2,18
P4	18,70	0,40	1,20	0,83	2,10
P5	19,09	0,40	1,18	0,85	2,13
P6	18,85	0,40	1,17	0,86	2,15
P7	19,55	0,39	1,19	0,84	2,13
P8	18,17	0,40	1,15	0,87	2,17
P9	19,22	0,38	1,24	0,81	2,10
P10	19,40	0,40	1,22	0,82	2,05
P11	19,09	0,40	1,17	0,85	2,11
P12	18,40	0,41	1,18	0,85	2,09
P13	19,92	0,40	1,20	0,83	2,10
P14	20,63	0,40	1,18	0,85	2,13
P15	18,19	0,40	1,16	0,86	2,16
P16	19,60	0,39	1,18	0,84	2,14
P17	19,38	0,39	1,20	0,83	2,14
P18	19,42	0,39	1,23	0,82	2,08
P19	18,45	0,40	1,17	0,85	2,14
P20	18,82	0,40	1,18	0,85	2,15
P21	18,88	0,39	1,22	0,82	2,08
P22	18,67	0,39	1,17	0,85	2,17
P23	19,67	0,39	1,22	0,82	2,10
P24	19,00	0,40	1,15	0,87	2,18
P25	18,95	0,40	1,12	0,89	2,21
P26	19,11	0,41	1,19	0,84	2,05
P27	19,00	0,40	1,16	0,86	2,15
P28	18,67	0,40	1,19	0,84	2,12
P29	18,77	0,40	1,17	0,85	2,12
P30	20,25	0,39	1,21	0,83	2,14
P31	18,50	0,41	1,14	0,88	2,14
P32	19,75	0,40	1,17	0,85	2,14
P33	20,44	0,40	1,16	0,86	2,16
P34	20,17	0,40	1,15	0,87	2,17
P35	17,00	0,42	1,15	0,87	2,08
P36	19,50	0,41	1,18	0,85	2,06
P37	17,57	0,38	1,19	0,84	2,20
P38	19,00	0,40	1,17	0,85	2,14
<b>P39</b>	<b>17,41</b>	<b>0,42</b>	<b>1,13</b>	<b>0,88</b>	<b>2,13</b>
P40	19,15	0,40	1,15	0,87	2,15
P41	18,75	0,40	1,23	0,81	2,02
P42	19,46	0,41	1,18	0,85	2,07
P43	20,55	0,41	1,23	0,81	2,00
P44	19,00	0,41	1,21	0,83	2,02
P45	18,80	0,40	1,20	0,83	2,06
P46	19,17	0,39	1,21	0,83	2,13
P47	19,27	0,40	1,23	0,82	2,03
P48	17,31	0,39	1,22	0,82	2,08
P49	19,36	0,39	1,20	0,83	2,13
P50	19,17	0,41	1,16	0,87	2,11

**Çizelge 4.** Örneklerin metilen mavisi deney sonuçları.**Table 4.** Methylene blue test results.

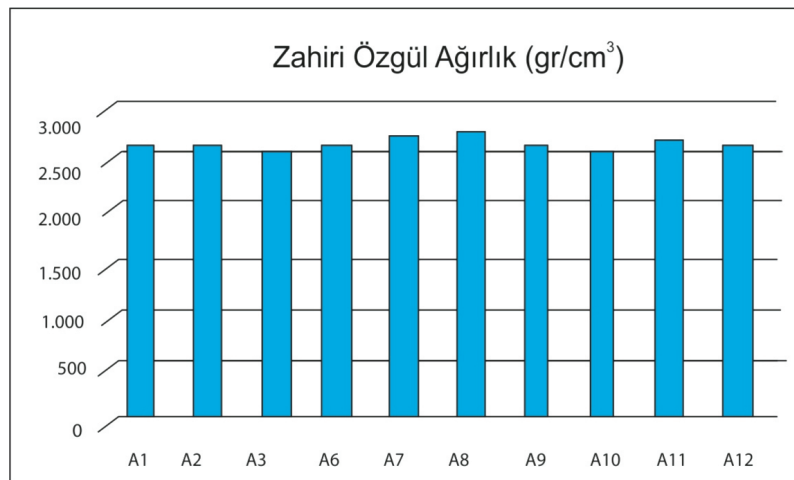
Örnek Kodu	Örnek Kodu Akım yönünde	Deney Standardı	Deney sonucu (ml/gr)			Şartname Limiti (ml/gr)	Kullanılabilirlik
			Kaba	İnce	Filler		
A1	P1	TS EN 933-9	-	0,5	-	Maks. 1,5	Uygun
A2	P6	TS EN 933-9	-	0,75	-	Maks. 1,5	Uygun
A3	P14	TS EN 933-9	-	0,75	-	Maks. 1,5	Uygun
A6	P25	TS EN 933-9	-	1,0	-	Maks. 1,5	Uygun
A7	P28	TS EN 933-9	-	1,0	-	Maks. 1,5	Uygun
A8	P39	TS EN 933-9	-	4,0	-	Maks. 1,5	Uygun Değil
A9	P42	TS EN 933-9	-	3,0	-	Maks. 1,5	Uygun Değil
A10	P46	TS EN 933-9	-	3,5	-	Maks. 1,5	Uygun Değil
A11	P34	TS EN 933-9	-	0,5	-	Maks. 1,5	Uygun
A12	P50	TS EN 933-9	-	3,5	-	Maks. 1,5	Uygun Değil

**Örneklerin Görünür Özgül Ağırlıkları**

Kıyı sediman örneklerinin, TS EN 1097-6 (2013) standardına göre belirlenen zahiri özgül ağırlıkları Şekil 5’de verilmiştir. Referans olarak önceden Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ulaştırma Laboratuvarı’nda karayolu malzemesi olarak denenmiş ve uygun olduğu belirlenmiş olan kalker türü agreganın zahiri özgül ağırlık değeri alınmıştır. Bu değer 2,618 gr/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Çalışmada kullanılan malzemelerle karşılaştırıldığında agregaların zahiri özgül ağırlıkları arasında önemli bir fark bulunmadığı tespit edilmiştir.

**Elek Analizi Deneyi Bulguları**

Çizelge 5’de, çalışılan tüm kıyı sediman örneklerinin dane boyutlarının 4,75 mm’den küçük olduğu, A6 ve A11 malzemelerinde filler malzemesinin (<0,075 mm) olmadığı dolayısıyla ince malzeme olduğu belirlenmiştir. A1, A2, A3 ve A7 gradasyonlarında ince agregayla birlikte killerden oluştuğu tespit edilmiştir. Kıyı sedimanlarının orijinal gradasyonlarına sadık kalınarak aynı gradasyona sahip karışım örnekleri hazırlanmıştır. Referans karışım olarak kırmataş agrega ve B 160/220 penetrasyon sınıfı bitüm kullanılarak Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği

**Şekil 5.** Örneklerin zahiri özgül ağırlıkları.**Figure 5.** The apparent specific gravity of the samples.

Bölümü Ulaştırma ABD’nda önceden yapılmış bir yüksek lisans tezinde kullanılan karışımla aynı gradasyona sahip karışım numuneleri kullanılmıştır (Erdoğan, 2015). Yapılan çalışmada optimum bitüm içeriği %4,61 olarak bulunmuştur. Bitüm içeriğinin karışımların mukavemetine etkisini ortadan kaldırabilmek amacıyla bütün karışımlar aynı bitüm içeriğinde hazırlanmıştır.

### Marshall Stabilite ve Akma Deneyi Bulguları

Söz konusu deneyler; Türk Standartları Enstitüsü ve bazı literatür çalışmaları kapsamında, BSK örneklerinin stabilite ve akma değerleri elde edilerek bunların ortalamaları hesaplanarak yapılmıştır (TS EN 12697-34, 2004; Alshamsi, 2006; Asphalt Institute, 1996). Çizelge 6’da stabilite-akma değerleri ve bunların ortalamaları görülmektedir. Şekil 6’da farklı agrega karışımlarıyla oluşturulan her bir BSK örneğine ait Karışım türü- stabilite ve Karışım türü- akma

grafikleri görülmektedir. Ayrıca Çizelge 7’de Karayolları Teknik Şartnamesi (KTSŞ) bitümlü sıcak karışım tasarım kriterleri görülmektedir. Çalışmada bitümlü sıcak karışım aşınma tabakası tasarım kriterleri dikkate alınmıştır. Çizelge 7’de görüldüğü üzere Marshall stabilite değerinin en az 900 kg olması gerekmektedir. Şekil 6a’da görüldüğü üzere bütün karışımların Marshall stabilite değeri 2300 kg’dan yüksek çıkmış dolayısıyla kullanılan bütün malzemeler stabilite şartname kriterlerini sağlamıştır. Özellikle A2 türü kıyı sediman örnekleri stabilite açısından kontrol karışımına göre çok yakın değerler vermiştir. Diğer kıyı sediman örneklerinin kullanılmasıyla stabilite değerlerinde az da olsa azalma meydana gelmiştir. Bunun nedeni; kontrol karışımında kırmataş kullanılmasından ötürü köşeliliğin fazla olmasıdır. Karayolları Teknik Şartname’ye göre akma değerleri; 2-4 mm arasında olmalıdır. Şekil 6b’de görüldüğü üzere bütün karışımlar akma şartname kriterlerini de sağlamıştır.

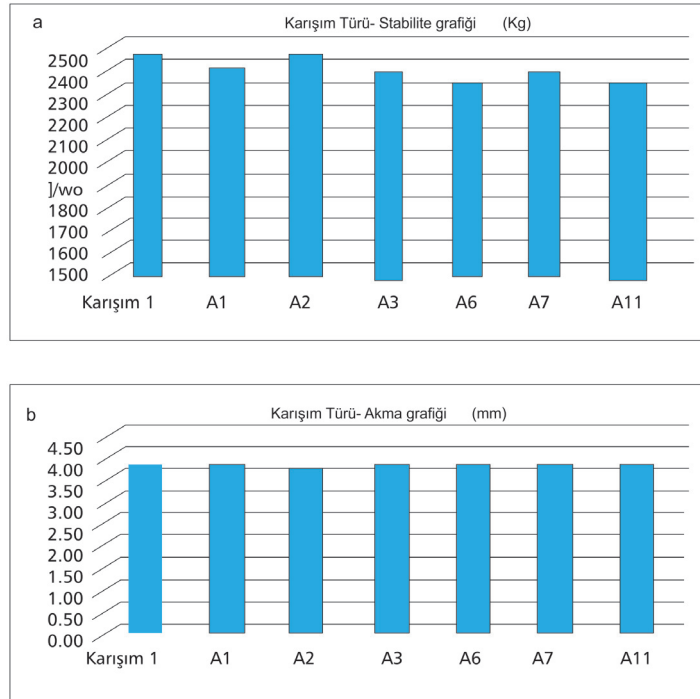
### Çizelge 5. Kullanılan agrega türlerinin elek analizi sonuçları.

**Table 5.** The results of sieve analysis of the used aggregates.

Gradasyon	Elek Üzerinde Kalan Malzeme Miktarı (gr)						
Elek Boyutu (mm)	Karışım-1	A1	A2	A3	A6	A7	A11
19 (3/4'')	-	-	-	-	-	-	-
12,5 (1/2'')	55	-	-	-	-	-	-
9,5 (3/8'')	77	-	-	-	-	-	-
4,5 (No:4)	253	-	-	-	-	-	-
2,36 (No:8)	330	-	-	-	-	-	64
1,18 (No:16)	132	-	-	-	-	35	252
0,6 (No:30)	99	-	-	-	108	114	724
0,3 (No:50)	44	830	292	147	827	553	1322
0,15 (No:100)	22	843	694	450	545	628	288
0,075(No:200)	22	153	193	228	24	250	-
Filler	66	9	28	49		55	

**Çizelge 6.** BSK Örneklerinin hacimsel özellikleri ve Marshall deney sonuçları.**Table 6.** Volumetric properties and Marshall test results of the BSK samples.

Örnek No	Yükseklikler, Mm				Havada Ağırlık, g	Sudaki Ağırlık g	Doy.Yüz. Ağırlık g	Hacim cm <sup>3</sup>	Hacim Özg. Ağırl. (mm)	Akma (kg)	Stabilite (kg)	Düzltn. Faktörü	Düzeltilmiş Stabilite (kN)	Marshall Oranı (MQ) (kN/mm)
	1	2	3	Ort.										
A1-1	63,36	63,27	63,35	63,33	1143,08	662,75	1148,50	485,75	2,353	3,89	2463	1,023	2519	<b>6,25</b>
A1-2	62,87	62,97	62,87	62,90	1144,27	664,09	1148,90	484,81	2,360	3,83	2316	1,034	2395	
A1-3	63,14	63,12	62,93	63,06	1146,89	664,46	1150,90	486,44	2,358	3,86	2263	1,030	2330	
<b>A1ort</b>									<b>2,357</b>	<b>3,86</b>			<b>24,15</b>	
A2-1	62,76	62,88	62,8	62,81	1145,94	665,50	1149,90	484,40	2,366	3,81	2453	1,036	2542	<b>6,50</b>
A2-2	62,86	62,98	62,81	62,88	1144,12	664,07	1148,00	483,93	2,364	3,86	2359	1,035	2440	
A2-3	62,83	62,84	62,86	62,84	1144,66	666,28	1148,85	482,57	2,372	3,78	2385	1,036	2470	
<b>A2ort</b>									<b>2,367</b>	<b>3,82</b>			<b>24,84</b>	
A3-1	63,17	63,17	63,04	63,13	1145,91	663,60	1149,40	485,80	2,359	3,81	2316	1,028	2381	<b>6,20</b>
A3-2	63,57	63,55	63,46	63,53	1146,50	664,64	1152,00	487,36	2,352	3,88	2315	1,017	2355	
A3-3	62,77	62,94	62,86	62,86	1147,29	666,83	1151,40	484,57	2,368	3,86	2344	1,035	2427	
<b>A3ort</b>									<b>2,360</b>	<b>3,85</b>			<b>23,88</b>	
A6-1	62,68	62,68	62,74	62,70	1146,07	665,00	1149,40	484,40	2,366	3,88	2313	1,039	2404	<b>6,13</b>
A6-2	62,65	62,71	62,63	62,66	1145,52	664,86	1148,90	484,04	2,367	3,80	2207	1,040	2296	
A6-3	62,91	62,79	62,89	62,86	1144,63	663,47	1148,80	485,33	2,358	3,89	2314	1,035	2395	
<b>A6ort</b>									<b>2,364</b>	<b>3,86</b>			<b>23,65</b>	
A7-1	62,57	62,56	62,58	62,57	1145,35	661,08	1145,20	484,12	2,366	3,84	2377	1,043	2479	<b>6,17</b>
A7-2	62,64	62,83	62,67	62,71	1144,03	664,84	1147,90	483,06	2,368	3,89	2354	1,039	2446	
A7-3	62,63	62,63	62,61	62,62	1143,71	664,40	1147,70	483,30	2,366	3,87	2155	1,041	2244	
<b>A7ort</b>									<b>2,367</b>	<b>3,87</b>			<b>23,90</b>	
A11-1	62,25	62,24	62,25	62,25	1142,28	665,42	1145,60	480,18	2,379	3,86	2357	1,052	2479	<b>6,16</b>
A11-2	62,37	62,25	62,47	62,36	1143,75	665,57	1147,00	481,43	2,376	3,78	2158	1,048	2263	
A11-3	62,17	62,25	62,22	62,21	1144,78	667,91	1148,60	480,69	2,382	3,88	2246	1,053	2364	
<b>A11ort</b>									<b>2,379</b>	<b>3,84</b>			<b>23,68</b>	

**Şekil 6.** BSK örneklerine ait karışım türü- stabilite (a) ve karışım türü- akma (b) grafikleri.**Figure 6.** The graphs show (a) mixture type stability, and (b) mixture type flow of the BSK samples.

**Çizelge 7.** Karayolları teknik şartnamesi bitümlü sıcak karışım dizayn kriterleri.

**Table 7.** Highways technical specification of bituminous hot mix design criteria.

Özellikler	Binder		Aşınma TİP-1, TİP-2		Aşınma TİP-3		Deney Standardı
	min.	maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.	
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı	75		75		75		TS EN 12697-30
Marshall Stabilitesi, kg	750	-	900	-	400	-	TS EN 12697-34
Boşluk, %	4	6	3	5	5	12	TS EN 12697-8
Asfaltla Dolu Boşluk, %	60	75	65	75	-	-	TS EN 12697-8
Agregalar Arası Boşluk, (VMA) %	13	15	14	16	-	-	TS EN 12697-8
Akma, mm (10 <sup>2</sup> in)	2(8)	4(16)	2(8)	4(16)	2(8)	4(16)	TS EN 12697-34
Filler, Bitüm Oranı	-	1,4	-	1,5			
Bitüm ( ağırlıkça, 100'e)	3,5	6,5	4,0	7,0	5,0	8,0	TS EN 12697-1
Sıkıştırılmış Bitümlü Karışımların Sudan Kaynaklanan Bozulmalara Karşı direnci, İndirekt Çekme Mukavemeti (İÇM) Oran, Min. %	80		80		80		AASHTO T 283
Tekerlek İzinde Oturma (30.000 devirde, 60°C'de), maks.%	-		8		-		TS EN 12697-22
Tekerlek İzinde Oturma (3.000 devirde, 60°C'de 5 cm kalınlığında numune), maks.%					7		TS EN 12697-22

Not: Tabakalar arası yapışma dayanımı TS EN 12697-48'e göre yapılabilecektir.

**TARTIŞMA**

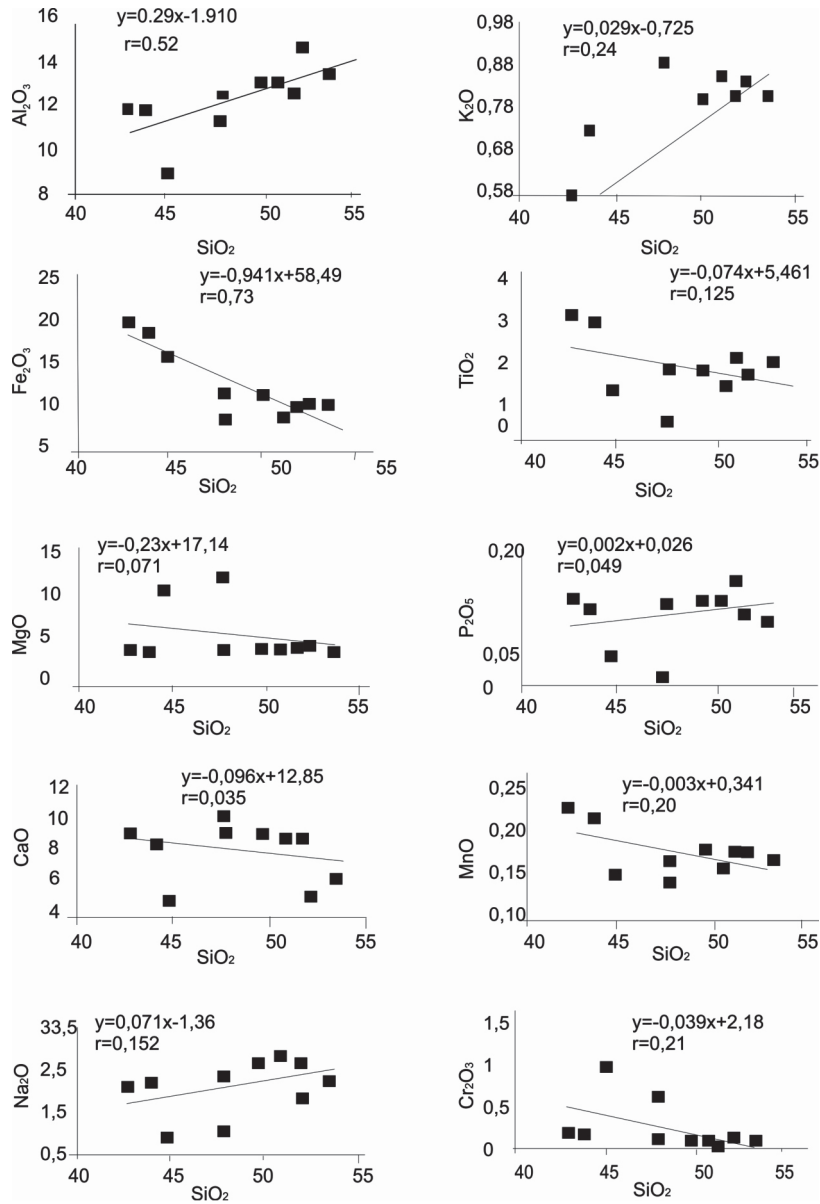
Bu çalışma kapsamında, ana oksit bileşimleri arasında ve anaoksitler ile bazı iz elementler arasındaki korelasyon ilişkisi dikkate alındığında, SiO<sub>2</sub> ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (r= 0,52), SiO<sub>2</sub> ile K<sub>2</sub>O (r=0,24) ve SiO<sub>2</sub> ile Na<sub>2</sub>O (r=0,15) arasında orta - zayıf; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile Sr (r= 0,36), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile Y (r= 0,32), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile Ba (r=0,27) arasında ise zayıf pozitif korelasyonun varlığı görülmektedir (Şekil 7 ve 8). SiO<sub>2</sub>'in K<sub>2</sub>O ve Na<sub>2</sub>O ile pozitif korelasyon ilişkisi göstermesi, ancak CaO ile aynı ilişkinin görülmemesi sedimanların bileşimi üzerinde kısmen feldispatların ve Na'lu plajiyoklasların ayrışma oranlarının, karbonat kayaçlar ve Ca'lu plajiyoklaslardan daha etkili olduğunu göstermektedir. Ancak Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile Sr arasındaki pozitif korelasyon, Sr'un kil boyu malzemede yüksek olduğu fikrini desteklemektedir (Hossain vd., 2014). Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile K<sub>2</sub>O (r=0,54) pozitif korelasyon ilişkisinin, SiO<sub>2</sub> ile K<sub>2</sub>O (r=0,24) ilişkisinden daha yüksek olması sedimanlardaki major element bileşiminin k-feldispat kontrolünde olduğunu göstermektedir. Örneklerdeki Na<sub>2</sub>O

içeriği %0,88 ile 2,87 arasında değişmektedir. Bu değer üst kıtasal kabuk (UCC: 3,50) ve Arken Sonrası Avustralya Şeylleri (PAAS:1,20) ile karşılaştırıldığında UCC'ye göre tüketilmiş ancak PAAS'a benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. K<sub>2</sub>O değerleri, %0,58 ile 0,89 arasında değişmektedir. K<sub>2</sub>O içeriğinin UCC (%3,44) ve PAAS (%3,70) göre oldukça düşük oranda olduğu görülmektedir. Bu durum sedimanların K<sub>2</sub>O açısından tüketilmiş olduğuna işaret etmektedir (Condie,1993; Taylor ve McLennan, 1985, Hossain vd., 2014). SiO<sub>2</sub>/ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3,88) kuvars oranının, feldispat oranından düşük olduğunu göstermektedir (Potter,1978). Na<sub>2</sub>O/ K<sub>2</sub>O (3,03) sedimanların olgunlaşma derecesinin yüksek olduğuna işaret etmektedir (Pettijohn vd., 1972; Roser ve Korsch, 1986; Fedo vd., 1995; Paikaray vd., 2008). P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (%0,11) değerlerinin, UCC (%0,17) ve PAAS (%0,16) değerlerinden düşük olması apatit ve diğer aksesuar minerallerinin sedimanlar içerisinde az bulunmasından kaynaklanmış olmalıdır (Condie, 1993). Şekil 8, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Y arasındaki

pozitif korelasyon ilişkisi ( $r=0,32$ ) kil mineralleri içerisinde Y'un kısmen zenginleşmiş olabileceğini düşündürmektedir.  $Al_2O_3$  ile Zr arasındaki korelasyon, Zr'un sedimanlar içerisinde daha çok asidik bileşimli kayalardan kaynaklanabileceğini, ancak aşınmaya karşı dirençli olmasından dolayı, iri daneli sedimanlardaki bolluk oranının ince danelilere göre, daha fazla olabileceğini düşündürmektedir (Kalender ve Aytimur, 2016). Diğer iz elementlere oranla  $Al_2O_3$  ile Ba arasındaki pozitif korelasyon; Ba'un ince daneli minerallerde, adsorbsiyon- sonucu, nehir suyu ile kolaylıkla ayrışabileceğini göstermektedir. Bu durum, Roy ve Roser, (2012) tarafından belirtilen hidrolik ayırılma yoluyla olmalıdır. Ortalama  $TiO_2$  (%1,86) değerlerinin Şekil 9'da UCC (%0,5) ve PAAS (%1) değerlerinden yüksek olması kaynak kayacın daha çok mafik bileşimli olduğuna işaret etmektedir (Hossain vd., 2014). Çalışma konusunu oluşturan Palu-Keban Barajı arası Holosen Fırat Nehir sedimanlarının ana element bakımından  $Fe_2O_3$ , MgO, CaO ve  $TiO_2$  UCC'ye göre zenginleştiği ancak,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Na_2O$ ,  $P_2O_5$  bakımından ise tüketildiği görülmektedir (Şekil 9). Sadece  $Na_2O$  bakımından PAAS normalizasyon değerinin  $>1$  olduğu görülmektedir. Kimyasal olarak değerlendirilen örneklerin ana oksit içerikleri dikkate alındığında sözkonusu nehir sedimanlarının sublitaranit (A8, A7, A6 ve A5) ve feldispatlı litaranit (A1, A2, A3, A4, A9, A10) olarak adlandırılabilirliği belirlenmiştir (Şekil 10). A8 nolu örnek şeyl alanına düşmekte diğer örnekler ise kalk-alkalin granit (CAS) özelliği göstermektedir (Şekil 11). Wronkiewicz ve Condie (1987), sediman kimyası üzerinde tektonik aktivetelerin yanı sıra iklimsel özelliklerin etkili olduğunu ve ılık ve yağışlı iklimin kaynak kayaların kimyasal ayrışmasını

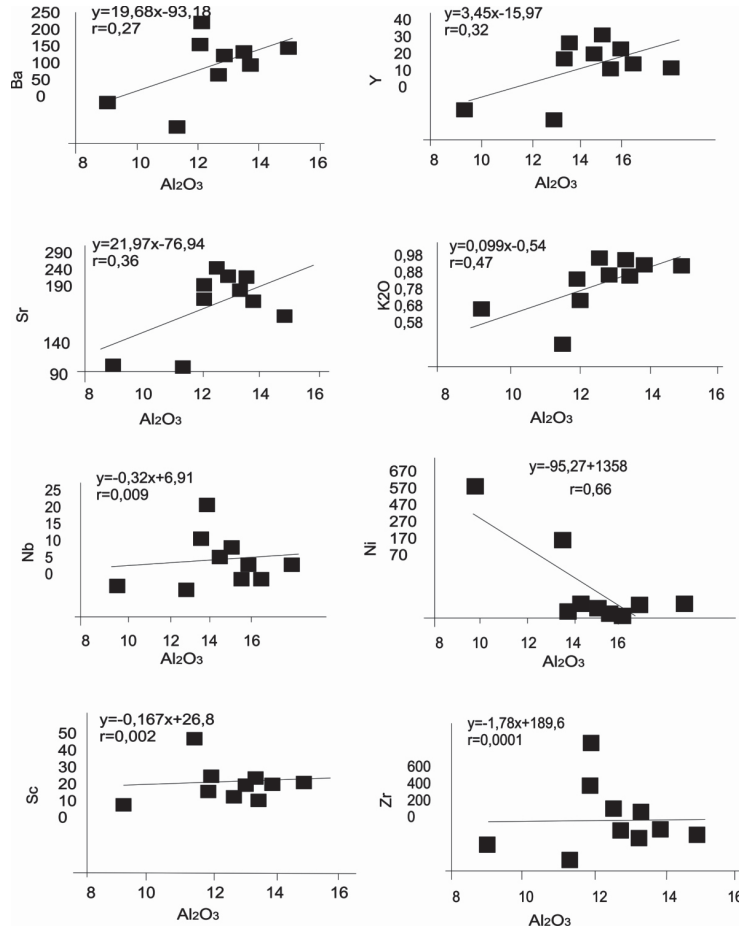
artırdığını belirtmektedir. Şekil 12 çalışma alanı içerisinde alınan sediman örneklerinin, kurak ve yarıkurak iklim koşullarında depolandığını göstermektedir. Hossain vd. (2014)'e göre, yüksek Sr değerleri kaynak alanının ayrışma derecesini belirlemektedir. Bu durum dikkate alındığında, A8 (90 ppm), A7(105 ppm) ve A9 (185 ppm) en düşük Sr değerleridir ve bu noktalarda en düşük dereceli kaynak kayacın ayrışmasının varlığından söz etmek mümkündür. Diğer örneklerin Sr içeriği 206-251 ppm arasında değişmektedir ve kaynak kayacın ayrışma derecesinin bu noktalarda arttığı söylenebilir. A8 nolu sublitaranit örneğinin düşük  $Fe_2O_3$ ,  $P_2O_5$ , MnO,  $TiO_2$ , Y ve Nb ile yüksek MgO, CaO, yüksek  $Cr_2O_3$  ve Ni değerleri bu nehir sedimanının, asidik bileşimli kayalardan çok bazik bileşimli kayaların etkisinde kaldığını göstermektedir.  $K_2O/Na_2O <1$  ve  $Al_2O_3/TiO_2 <6$  oranları kuvars içeriğinin düşük olduğu sedimanlara işaret etmektedir (Keskin, 2011; Hossain, vd., 2014). A7 örnek noktasında, düşük  $Al_2O_3$  %9,12 ve yüksek MgO içeriği %11,04 sedimanlar içerisinde bazik kayacın ayrışma etkisinin yüksek olduğunu düşündürmektedir. A8 nolu örnekte  $Al_2O_3$  (%11,41) ve MgO (%12,84) içeriği bu örnekte kil oranının arttığını ve bazik kayacın ayrışma ürünlerinin katkısının hala devam ettiğini düşündürmekte, ancak A10 ve A11 nolu örneklerde sırasıyla %14,81 ve %13,69 olan  $Al_2O_3$  içeriği kil oranının giderek arttığına işaret etmektedir. Bu durum, neredeyse Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinden alınan nehir sediman örneğinin, kimyasal bileşimi üzerinde fay zonu boyunca hareket eden yüzey sularının bolluk oranları ve taşıyabilecekleri iyon yük kapasitelerinin yüksek olması nedeniyle, diğer örneklerden ayrılması gerekliliğini düşündürmektedir.





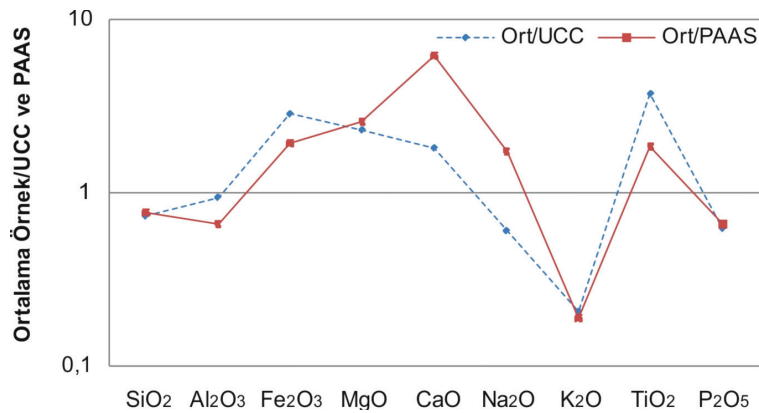
Şekil 7. Bazı ana oksitler arasındaki regresyon ilişkisi.

Figure 7. Regression relationship between some of the major oxides.



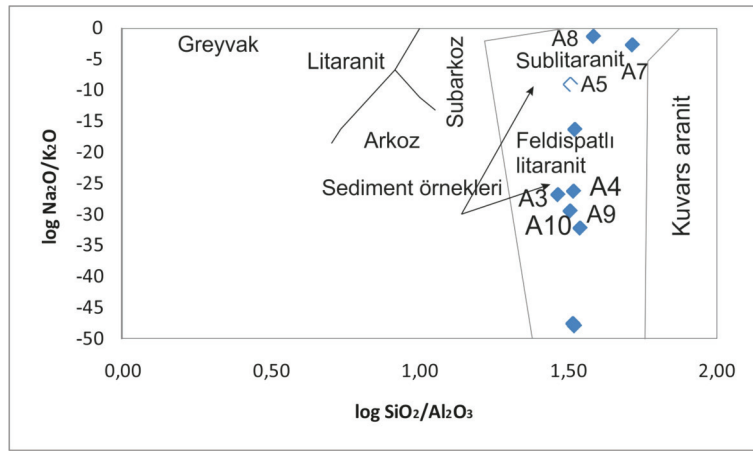
Şekil 8. Bazı ana oksit ve iz elementler arasındaki regresyon ilişkisi.

Figure 8. Regression relationship between the major oxides and some trace elements.



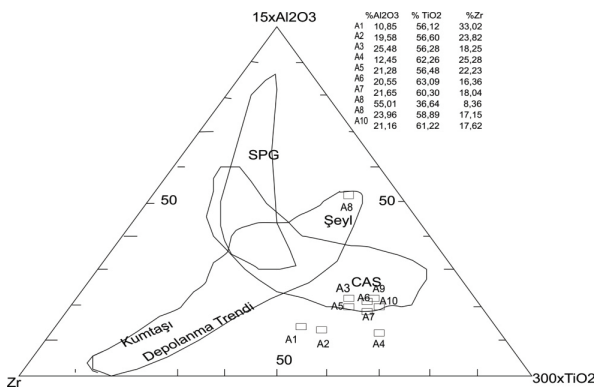
Şekil 9. Ortalama ana oksit değerlerinin UCC ve PAAS değerlerine göre normalize diyagramı (Üst Kıtasal Kabuk (UCC) ve Arken Sonrası Avustralya Şeylleri (PAAS) değerleri Taylor ve McLennan,1985'den alınmıştır).

Figure 9. Normalized diagram; The average values of the major oxides were normalized to UCC and PAAS values (UCC and PAAS (Upper Continental Crust and Post Archean Australian Shales) values taken from Taylor and McLennan,1985).



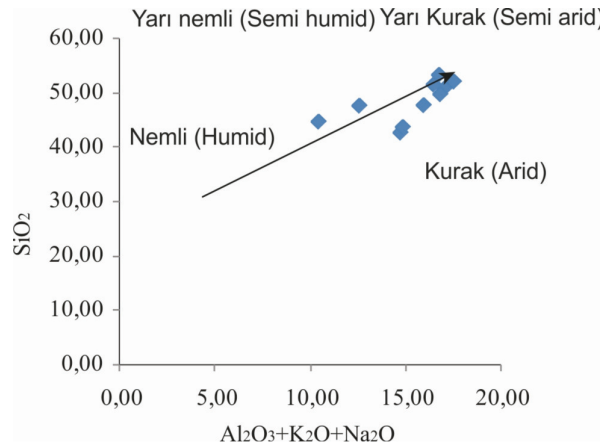
**Şekil 10.** Holosen sedimanların  $\log \text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  ve  $\log \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  oranına göre jeokimyasal sınıflaması (Diyagram Pettijhon vd. 1972’den alınmıştır).

**Figure 10.** Geochemical classification of the studied Holocene sediments according to  $\log \text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  and  $\log \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  ratios (Diagram taken from Pettijhon et al., 1972).



**Şekil 11.** İncelenen sediman örneklerinin hesaplanmış  $15 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Zr} - 300 \cdot \text{TiO}_2$  değerlerine göre çizilen diyagram, CAS: Kalk-alkalin granit alanı; SPG: per alüminyum granit alanı (Garcia vd. 1994).

**Figure 11.** Diagram was drawn according to calculated  $15 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Zr} - 300 \cdot \text{TiO}_2$  values. CAS: Calc-alkaline suites field; SPG:strongly peraluminous granite field (Garcia et al., 1994).



**Şekil 12.** Holosen sedimanlarının depolanması sürecinde paleoiklimsel koşulların  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  içeriklerine göre sınıflandırılması (Suttner ve Dutta, 1986 diyagramı üzerine çalışma alanı verileri eklenmiştir).

**Figure 12.** The classification of Holocene sediments according to  $\text{SiO}_2$  and  $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$  contents to discriminate paleoclimatic condition during the deposition of the studied sediments (Data were added on diagram from Suttner ve Dutta, 1986).

Fırat Nehri sedimanlarının kimyasal bileşimini etkileyebilecek en önemli litolojik birim, inceleme alanı içerisinde yer alan Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Çaybağı Formasyonu olmalıdır. Zira bu birim, kırmızı renkli konglomeralar, andezit, bazalt, kumtaşı ve kireçtaşı çakıllarından oluşmuştur. Bunların büyük çoğunluğunu volkanik kökenli çakıllardır. Bu durum, kurşun izotop bileşim oranları ile desteklenmiş görünmektedir. Çaybağı Formasyonu, yüksek oranla, Doğu Anadolu Fay Zonu'nun hem kuzey hem de güneyinde yüzeyleyen Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığının ayrışma ürünü olmalıdır. Pliyo-Kuvaterner yaşlı Palu Formasyonuna ait çakılların, Elazığ Magmatitlerinin volkano-sedimanter birimleri ve Kırkeçit Formasyonundan kaynaklanmış olduğu ve andezit, bazalt, kumtaşı ve kireçtaşlarından oluştuğu belirtilmektedir (Kerey ve Türkmen,1991). Çalışma alanının batısına doğru Fırat Nehri akım yönü boyunca volkanik ayrışma ürünlerinin katkısını artırmış olmalıdır. Bununla birlikte, Doğu Anadolu Fay Zonu'nun güney batısı ve Keban Baraj Gölünün güneyinde yüzeyleyen Maastrichtiyen-Alt Eosen yaşlı Hazar Grubu, Guleman ofiyolitlerinden türemiş gabro, serpantin ve bazaltlardan oluşan yarı yuvarlaklaşmış, eliptik şekilli, kırmızı-kahverenkli çakıltaşlarından oluşmuş olup, ayrışma ürünlerinin Fırat Nehir sedimanlarına katkıda bulunmuş olabileceği düşünülmektedir.

Şekil 13'de Cicchella vd. (2016) tarafından, İtalya'daki zirai topraklardan elde edilen  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ve  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  verilerine dayanılarak çizilen jeojenik ve antropojenik regresyon doğruları üzerinde bu çalışmadan elde edilen veriler yorumlanmaya çalışılmıştır. Grafik üzerinde; Pb'nin kaynağı olarak, büyük çoğunlukla jeojenik (doğal köken) ancak az oranda antropojenik olmak üzere iki uç üye arasında dağılımının varlığı görülmektedir. Şekil 14'de ise, Cicchella vd. (2008) tarafından üretilmiş  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 'ye göre  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  kurşun izotopik bileşim oranlarına göre çizilen regresyon doğruları üzerinde,

Fırat Nehri sediman örneklerine ait Pb izotop bileşim oranlarının dağılımı görülmektedir. Bu diyagram ile sadece jeojenik ve antropojenik etki ortaya konulurken; Şekil 15'de, Pb izotop bileşimleri yardımı ile kurşunun kaynağını belirlemek mümkün olmaktadır. Grafik; Kentsel/Endüstriyel alanlardaki aerosol kaynaklı kurşun ( $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}=1,13-1,18$ ) ile volkanik ve sedimanter kayaç kaynaklı doğal kurşun ( $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}=1,20-1,22$ ) alanlarını göstermektedir (De Vivo vd. 2001). Özellikle, çalışılan nehir sediman örneklerinin,  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  ( $=1,20-1,21$ ) oranları dikkate alındığında, P2, P4, P13, P17, P30, P43, P44, P46 ve P49 kodlu örnek noktalarında nehir sedimanlarının daha çok mafik volkano-sedimanter kayaçlardan gelen doğal kurşun değerleri aralığında olduğu belirlenmiştir (Şekil 15). Çalışılan sediman örneklerinin tamamı  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  ve  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  oranları bakımından değerlendirildiğinde; Endüstriyel alan içerisine sadece üç örneğin düştüğü görülmektedir [P3:1,16 ila 17,71; P15: 1,16 ila 18,19 ve P25: 1,12 ila 18,95]. Endüstriyel etkinin en fazla olduğu P25 kodlu örnekte, en düşük  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  (1,12), maksimum  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  (0,89) ve  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  (2,21) oranları tespit edilmiştir. Şekil 16a'da, farklı kurşun izotop bileşim değer ve oranlarının Fırat Nehri akım yönü boyunca değişimi izlenmektedir. Şekil 16b'de, aynı örnek noktalarındaki  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  oranı dağılımı görülmektedir. Bu oran dikkate alındığında, P9, P17, P21, P23, P30, P 41, P43 ve P47 nolu örnekler  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}>1,20$  değerleri işaret etmektedir. Bu nedenle, volkanik kayaçların ayrışma etkilerinin bu örnek noktalarında yüksek olduğunu söylemek mümkündür. Volkanik malzeme katılım noktalarında, Pb bileşim değerlerinin nispeten düşük olduğu görülmektedir (Şekil 16 a, b). Pb izotop bileşim oranları dikkate alındığında, örnek lokasyonlarının bu oranlar üzerinde etkili olduğu ve sedimanlardaki iz element bileşimlerinde bu durumdan etkilendiği anlaşılmaktadır. P39 nolu örnekte;  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}=1,13$ ' kadar düşmesinin nedeni; sadece litolojinin

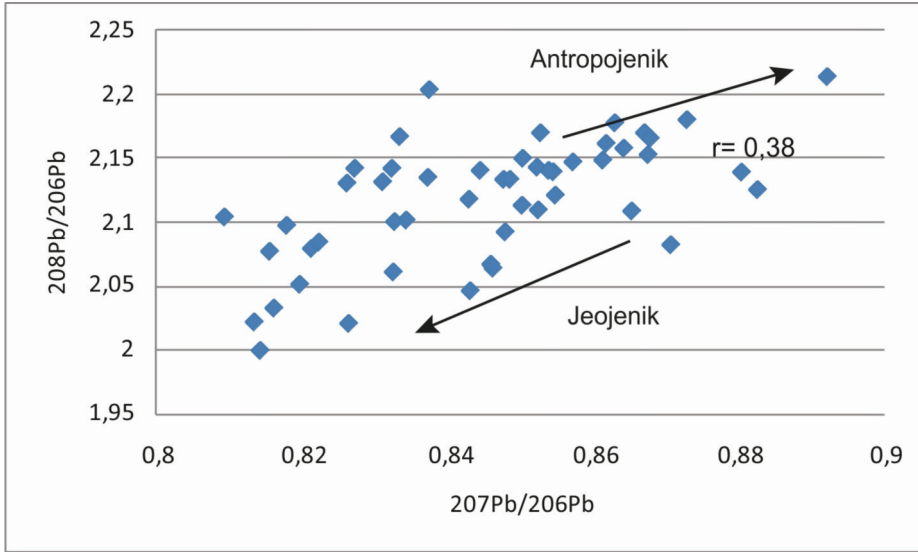
değil aynı zamanda, tektonik hat boyunca, nehir yatağına karışan suların da izotop kimyası üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. Özellikle bazı örnek lokasyonlarında, (A25) (37580088 D ve 4282415 K) no.lu örnekte izlendiği gibi,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  (0,87281) ve  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  (2,17982) izotop bileşim oranları, antropojenik alan içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanı, Neolitik ve Erken Bronz çağında yukarı mezapotamya alanı içerisinde yer almaktadır. Palu Kalesinin hemen güneyinde yer alan Fırat Nehri bu dönemlerde eski medeniyetlerin (Urartu Krallığı) yaşam alanlarını oluşturması nedeniyle, çeşitli metal atıklarının ayrışması ve oksidasyonundan etkilenmiş olmalıdır. Zira yukarı Fırat Havzasından elde edilen Cu-As alaşımlı kraliyet araç gereçlerinde saptanan Pb izotop oranları  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  (0,8404) ve  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  (2,0690) bu fikri desteklemektedir (Frangipane vd., 2001; Palmieri vd. 2002). Buna ilaveten P25 kodlu örnek lokasyonunun hemen güneyinde yüzlek veren Gulemen Ofiyolitleri içerisinde bulunan eski dönemlerdeki krom madenciliğinden kaynaklı pasaların ayrışması ve nehir sedimanları içerisine taşınması antropojenik etkiye sebep olmuş olabilir. Genel olarak kurşun izotop bileşim oranları ( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ve  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ) örneklerin büyük çoğunluğunun doğal kökenli (Jeojenik) olduğunu göstermektedir (Cicchella vd., 2016; Monna vd., 1999; Teutsch vd., 2001; Ayuso vd.1998; Gilg vd., 2001 ve Somma vd., 2001).

Fiziko-mekanik deneyler ile kıyı sedimanlarının, beton hammadesi olarak ve BSK (bitümlü sıcak karışım) üretiminde agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bunun için öncelikle nehir sedimanlarının zararlı kil mineral miktarlarını tespit etmek amacıyla metilen mavisi deneyi uygulanmıştır. Bunun sonucunda Nehir akım yönü boyunca P39 (A8), P42 (A9), P46 (A10) ve P50 (A12) kodlu örneklerin yüksek oranda kil içerdiği ve görünür özgül ağırlık ve karışım türü stabilite deneyleri için kullanılmayacağı anlaşılmıştır. Bu durum fay zonunun nehir suyu

döngüsünde etkili olduğunu göstermektedir. Su sirkülasyonunun artması ile çözülmesi olarak taşınabilecek süspansiyon madde miktarının da artabileceği ve bu yüzden sedimanlardaki kil oranının artabileceği düşünülmektedir. Bir nolu örnek lokasyonunda nehir yatağının eğiminin düşük ve akımın yavaş olması enerjinin azlığına ve kum boyu malzemenin kaynağa yakın ortamlarda depolandığına işaret etmektedir, ancak kil boyu malzemenin P39 nolu örnek noktasından sonra arttığı belirlenmiştir. Söz konusu örnekler dışında agrega olarak kullanılmaya uygun olan (6 çeşit) malzemeler seçilerek elek analiziyle gradasyonları tespit edilmiştir. A1, A2, A3 ve A7 nolu örneğin gradasyonlarının ince agregalı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen BSK örneklerinin hacimsel özellikleri belirlenerek örnekler, TS EN 12697-34 standardı ve Çolak (2006)'ya göre, Marshall stabilite ve akma deneyine tabi tutulmuş ve örneklerin akma deney sonuçlarının 6,13 ila 6,50 kN/mm arasında değiştiği belirlenmiştir. Buna göre Fırat Nehir sedimanlarının karışım türü stabilite değerleri, >2300 Kg olarak ve görünür özgül ağırlıkları ise 2,6 gr/cm<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Bu çalışma, P1 nolu örnek noktası ile P 39 nolu örnek noktası arasında bulunan Fırat Nehir sedimanlarının; alınıp kullanılabilirliği uygun bulunan ve asfalt karışımında agrega olarak değerlendirilen malzemelerin tamamının BSK'larda kullanılması durumunda şartname ve çeşitli araştırmalarca kabuledilen kriterleri sağladığı belirlenmiştir (Lavin, 2003; Mc Gennis vd. 1995; Yılmaz ve Kök, 2008; Zoorob ve Suparma, 2000). Her bir karışım türü referans karışımıyla karşılaştırıldığında stabilite değerlerinde genel bir düşüş görülmesine rağmen bu azalmanın şartname kriterleri içinde kaldığı belirlenmiştir. Aynı şekilde akma değerlerinde de genel bir artış izlenmiş fakat bu artışın da yine şartname kriterlerini sağladığı görülmüştür. Bu sonuçlar, farklı bölgelerden alınarak BSK'larda kullanılabilirliği araştırılan agrega malzemelerinin, asfalt yol sektöründe inşaat malzemesi olarak

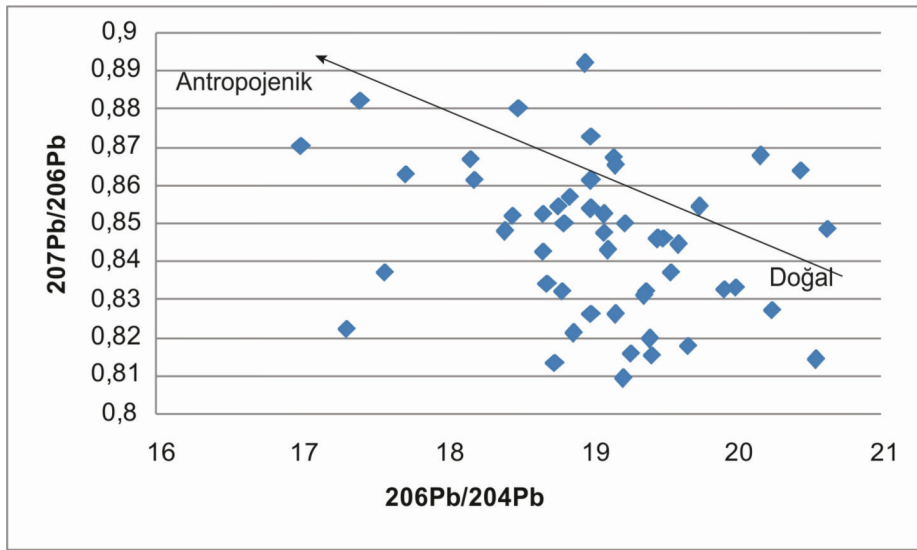
kullanımının stabilite ve akma açısından da uygun olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu çalışma ile örneklerin optimum bitüm içeriğinin %4,61 olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma, Fırat Nehri kıyı sedimanlarının beton agrega hammaddesi olarak kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır. Çalışmada kullanılan sedimanların optimum bitüm içeriği

inşaat sektöründe kullanılmaya elverişlidir. Ancak söz konusu sedimanların, karayolu sektöründe bitümlü sıcak karışım üretiminde kullanılabilirliğinin tamamen belirlenebilmesi için "İndirekt Çekme Mukavemeti Oranı (İÇM) ve Tekerlek İzinde Oturma" deneylerinin de bu çalışmaya ek olarak yapılması gerekmektedir.



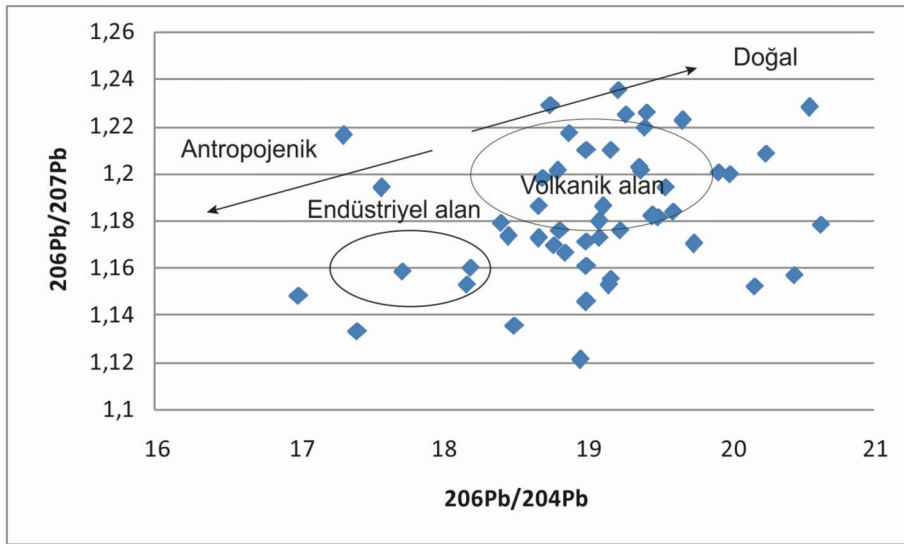
**Şekil 13.** İncelenen sedimentlerin  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ve  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  izotopik bileşim oranlarının grafik üzerindeki dağılımı. Jeojenik ve antropojenik doğrular, Cicchella vd. (2015), Teutsch vd. (2001), Ayuso vd. (1998) Gilg vd. (2001), ve Somma vd. (2001) tarafından belirlenmiştir.

**Figure 13.** Diagram showing  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  and  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  isotope composition ratios of the studied sediment samples. Geogenic and antropogenic fields were determined by Cicchella et al. (2015), Teutsch et al. (2001), Ayuso et al. (1998) Gilg et al. (2001), and Somma et al. (2001).



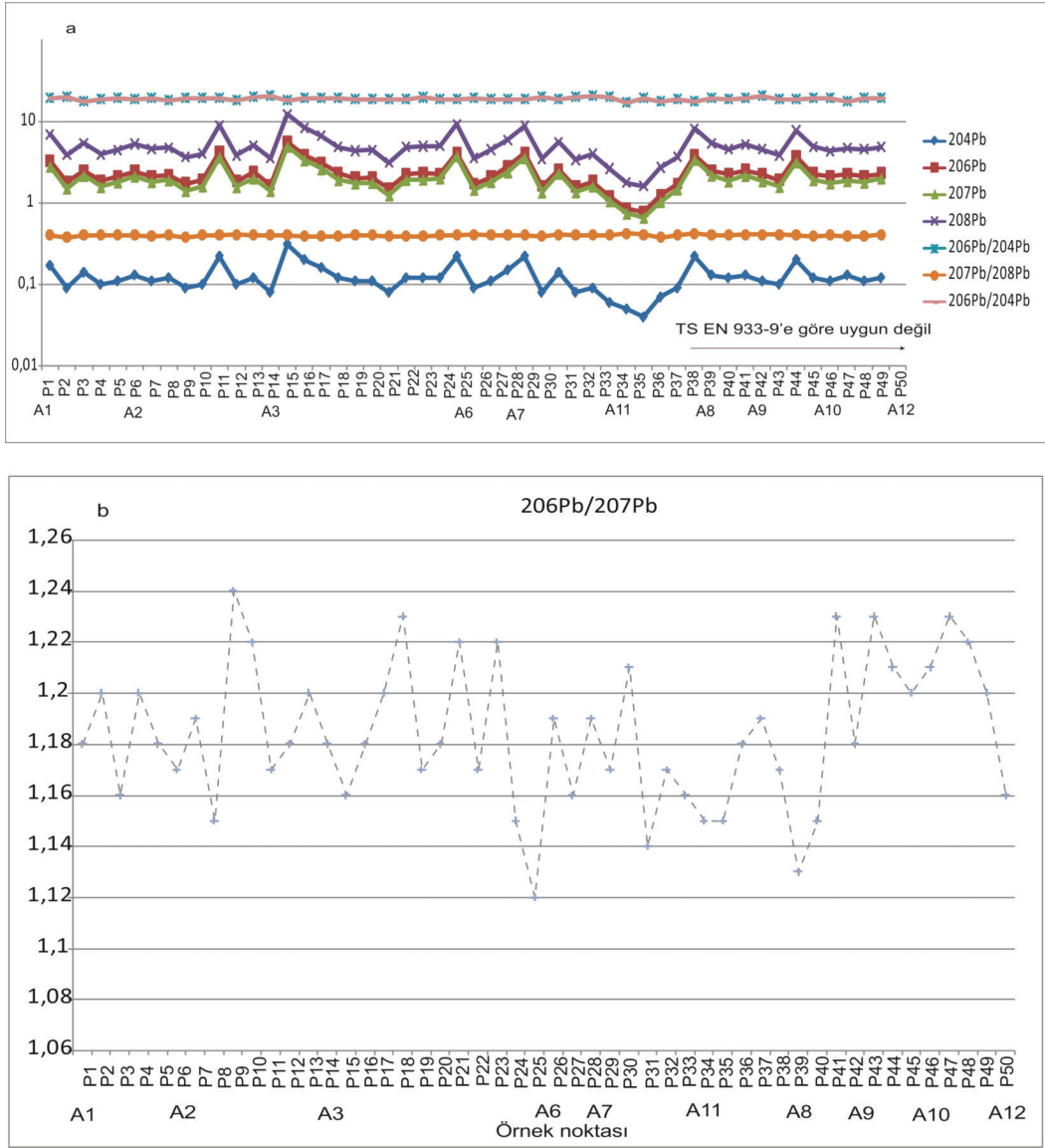
**Şekil 14.**  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 'ye göre  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  kurşun izotopik bileşim oran diyagramı (antropojenik ve doğal alanlar Cicchella vd., 2008'den alınmıştır). Diyagram üzerinde çalışılmış örnekler gösterilmiştir (◇ mavi renkli).

**Figure 14.** Diagram shows  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  and  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  isotopic composition ratio of the studied samples (◇ blue color); (Diagram taken from Cicchella et al., 2008).



**Şekil 15.**  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ve  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  izotop oran diyagramı (volkanik, endüstriyel, antropojenik ve doğal alan sınırları De vivo vd., 2001'dan alınmıştır); (incelenen sediment örnekleri: ◇ mavi renkli).

**Figure 15.** Diagram showing  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  isotope composition ratio (volcanic, industrial, antropogenic and natural fields from De vivo et al., 2001); (studied sediment samples: ◇ blue color).



**Şekil 16.** Fırat Nehri akım yönü boyunca Pb izotop dağılımı ve fiziko-mekanik deney örnek noktaları (A1'den A12'ye).a:  $^{204}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  ve  $^{208}\text{Pb}$  ile izotop oranlarının örnek noktalarına göre dağılımı.b:  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  nin örnek noktalarındaki dağılımı.

**Figure 16.** Distribution of the Pb isotope and physico-mechanical test sites (from A1 to A12). a: Distribution of  $^{204}\text{Pb}$ ,  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$  and those of ratios at the sample sites. b: Distribution of  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  at the same sample sites.



## SONUÇLAR

Palu-Keban Baraj gölü arası Fırat Nehir sedimanlarının kimyasal özellikleri ve endüstriyel alanda kullanılabilirliğinin araştırılmasına yönelik bu çalışma ile;

1. Fırat Nehir sedimanlarının kimyasal bileşim sınıflamasına göre sub-litaranit ve feldispatlı litaranit olarak adlandırılabilceği belirlenmiştir.
2. Fırat Nehri akım yönü boyunca alınan sediman örneklerinin kimyasal özelliklerinin yerel litolojik birimlerin ayrışmasının doğal sonucu olduğu ve antropojenik etkilerin sediman kimyası üzerinde etkili olmadığı düşünülmektedir.
3. Ortalama  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}=1,205$  değeri kıyı sedimanlarının daha çok volkano-sedimenter kayalardan gelen doğal kurşun değerleri aralığında olduğuna işaret etmektedir. Genel olarak tüm kurşun izotop bileşim oranları ( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  ve  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ) örneklerin büyük çoğunluğunun doğal kökenli (jeojenik) olduğunu göstermektedir.
4. Doğu Anadolu Fay Zonu yakınından alınan sediman örneğinin kimyasal özelliklerinin diğer örnek noktalarından farklı olduğu ve bu noktada yüzeysel su sirkülasyonunun, süspansiyon madde içeriğini artırarak sedimanlardaki kil boyu malzemenin çökelimini artırdığı düşünülmektedir.
5. Bu durum, metilen mavisi deneylerle saptanmış olup, Doğu Anadolu Fay Zonu'ndan ve ondan sonraki takip eden noktalardan alınan sediman örneklerinin kil içeriğinin yüksek olmasından dolayı diğer deneylerin (Özgül ağırlık, gradasyon, Marshall satabilite ve karışım türü stabilite deneyleri) bu örnekler (P39, P42, P46 ve P50) üzerinde yapılmaması gerekliliğini göstermiştir.
6. Fiziko-mekanik deneyler Fırat Nehir kıyı sedimanlarının; görünür özgül ağırlıklarının

2,6 gr/cm<sup>3</sup>, optimum bitüm içeriğinin %4,6, karışım türü stabilite değerlerinin >2300 kg olduğunu göstermektedir.

7. Elde edilen tüm sonuçlara göre P39 nolu örnek noktasından önce, yani Palu'dan başlayarak Keban Baraj gölü Doğu Anadolu Fay Zonu'na kadar alınan tüm nehir kıyı sediman örneklerinin, agrega olarak hem beton hem de asfalt hammadde olarak inşaat sektöründe kullanımının stabilite ve akma açısından uygun olduğu ortaya çıkmıştır.

## KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Destekleme Birimi tarafından MF14.31 Nolu Proje kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar makalenin yayına hazırlanması aşamasında, katkı sağlayan, hakemler Prof. Dr. T. Nilgün Güleç ve Prof. Dr. Cahit Helvacı'ya yapıcı katkı ve önerilerinden dolayı ayrıca Doç.Dr. Levent Mesci'ye harita çizimlerine yaptığı katkılar için teşekkür ederler.

## EXTENDED SUMMARY

*The present study deals with the geochemical characteristics of the Holocene sediments, including determination of the source rocks, degree of chemical weathering, sorting processes and behavior of redox conditions during deposition of the sediments. The study yields important information about the composition, tectonic setting and usability as an industrial raw material of the Euphrates River bank sediments. The Holocene sediments show same variation in the major element and Pb isotope compositions along the Euphrates River flow direction. Geochemical classification of the Fırat River bank sediments show mainly sub-litharenite and felspar litharenite. Pb isotope ratios show that the natural weathering of the local lithologic unites is to be more effective on the river sediment*

*chemistry than anthropogenic effects. Average of  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}=1,205$  ratio of the river sediments shows that the sediments are mostly between natural lead values which come from volcano-sedimentary rocks. The geochemical data suggest mainly mafic provenance for the river sediment compositions. The characteristic source rocks are represented by Plio-Quaternary Palu Formation, Upper Miocene Çaybağı Formation, and Upper Cretaceous Elazığ Magmatic rocks. The sediments might have been derived essentially from the mafic igneous rocks (primary source rocks; Guleman Ophiolite, Elazığ Igneous rocks and Maden Complex). Sediment samples having high abundance of Cr and Ni were most likely to be contributed from a mafic provenance, like Cr-spinel rich ophiolite source from Guleman Ophiolites. Çaybağı Formation might be considered as secondary source rock of the major and trace elements within Euphrates River sediments. Physico-mechanical experiments show that the sediments of the Fırat River have 2,6 gr/cm<sup>3</sup> specific weight, 4,6 % optimum bitumen content and 2300 kg composite stability value is. The sample sediment (P39) taken from the east side of the East Anatolian Fault Zone has different chemical features from the other samples. The sample sites from P39 to P50 have physical-mechanical features of clay size fraction due to the superficial water circulation within fault zone and the increase of clay mineral sedimentation because of abundance of suspension matter within the river water. According to the results, all sediment samples taken from the sample site P1 to P39 (East Anatolian Fault Zone) are suitable as aggregate within both cement and asphalt raw materials in construction industry in terms of stability and fluxing.*

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Akkan, E., 1972. Elazığ ve Keban Barajı çevresinde coğrafya araştırmaları. Coğrafya Araştırma Dergisi, 5(6), 175-214.
- Aksoy, E., 1993. Elazığ batı ve güneyinin genel jeolojik özellikleri. Türkiye Yerbilimleri Dergisi, 1 (1), 113-123.
- Alshamsi, K.S., 2006. Development of a mix design methodology for asphalt mixtures with analytically formulated aggregate structures, Doctor of Philosophy in The Department of Civil and Environmental Engineering, Louisiana State University, United Kingdom, 226s.
- Asphalt Institute, 1996. Superpave mix design, Superpave Series No. 2 (SP-2), USA, 128s.
- Ayuso, R.A., De Vivo, B., Rolandi, G., Seal, R.R. İ ve Paone, A., 1998. Geochemical and isotopic (Nd-Pb-Sr-O) variation bearing on the genesis of volcanic rocks from Vesuvius, Italy. Special issue, Vesuvius. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 82, 53-78.
- Başar, H.M. ve Aksoy N.D., 2012. The Effect of Waste Foundry Sand (WFS) as Partial Replacement of Sand on the Mechanical, Leaching and Microstructural Characteristics of Ready-Mixed Concrete, Construction and Building Materials, DOI:10.1016/j.conbuildmat.2012.04.078).
- Beare, M.H., Cabrera, M.L., Hendrix, P.F. ve Coleman, D.C., 1994. Aggregate-Protected and Unprotected Organic Matter Pools in Conventional and No-Tillage Soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 58:787-795.
- Bingöl, A.F. ve Aydoğdu, S., 1994. Dutköy (Elazığ) yöresi Magmatit kayaçlarının Petrografik ve jeokimyasal özellikleri. Ç.Ü. Mim. Fak., 15. Sempozyum Bildirileri, Adana, 199-213.
- Bingöl, A.F. ve Beyarlan, M., 1996. Elazığ Magmatitleri'nin jeokimyası ve petrolojisi. (Korkmaz, S., Akçay M. editörler), 30. Yıl Sempozyumu bildirileri, KTÜ, Trabzon, 208-227.
- Beyarlan, M., Bingöl, A.F., 2014. Petrology of the Ispendere, Kömürhan and Guleman ophiolites (southeast Turkey): subduction initiation rule (SIR) ophiolites and arc related magmatics. In: 3rd Annual International Conference on Geological and Earth Sciences, Proceedings, 22-23 September, Singapore.
- Çelik, H., 2003. Master Dağı (Elazığ GD'su) çevresinin stratigrafik ve tektonik özellikleri, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ (yayımlanmamış).
- Çelik, H., 2008. Doğu Anadolu Fay Sistemi'nde Sivrice Fay Zonu'nun Palu-Hazar Gölü (Elazığ) Arasındaki Bölümünde Atımla İlgili Yeni Arazi

- Bulgusu. Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 20 (2), 305-314.
- Çetindağ, B., 1985. Elazığ, Palu-Kovanalar dolayının hidrojeoloji incelenmesi: Yüksek lisans tezi (yayınlanmamış), F.Ü. Fen Bil. Enst., Elazığ, 117.
- Cicchella, D., De Vivo, B., Lima, A., Albanese, S., McGill, R.A.R. ve Parrish, R.R., 2008. Heavy metal pollution and Pb isotopes in urban soils of Napoli, Italy. *Geochemistry: Exploration Environment Analysis*, 8, 103-112.
- Cicchella, D., Hoogewerff, J., Albanese, S., Adame, P., Lima, A., Taiani, M.V.E. ve De Vivo, B. 2016. Distribution of toxic elements and transfer from the environment to humans traced by using lead isotopes. A case of study in the Sarno River basin, south Italy *Environmental Geochemistry and Health*, 38(2), 619-637.
- Condie, K.C., 1993. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chemical Geology*, 104, 1-37.
- Çolak, K.M, 2006. Asfalt kaplamalarda sinerjetik fayda konusunun anlaşılmasında marshall oranı yaklaşımının kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- De Vivo, B., Somma, R., Ayuso, R.A., Calderoni, G., Lima, A., Pagliuca, S. ve Sava, A., 2001. Pb isotopes and toxic metals in floodplain and stream sediments from the Volturno river, Italy. *Environmental Geology*, 41,101-112.
- Dumanlılar Ö., Aydal D. ve Dumanlılar, H., 2005. Baskil (Elazığ) Güneyindeki Cevherleşmelerin Jeolojik ve Minerolojik Özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 29 (1),1-21.
- Erdoğan, Ö., 2015. Stiren-butadien-stiren ve gilsonit'in birlikte kullanımının bitümlü sıcak karışımların mekanik özellikleri üzerindeki etkileri, Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ,137s.
- Ertürk, M.A., 2016. Maden Karmaşığı'nın (Doğu Toroslar-Türkiye) Petrolojik Özellikleri, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ, 115s.
- Fedo, C.M., Nesbitt, H.W. ve Young, G.M. 1995. Unraveling the effect of potassium metasomatism in sedimentary rock sand paleosols,with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, 23, 921-924.
- Frangipane M., Di Nocera G.M., Hauptmann A., Morbidelli P., Palmieri A.M., Sadori L., Schultz M. ve Schmidt-Schultz T. 2001. New Symbols of a New Power in a "Royal" Tomb from 3000 BC Arslantepe, Malatya (Turkey). *Paléorient*, 27 (2), 105-139.
- Garcia, D., Fontelles M. ve Moutte J., 1994. Sedimentary fractionation between Al, Ti, and Zr and genesis of strongly peraluminous granites. *Journal of Geology*, 102, 411-422.
- Gilg, H.A., Lima, A., Somma, R., Belkin, H.E., De Vivo, B.ve Ayuso, R.A. 2001. Isotope geochemistry and fluid inclusion study of skarns from Vesuvius. *Mineralogy and Petrology*, 73, 145-176.
- Hossain, I., Roy, K.K., Kumar Biswas, P., Alam, M., Moniruzzaman, M. ve Deeba, F. 2014. Geochemical characteristics of Holocene sediments from Chuadanga district, Banladesh: Implications for weathering, climate, redox conditions, provenance and tectonic setting. *China Journal of Geochemistry*, 33, 336-350.
- Kalender L. ve Bölücek, C., 2007. Environmental impact and drainage geochemistry in the vicinity of the Harput Pb-Zn-Cu veins, Elazığ, SE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 241-255.
- Kalender L.ve Bölücek, C., 2009. A Drainage sediman geochemical orientation study Keban, Elazığ, Eastern, Turkey. *The Arabian Journal for Science and Engineering*, 34(1), 91-106.
- Kalender, L. ve Aytimur, G., 2016. REE Geochemistry of Euphrates River, Turkey. *Journal of Chemistry*, Article ID 1012021, 1, 1-13.
- Kalender, L., Çiçek Uçar L., 2013. Assessment of metal contamination in sediments in the tributaries of the Euphrates River, using pollution indices and the determination of the pollution source, Turkey, *Journal of Geochemical Exploration*, 134, 73–84.
- Kerey, E. ve Türkmen, İ., 1991. Palu Formasyonu'nun (Pliyosen-Kuvaterner) sedimantolojik özellikleri, Elazığ Doğusu. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 34, 21-26.
- Keskin, S., 2011. Geochemistry of Çamardı Formation sediments Anatolia (Turkey): Implication of source area weathering provenance and tectonic setting. *Geosciences Journal*, 15, 185-195.
- Koç Taşgın, C., 2009. Çaybağı Formasyonu'nun (Elazığ Doğusu) Stratigrafik ve Sedimantolojik Özellikleri, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ (yayınlanmamış).

- Lavin, P.G., 2003. Asphalt pavements, Spon Pres, London and New York, 444s.
- McGennis, R.B., Anderson, R.M., Kennedy, T.W. ve Solaimanian, M., 1995. Background of Superpave asphalt mixture design and analysis, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-SA-95-003, 172p.
- MEGEP (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi), 2001. T.C. Kalkınma Bakanlığı, Yayın No: KB: 2898 - ÖİK: 738, Ankara, 32s.
- Monna, F., Aiuppa, A., Varrica, D. ve Dongarra, G., 1999. Pb isotopic compositions in lichens and aerosols from Eastern Sicily: insights on the regional impact of volcanoes on the environment. *Environment Science and Technology*, 33, 2517–2523.
- Özçelik, M., 1985. Malatya Güneydoğusundaki magmatik kayaların jeolojisi ve tektonik ortamına jeokimyasal bir yaklaşım, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 28(1), 19-35.
- Özkan, Y. Z., 1982. Guleman (Elazığ) Ofiyolitinin Jeolojisi ve Petrolojisi. *İst. Üniv. Yerbilimleri Derg.*, 3 (1-2), 295-312.
- Palmieri A., Begemann F., Schmitt-Strecker S., Hauptmann A., 2002. Chemical Composition and Lead Isotopy of Metal Objects from the “Royal” Tomb and Other Related Finds at Arslantepe, Eastern Anatolia. In: *Paléorient*, 28 (2), 43-69. doi : 10.3406/paleo.2002.4745.
- Paikaray, S., Banerjee S. ve Mukherji S., 2008. Geochemistry of shales from paleoproterozoic to Neoproterozoic Vindhyan Super-group: Implications on provenance, tectonic and paleoweathering. *Journal of Asia Earth Science*, 32, 34-48.
- Perinçek, D. ve Özkaya, L., 1981. Arabistan levhası kuzey kenarı tektonik evrimi. *Yerbilimleri*, 8, 91-101.
- Perinçek, D. ve Kozlu, H., 1984. Stratigraphy and structural relation of the units in the Afşin-Elbistan-Doğanşehir Region. In, Tekeli, O. And Göncüoğlu, C. (eds.), *International Symposium on the Geology of the Taurus Belt*, 1983. Miner. Res. Expl. Ins., Ankara, 181-198s.
- Pettijhon F.J., Potter, P.E. ve Siever, R., 1972. Sand and sandstone. Plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Precambrian Research*, 147,124-147.
- Potter, P.E., 1978. Petrology and chemistry of bigriver sands. *Journal of Geology*, 86, 423-449.
- Rizeli M.E., Beyarslan M., Wang Kuo-L., Bingöl, A.F., 2016. Mineral chemistry and petrology of mantle peridotites from the Guleman ophiolite (SE Anatolia, Turkey): Evidence of a forearc setting. *Journal of African Earth Sciences* 123, 392-402.
- Roser, B.P. ve Korsch R.J., 1986. Determination of tectonic setting of sandstone mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ration. *Journal of Geology*, 94,635-650.
- Roy, D. ve Roser, B.P., 2012. Geochemistry of the Tertiary sequence in the Shahbajpur-1 well, Haita trough, Bengal Basin, Bangladesh: provenance, soyrce weathering and province affinity. *Journal of Life and Earth Science*, 7, 1-13.
- Sungurlu, O., 1974. VI. Bölge Kuzeyinin Jeolojisi ve Petrol İmkanları. *Türkiye 2. Petrol Kongr. Tebl.*, Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 85-107.
- Sungurlu, O., Perinçek, D., Kurt, G., Tuna, E., Dülger, S., Çelikdemir, E. ve Naz, H. 1985. Elazığ Palu Alanının Jeolojisi. *Petrol İşleri Genel Müdürlüğü Dergisi*, 29, 83-190.
- Suttner, L.J. ve Dutta, P.K., 1986. Alluvial sandstone composition paleoclimate. 1. Framework mineralogy, *Journal of Sedimentary Petrology*, 56, 326-345.
- Şaroğlu, F. ve Güner, Y., 1981. Doğu Anadolunun jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler: Jeomorfoloji, tektonik, volkanizma ilişkileri. *Türkiye Jeol. Kur. Bult.*, 24, 65-74.
- Somma, R., Ayuso, R.A., De Vivo, B. ve Rolandi, G., 2001. Major, trace element and isotope geochemistry (Sr-Nd-Pb) of interplinian magmas from Mt. Somma-Vesuvius (Southern Italy). *Mineralogy and Petrology*, 73, 121–143.
- Taylor, S.R. ve McLennan, S.M., 1985. The Continental Crust; Its composition and evolution; an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. Blackwell, Oxford. 312s.
- Teutsch, N., Erel, Y., Halicz, L. ve Banın, A., 2001. Distribution of natural and anthropogenic lead in Mediterranean soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65(17), 2853–2864.
- TS EN 933-9, 2010. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 9: İnce malzeme tayini – Metilen mavisi deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN 1097-6, 2013. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler- Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12697-34, 2004. Bitümlü karışımlar - Deney metotları - Sıcak karışımı asfalt için - Bölüm 34: Marshall deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Topçu, B. ve Canbaz, M., 2006. Sülfatlı ortamların alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürufu harçların mikroyapısına etkisi. Yapı Mekanik Semineri 2006, ODTÜ-ESOGÜ-ETB, Eskişehir, 120-128s.
- Tucker, M.E., 1981. Sedimentary Petrology an introduction:Blackwell Sci. Publ., USA, 346 s.
- Turan, M. ve Bingöl, A.F., 1991. Kovancılar-Baskil (Elazığ) arası bölgenin tektono-stratigrafik özellikleri. Çukurova Üniversitesi, Ahmet Acar Jeoloji Sempozyumu, Bildiriler, 213-217s.
- Turan, M., Aksoy, E. ve Bingöl, A. F., 1995. Doğu Toroslar'm jeodinamik evriminin Elazığ civarındaki özellikleri. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(2), 177-199.
- Wronkiewicz, D.J. ve Condie, K.C., 1987. Geochemistry of Archean shale from Witwatersrand Supergroup, South Africa source-area weathering and provenance. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51, 2401-2416.
- Yazgan, E., ve Chessex, R., 1991. Geology and tectonic evolution of the southeastern Taurides in the region of Malatya. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 3, 1-42
- Yılmaz, M. ve Kök, B.V., 2008. Stiren-butadien-stiren modifiyeli bitümlü bağlayıcıların Superpa sistemlerine göre yüksek sıcaklık performans seviyesine ve işlenebilirliğinin belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (41), 811-819.
- Yılmaz, Y., Yiğitbaş, E. ve Genç, Ş.C., 1993. Ophiolitic and metamorphic assemblages of Southeast Anatolia and their significance in the geological evolution of the orogenic belt. *Tectonics*, 12(5), 1280-1297.
- Zoorob, S.E. ve Suparna, L.B., 2000. Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (plastiphalt). *Cement Concrete Composites*, 22, 233-242.