

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**PALU VE KEBAN ARASINDAKİ FIRAT NEHRİ KIYI SEDİMENTLERİNİN ENDÜSTRİYEL
HAMMADDE OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Aynur İRMAK

Yüksek Lisans Tezi

Maden Yatakları Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Leyla KALENDER

EKİM-2016

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PALU VE KEBAN ARASINDAKİ FIRAT NEHRİ KIYI SEDİMENTLERİNİN ENDÜSTRİYEL
HAMMADDE OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYNUR İRMAK

(131116101)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 19.09.2016

Tezin Savunulduğu Tarih: 14.10.2016

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Leyla KALENDER

Diğer Jüri Üyeler : Yrd. Doç. Dr. Özlem ERDEM

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ALTUNBEY

Ekim-2016

ÖNSÖZ

“Palu ve Keban Arasındaki Fırat Nehri Kıyı Sedimanlarının Endüstriyel Hammadde Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma; Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden Yatakları-Jeokimya Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmış ve Fırat Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından MF.14.31no’lu proje ile desteklenmiştir. Araştırmayı maddi açıdan destekleyen Fırat Üniversitesi Rektörlüğü’ne ve Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAP)’ne teşekkür ederim. Bu tezin hazırlanması sırasında arazi, büro ve laboratuvar çalışmalarımı yakından izleyip, değerli katkı ve yardımlarını esirgemeyen hocam Sayın Doç. Dr. Leyla KALENDER’e içtenlikle teşekkür ederim. Ayrıca İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında, fiziko-mekanik deneylerin yapımında katkılarını esirgemeyen, Sayın Doç. Dr. Mehmet YILMAZ ve Araş. Gör. Özge ERDOĞAN YAMAÇ’a teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında, çeşitli yapıcı eleştiri ve önerilerde bulunan ve yardımlarını gördüğüm hocam Sayın Doç. Dr. Calibe KOÇ TAŞGIN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında farklı aşamalarda yardımını gördüğüm Seda Nur EREN'e teşekkür ederim.

Ayrıca tüm çalışmalarım sırasında manevi desteklerini ve yardımlarını gördüğüm değerli ailem Yunus Emre İRMAK'a, Gülsüm TÜRKER'e, Sultan GÜRSES'e ve Mine GÜRSES'e teşekkür ederim.

Aynur İRMAK

ELAZIĞ-2016

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	IX
1. GİRİŞ.....	12
1.1. Çalışmanın Konusu.....	12
1.2. Çalışmanın Amacı ve Çalışma Yöntemleri.....	13
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	14
3. COĞRAFİK DURUM.....	17
4. GENEL JEOLojİ.....	18
4.1. Guleman Ofiyoliti.....	18
4.1.1. Tanımı.....	18
4.1.2. Dağılımı ve Konumu.....	18
4.1.3. Litolojisi.....	19
4.1.4. Yaşı.....	19
4.2. Elazığ Magmatitleri.....	19
4.2.1. Tanımı.....	19
4.2.2. Dağılımı ve Konumu.....	20
4.2.3. Litolojisi.....	20
4.2.4. Yaşı.....	10
4.2.5. Oluşum Ortamı.....	21
4.3. Hazar Grubu.....	22
4.3.1. Tanımı.....	22
4.3.2. Dağılımı ve Konumu.....	22
4.3.3. Litolojisi.....	22
4.3.4. Yaşı.....	23
4.4. Maden Karmaşığı.....	23
4.4.1. Tanımı.....	23

4.4.2. Dağılımı ve Konumu	24
4.4.3. Litolojisi	24
4.4.4. Yaşı	24
4.4.5. Oluşum Ortamı	25
4.5. Kırkgeçit Formasyonu	25
4.5.1. Tanımı	25
4.5.2. Dağılımı ve Konumu	25
4.5.3. Litolojisi	25
4.5.4. Yaşı	26
4.5.5. Oluşum Ortamı	26
4.6. Çaybağı Formasyonu	26
4.6.1. Tanımı	26
4.6.2. Dağılım ve Konumu	27
4.6.3. Kalınlık ve Litolojisi	27
4.6.4. Yaşı	27
4.7. Palu Formasyonu	28
4.7.1. Tanımı	28
4.7.2. Dağılımı ve Konumu	28
4.7.3. Kalınlık ve Litolojisi	29
4.7.4. Yaşı	29
5. ANALİTİK YÖNTEM	30
5.1. Örnek Alımı ve Örnek Hazırlama İşlemleri	30
5.2. Kimyasal Deneyler	32
5.3. Fiziko-Mekanik Deneyler	33
5.3.1. Metilen Mavisi Deneyi	33
5.3.2. Örneklerin Görünür Özgöl Ağırlıkları	34
5.3.3. Elek Analizi Deneyi	34
5.3.4. Yoğurmalı Presle Bitümlü Sıcak Karışım Numunelerinin Hazırlanması	35
5.3.5. Marshall Stabilite ve Akma Deneyi	36
6. JEOKİMYASAL BULGULAR	38
7. FİZİKO-MEKANİK BULGULAR	47
7.1. Metilen Mavisi Deney Bulguları	47
7.2. Örneklerin Görünür Özgöl Ağırlıkları	49
7.3. Elek Analizi Deney Bulguları	49

7.4. Marshall Stabilite ve Akma Deneyi Bulguları.....	50
8. TARTIŞMA.....	56
9. SONUÇLAR.....	60
10. KAYNAKLAR.....	61
11. ÖZGEÇMİŞ.....	69



ÖZET

Palu - Keban Baraj gölü arası Fırat Nehir sedimanlarının kimyasal bileşimleri, Fırat Nehir sedimanlarının sub-litaranit ve feldispatlı litaranit olarak adlandırılabilceğini göstermektedir. Söz konusu sediman örneklerinin Pb izotop bileşim oranlarının, nehir sedimanlarının yerel litolojik birimlerin ayrışmasının doğal sonucu olduğunu ve antropojenik etkilerin sediman kimyası üzerinde etkili olmadığını göstermektedir. Ortalama $206\text{Pb}/207\text{Pb}=1,205$ değeri nehir sedimanlarının daha çok volkano- sedimanter kayalardan gelen doğal kurşun değerleri aralığında olduğunu, Fırat Nehri akım yönü boyunca yüzeyleyen, Pliyo-Kuvaterner yaşlı Palu Formasyonu, Üst-Miyosen- Pliyosen yaşlı Çaybağı Formasyonu ve Üst Kretase yaşlı Elazığ Magmatitlerinin volkano-sedimanter birimlerinin litolojik özelliklerini taşıdığını göstermektedir. Fiziko-mekanik deneyler Fırat Nehir sedimanlarının; görünür özgül ağırlıklarının 2.6 gr/cm^3 , optimum bitüm içeriğinin % 4.6, karışım türü stabilite değerlerinin $>2300 \text{ kg}$ olduğunu göstermektedir. Doğu Anadolu Fay Zonu yakınından alınan sediman örneklerinin (P39'dan P50'ye kadar), fiziksel özelliklerinin diğer örneklerden farklı olduğu ve bu noktada yüzeysel su sirkülasyonunun, süspansiyon madde içeriğini artırarak sedimanlardaki kil boyu malzemenin çökelimini artırdığı düşünülmektedir. Elde edilen tüm sonuçlar, P39 nolu örnek noktasından (Doğu Anadolu Fay Zonu) kuzeye doğru alınan nehir sediman örneklerinin tamamının, agrega ve asfalt yol sektöründe inşaat malzemesi olarak kullanımının stabilite ve akma açısından uygun olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fırat Nehir Sedimanları, Kimyasal ve fiziko-mekanik deneyler, Endüstriyel kullanım alanları.

SUMMARY

The Study of Usability as an Industrial Raw Material of the Euphrates River Bank Sediments Between Palu and Keban Dam Lake

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. Pb isotope composition ratios of the studied sediment samples show that the natural weathering of the local lithologic units 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 units have characterization of Plio-Quaternary Palu Formation, Upper Miocene Çaybağı Formation, and Upper Cretaceous Elazığ Magmatic rocks. Physico-mechanic experiments show that the sediments of the Fırat River have 2.6 gr /cm^3 specific weight and sediments' content of optimum bitumen is 4.6 % and their kind of combination's stability value is 2300 kg. The sample sediment (P39) has taken from the east side of the East Anatolian Fault Zone, and has different chemical features from the other samples. The sample sites from P39 to P50 have different physical features due to the superficial water circulation within fault zone, and increase on the sedimentation of clay minerals because of abundance of suspension matter within the river water. According to the all results, the whole sediment samples which have taken from the north of sample site at P39 (East Anatolian Fault Zone) are suitable for aggregate and asphalt as construction industry raw materials in terms of stability and fluxing.

Key Words: The Fırat River Sedimentary, Chemical and physico-mechanic experiments, Industrial usage fields

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru ve jeoloji haritası.....	1
Şekil 5.1. Çalışma alanının örnek lokasyonu haritası.....	19
Şekil 5.2. Metilen mavisi deneyinin yapılışı.....	23
Şekil 5.3. Superpa ve yoğurmalı sıkıştırıcısı.....	24
Şekil 5.4. Yoğurmalı presle sıkıştırılan ve soğumaya bırakılan bitümlü sıcak karışım (BSK) örnekleri.....	25
Şekil 5.5. Marshall stabilite ve akma aleti.....	25
Şekil 6.1. Bazı ana oksitler arasındaki regresyon ilişkisi.....	30
Şekil 6.2. Bazı ana oksit ve iz elementler arasındaki regresyon ilişkisi.....	31
Şekil 6.3. Ortalama ana oksit değerlerinin UCC VE PAAS değerlerine göre normalize diyagramı.....	32
Şekil 6.4. Holosen sedimanların log Na ₂ O/K ₂ O ve log SiO ₂ /Al ₂ O ₃ jeokimyasal sınıflaması (Pettijhon vd., 1972).....	32
Şekil 6.5. İncelenen sediman örneklerinin hesaplanmış 15*Al ₂ O ₃ -Zr-300*TiO ₂ değerlerine göre çizilen diyagram, CAS: Kalk-alkalin granit alanı: SPG, per alüminyum granit alanı (Garcia vd., 1994).....	33
Şekil 6.6. ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb'ye göre ²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb izotopik bileşim diyagramındaki örnekler Cicchella vd., (2015), Monna vd., (1999), Teutsch vd., (2001), Ayuso vd., (1998) Gilg vd., (2001), ve Somma vd., (2001) tarafından belirlenen diyagram üzerinde, çalışma alanındaki örneklerin konumu mavi olarak (◇) değerlendirilmiştir.....	34
Şekil 6.7. ²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb'ye göre ²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb kurşun izotopik bileşim diyagramı.....	34
Şekil 6.8. Volturmo nehri sondaj ve dere sediman örneklerinin ²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb 'e göre ²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁷ Pb diyagramı üzerindeki gösterimi.....	35
Şekil 7.2. Şartname limitlerini sağlayan örneklerin metilen mavisi deneyi sonuçları.....	37
Şekil 7.2. Şartname limitlerini sağlamayan numunelerin metilen mavisi deneyi sonuçları.....	37
Şekil 7.3. Örneklerin zahiri özgül ağırlıkları.....	38
Şekil 7.4. BSK Örneklerine ait karışım türü-stabilite (a) ve karışım türü-akma (b) grafikleri.....	42

Şekil 8.1. Fırat Nehri akım yönü boyunca (P1'den P50'ye) Pb izotop değişimi ve fiziko-mekanik deney örnek noktaları (A1'den A12'ye).....46

Şekil 8.2. Holosen sedimanlarının depolanması sürecinde paleoiklimsel koşulların SiO_2 ve $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{K}_2\text{O}_3+\text{Na}_2\text{O}$ içeriklerine göre sınıflandırılması (Suttner ve Dutta, 1986).....48



TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa No

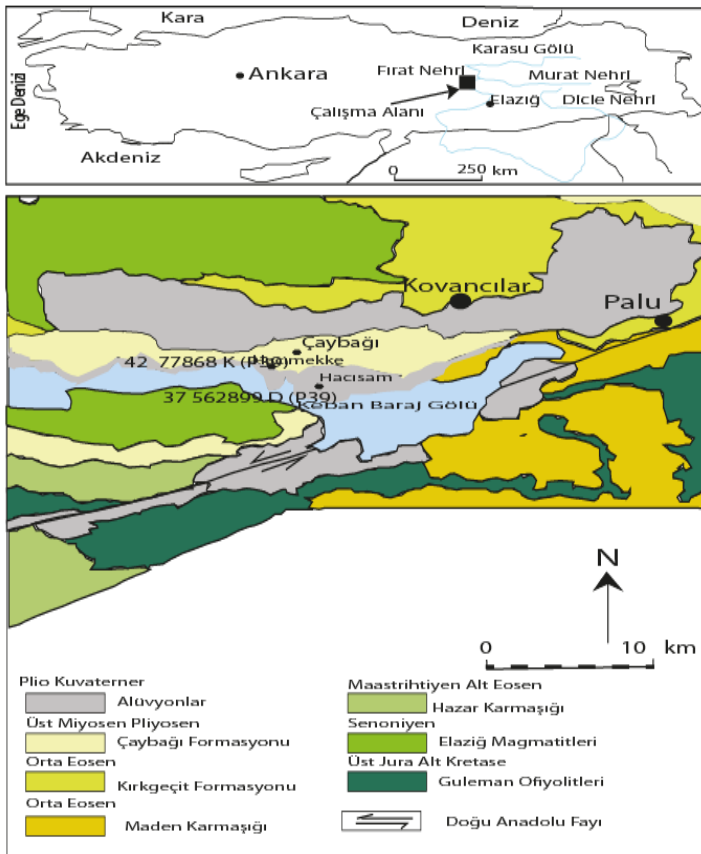
Tablo 5.1. Fırat Nehri başlangıç noktasından (Murat ve Karasu Nehirlerinin birleşme noktası) Keban Baraj gölü, Yarımca arasından alınan kıyı sediman örneklerine ait UTM-50 koordinatlar.....	20
Tablo 6.1. Palu Keban Barajı arası Fırat Nehir sedimanlarının anaoksit ve bazı iz element analiz sonuçları	27
Tablo 6.2. Palu Keban Barajı arası Fırat Nehir sedimanlarındaki Pb izotop analiz sonuçları.....	28
Tablo 7.1. Örneklerin metilen mavisi deney sonuçları.....	36
Tablo 7.2. Kullanılan agrega türlerinin elek analizi sonuçları.....	39
Tablo 7.3. BSK- bitümlü sıcak karışım örneklerinin hacimsel özellikleri ve Marshall deney sonuçları....	40
Tablo 7.4. Karayolları teknik şartnamesi bitümlü sıcak karışım dizayn kriterleri.....	43

1. GİRİŞ

“Palu ve Keban Arasındaki Fırat Nehri Kıyı Sedimentlerinin Endüstriyel Hammadde Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma; 2013-2016 yılları arasında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Maden Yatakları-Jeokimya Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

1.1. Çalışmanın Konusu

Bu tez çalışmasının konusunu; Palu ilçe merkezinin kuzey doğusundan başlayıp Keban Baraj gölüne kadar uzanan Fırat Nehri boyunca alınan kıyı sediman örnekleri üzerinde yapılan kimyasal ve mekanik deney sonuçlarının yorumlanması, ve söz konusu lokasyonlar arasında Fırat Nehir sedimanlarının hangi alanlarda endüstriyel hammadde olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesini oluşturmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru ve jeoloji haritası. (Kerey ve Türkmen 1991; Çelik 2008, den değiştirilerek)

1.2. Çalışmanın Amacı ve Çalışma Yöntemleri

Bu tez kapsamında Palu ve Keban arasındaki Fırat Nehri boyunca nehir kıyı sedimanlarının endüstriyel hammadde olarak kullanılabilirliğinin belirlenebilmesi için çalışmalar altı aşamada yürütülmüştür. Tez kapsamında takip edilen basamaklar aşağıda sırasıyla verilmiştir;

1. Bu yüksek lisans tezi kapsamında belirlenen çalışma alanı içerisinde önceden yapılan literatür çalışmaları derlenmiş ve arazinin jeolojik durumu hakkında bilgi edinilmiştir.
2. Bu çalışmalara ilave olarak inceleme alanının ayrıntılı jeolojik özellikleri, arazi çalışmaları ile yeniden değerlendirilmiş ve örnek alım noktaları arazi koşullarına göre belirlenmiştir.
3. Daha önceden belirlenen her bir noktadan dere sediman örneği alınmış ve GPS (Global Position System) yardımıyla her bir noktanın koordinatları kaydedilmiştir.
4. Alınan bu örnekler laboratuvar ortamında kimyasal ve fiziko-mekanik deneyler için hazırlanmıştır.
5. Kimyasal analiz için ayrılan örnekler, XRF ve ICP-OES yöntemleriyle ACME Laboratuvarları, Kanada'da analiz edilmiştir. Fiziko-mekanik deneyler için ayrılan örnekler ise Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği, Ulaştırma Bilim Dalı Laboratuvarında analiz edilmiştir.
6. Elde edilen tüm veriler ışığında tespit edilen bulgular değerlendirilerek yüksek lisans tez raporu yazılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

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 1.1). Bu çalışma kapsamında Palu-Keban Barajı arası nehir sedimanlarının endüstriyel hammadde olarak kullanılabilirliğinin araştırılması planlanmıştır. Kırıntılı sedimanter kayaçlar daha önceden var olan mağmatik, sedimanter ve metamorfik kayaçların ayrışmasından türeyen taşınmış kırıntılardan oluşmaktadır. Yeryüzünün yaklaşık olarak %70'i sedimanter (çökel) kayaçlarla kaplıdır. Bunlar; çoğunlukla çakıltaşı, kumtası, silttası, kireçtası, şeyl ve görece daha az miktarlarda tuz oluşumları, demirtaşı, kömür ve çörtten oluşmaktadır (Tucker, 1981). Bir sedimanter oluşum için çok çeşitli malzemeye ihtiyaç vardır. Kum ve çakılın bu malzemeler arasındaki önemi çok büyüktür. Kum ve çakılın doğada bir arada bulunmasına karışık (tüvenan) agrega denir (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 sanayinde, kaplama alanında kullanılan, (Kuşe) Kaolenin Al_2O_3 oranı yüksek, demirsiz olması ve % 80'in 2 mikronun altında öğütülmesi gerekir. Çimento sanayisinde kullanılan sedimanların CaO ve SiO_2 oranlarının belli oranlarda olması istenir (Topçu ve Canbaz, 2006). Cam endüstrisinde züccaciye cam kalitesi kuvars kumunun Fe_2O_3 miktarı maksimum % 0,02, düz cam kalitesi kuvars kumunun Fe_2O_3 miktarı ise maksimum % 0,1 olması istenmektedir, dökümde kullanılan kum ise tipik olarak yarı-köşeli veya yuvarlak şekillidir. Tane boyutu dağılımı uniformdur, % 85-95'i 0,6 mm ile 0,15 mm arasındadır, % 5-12'si ise 0,075 mm'den küçüktür, döküm kumunun özgül ağırlığı 2,39 ile 2,55 arasındadır ve su emme kapasitesi düşüktür (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. Dere kumlarının endüstriyel hammadde niteliği taşıması için minimum %90 SiO_2 içermelidir. Kuvars kumu; ağırlıklı olarak granit türü kayaçların ayrışması sonucu oluşan 2mm den küçük kuvars danelerini ve yanısıra düşük oranlarda Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MgO , CaO , Co , Cr , As , P_2O_5 gibi empüriteleri içeren bir yapıya sahiptir. Kullanım alanına göre içeriği ve empürite oranları değişiklik gösterir (Kırkoğlu, 1990). Kuvars kumu, sanayinin birçok dalında ihtiyaç duyulan ve yüksek miktarlarda tüketilen önemli bir hammaddedir. Kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre döküm sanayi, cam üretimi, inşaat sektörü,

boru imalatı, aşındırıcı üretimi, arıtma tesisleri, yüzey sertleştirici üretimi, kimya sektörü ve spor alanları kullanım alanlarının başlıcalarıdır (MTA, 1990).

Kuvars kumu standartları kullanıldıkları sanayi dalına ve tabiatta bulunuş kalitesine göre değişiklikler göstermektedir. Bazı ortak özellikler üzerinde tüketiciler birleşmekle beraber her tüketicinin kullandığı kuvars kumunun standardı da değişik olabilmektedir (DPT, 2001).

Kuvars kumu standartları ve agrega özellikleri: Bitümlü kaplamalarda kullanılacak agregaların seçiminde, malzemenin üretilebilirliği, maliyeti ve kalitesi dikkate alınır. Agreganın uygun olup, olmadığı aşağıdaki fiziksel özellikleri dikkate alınarak belirlenir (Orhan, 2012).

- Maksimum dane boyutu ve gradasyonu kullanılacağı tabakaya göre belirlenir.
- Agregalar bitki atıkları, yumuşak malzemeler, kil toprakları ve yabancı madde içermemelidir.
- Agreganın dane şekli, işlenebilirliği, sıkışabilirliği ve stabiliteyi etkiler köşeli, kırılmış danelerin kullanımı tercih edilir.
- Bitümlü karışımlarda yük taşıma kapasitesini etkilerler. Çok pürüzlü yüzeylere sahip agregalar kayma gerilmelerine karşı yüksek direnç gösterirler.
- Karışımda, absorpsiyonu ve bitüm yüzdesini etkiler. Karışım agregalarında, agrega-bitüm adezyonunu sağlamak için bir miktar gözeneklilik gerekir.
- Bitümlü kaplamada kullanılacak agregaları, kırılmaya, degradasyona (ince malzemeye dönüşme) su ve don etkisiyle ayrılmaya karşı dayanıklı olmalıdır.

Bitümlü kaplamalarda kullanılan agregalar bitüm ile kaplandıklarında, su etkisi ile soyulma (asfaltın agrega yüzeyinden ayrılması) göstermemelidir. Soyulma dayanımı düşük agregalar bitüme özel katkı maddeleri ilave edilerek kullanılabilir. Dökümde kullanılan kuvars kumunun -0,7 mm +0.1 mm boyutunda olması ve boyut aralığında dengeli bir dağılıma sahip olması ayrıca 1500°C'nin altında sinterleşmemesi gerekir. Bu alanda kumun minimum % 95-96 SiO₂ içermesi, Fe₂O₃, CaO ve alkali toplamının % 0.6' nın üzerinde olmaması gerekir. Cam üretiminde hammaddeyi teşkil edecek kuvars kumunun minimum % 98 SiO₂,maksimum % 0.1 Fe₂O₃ içermesi ve tane boyutu aralığının - 0,5 +0,106 mm olması gerekmektedir. Silika tuğla üretiminde kullanılacak kuvars kumunun ateşe dayanımı minimum 1700 °C olmalıdır. Ayrıca SiO₂ oranının % 95-99, Fe₂O₃ oranının % 0,3 -1,3, Al₂O₃içeriğinin % 0,1-2,8, CaO içeriğinin % 0,2-2,4, Na₂O ve K₂O içeriğinin ise % 0,2 -1,5 olması gerekmektedir. Düşük kalitede silika tuğla üretimi ise % 87-96 oranında SiO₂ içeren kuvars kumlarından yapılmaktadır. Curuf yapıcı olarak kullanılacak kuvars kumunun SiO₂ oranı minimum % 90, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ oranı maksimum % 1,5, MgO ve CaO içeriği ise maksimum % 0,2 olmalıdır. Silikon ve ferrosilikon üretiminde kullanılacak kuvars kumunun SiO₂ oranı minimum % 96-98, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ oranı maximum % 0,2 olmalıdır. Gaz beton üretiminde (ytong tipi) kullanılacak kuvars kumu ve kuvarsitin SiO₂ oranının en az %75,5, yapı kumunda en az % 95, pres tuğla

yapımında ise en az % 80 olması gerekmektedir. Seramik çamurunda kullanılan kuvars kumunun SiO_2 içeriği % 90 -92, Al_2O_3 içeriği % 6-8, Fe_2O_3 içeriği % 0.5, TiO_2 oranı % 0,45 olmalıdır. Frit ve Sır üretiminde kullanılacak kuvars kumunun SiO_2 içeriği minimum % 99,4, Al_2O_3 oranı % 0,01, Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO ve Na_2O içeriği % 0.03 ve K_2O oranı % 0,06 olmalıdır. Bu amaçla kullanılacak kuvars kumlarının; +0,032 mm boyut grubunda % 8.0 -26.5 ve 0.032 mm boyutunda ise % 73,5 -92,0 oranında malzeme olmalıdır (DPT, 2001).

Bölgede, kuvars içeriği yüksek Elazığ Magmatitlerinin plutonik ve subvolkanik kayaçlarının yaygın olarak görülmesi, Guleman Ofiyolitleri, Maden Karmaşığı gibi çeşitli litolojik birimler ve bunların büyük oranda altere olması Fırat Nehir Sedimanları üzerinde etkili olabileceği ve sedimanlar içerisinde farklı elementlerin kaynağını oluşturması bakımından önemli bir faktör olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, Fırat Nehir sedimanlarının kaynak kayaçı ve endüstriyel hammadde olarak kullanılabilirliği jeokimyasal ve fiziko-mekanik çalışmalar yardımıyla, bu tez kapsamında araştırılmıştır.

3. COĞRAFİK DURUM

Elazığ'ın Palu ilçesinin arazisi Murat Nehri civarındaki düzlükler ile güneydeki Doğu Toros silsilesini oluşturan Akdağlar'dan meydana gelir. İlçe toprakları 410 kilometrelik bir alana sahip olup bu yüz ölçümün %70'i dağlık, % 24 dalgalı, %10 ova ve % 3,1 yayladır. Kasaba ve köylerinin %70'i dağlık ve engebeli arazide kurulmuş olup, dağınık bir yerleşim şekli arz etmektedir.

Dalgalı ve dağınık arazi ilçe topraklarının %86,9 gibi bir oranın 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 (Akkan, 1972). İlçe, orman örtüsü bakımından zengin olmayıp sınırları içerisinde 615 hektar bozuk baltalık orman bulunmaktadır.

4. GENEL JEOLojİ

Bu bölümde inceleme alanında yer alan jeolojik birimlerle ilgili kısa bilgiler verilecektir. İnceleme alanı Doğu Toros orojenik kuşağında yer almaktadır. Türkiye; Pontidler, Anatolidler, Toridler ve Kenar kıvrım kuşağı olmak üzere yaklaşık doğu-batı uzanımlı olarak yer alan, Paleo ve Neotetis okyanusal havzalarının kalıntılarının yer aldığı Alp-Himalaya sistemi içerisinde kritik bir rol oynamaktadır (Ketin, 1983).

Çalışma alanı ve yakın çevresinde yaşlıdan gence doğru Guleman Ofiyolitleri (Üst Jura –Alt Kratese), Elazığ Magmatitleri (Senoniyen), Hazar Grubu (Maastrichtiyen-Alt Eosen), Maden Karmaşığı (Orta Eosen), Kırkgeçit Formasyonu (Orta Eosen), Çaybağı Formasyonu (Üst Miyosen – Pliyosen), Palu Formasyonu (Pliyo-Kuvaterner) ve alüvyal malzeme yüzeylemektedir (Şekil 1. 1).

4.1 Guleman Ofiyoliti

4.1.1. Tanımı

Birimi; Sungurlu (1974), Çüngüş-Maden-Hazar civarında “Guleman ultramafikleri”; Cacaş-Hani yöresinde “Şimşin Karmaşığı”; Maden-Ergani Guleman yöresinde “Bahro ultrabazikleri ve serpantinileri”; Erdoğan (1982), Aktaş ve Robertson (1984), Bingöl (1984, 1986) ile Perinçek (1979) “Guleman Grubu”; Özkan (1982), “Guleman ofiyoliti” olarak adlandırmışlardır.

4.1.2. Dağılımı ve Konumu

Birimin en iyi görüldüğü yer, Elazığ’ın 50 km güneydoğusundaki Guleman (Alacakaya) ilçesidir. Türkiye’nin kromit üretiminin önemli bir bölümü, adını bu ilçeden alan, Guleman Ofiyolitlerinden elde edilir. Çalışma alanında ise, Hazar Gölü’nün doğu ve güneyinde yüzeyler (Şekil 1. 1). Guleman Ofiyolitlerinin, inceleme alanındaki diğer birimlerle olan stratigrafik ve tektonik ilişkisi oldukça değişkenlik sunmaktadır. Birim, çalışma alanının kuzeyinde, Hazar Grubu’na ait Simaki Formasyonunun çamurtaşlarıyla uyumsuz olarak örtülürken, daha güneyde ise Ceffan Formasyonunun ultrabazik çakıllı kırmızı taban konglomeralarıyla uyumsuz olarak örtülmektedir. Hazar Gölü’nün doğusunda, Maden Karmaşığı, yer yer devamsız olan çakıltaşlarıyla birimin üzerinde uyumsuz olarak gözlenir. Bununla beraber tektonizmanın çok şiddetli olduğu fay zonu içlerine doğru, Maden Karmaşığı kataklastik bir kayma zonu ile dokanaklı olduğu Guleman Ofiyolitleri üzerinde detachment (sıyırılma) fayı şeklinde sürüklenmiş olarak

görülmektedir. İnceleme alanı dışındaki Çüngüş (Diyarbakır) ilçesi yakınlarında ise Guleman ofiyoliti, Maden Karmaşığı üzerinde bindirmeli olarak bulunur (Perinçek, 1979).

4.1.3. Litolojisi

Birim litolojik olarak; harzburjit, dünit, verlit, piroksenit, gabro, bantlı gabro ile bunları kesen diyabaz dayklarından oluşan ofiyolitik bir istiftir. Birim, tektonik hatlara yakın yerlerde tamamen serpantinleşmiştir. Sedimanter birim içermeyen allokton konumlu birimin oluşum yaşı için Perinçek ve Özkaya (1981) ile Bingöl (1984), Geç Jura-Erken Kretase yaşını kabul ederken, Yazgan ve Chessex (1991) ise, Geç Kampaniyen-Erken Maastrihtiyen’de yay-kıta çarpışması ile kapanan Neotetis’in güney kolunun kıtasal kabuk üzerindeki kalıntıları olarak düşünmüşlerdir.

4.1.4. Yaşı

Guleman Ofiyolitlerinin oluşumu ile ilgili olarak bir çok araştırmacı (Michard vd., 1984; Bingöl, 1986; Yazgan ve Chessex, 1991; Turan vd., 1995) bu ofiyolitlerin Bitlis-Pütürge Masifleri ile Keban Malatya Masifleri arasındaki Neotetis’in güney koluna ait okyanusal kabuğun, Geç Kretase’den itibaren güneye doğru kıtasal kabuk üzerine yerleştiklerini belirtmekte ve birimin yaşını Üst Jura -Alt Kretase olarak vermektedirler. Beyarslan (1997) bu ofiyolitleri, Neotetis’in güney kolunun Geç Kretase’den itibaren kuzeye doğru açılmaya başlamasıyla bu okyanus kabuğu üzerindeki okyanusal kabukta “supra-subduction” zon şeklinde gelişen yeni okyanusal kabuğa ait ürünler olarak yorumlayarak, Geç Kretase sonuna doğru üst levhadaki ofiyolitler ile Keban Metamorfitleri ve ada yayı ürünleri olan Elazığ Magmatitleri’nin birlikte güneye doğru itildiğini vurgulamıştır.

4.2. Elazığ Magmatitleri

4.2.1. Tanımı

Magmatik ve volkano-sedimanter özellikteki kayalardan oluşan birim ilk defa Perinçek (1979) tarafından Yüksekova Karmaşığı olarak tanımlanmıştır, son yıllarda yapılan birçok araştırmada değişik isimler altında incelenmiştir (Şekil 1.1). Araştırmacıların büyük çoğunluğu birimi Yüksekova Karmaşığı (Yazgan, 1984; Aktürk, 1985; Poyraz, 1988; Akgül, 1993) bazı araştırmacılar Baskil Magmatitleri (Yazgan, 1983, 1984; Asutay, 1985), Baskil Granitoyidi (Akgül, 1991), Elazığ

Magmatitleri (Bingöl ve Aydoğdu, 1994; Bingöl ve Beyarslan, 1996) adı altında incelemiştir. Çeşitli araştırmacılar (Naz, 1979; Tuna, 1979; Perinçek ve Özkaya, 1981; Bingöl, 1982, 1984; Hempton ve Savcı, 1982; Hempton, 1984) tarafından Doğu Anadolu genelinde Yüksekova Karmaşığı, ya da Elazığ Magmatik Karmaşığı adıyla kullanılmıştır. Turan vd., (1993), birimin Perinçek, (1979) tarafından Yüksekova civarında tanımlanan litolojik ve yapısal özellikleri ile Elazığ çevresindeki özelliklerinin farklı olduğu ve Hakkari civarında birimin çeşitli litolojilerden oluşmuş tam bir karmaşık olduğunu, oysa Elazığ çevresinde birimin tabandan tavana doğru düzenli bir değişim gösterdiğini ve bir karmaşık özelliği göstermediğini vurgulayarak, birime Elazığ Magmatitleri adını vermişlerdir. Yapılan araştırmalar, karmaşıktan ziyade düzenli magmasal bir istifin varlığı nedeniyle, daha önce Turan vd.(1993); Bingöl ve Aydoğdu, (1994); Bingöl ve Beyarslan, (1996) tarafından verilen «Elazığ Magmatitleri» adının kullanmasına neden olmaktadır (Şekil 1.1).

4.2.2. Dağılımı ve Konumu

Elazığ güneyinde geniş yayılıma sahipken, Elazığ yakın batısındaki yüzeylemeler ise daha dar alanlar biçimindedir. Çalışma alanının doğu ve güney doğusunda geniş yayılım sunan birim, bazaltik- andezitik bileşim sunmaktadır. Çalışma alanının kuzeyinde birimin asidik bileşimli plutonik kayaçlarını görmek mümkündür (Şekil 1.1).

Elazığ Magmatitleri, oluşumunu izleyen Geç Kretase sonrasındaki dönemde bindirme fayları boyunca güneye sürüklendiğinden, ilksel konumunu kaybetmiş ve bu nedenle allohton konumlu bir birim olarak kabul edilmiştir (Aksoy, 1993).

4.2.3. Litolojisi

İnceleme alanında çok geniş yer kaplayan Elazığ Magmatitlerinin litolojik birimleri, başlıca derinlik; diyoritik, granitik kayaçlar ve yüzey kayaçları; bazaltik yastık lavlar ile temsil edilmektedir.

Yazgan ve Asutay (1981), Elazığ ve civarında yaptıkları incelemeler sonucu, birimin karmaşıktan çok düzenli bir istif sunduğunu belirtmişlerdir. Asutay (1985-1988), Kömürhan-Baskil yöresinde yapmış olduğu çalışmalarda bu magmatitlerin petrografik, petrolojik ve jeokimyasal özelliklerini, derinlik kayaçlarını incelemiştir ve en sık izlenen damar kayaçları diyabazlar olup Elazığ Magmatitlerinin I-Tipi granitoidleri olduğunu belirtmiştir.

Bingöl ve Beyarslan (1996), Elazığ Magmatitleri'nin birbirini kesen diyorit, tonalit ve granodiyorit ile bazaltik yastık lavlar, andezitik lav akıntısı ve piroklastikler, volkanoklastikler ve

gabrolar ile tüm derinlik ve yüzey kayaçlarını kesen granit bileşimli derinlik kayaçları ve dasidik bileşimli yüzey kayaçları ile volkano-sedimanter birimlerden oluştuğunu belirtmişlerdir.

Turan vd., (1995); Dumanlılar vd., (2005)' ne göre, Gabro-diyoritik kayaçlarla temsil edilen ada yayı toleyitleri, bazaltik-andezitik kayaçlar ve volkano-sedimanterleri karakterize eden ada yayı ürünleri ve çarpışma gronodiyoritlerinden oluşan Elazığ Magmatitleri Geç Kretase'de kuzeye dalmasının bir sonucu olarak kısmen okyanusal kısmen de kıtasal kabuk üzerinde gelişmiş yay ürünleridir.

4.2.4. Yaşı

Yazgan (1983, 1984), Baskil yöresindeki çalışmalarında ilk defa radyometrik (K:Ar) tayin yöntemini kullanarak Elazığ Mağmatitlerinin derinlik kayaçlarının Koniasiyen- Santoniyen (82- 86 m.y.) ve volkanik kayaçların Kampaniyen (74-80 m.y) yaşında olduğu saptanmıştır (Aksoy, 1993).

Birimin yaşı radyometrik yaş tayini ve karmaşık içerisindeki tortullardan alınan örneklerde saptanan fosillere dayanarak geniş aralıkta Senoniyen olarak verilmiştir (Turan ve Bingöl, 1991).

4.2.5. Oluşum Ortamı

Doğu Toroslar'ın orta kesiminde Malatya-Elazığ arasında bulunan çalışma alanında, Alt Jura-Alt Kretase sürecinde, Bitlis-Pütürge Masifi'nin kuzeyi ile Keban Metamorfizmaları'nın güneyinde okyanusal bir kabuk oluşmuştur (Yazgan, 1984; Asutay, 1985). Bu süreçteki genişleme rejimi, Alt Turoniyen'den itibaren yerini sıkışma rejimine bırakmıştır. Sıkışma sonucunda, okyanusal kabuğun kuzey kenarı önce kendi eşdeğeri olan okyanusal kabuk altına, ilerleyen aşamada ise Keban mikro kıtasının altına dalarak, yay magmatizmasının (Elazığ Magmatitleri) oluşumu sağlanmıştır (Yazgan, 1981). Elazığ Magmatitleri, büyük bir olasılıkla Keban ve Arap platformu arasında gelişmiş bir okyanusun, kuzeye doğru yani Keban kıtacığının altına dalmasının ürünü olmalıdır (Yazgan, 1984; Asutay, 1985).

Elazığ magmatik kayaçları, düzenli bir istif ve bir karmaşık olarak (Yüksekova Karmaşığı, Elazığ Karmaşığı gibi) yorumlanamaz ve bütünüyle kıta kenar magmatizması özellikleri gösteren kalk-alkalen bir magmadan türemiştir (Asutay, 1986).

4.3. Hazar Grubu

4.3.1. Tanımı

Birimi ilk defa “Hazar Birimi” olarak Rigo De Righi ve Cortesini (1964) adlandırmıştır. Ergani-Maden yöresindeki çalışmasında volkanik katkı içermeyen, kumtaşı-şeyl-marn ardalanmasından oluşmuş fliş istif için “Hazar Formasyonu” adlamasını yaparak Baykan Grubu’na dahil etmiştir. Sungurlu (1974), birimi grup seviyesinde ele alarak alttan üste doğru Simaki Formasyonu, onun yanal devamı niteliğindeki Şebgen Formasyonu ve en üstte de Gehroz Formasyonu olmak üzere üç formasyona ayırmıştır. Perinçek (1979) ile Tuna ve Dülger (1979), “Hazar Karmaşığı”, Aktaş ve Robertson (1984) ise birimi, “Hazar Grubu” olarak adlandırarak alttan üste doğru Ceffan Formasyonu, Simaki Formasyonu ve en üstte de Gehroz Formasyonu olmak üzere üç formasyona ayırmışlardır. İnceleme alanında en yaygın birim olan Hazar Grubu; tabanda kırıntılılar ile başlayıp üste doğru kumtaşı-çamurtaşı ardalanması ve üst seviyelerde ise karbonatlı birimler tarafından temsil olunur. En iyi Hazar Gölü çevresinde görüldüğünden, birim adını buradan almıştır (Kaya 2004). Çalışma alanının batısında, Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı üzerinde tektonik dokanaklı nap şeklinde bulunmaktadır. Doğu Anadolu Fay zonunun kuzey doğusunda yüzeylemektedir (Şekil 1.1).

4.3.2. Dağılımı ve Konumu

İlk defa Sungurlu (1974) tarafından tanımlanan birimin tip yeri, Baykan (Bitlis) ilçesi civarındadır. İnceleme alanın güney doğusunda küçük bir alanda Maden Karmaşığı üzerinde tektonik dokanaklı olarak bulunurken, inceleme alanının diğer yerlerinde 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).

4.3.3. Litolojisi

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 Metamorfitlelerine ait çörtlerden türeyen çakıllara da rastlanır. Birim, yüzeylendiği alanda yanal yönde devamsız olup üste doğru tane boyu küçülen

kırmızı-kahverenkli kumtaşı-silttaşı litolojisine geçer. Perinçek ve Özkaya (1981), Arabistan levhası kuzey kenarının tektonik evrimini açıklarken, Arabistan levhası otokton şelfi ve kuzeyindeki allokon birimlerin stratigrafik ve yapısal ilişkileri ile bölgenin tektonik evrimini açıklamanın ancak, küçük levhalarla ayrılmış dar okyanusal havzaların gelişimi ve kapanımı ile mümkün olabileceğini belirtmişlerdir. Hazar Grubu'nun oluşum ortamını da, böyle bir okyanusun varlığı ile açıklamışlardır. Buna göre; Erken Maastrichtiyen sonundaki sıkışma fazını izleyen Geç Maastrichtiyen transgresyonu ile ilişkili olarak kuzeyde, Bitlis ve Keban kuşakları arasında dar bir okyanusal havzanın gelişimiyle ilişkili olarak Hazar filişinin, daha kuzeydeki sığ deniz şartlarında ise Harami kireçtaşlarının çökeldiğini belirtmişlerdir. Yazarlar, bölgedeki tüm birimlerin Erken Miyosen sonu-Geç Miyosen aralığında kuzeyden güneye doğru sürüklenerek üst üste duran sürüklenim dilimlerinden (naplardan) bahsetmişlerdir.

4.3.4. Yaşı

Birim gri renkli, sert ve kalın tabakalanmalı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Kireçtaşları birimin, alt seviyelerinde kumtaşı-çamurtaşı-marn ardalanması ile ara seviyelidir. Simaki Formasyonunun üzerinde uyumlu durmaktadır. Bol fosilli olup bunlar çıplak gözle görülmektedir. Bu birimden alınan örneklerin determinasyonu sonucu; *Assilina* sp., *Operculina* sp., *Discocyclina* sp., gibi Alt Eosen yaşlı fosiller bulunmuştur. Önceki araştırmacılar (Perinçek, 1979; Aktaş ve Robertson, 1984 ve Sungurlu ve diğ.,1985) benzer fosilleri bularak, birime Alt Eosen yaşını vermişlerdir. Turan vd. (1995) ise, Hazar Grubunun oluşum ortamı için, Geç Maastrichtiyen-Geç Paleosen aralığında Pütürge Metamorfikleri ve bunun üzerinde tektonik olarak bulunan ofiyolitlerin blok faylanmaya uğramasıyla birlikte Hazar havzasının bir yay ardı havza olarak gelişmeye başladığını ve Orta Eosen sonunda da kapandığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada birimin yaşı Maastrichtiyen ve Alt Eosen aralığı olarak alınmıştır.

4.4. Maden Karmaşığı

4.4.1. Tanım

Birim ilk kez Ketin (1983) tarafından Çermik (Diyarbakır) çevresinde Maden Serisi olarak adlandırılmış ve Koçali Karmaşığı da bu seriye dahil edilmiştir. Birim ilk defa Maden Karmaşığı adıyla Perinçek (1979) tarafından adlandırılmıştır. Rigo De Righi ve Cortesini (1964), birimi, “Maden Birimi” olarak adlandırmışlardır. Baştuğ ve Açıkbaz (1974) ile Sungurlu (1974), yaptıkları

çalışmalarda birime "Baykan Karmaşığı" ismini vermişlerdir. Maden yöresinde incelemeler yapan Erdoğan (1977) ise birimi "Maden Grubu" olarak tanımlamıştır. Daha sonra birçok çalışmada (Yazgan, 1981-1984; Aktaş ve Robertson, 1984; Bingöl, 1984; Sungurlu vd., 1985), "Maden Karmaşığı" olarak tanımlanmış ve kullanılmıştır. Bu çalışmada da Maden Karmaşığı adı kullanılmıştır.

4.4.2. Dağılım ve Konumu

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 zon kapsar (şekil 1.1). Bu zon içerisinde Palu-Hazar gölü arasında fayın güney kesimlerinde daha geniş bir dağılım gösterirken, bu geniş yüzeylemeler Hazar Gölü'nün güneybatı kesiminden itibaren Adıyaman ilinin kuzeyine kadar, fayın ise kuzeyinde kalan alanlarda yer alır (elik, 2003).

4.4.3. Litolojisi

Çalışma alanında yüzeyleyen birim, bazik volkanik lavlar, dayklar, piroklastik kayaçlar ve havza ii kökenli kireçtaşı bloklarından oluşmaktadır (Turan vd.1995). Birimi inceleyen araştırmacıların bir kısmı Rigo de Righi ve Cortesini (1964), birimin Hazar Grubu üzerinde uyumlu olarak bulunduğunu belirtmektedirler. Bir kısım araştırmacı (Perinçek, 1979; zkan, 1982) ise havza tabanının oldukça engebeli ve havza geometrisinin düzenli olmayışından kaynaklanan sebeplerden dolayı bu ilişkinin bazı yerlerde uyumlu, bazı yerlerde de uyumsuz olduğunu belirtmektedirler.

4.4.4 Yaşı

İnceleme alanında yüzeyleme veren bu birim üzerine çalışma yapan birçok araştırmacı (Perinçek ve zkaya, 1981; zkan,1982; Hempton, 1984; Perinçek ve Kozlu,1984; Sungurlu vd., 1985; zelik, 1985; Turan vd., 1993) içerdiği fosillerden birimin yaşını Orta Eosen olarak tespit etmişlerdir.

4.4.5. Oluşum Ortamı

Maden Karmaşığı'nın Hazar Grubu üzerine uyumlu olarak geldiğini ve aynı havzayı paylaştıklarını belirtmişlerdir (Rigo de Righi ve Cortesini, 1964). Maden Karmaşığı'nın tabanındaki Bitlis-Pötürge ve Malatya Metamorfikleri ile Guleman ofiyolitleri üzerine uyumsuz olarak geldiği birçok araştırmacı tarafından kabul edilmektedir (Perinçek, 1979; Yazgan, 1981, 1984; Yazgan ve Chessex, 1991). Güneydoğu Anadolu Bindirme Kuşağı boyunca birim; Lice Formasyonu üzerinde tektonik dokanakla durmaktadır. Birimdeki volkanik kayaların aktif kıta kenarı yay volkanizma ürünleri olduğu belirtilmiştir (Yazgan, 1981).

4.5. Kırkgeçit Formasyonu

4.5.1. Tanımı

Elazığ yöresinde geniş yayılım gösteren bu birim ilk defa TPAO jeologları tarafından Van'ın güneydoğusundaki Kırkgeçit Köyü civarında tanımlanmış ve bu adla kullanılmıştır (Perinçek 1979'dan). Özkul (1988), birimi Marik ve Seherdağ üyeleri olmak üzere iki alt birime ayırarak incelemiştir. Palu çevresinde yapılan çalışmada konglomera, kumlu kireçtaşı, algli kireçtaşı ve killi kireçtaşlarından oluşan Orta Eosen yaşlı birim çalışma alanının kuzeyinde yüzeylenmektedir (Şekil 1.1).

4.5.2. Dağılım ve Konumu

Elazığ yöresinde geniş bir yayılıma sahip olan formasyon, Elazığ'ın kuzey, kuzeydoğu, doğu kesimleri başta olmak üzere çalışma alanının kuzeyinde geniş yüzeyleme sunmaktadır (Şekil 1.1).

Kırkgeçit Formasyonu, oluşumunu izleyen dönemdeki tektonik hareketlere bağlı olarak, üzerinde çökelediği Elazığ Magmatikleri ile birlikte güneye sürüklendiğinden, yarı otokton konumlu bir birimdir (Aksoy, 1993).

4.5.3. Litolojisi

Birim genellikle konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı araldanmasından oluşmuştur (Aksoy, 1993). Birimin tabanını teşkil eden konglomeralar yanal yönde devamlılık göstermemekte olup mercekli geometrilidir. Konglomeralar yer yer düzlemsel yer yer tekneimsi çapraz tabakalı bazende

yatay tabakalıdır. Çoğunlukla tane 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 Metamorfikleri'nden türemiştir. Türedikleri kaynak alanla ilişkili olarak, bunlardan biri baskın duruma geçmekte ve konglomera seviyesinin rengi belirleyici olmaktadır. Konglomera bloklarının boyutları 1- 2 cm'den 20- 25 cm'ye kadar değişir.

Kumtaşı- çamurtaşı ardalanmaları çoğunlukla sarımsı bej veya boz renklidir. İstifin değişik yerlerinde tamamen çamurtaşı veya kumtaşları baskın hale gelebilmektedir. Aksoy (1993), bu durum birimin denizaltı yelpazesi şeklinde gelişmesinden kaynaklandığını belirtir. Kumtaşları yer yer yatay yer yerde tekneimsi çapraz tabakalıdır. Kireçtaşları çoğunlukla kalk-arenit bileşimli olup Nummulites gibi bentik foraminiferler içerir.

4.5.4. Yaşı

Kumtaşları içerisinde bol olarak bulunan başlıca Nummulites, Discocyclina ve Assilina gibi bentik foraminifere dayanarak birime Orta Eosen yaşı verilmiştir. Turan ve Bingöl (1991), birimin Orta Eosen- Üst Oligosen yaşlı olduğunu belirtmişlerdir.

4.5.5. Oluşum Ortamı

Kırkgeçit Formasyonu sığ deniz ortamlarında derin deniz ortamlarına kadar değişen, farklı tabanlı bir tortullaşma havzasında oluşmuştur (Özkul, 1988, Turan ve Bingöl, 1991).

Kırkgeçit Formasyonu üzerinde yapılan sedimantolojik incelemelerde Kırkgeçit Formasyonu'nun çökeldiği havzanın kuzeyden güneye doğru sığ fasiyeslerden derin deniz fasiyeslerine geçtiği belirtilmiştir. Kırkgeçit Formasyonu sığ deniz, şelf, kanyon, yamaç, yamaç eteği ve havza düzlüğü fasiyesleri ile temsil edilir (Özkul, 1988, Aksoy vd., 1995).

4.6. Çaybağı Formasyonu

4.6.1. Tanımı

Çaybağı yöresinde yüzeylenen bu birime, Çaybağı Formasyonu adı verilmiştir. Formasyonun tip yeri, Elazığ K43-d2 paftasında Çaybağı güneydoğusunda yüzeylemektedir (Şekil 1.1).

4.6.2. Dağılımı ve Konumu

Birim güneyde Keban baraj gölü ile kuzeyde Çaybağı, Hacımekke ve Hacısam köyleri arasında doğu-batı doğrultusunda geniş yayılım gösterir. Tabanı Keban baraj gölü altında kalmış olup bu nedenle görülememektedir. Çaybağı nahiyesi batısında ise, üzerine Kırkgeçit ve Palu Formasyonları tektonik olarak gelmektedir.

4.6.3. Kalınlık ve Litolojisi

Formasyonun ölçülebilen kalınlığı yaklaşık 700 m.'dir. Birim konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, kömür arakatlı kilitaşı, marn, tüfit ve kireçtaşılarından 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 saçık halde çakıllar görülür.

Çamurtaşları kırmızı renkli olup kömür damarları içerirler. Kilitaşı ise kömürlerle ardalanmalı 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. Kireçtaşları mikritik özellikte ve seyrek fosillidir. Fosil topluluğu: Kumtaşı, marn ve kireçtaşılarından alınan örneklerde *Unio* indet, *Ostracoda*, *Gastropoda*, *Ammonites*, *Potamida* (?) gibi fosiller saptanmıştır (Tuna 1979).

Konglomera çakıllarından alınan örneklerde ise *Gypsina* sp., *Amphistegina* sp., *Nummilites* sp., *Textularidae* *Chapmanina gassinensis* *Silvestri*, *Asterigerina* sp., *Rotaliidae*, *Fabiania cassis* *Oppenheim*, *Acervulinidae*, *Euportia Magna* *Le Calvez*, *Miliolidae*, *Orbitolites* fosilleri saptanmıştır. Bu çakıllara Lütisiyen-Üst Eosen yaşı verilmiş olup bunlar Kırkgeçit Formasyonundan kaynaklanmıştır.

4.6.4. Yaşı

Bu formasyona kesin yaş verebilecek bir fosil bulunamamıştır. Ancak, konglomera çakıllarının Kırkgeçit Formasyonundan kaynaklandığı yukarıda belirtilen fosillerden anlaşılmaktadır. Kırkgeçit Formasyonunun, inceleme alanı yakını çevresinde Üst Oligosen'e kadar çıktığı bilinmektedir (Tuna, 1979). Ayrıca, birim içerisinde tuf seviyeleri görülmektedir. Doğu Anadolu'da Üst Eosen'den Alt Miyosen sonuna kadar volkanizma oldukça kıt olup bu tüflü seviyeler genellikle üst Miyosen ve

daha sonra gelişen volkanizmanın ürünüdür (Şaroğlu ve Güner, 1981). Çaybağı Formasyonu ise konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, kiltası, marn, kireçtaşı ve tüfitlerden oluşmuş olup bazalt içermektedir. Kalınlığı ise 700 m.'ye kadar çıkar. Birim, Hınıs yöresinde tanımlanan Alt Pliyosen yaşlı Zırnak Formasyonu (İlker, 1966) ile deneştirilebilir. Şaroğlu ve Güner, (1981); Doğu Anadolu'nun jeolojik evrimini dört döneme ayırmışlardır. Bunlardan dördüncü dönem istifinin Üst Miyosen'den başlayıp günümüze kadar devam eden karasal ve gölsel ortam çökelleri ile karakterize edildiğini vurgulamaktadırlar. Çaybağı Formasyonu sözkonusu dördüncü dönem istifine litolojik ve sedimantolojik açıdan yakm benzerlikler göstermektedir. Birim, önceki çalışmacılar tarafından değişik formasyonlar adı altında incelenmiştir. Bulut (1973), yörede yapmış oldukları incelemelerde bu birimi Miyosen flišleri olarak adlandırmış ve belirlenmiştir.

4.7. Palu Formasyonu

4.7.1. Tanımı

İncelenen birim Elazığ'ın doğusunda, Keban baraj gölü ve Murat nehri kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 1).

Yöredeki yaşlı birimler genel amaçlı (Ketin, 1946; Tuna,1979; Naz, 1979; Perinçek, 1979; Bingöl, 1984; Sungurlu ve diğerleri, 1985), sedimantoloji amaçlı (Özkul, 1982) ve hidrojeoloji amaçlı (Bulut, 1973) olarak ele alınmış fakat, Neojen ve daha genç birimlerin stratigrafik ve sedimentolojik özellikleri detaylı olarak Kerey ve Türkmen (1991) tarafından çalışılmıştır.

4.7.2. Dağılımı ve Konumu

Palu Formasyonu Doğu Anadolu Fay Zonu'nun yakın kuzeyinde ve Palu Antiklinal eksenine paralel olarak doğu-batı doğrultusunda uzanmaktadır. Kuzeyde, Hacımekke köyü çevresinde alüvyon yelpazesi ortamında çökelen fasiyesler güneye doğru örgülü nehir fasiyeslerine geçer. Formasyon Çaybağı yöresinde Hacımekke köyünü içine alacak şekilde doğu-batı doğrultuda Palu Antiklinal eksenine (Tatar, 1986) paralel olarak uzanır.

Yörede en genç birim olup, Kırkgeçit Formasyonu ve Çaybağı Formasyonu'nu açısall uyumsuzlukla örtmektedir. Çaybağı batısında Çaybağı Formasyonu üzerine tektonik dokunakla gelir (Şekil 1.1).

4.7.3. Kalınlık ve Litolojisi

Çapraz tabakalar ve kanal eksenlerinden yararlanılarak paleo-akıntı analizleri yapılmıştır. Palu Formasyonu konglomera, kumtaşı ve çamurtaşlarından teşekkül etmiştir. Palu Formasyonu'nu oluşturan kayaların geometri, yanal düşey tane özellikleri, birincil tortul yapılar ve doku v.b. gibi özelliklerine göre litofasiyesler ayrıtlanmıştır. Bu formasyon içerisinde ayrıtlanan litofasiyesler: Düzenlenmiş konglomeralar, düzenlenmemiş konglomeralar, matriks destekli konglomeralar, tekneksi çapraz tabakalı kumtaşları ve çamurtaşlarıdır.

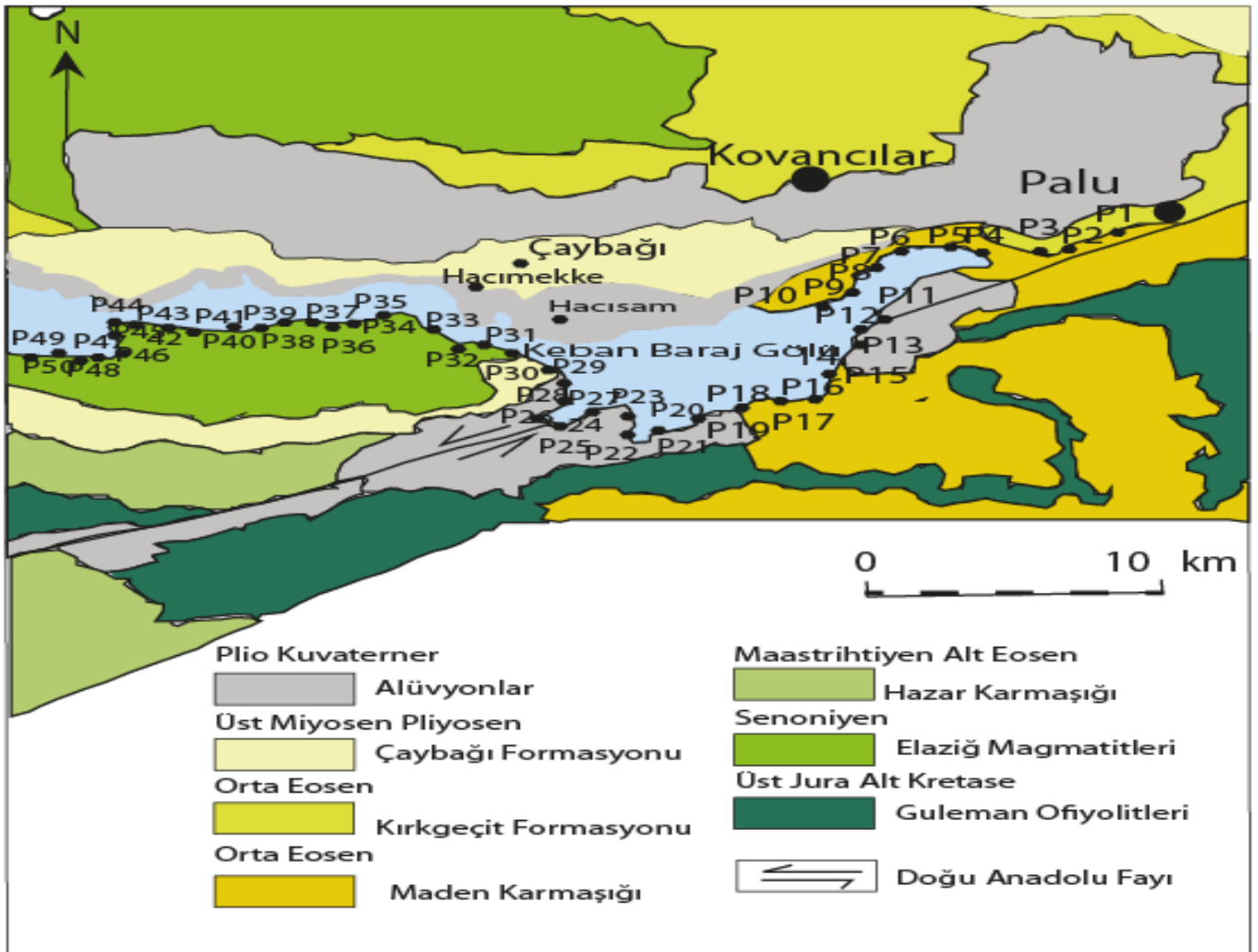
4.7.4. Yaşı

Çetindağ (1985) tarafından Palu Formasyonu olarak adlandırılan birimin yaşı stratagrafik konumuna göre Pliyosen-Kuvarterner olarak vermiştir. Aynı birimi Çaybağı yöresinde; Tuna (1979) "Pliyo-Kuvarterner Çökelleri" olarak adlandırmıştır.

5. ANALİTİK YÖNTEM

5.1. 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 5.1., Tablo 5.1).



Şekil 5.1. Çalışma alanının örnek lokasyonu haritası (Kerey ve Türkmen1991; Çelik 2008, den değiştirilerek).

Tablo 5.1. Fırat Nehri başlangıç noktasından (Murat ve Karasu Nehirlerinin birleşme noktası) Keban Baraj Gölü, Yarımca arasından alınan kıyı sediman örneklerine ait UTM-50 koordinatlar.

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	P45	37 562855 D - 42 77859 K
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
P11	37 580544 D - 4282475 K	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
P25	37 580088 D - 42 82415 K	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		

Çok iri taneli kırıntıların bulunmaması için örnekler, delik çapı yaklaşık 2mm'lik elekten geçirilmiştir. Nehir akım yönü boyunca 50-100 m aralıklarla alınan yaklaşık 2 kg ağırlığındaki dere kumu örnekleri naylon torbalara konularak her biri numaralandırılmış ve oda sıcaklığında kurutulmuşlardır. Kurutulduktan sonra, analize uygun tane boyutu 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.

5.2. Kimyasal Deneyler

Çalışma alanından alınan nehir sediman örnekleri laboratuvar ortamında önceden belirlenen, analiz yöntemlerine hazır hale getirilmiştir. Örneklerin ACME Analitik Laboratuvarlarında (Acme Analytical Laboratories Ltd., Kanada) XRF (X-Ray Floresans) ve ICP-MS (Inductively Couple Plasma-Mass Spectrometre) ile arazi çalışması sonucunda alınan 50 adet nehir sediman örneklerinin tamamında Pb izotop bileşim oranları ve her beş örneğe bir örnek karşılık gelecek şekilde 10 adet sediman örneğinde ise ana oksit - bazı iz element (Ba, Ni, Sr, Zr, Y, Nb ve Sc) analizleri yapılmıştır. Anaoksid ve bazı iz element analizleri için yaklaşık 15 gr örnek AQ (1HNO₃:1HCl: 1HF) yöntemi ile çözündürülmüş ve ACME Analytical Labs'da XRF yöntemi ile analiz edilmiştir .

Kurşun izotop analizleri ise, 50 adet kıyı sedimanı örneği üzerinde yapılmıştır. İzotop çalışmaları ile; a) Kaynak kayaçların değişimine etki faktörleri b) kimyasal ayrışma durumları, c) sediman özellikleri, d) nehir yatağının tarihsel evrimi ya da paleo-çevresel özellikleri gibi, sedimanların jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçlarla 130 mg ve 80 mesh tane boyutundaki sediman örneği 4 ml HF, 1 ml HNO₃, 15 M HNO₃ bitinceye kadar, 7 gün boyunca 140 °C 'de sıcak levhada çözülen sediman örnekleri, Pb AG-MP1-M değişim yöntemi ile hidrobromik asit içerisinde saflaştırılmıştır. Statik moddaki Faraday beheri içerisinde Thermo TRITON kütle spektrometre ile, silika jel tekniği kullanarak, Pb- Re çubuklar üzerine toplanarak, pirometrelerin kontrol ettiği 1200 °C 'de ölçülmüştür. Pb izotop oranları SRM981 standartının Todt vd., (1996)' dan standart değerler kullanılarak cihazın doğruluğu %0.07 olarak saptanmıştır. Tekrar eden analizlerde kesinlik değerleri, % 0.08 ²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb, % 0.12 ²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb ve % 0.16 ²⁰⁸Pb/²⁰⁴Pb olarak belirlenmiştir.

Tüm analizler ACME Analitik Laboratuvarlarında (Acme Analytical Laboratories Ltd., Kanada) yaptırılmıştır. Kesinlik değeri, tekrar edilen (P10; P20; P40)'e ait QC verisi, toplam bileşimin ± 0,08 olarak belirlenmiştir.

5.3. Fiziko-Mekanik Deneyler

5.3.1. Metilen Mavisi Deneyi

Metilen mavisi deneyi, zararlı kil minerallerinin miktarı hakkında fikir sahibi olmak için yapılan bir deneydir. Metilen mavisi çözeltisi, su içerisindeki deney numunesinden oluşan süspansiyona arka arkaya ilave edildi. Boya çözeltisinin deney numunesi tarafından adsorpsiyonu, çözeltinin her ilavesinden sonra süzgeç kağıdında bir leke deneyi yapılarak serbest boyanın varlığının belirlenmesiyle kontrol edilir. Serbest boyanın varlığı teyit edildiğinde, metilen mavisi değeri hesaplanır ve deneye tabi tutulan agreganın kilogramı başına adsorplanan boya, gram cinsinden ifade edilir. Metilen mavisi çözeltisi 10 ± 0.1 gram/litre olacak şekilde hazırlanmalıdır. Çözeltinin kullanım süresi en fazla 28 gün olmalıdır. Çözelti, ışık almayacak şekilde muhafaza edilmelidir. Laboratuvar numuneleri 0-2 mm tane büyüklüğüne sahip 200 gr'lık agregalardan oluştu. Deney numunesi $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 'lik etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulur ve soğumaya bırakıldı. 500 ± 5 ml'lik damıtık veya demineralize su behere konur, kurutulmuş deney numunesi behere ilave edilir ve karıştırıcının pervanesi tabana değmeyecek şekilde ayarlanmıştır. Süzgeç kağıdı, yüzeyinin büyük kısmı herhangi bir yere temas etmeyecek şekilde uygun bir destek üzerine yerleştirildi. Süspansiyon, 600 ± 60 devir/dakika hızda 5 dakika karıştırıldıktan sonra behere 5 ml boya çözeltisi ilave edilir ve beherdeki malzeme 400 ± 40 devir/dakika hızda en az 1 dakika karıştırılır ve süzgeç kağıdı üzerinde leke deneyi yapıldı. Leke deneyinde, her boya ilavesinden sonra bir çubuk yardımıyla süspansiyondan bir damla alınarak süzgeç kağıdı üzerine bırakıldı. Islak bölgede, yaklaşık 1 mm'lik açık mavi bir halka içeren halenin birikinti etrafında meydana gelmesi durumunda deney pozitif kabul edildi. Kil minerallerinin boya adsorpsiyonu geç tamamlandığından, leke deneyi daha fazla boya çözeltisi ilave edilmeksizin 1 dakika aralıklarla 5 dakika süreyle tekrarlanarak dönüm noktası tayin edildi (Şekil 5.2).

5 ml'lik boya çözeltisi ilavesinden sonra hale belirmezse tekrar 5 ml boya ilavesi yapılır ve deney tekrarlanır. Bu işlem hale belirinceye kadar devam eder. Hale görüldükten sonra boya ilavesi yapılmaksızın karıştırmaya devam edilir ve 1 dakika aralıklarla leke deneyleri yapılır.

0-2 mm tane büyüklüğü aralığının kilogramı başına tüketilen boyanın gram cinsinden ifadesi olan metilen mavisi değeri (MB) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır (TS EN 933-9).

$$MB = (V_1/M_1) \times 10$$

V_1 : İlave edilen boya çözeltisinin toplam hacmi (ml)

M_1 : Deney numunesinin kütlesi (gr)



Şekil 5.2. Metilen mavisi deneyinin yapılışı.

5.3.2 Örneklerin Görünür Özgül Ağırlıkları

Görünür özgül ağırlık, belirli bir sıcaklıkta agreganın geçirimsiz boşluklarını içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve aynı hacimdeki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır.

5.3.3. Elek Analizi Deneyi

Farklı bölgelerden alınan ve metilen mavisi deneyine göre kullanılabilir olduğu belirlenen agrega numunelerine elek analizi deneyi uygulanarak gradasyonları tespit edilmiştir. Tabloda farklı agrega numunelerine ait her bir elek üzerinde kalan malzeme miktarları görülmektedir. Elde edilen sonuçların karşılaştırılması için referans karışım kalker türü agrega kullanılarak hazırlanmıştır. Metilen mavisi deneylerinden uygun olduğu belirlenen dere kumu malzemesinin tamamı kullanılmış ve kullanılan gradasyona göre eksik kalan malzeme kırmataş kalker malzeme ile tamamlanmıştır.

5.3.4. Yoğurmalı Presle Bitümlü Sıcak Karışım Numunelerinin Hazırlanması

Superpave karışım tasarımının en önemli cihazı Superpave Yoğurmalı Sıkıştırıcısı'dır. Bu cihaz, Superpave karışım örneklerini üretmek ve örnekler üretilirken sıkıştırma işlemi boyunca veriler kaydederek örneğin yoğunluğunu tayin etmek için kullanılır (AsphaltInstitute, 1996). Superpave yoğurmalı sıkıştırıcısı, laboratuarda sıcak karışımların arazideki sıkışmasını en iyi temsil edecek sıkışmayı sağlayacak şekilde geliştirilmiştir. Cihazın 150 mm (6 inç) iç çapa sahip kalıbı sayesinde maksimum tane boyutu 50 mm (nominal maksimum 37.5mm) olan agregaya içeren karışım örnekleri hazırlanabilmektedir (Lavin, 2003; AsphaltInstitute, 1996; McGennis vd., 1995; Alshamsi, 2006).

SHRP tarafından geliştirilen Superpave yoğurmalı sıkıştırıcısı Şekil 5.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Superpa ve yoğurmalı sıkıştırıcısı.

Yükleme başlığı örnek üzerine 600 ± 18 kPa (6.12 kg/cm^2)'lik sabit bir basınç uygularken örnek kalıbı altındaki döner taban $1.25 \pm 0.02^\circ$ 'lik açı ile dakikada 30 ± 0.5 dönüş yapmaktadır. örnek yüksekliğinin ölçümü yoğurmalı sıkıştırıcısının en önemli özelliklerinden biridir. Örneğin ağırlığı, örnek kalıbının iç çapı ve örneğin yüksekliği bilindiğinden örnek yoğunluğu hesaplanabilmektedir (Tunç, 2001; AsphaltInstitute, 1996; McGennis vd., 1995; Alshamsi, 2006; Kennedy vd., 1994).

Bitümlü sıcak karışımlar hazırlanırken optimum bitüm içeriğinde saf bitüm kullanılarak numuneler yoğurmalı pres ile $\%4 \pm 1$ boşluk içeriğine sahip olacak şekilde sıkıştırılmıştır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Yoğurmalı presle sıkıştırılan ve soğumaya bırakılan bitümlü sıcak karışım (BSK) örnekleri.

5.3.5. Marshall Stabilite ve Akma Deneyi

Bitümlü sıcak karışım (BSK) örnekleri üzerinde uygulanan Marshall Stabilite ve Akma Deneyi, numunelerin deformasyona karşı maksimum dayanımını (stabilite) ve maksimum yüke ulaşıldığı anda numunede meydana gelen düşey deformasyonu (akma) tespit etmek için yapılmaktadır. Deneye başlamadan önce sıkıştırılmış ve soğumuş numunelerin yükseklikleri ölçülerek kaydedilir. Daha sonra numuneler $60 \pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklığa sahip su banyosunda 40-60 dak arasında bekletilir. Bu sürenin sonunda numune sudan çıkarılarak kırma çenesini ortalayacak biçimde yerleştirilir ve numuneye 50 ± 2 mm/dak hızla yükleme yapılır. Marshall deney düzeneği ve numunelerin kırılması Şekil 5.5'de görülmektedir.



Şekil 5.5. Marshall stabilite ve akma aleti.

Deneyde, maksimum yük ve bu yüke ulaşıldığı andaki deformasyon değerleri kaydedilir. Numune sudan çıkarıldıktan sonra 40 sn içerisinde deney bitirilmelidir. Deneyde standart numune yüksekliğinin 63.5 mm olduğu kabul edilir. Farklı yüksekliklere sahip numuneler için stabilite düzeltme katsayıları kullanılmaktadır. Deney sonunda elde edilen stabilite ve akma değerlerinin ortalaması alınır. Stabilite ortalamasından % 15 farklı stabilite değerine ve akma ortalamasından %20 farklı akma değerine sahip numuneler değerlendirmeden çıkarılır. Geriye kalan numunelerin tekrar ortalaması alınır ve aynı oranda sapma (stabilite için % 15, akma için % 20) olan numuneler varsa bu numune serisi iptal edilerek yeni bir seri numune üzerinde deney tekrarlanır.

Marshall stabilite değerinin akma değerine bölünmesi ile karışımın sertliğinin ve bitümlü sıcak karışımların deformasyona karşı direncinin bir göstergesi olan Marshall oranı (MQ) belirlenmektedir (Zoorob ve Suparna, 2000; Hınıslioğlu ve Ağar, 2004; Çolak, 2006; Yılmaz ve Kök, 2008).

Çalışmada hazırlanan karışımlar ortam sıcaklığına kadar soğuması amacıyla 1 gün beklenmiş ardından havadaki sudaki ve doymuş kuru yüzey ağırlıkları tespit edilmiştir. Her bir karışım türünden 3 adet olmak üzere toplam 18 numune EN 12697-34 standardına göre 60°C suda 40 dakikada bekletilmiş ve 50.8 mm/dak yükleme hızında Marshall stabilite ve akma deney aletinde kırılmıştır.

6. JEOKİMYASAL BULGULAR

Çalışma alanından alınan sediman örneklerinden elde edilen kimyasal analiz sonuçları ve kurşun izotop bileşim ve oranları Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'de verilmiştir.

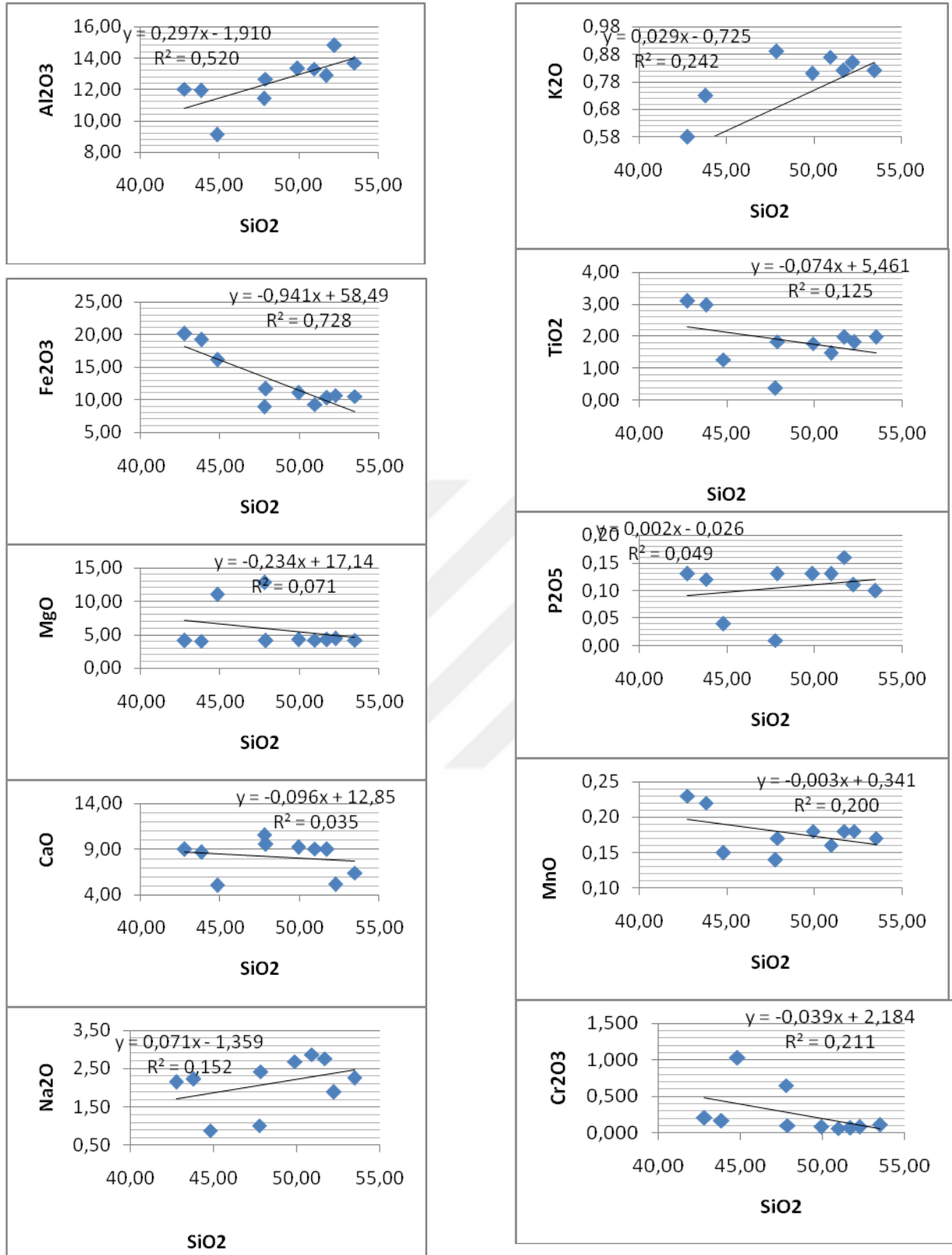
Tablo 6.1. Palu-Keban Barajı arası Fırat Nehir sedimanlarının anaoksit ve bazı iz element analiz sonuçları.

%	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	Ba	Ni	Sr	Zr	Y	Nb	Sc
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
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
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
A4	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
A5	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
A6	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
A7	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
A8	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
A9	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
A10	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

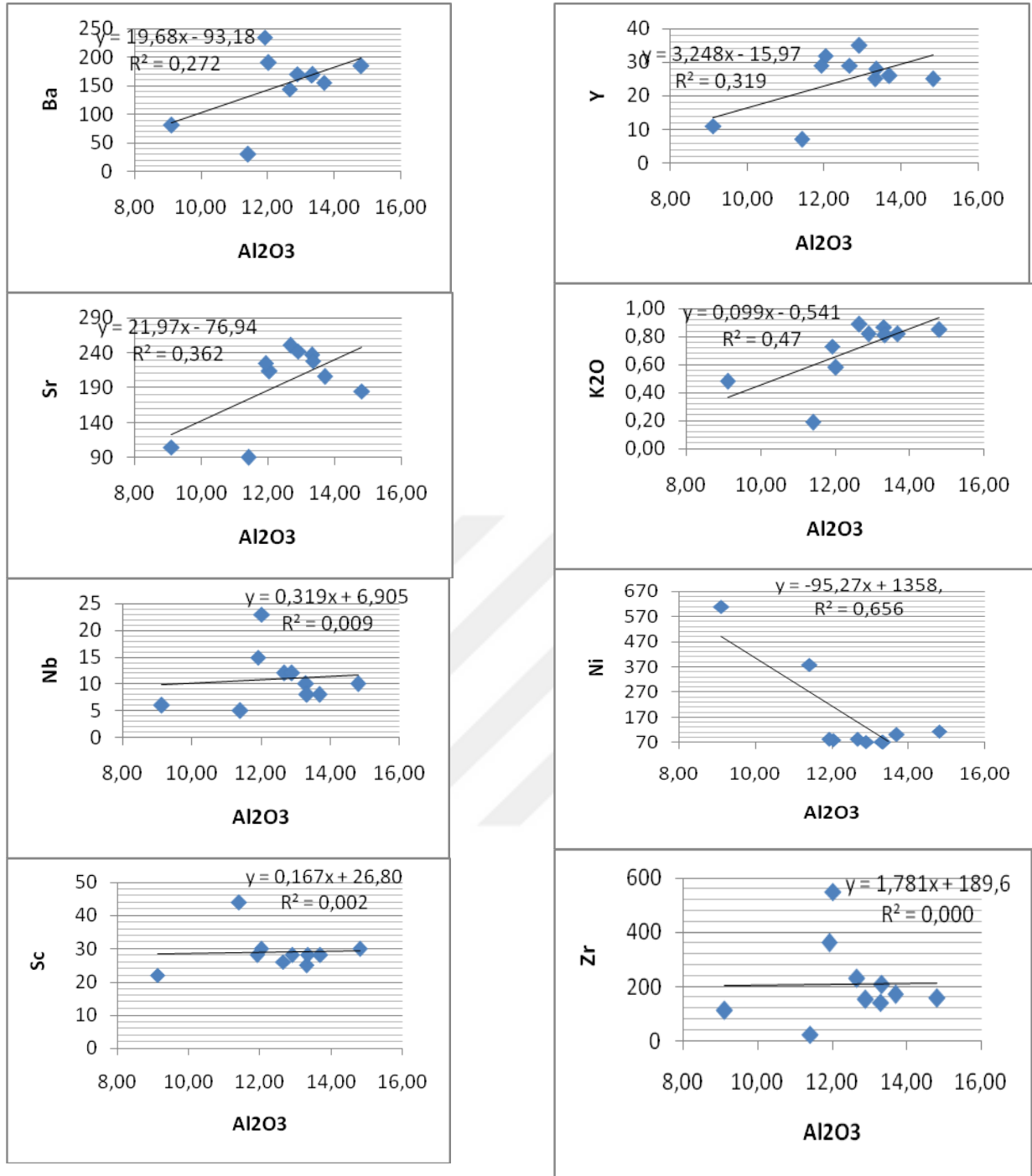
Tablo 6. 2. Palu-Keban Barajı arası Fırat Nehir sedimanlarındaki Pb izotop analiz sonuçları

	204Pb	206Pb	207Pb	208Pb	206Pb/204Pb	207Pb/208Pb	206Pb/207Pb	206Pb/204Pb	207Pb/206Pb
A1	0,17	3,27	2,78	6,91	19,24	0,40	1,18	19,24	0,85
A2	0,09	1,80	1,50	3,90	20,00	0,38	1,20	20,00	0,83
A3	0,14	2,48	2,14	5,40	17,71	0,40	1,16	17,71	0,86
A4	0,10	1,87	1,56	3,93	18,70	0,40	1,20	18,70	0,83
A5	0,11	2,10	1,78	4,48	19,09	0,40	1,18	19,09	0,85
A6	0,13	2,45	2,10	5,26	18,85	0,40	1,17	18,85	0,86
A7	0,11	2,15	1,80	4,59	19,55	0,39	1,19	19,55	0,84
A8	0,12	2,18	1,89	4,73	18,17	0,40	1,15	18,17	0,87
A9	0,09	1,73	1,40	3,64	19,22	0,38	1,24	19,22	0,81
A10	0,10	1,94	1,59	3,98	19,40	0,40	1,22	19,40	0,82
A11	0,22	4,20	3,58	8,86	19,09	0,40	1,17	19,09	0,85
A12	0,10	1,84	1,56	3,85	18,40	0,41	1,18	18,40	0,85
A13	0,12	2,39	1,99	5,02	19,92	0,40	1,20	19,92	0,83
A14	0,08	1,65	1,40	3,52	20,63	0,40	1,18	20,63	0,85
A15	0,31	5,64	4,86	12,19	18,19	0,40	1,16	18,19	0,86
A16	0,20	3,92	3,31	8,39	19,60	0,39	1,18	19,60	0,84
A17	0,16	3,10	2,58	6,64	19,38	0,39	1,20	19,38	0,83
A18	0,12	2,33	1,90	4,84	19,42	0,39	1,23	19,42	0,82
A19	0,11	2,03	1,73	4,35	18,45	0,40	1,17	18,45	0,85
A20	0,11	2,07	1,76	4,45	18,82	0,40	1,18	18,82	0,85
A21	0,08	1,51	1,24	3,14	18,88	0,39	1,22	18,88	0,82
A22	0,12	2,24	1,91	4,86	18,67	0,39	1,17	18,67	0,85
A23	0,12	2,36	1,93	4,95	19,67	0,39	1,22	19,67	0,82
A24	0,12	2,28	1,99	4,97	19,00	0,40	1,15	19,00	0,87
A25	0,22	4,17	3,72	9,23	18,95	0,40	1,12	18,95	0,89
A26	0,09	1,72	1,45	3,52	19,11	0,41	1,19	19,11	0,84
A27	0,11	2,09	1,80	4,49	19,00	0,40	1,16	19,00	0,86
A28	0,15	2,80	2,36	5,93	18,67	0,40	1,19	18,67	0,84
A29	0,22	4,13	3,53	8,76	18,77	0,40	1,17	18,77	0,85
A30	0,08	1,62	1,34	3,47	20,25	0,39	1,21	20,25	0,83
A31	0,14	2,59	2,28	5,54	18,50	0,41	1,14	18,50	0,88
A32	0,08	1,58	1,35	3,38	19,75	0,40	1,17	19,75	0,85
A33	0,09	1,84	1,59	3,97	20,44	0,40	1,16	20,44	0,86
A34	0,06	1,21	1,05	2,62	20,17	0,40	1,15	20,17	0,87
A35	0,05	0,85	0,74	1,77	17,00	0,42	1,15	17,00	0,87
A36	0,04	0,78	0,66	1,61	19,50	0,41	1,18	19,50	0,85
A37	0,07	1,23	1,03	2,71	17,57	0,38	1,19	17,57	0,84
A38	0,09	1,71	1,46	3,66	19,00	0,40	1,17	19,00	0,85
A39	0,22	3,83	3,38	8,14	17,41	0,42	1,13	17,41	0,88
A40	0,13	2,49	2,16	5,36	19,15	0,40	1,15	19,15	0,87
A41	0,12	2,25	1,83	4,55	18,75	0,40	1,23	18,75	0,81
A42	0,13	2,53	2,14	5,23	19,46	0,41	1,18	19,46	0,85
A43	0,11	2,26	1,84	4,52	20,55	0,41	1,23	20,55	0,81
A44	0,10	1,90	1,57	3,84	19,00	0,41	1,21	19,00	0,83
A45	0,20	3,76	3,13	7,75	18,80	0,40	1,20	18,80	0,83
A46	0,12	2,30	1,90	4,90	19,17	0,39	1,21	19,17	0,83
A47	0,11	2,12	1,73	4,31	19,27	0,40	1,23	19,27	0,82
A48	0,13	2,25	1,85	4,69	17,31	0,39	1,22	17,31	0,82
A49	0,11	2,13	1,77	4,54	19,36	0,39	1,20	19,36	0,83
A50	0,12	2,30	1,99	4,85	19,17	0,41	1,16	19,17	0,87

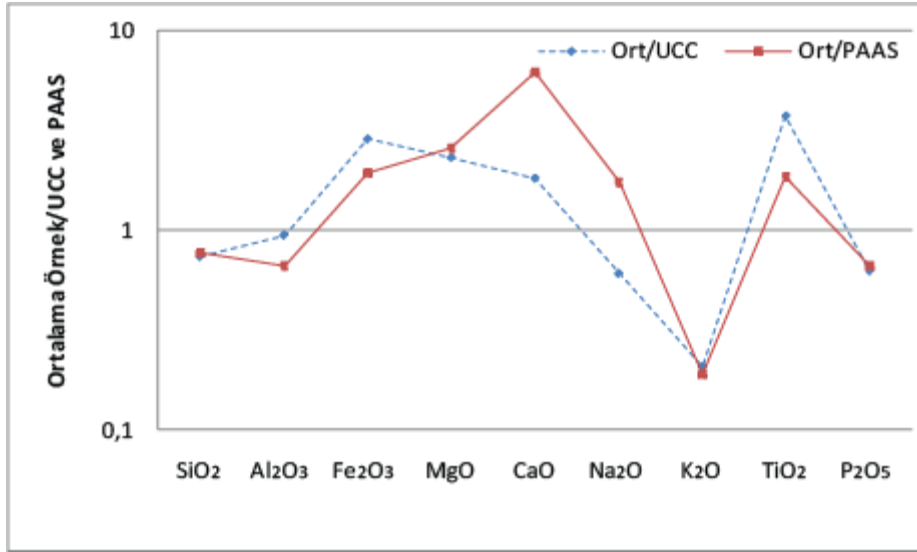
Bu çalışma kapsamında, SiO₂ ile Al₂O₃ ($r = 0,52$), SiO₂ ile K₂O ($r=0,24$) ve SiO₂ ile Na₂O ($r=0,15$) arasında orta - zayıf; Al₂O₃ ile Sr ($r= 0,36$), Al₂O₃ ile Y ($r= 0,32$), Al₂O₃ ile Ba ($r=0,27$) arasında ise zayıf pozitif korelasyonun varlığı görülmektedir (Şekil 6.1 ve 6.2). SiO₂ in K₂O ve Na₂O ile pozitif korelasyon ilişkisi göstermesi ancak CaO ile aynı ilişkinin görülmemesi sedimanların bileşimi üzerinde feldispatların ve Na'lu plajiyoklasların ayrışma oranlarının, karbonat ve Ca'lu plajiyoklaslardan daha etkili olduğunu göstermektedir. Ancak Al₂O₃ ile Sr arasındaki pozitif korelasyon, Sr 'un plajiyoklaslardaki Ca'un yerine geçmesi yüzünden olmalıdır (Hossain vd. 2014). Al₂O₃ ile K₂O ($r=0,54$) pozitif korelasyon ilişkisi, SiO₂ ile K₂O ($r=0,24$) daha yüksek olması sedimanlardaki major element bileşiminin k-feldispat kontrolünde olduğunu göstermektedir. Örneklerdeki Na₂O içeriği % 0,88 ile 2,87 arasında geçişmektedir. Bu değer UCC (3,50) ve PAAS (1,20) ile karşılaştırıldığında UCC'ye göre tüketilmiş ancak PAAS ya benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. K₂O değerleri, % 0,58 ile 0,89 arasında değişmektedir. K₂O içeriği UCC (%3,44) ve PAAS (%3,70) göre oldukça düşük oranda olduğu görülmektedir. Bu durum K₂O nunda sedimanlar içerisinde tüketilmiş olduğuna işaret etmektedir (Condie, 1993; Taylor and McLennan, 1985, Hossain vd. 2015). SiO₂/ Al₂O₃ (3,88) kuvars oranının, feldispat oranından düşük olduğunu göstermektedir (Potter, 1978). Na₂O/ K₂O (3,03) sedimanların olgunlaşma derecesinin yüksek olduğuna işaret etmektedir (Pettijohn ve diğ. 1972; Roser ve Korsch, 1986; Fedo ve diğ. 1995; Paikaray ve diğ. 2008). P₂O₅ (%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 6.2 Al₂O₃ ve Y arasındaki pozitif korelasyon ilişkisi ($r= 0,32$) sedimanlar üzerinde nadir toprak element etkilerinin olduğunu göstermektedir. Al₂O₃ ile Zr arasındaki korelasyon, Zr'un sedimanlar içerisinde daha çok asidik bileşimli kayalardan kaynaklanacağını ancak aşınmaya karşı dirençli olmasından dolayı, iri taneli sedimanlardaki bolluk oranının ince tanelilere göre, daha fazla olmasından kaynaklanabilir (Kalender ve Aytimur, 2016). Diğer iz elementlere oranla Al₂O₃ ile Ba arasındaki pozitif korelasyon açıkça hidrolik ayrılmaya işaret etmektedir (Roy ve Roser, 2012). Ortalama TiO₂ (% 1,86) değerlerinin Şekil 6.3'de UCC (%0,5) ve PAAS (%1) değerlerinden yüksek olması kaynak kayacın daha çok mafik bileşimli olduğuna işaret etmektedir (Hossain ve diğ. 2015). Çalışma konusunu oluşturan Palu - Keban Barajı arası Holosen Fırat Nehir sedimanlarının ana element bakımından Fe₂O₃, MgO, CaO ve TiO₂ UCC'ye göre zenginleştiği ancak, SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, P₂O₅ bakımından ise tüketildiği görülmektedir (Şekil 6.3).



Şekil 6.1. Bazı ana oksitler arasındaki regresyon ilişkisi.

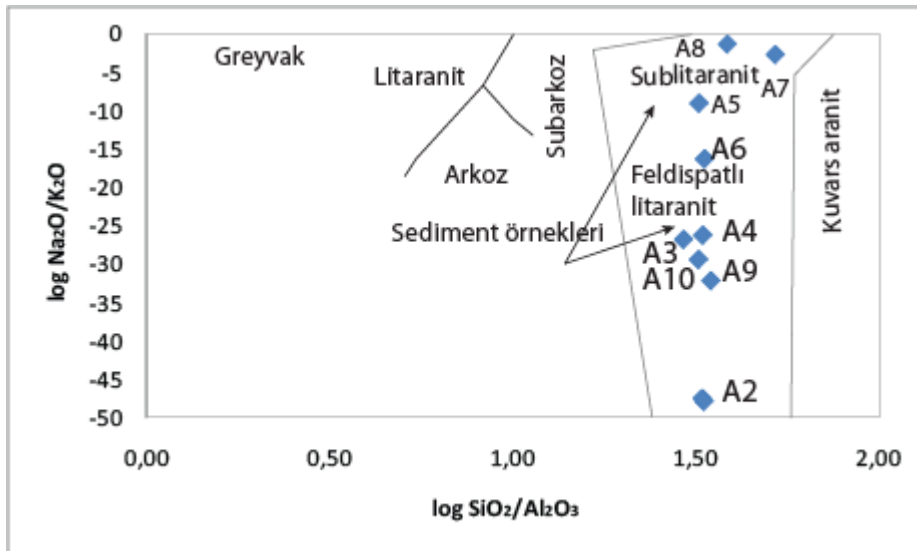


Şekil 6.2. Bazı ana oksit ve iz elementler arasındaki regresyon ilişkisi.



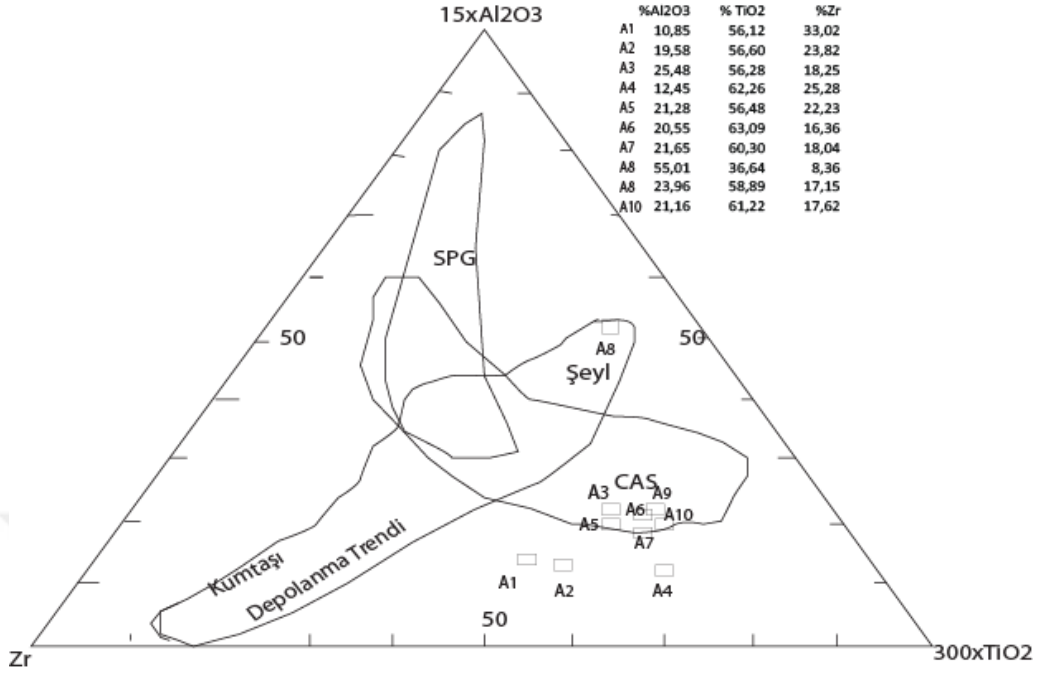
Şekil 6.3. Ortalama ana oksit değerlerinin UCC ve PAAS değerlerine göre normalize diyagramı.

Şekil 6.4 çalışma alanından alınan sediman örneklerinin jeokimyasal özellikleri, A5, A7 ve A8 nolu örneklerin sublitaranit, diğer örneklerin ise feldispatlı litaranit olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.4. Holosen sedimanların log Na₂O/K₂O ve log SiO₂/Al₂O₃ jeokimyasal sınıflaması (Pettijhon vd., 1972).

A8 nolu örnek şeyl alanına düşmekte diğer örnekler ise kalk-alkalin granit (CAS) özelliği göstermektedir (Şekil 6.5).



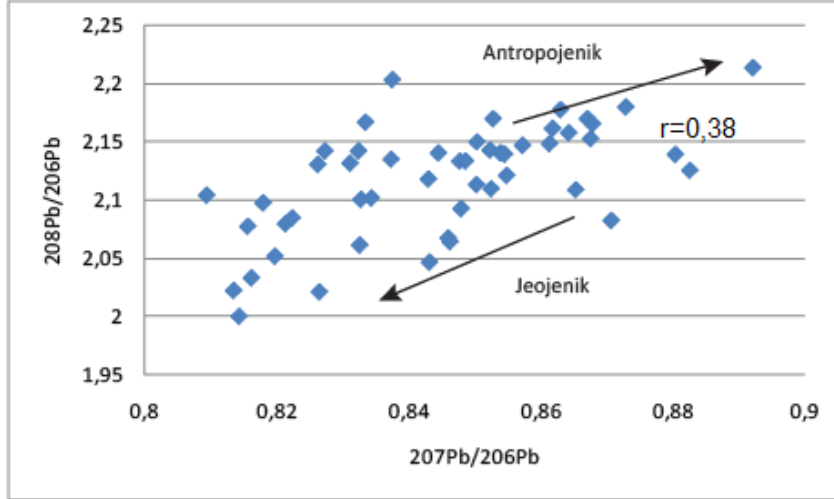
Şekil 6.5. İncelenen sediman örneklerinin hesaplanmış $15 \times \text{Al}_2\text{O}_3$ -Zr- $300 \times \text{TiO}_2$ değerlerine göre çizilen diyagram, CAS: Kalk-alkalin granit alanı; SPG, per alüminyum granit alanı (Garcia vd. 1994).

Şekil 6.6'da Cicchella vd., (2015) tarafından İtalya'daki zirai topraklar üzerine yapılmış kapsamlı bir çalışmada $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 'ya göre $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ Pb izotop diyagramında görüldüğü gibi, izotop oranları hesaplanan regresyon katsayısıyla ($R^2 = 0,38$) doğrusal bir eğilim sunmaktadır. Diyagramda görüldüğü gibi Pb'nin kaynağı olarak iki uç üye görülmektedir. Bunlar doğal köken (Jeojenik) ve antropik kökendir. Bu diyagram üzerine çalışma alanındaki örneklerdeki $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 'ya göre $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ kurşun izotop oranlarını yerleştirdiğimizde örneklerin tümünün doğal kökenli (Jeojenik) alana düştüğü ve regresyon katsayısı olarak $R^2 = 0,38$ ile doğrusal bir eğilim sunduğu görülmektedir (Şekil 6.7).

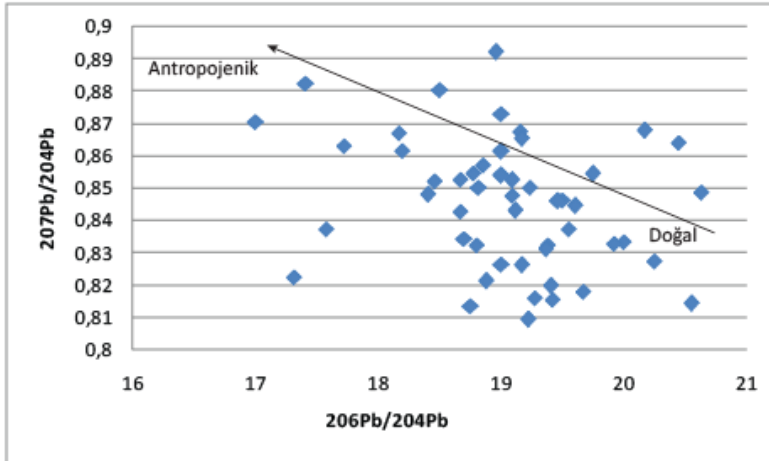
Şekil 6.7.'de Cicchella vd. (2008) tarafından üretilmiş $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 'ye göre $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ kurşun izotopik bileşim diyagramı görülmektedir. Bu diyagramda Neopolitan bölgesi topraklarında kurşun izotopik bileşimlerinde bir karışım izlenmektedir. Neopolitan toprak örnekleri, jeolojik materyallerdeki Pb izotopik bileşimler (Ayuso vd., 1998; Gilg vd., 2001; Somma vd., 2001) ile motorlu taşıtlar emisyonundan ortaya çıkmış Pb (Keinonen 1992) arasındaki bölgeye düşmektedir. Bu da antropojenik bir karışımı ortaya koymaktadır (Cicchella vd., 2008).

Pb izotop bileşimlerinin kullanımı, kirlilik hesaplamalarındaki üç ana son üyenin belirlenmesini sağlar. Bunlar; Batı Avrupada'ki petrol eklenmiş sedimanlardan kaynaklı Pb

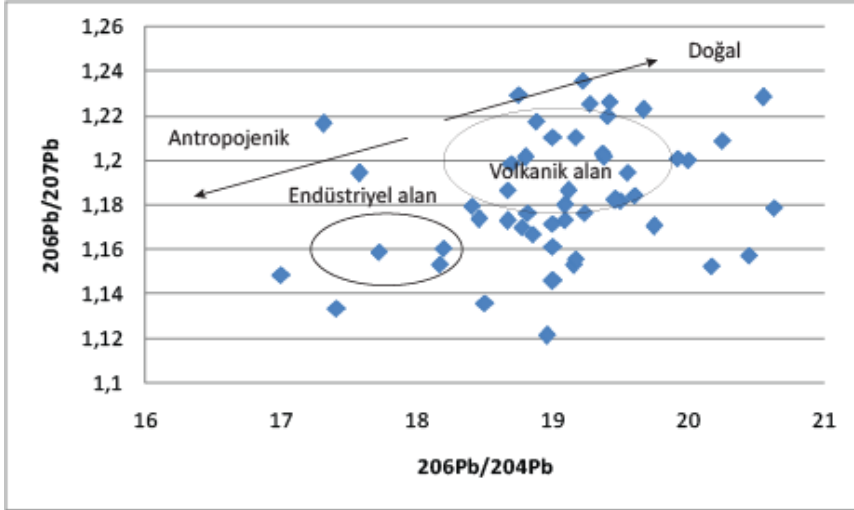
($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}=1.09-1.13$), Kentsel/Endüstriyel alanlardaki aerosol kaynaklı Pb ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}=1.13-1.18$) ile volkano-sedimanter kayaç kaynaklı doğal Pb ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}=1.20-1.22$)'dur (De vivo vd., 2011). Çalışılmış 18 adet dere sediman örneği, $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}=1,205$ ortalama değerinde olup büyük çoğunluğun volkano-sedimanter kayaçlardan gelen doğal kurşun değerleri aralığındadır (Şekil 6.8).



Şekil 6.6. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 'ye göre $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ izotopik bileşim diyagramındaki örnekler Cicchella vd., (2015), Monna vd., (1999), Teutsch vd., (2001), Ayuso vd., (1998) Gilg vd., (2001), ve Somma vd., (2001) tarafından belirlenen diyagram üzerinde, çalışma alanındaki örneklerin konumu mavi olarak ($\diamond$) değerlendirilmiştir.



Şekil 6.7. $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 'ye göre $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ kurşun izotopik bileşim diyagramı (Cicchella vd., 2008). Diyagram üzerinde çalışılmış örnekler gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Volturno nehri sondaj ve dere sediman örneklerinin $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 'e göre $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ diyagramı üzerindeki gösterimi (De vivo vd., 2001). Bu diyagram üzerinde çalışılmış dere sediman örneklerinin konumlarının gösterimi (◇ mavi renkli).

7. FİZİKO-MEKANİK BULGULAR

7.1. Metilen Mavisi Deney Bulguları

Yapılan metilen mavisi deneyi sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki Tablo 7.1’de verilmiştir.

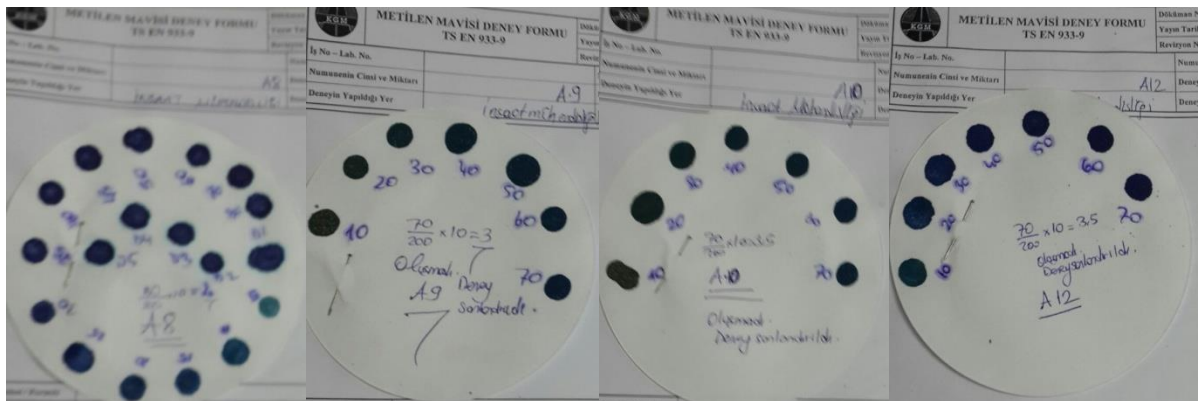
Tablo 7.1. Örneklerin metilen mavisi deney sonuçları.

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

Tablo 7.1 ve Şekil 7.1 ve 7.2'den de anlaşılacağı üzere A8, A9, A10 ve A12 malzemeleri metilen mavisi şartname kriterini sağlamamıştır. Bu nedenle çalışmanın devamında bu malzemeler kullanılmamıştır.



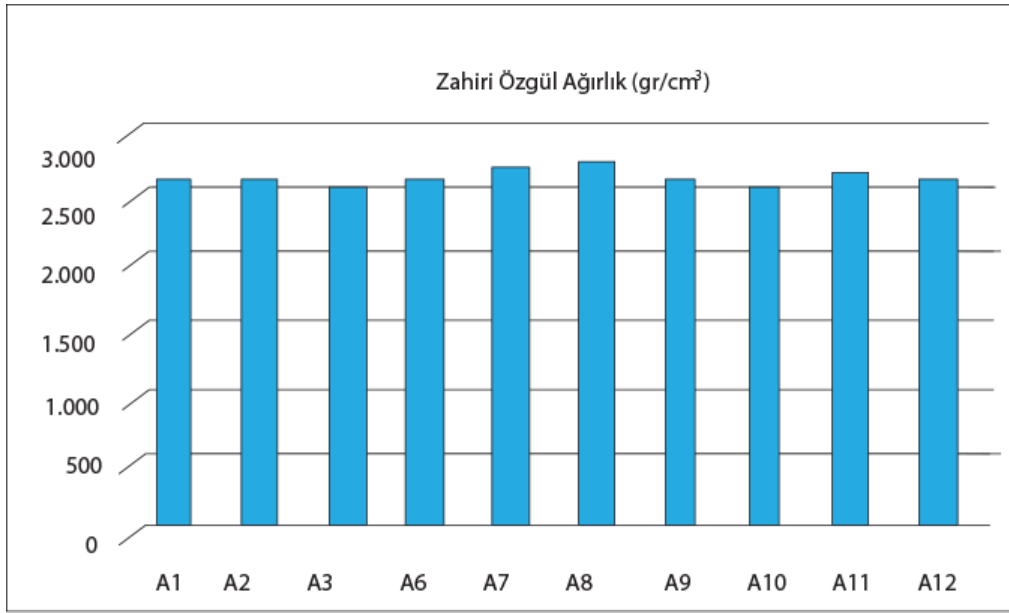
Şekil 7.1. Şartname limitlerini sağlayan örneklerin metilen mavisi deneyi sonuçları.



Şekil 7.2. Şartname limitlerini sağlamayan numunelerin metilen mavisi deneyi sonuçları.

7.2. Örneklerin Görünür Özgöl Ağırlıkları

Malzemelerin EN 1097-6 standardına göre belirlenen görünür özgül ağırlıkları Şekil 7.3'te verilmiştir. Referans olarak önceden Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ulaştırma Laboratuvarı'nda karayolu malzemesi olarak denenmiş ve uygun olduğu belirlenmiş olan kalker türü agreganın görünür özgül ağırlık değeri alınmıştır. Bu değer $2,618 \text{ gr/cm}^3$ olarak bulunmuştur. Çalışmada kullanılan malzemelerle karşılaştırıldığında agregaların görünür özgül ağırlıkları arasında önemli bir fark bulunmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 7.3. Örneklerin zahiri özgül ağırlıkları.

7.3. Elek Analizi Deney Bulguları

Tablo 7.2'de görüldüğü üzere bütün dere sediman malzemelerinin boyutunun $4,75 \text{ mm}$ 'den küçük olduğu, A6 ve A11 malzemelerinde filler malzemesinin ($< 0,075 \text{ mm}$) olmadığı dolayısıyla ince malzeme olduğu belirlenmiştir. A1, A2, A3 ve A7 gradasyonlarında ince agregayla birlikte fillerden oluştuğu tespit edilmiştir. Nehir sedimanlarının orijinal gradasyonlarına sadık kalınarak aynı gradasyona sahip karışım örnekleri hazırlanmıştır.

Tablo 7.2. Kullanılan agrega türlerinin elek analizi sonuçları.

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	

Referans karışım olarak kırmataş agrega ve B 160/220 penetrasyon sınıfı bitüm kullanılarak Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği 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.

7.4. Marshall Stabilite ve Akma Deneyi Bulguları

Bu deney sonucunda bitümlü sıcak karışım (BSK) örneklerinin stabilite ve akma değerleri elde edilerek bunların ortalamaları bulunmuştur. Aşağıdaki tabloda bulunan stabilite - akma değerleri ve bunların ortalamaları görülmektedir (Tablo 7.3).

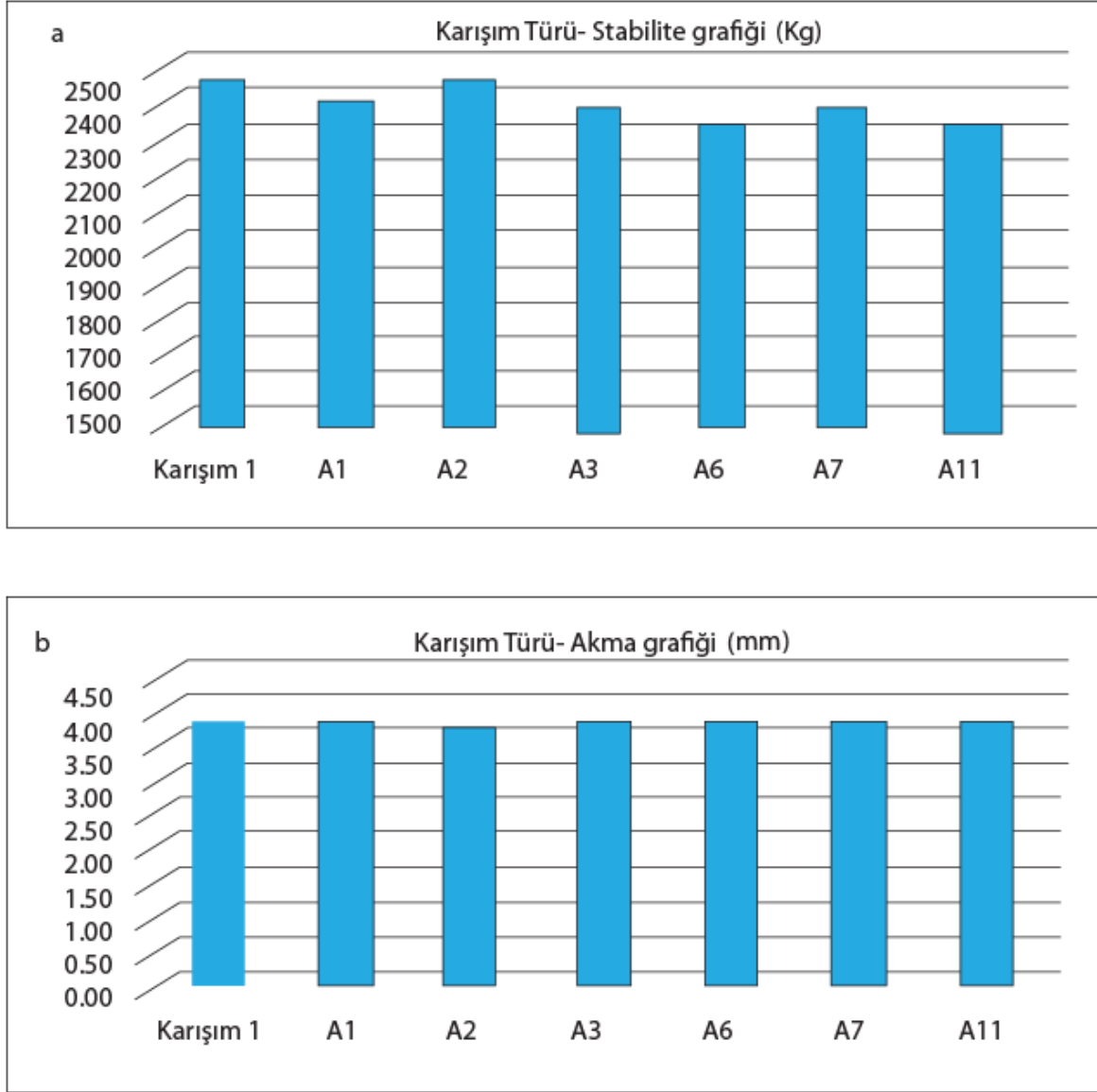
Tablo 7.3. BSK- bitümlü sıcak karışım örneklerinin hacimsel özellikleri ve Marshall deney sonuçları.

Örnek No	Yükseklikler, Mm				Havada Ağırlık, g	Sudaki Ağırlık, g	Doy.Yüz. Ağırlık, g	Hacim cm ³	Hacim Özg.Ağırl.	Akma (mm)	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	6,25
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	
A1ort									2,357	3,86			24,15	
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	6,50
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	
A2ort									2,367	3,82			24,84	
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	6,20
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	
A3ort									2,360	3,85			23,88	
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	6,13
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	
A6ort									2,364	3,86			23,65	

Tablo 7.3 devamı. BSK Örneklerinin hacimsel özellikleri ve Marshall deney sonuçları.

Örnek No	Yükseklikler, Mm				Havada Ağırlık, g	Sudaki Ağırlık, g	Doy.Yüz. Ağırlık, g	Hacim cm ³	Hacim Özg.Ağırl.	Akma (mm)	Stabilite (kg)	Düzltn. Faktörü	Düzeltilmiş Stabilite (kN)	Marshall Oranı (MQ) (kN/mm)
	1	2	3	Ort.										
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	6,17
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	
A7ort									2,367	3,87			23,90	
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	6,16
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	
A11ort									2,379	3,84			23,68	

Aşağıdaki grafiklerde farklı agrega karışımlarıyla oluşturulan her bir BSK örneğine ait Karışım türü- stabilite ve Karışım türü-akma grafikleri görülmektedir (Şekil 7.4).



Şekil 7.4. BSK örneklerine ait karışım türü- stabilite (a) ve karışım türü- akma (b) grafikleri.

Ayrıca Tablo 7.4’de Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) bitümlü sıcak karışım tasarım kriterleri görülmektedir.

Tablo 7.4. Karayolları teknik şartnamesi bitümlü sıcak karışım dizayn kriterleri.

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 ² 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 ⁰ C’de), maks.%	-		8		-		TS EN 12697-22
Tekerlek İzinde Oturma (3.000 devirde, 60 ⁰ C’de 5 cm kalınlığında numune), maks.%					7		TS EN 12697-22
Not: Tabakalar arası yapışma dayanımı TS EN 12697-48’e göre yapılabilir.							

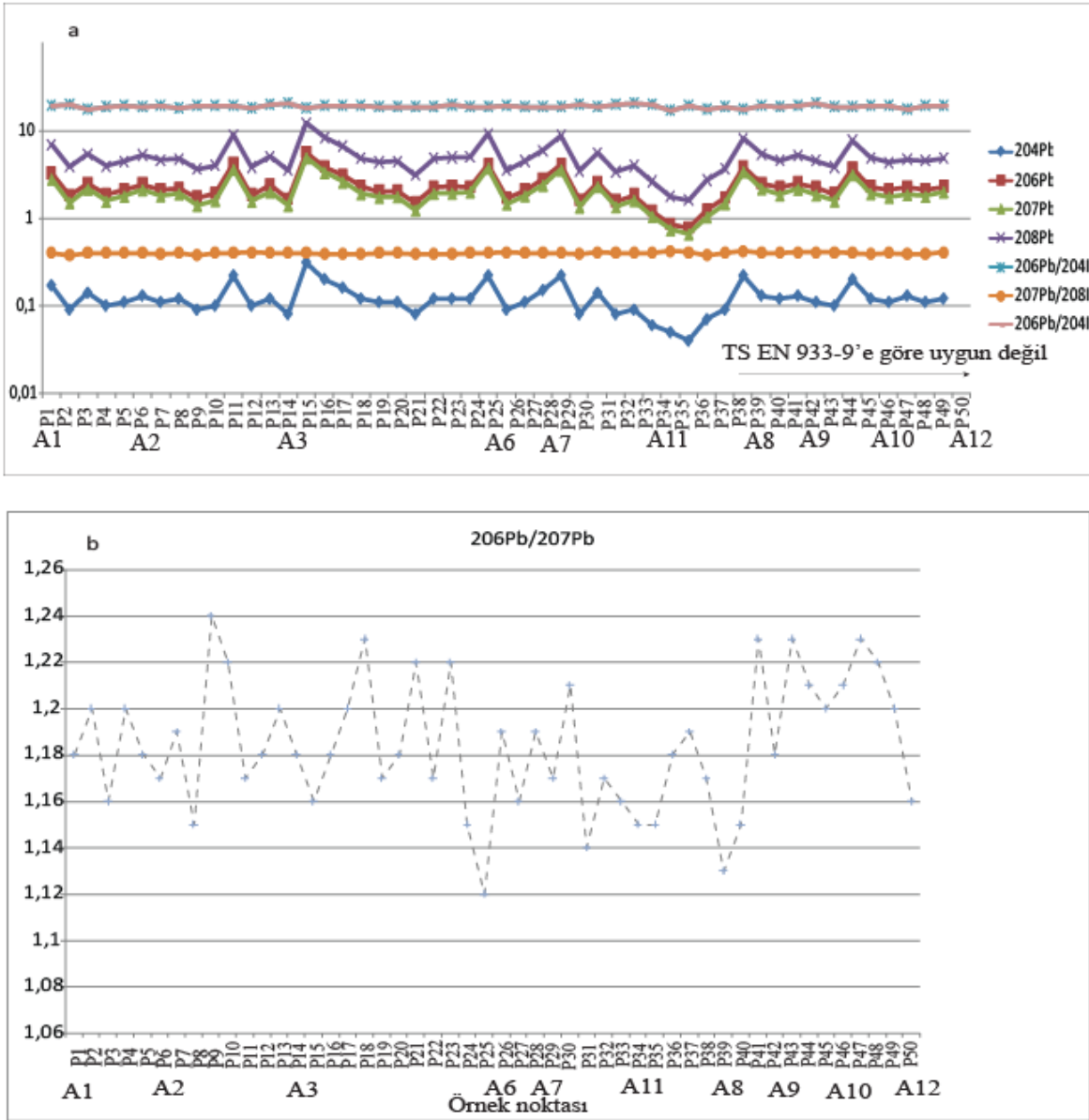
Çalışmada bitümlü sıcak karışım aşınma tabakası tasarım kriterleri dikkate alınmıştır. Tablo 7.4'de görüldüğü üzere Marshall stabilite değerinin en az 900 kg olması gerekmektedir. Şekil 7.4 (a)'da görüldüğü üzere bütün karışımların Marshall stabilite değeri 2300 kg'dan yüksek çıkmış dolayısıyla kullanılan bütün malzemeler stabilite şartname kriterlerini sağlamıştır.

Özellikle A2 türü dere sediman malzemesi stabilite açısından kontrol karışımına göre çok yakın değerler vermiştir. Diğer dere sediman malzemelerinin kullanılmasıyla stabilite değerlerinde az da olsa azalma meydana gelmiştir. Bunun nedeni; kontrol karışımında kırmataş kullanılmasında ötürü köşeliliğin fazla olmasıdır. Karayolları Teknik Şartname'ye göre akma değerleri; 2-4 mm arasında olmalıdır. Şekil 7.4(b)'de görüldüğü üzere bütün karışımlar akma şartname kriterlerini de sağlamıştır.



8. TARTIŞMA

Kimyasal olarak değerlendirilen örneklerin ana oksit içerikleri dikate alındığında sözkonusu nehir sedimanlarının sublitaranit (A8, A7, A6 ve A5) ve feldispatlı litaranit (A1, A2, A3, A4, A9 ve A10) olarak adlandırılabilceğı belirlenmiştir. A8 nolu sublitaranit örneğinin düşük Fe_2O_3 , P_2O_5 , MnO , TiO_2 , Y ve Nb ile yüksek MgO , CaO , Cr_2O_3 ve Ni değerleri bu nehir sedimanının, asidik bileşimli kayaçlardan çok bazik bileşimli kayaçların etkisinde kaldığını göstermektedir. $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ oranı <1 kuvars içeriğinin düşük olduğu sedimanlara işaret etmektedir (Hossain, vd. 2014). A7 örnek noktasında, düşük Al_2O_3 % 9.12 ve yüksek MgO içeriğı %11.04 sedimanlar içerisinde bazik kayaç ayrışma etkisinin yüksek olduğunu düşündürmektedir. A8 nolu örnekte Al_2O_3 % 11.41 ve MgO içeriğı % 12.84 bu örnekte kil oranının arttığını ve bazik kayaç ayrışma ürünlerinin katkısının hala devam ettiğini, ancak A10 ve A11 nolu örneklerde sırasıyla Al_2O_3 %14.81 ve %13.69 içeriğı kil oranının giderek arttığını işaret etmektedir. Bu durum, neredeyse Doğı 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. Aynı noktada iz elementler yanı sıra ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb ve ^{208}Pb konsantrasyonlarındaki düşüş miktarı dikkat çekmektedir. Şekil 8.1 a, farklı kurşun izotop bileşim değeri ve oranlarının Fırat Nehri akım yönü boyunca değişimi izlenmektedir. Zira, ortalama $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}=1,205$ değeri, volkano-sedimanter kayaçlardan gelen doğal kurşun değerleri aralığında olduğu belirtilmiştir (De Vivo vd., 2001). P9, P17, P21,P23, P30, P 41,P43 ve P47 nolu örneklerin $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}>1,20$ olduğu ve volkanik kayaçların ayrışma etkilerinin bu örneklerde yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 8.1b). Volkanik malzeme katılım noktalarında, Pb bileşim değerlerinin nispeten düşük olduğu görülmektedir (Şekil 8.1a,b).



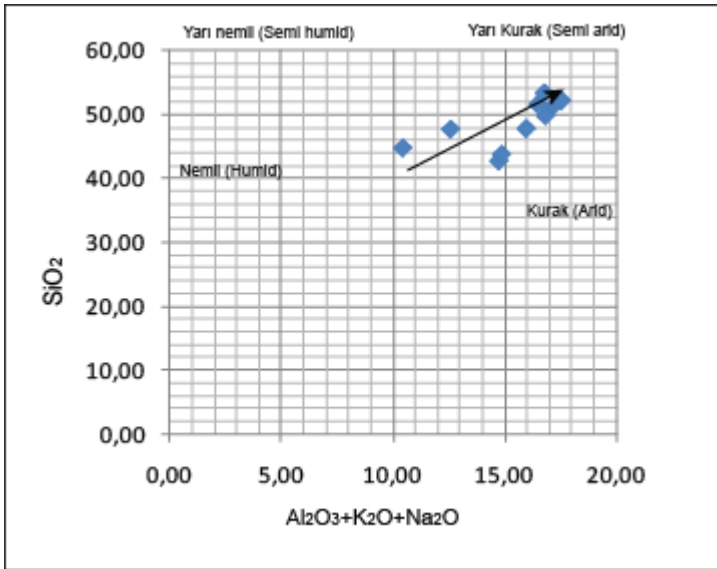
Şekil 8.1. Fırat Nehri akım yönü boyunca (P1'den P50'ye) Pb izotop değişimi ve fiziko-mekanik deney örnek noktaları (A1'den A12'ye).

Genel olarak tüm kurşun izotop bileşim oranları ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ve $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) örneklerin tümünün 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, 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 kullanılamayacağı anlaşılmıştır. Bu durum fay zonunun hidromorfik yüzey nehir suyu döngüsünde etkili olduğu ve su sirkülasyonunun artması ile çözülmesi olarak taşınabilecek süspansiyon madde miktarının da artabileceği ve bu yüzden sedimanlardaki kil oranında artışın bu sirkülasyonun doğal sonucu olabileceği düşünülmektedir. Bir nolu örnek lokasyonunda nehir yatağının eğiminin düşük ve akımın yavaş olması enerjinin azlığına işaret etmekte ve kum boyu malzemenin kaynağa yakın ortamlarda depolandığını 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 EN 12697-34 standardına göre örnekler 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 değerler, >2300 Kg olarak ve görünür özgül ağırlıkları ise 2.6 gr/cm³ 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 şartnamede belirtilen kriterleri sağladığı görülmüştür. 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 görülmüş fakat bu artışta yine şartname kriterlerini sağladığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre farklı bölgelerden alınarak BSK' larda kullanılabilirliği değerlendirilen agrega malzemelerinin asfalt yol sektöründe inşaat malzemesi olarak kullanımının stabilite ve akma açısından uygun olduğu ortaya çıkmıştır. Bu çalışma ile örneklerin optimum bitüm içeriğinin % 4.61 olduğu belirlenmiştir. Ancak çalışmada kullanılan malzemelerin 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 8.2 çalışma alanı içerisinde alınan sediman örneklerinin, semiarid ve arid iklim koşullarında depolandığını göstermektedir. Fırat Nehri sedimanlarının kimyasal bileşimini etkileyebilecek en önemli faktör, 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 hattının 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 Kırkgeçit 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 Zonunun güney batısı ve Kaban Baraj Gölünün güneyde yüzeyleyen Maastrihtiyen-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 8.2. Holosen sedimanlarının depolanması sürecinde paleoklimsel koşulların SiO₂ ve Al₂O₃+K₂O+Na₂O içeriklerine göre sınıflandırılması (Suttner ve Dutta, 1986).

9. 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 nehir sedimanlarının daha çok volkano-sedimanter kayalardan gelen doğal kurşun değerleri aralığında olduğunu ve genel olarak tüm kurşun izotop bileşim oranları ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ve $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) örneklerin tümünün doğal kökenli (jeojenik) olduğunu göstermektedir.

4. Doğu Anadolu Fay hattı 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 Zonundan 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 sedimanlarının; görünür özgül ağırlıklarının $2,6 \text{ gr/cm}^3$, optimum bitüm içeriğinin % 4.6, karışım türü stabilite değerlerinin $>2300 \text{ kg}$ olduğunu göstermektedir.

7. Elde edilen tüm sonuçlara göre P39 nolu örnek noktasından önce, yani Palu'dan başlayarak Keban Baraj Gölü Doğu Anadolu Fay Zonuna kadar alınan tüm nehir sediman örneklerinin, agrega ve asfalt yol sektöründe inşaat malzemesi olarak kullanımının stabilite ve akma açısından uygun olduğu ortaya çıkmıştır.

10. KAYNAKLAR

- Akkan, E.** 1972. Elazığ Ve Keban Barajı Çevresinde Coğrafya Araştırmaları, Coğrafya Araş.Derg: 5-6, S.175-214. Ankara.
- Aktaş, G. ve Robertson, A. H. Y.** 1984. The Maden Complex, SE Turkey; Evolution of a Neotethyan Active Margin, In: J. E. Dixon and a. H. F., Robertson (Eds.), Geol. Soc. Spec. Publ. No: 17, 375-403.
- Aksoy, E.,** 1993. Elazığ batı ve güneyinin genel jeolojik özellikleri. Türk Yerbil. Derg., 1, 1, 113-123.
- Aksoy E., Turan, M., Türkmen, İ ve Özkul, M.,** 1995. Elazığ Havzasının Tersiyer'deki Evrimi., KTÜ Jeoloji Müh. Bölümü 30. Yıl Sempozyumu (16-20 Ekim 1995) Bildirileri, 293-310.
- Akgül, B.,** 1993. Piran Köyü (Keban) çevresindeki Magmatit kayaçların petrolojik özellikleri. F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ, yayınlanmamış.
- Akgül, M.,** 1991. Baskil (Elazığ) Granitoidi'nin petrografik ve petrolojik özellikleri, Yerbilimleri (Geosound), 18, 67 -78.
- Aktürk, A.,** 1985. Çatak Narlı yöresinin Stratigrafisi ve tektoniği. Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Ens, Elazığ, yayınlanmamış.
- 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, 226p.
- Asphalt Institute,** 1996. Superpave mix design, Superpave Series No. 2 (SP-2), 128p, USA.
- Asutay, H.J.,** 1988. Baskil (Elazığ) çevresinin jeolojik ve petrolojik incelemesi, MTA Dergisi, 107,49-72.
- Asutay, H.J.,** 1987. Baskil (Elazığ) Çevresinin Jeolojisi ve Baskil Magmatitlerinin Petrolojisi, MTA Derg. 106, 55-61, Ankara.
- Asutay, H.J.,** 1986. Baskil (Elazığ) Çevresinin Jeolojisi ve Baskil Magmatitlerinin Petrolojisi. MTA Dergisi, 107, 49-73, Ankara.
- Asutay, H.J.,** 1985. Baskil (Elazığ) çevresinin jeolojik ve Petrografik incelemesi. Doktora Tezi, A.Ü. Fen Bil. Ens., 156, Ankara, yayınlanmamış .
- Ayuso, R.A., De Vivo, B., Rolandı, G. ve Seal, R.R.** İı, 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 Micro-structural Characteristics of

Ready-Mixed Concrete, Construction and Building Materials, DOI:10.1016/j.conbuildmat.2012.04.078.

Baştuğ, C. ve Açıkbaş, D., 1974. Sason-Kozlu saryaj yöresi jeolojik raporu; TPAO arsivi. Rapor No, 795, yayınlanmamış.

Beyarslan, M. 1997. “Elazığ Çevresindeki Ofiyolitlerin Petrografik Özellikleri” Selçuk Üniv. Müh.-Mim. Fak. 20. Yıl Jeoloji Sempozyumu, Bildiriler kitabı, 125-134.

Bingöl, A.F., 1984. Geology of the Elazığ area in the Eastern Taurus region (Tekeli, O. and Göncüoğlu, M. C. Edt.) Int. Symp. On the geology of the Taurus Belt, Bildiriler, 209 -216, Ankara.

Bingöl, A.F., 1982. Elazığ-Pertek-Kovancılar arası volkanik kayaların petrolojisi. F.Ü Fen Fak. Dergisi,1, 9-21.

Bingöl A. F. 1984. “Geology of Elazığ Area in the Eastern Taurus region” In O. Tekeli and C. Göncüoğlu (Eds)., Geology of the Taurus Belt., Proceedins International Symposium, MTA, Ankara, 209-216.

Bingöl, A. F. 1986. Petrographic and Petrologique Characteristic of Intrusive Rocks of Guleman Ophiolite (Eastern Taurus-Turkey). Geosound, 13/14, 41-57.

Bingöl, A.F. ve Aydoğdu, S., 1994. Dutköy (Elazığ) yöresi Magmatit kayalarının Petrografik ve jeokimyasal özellikleri. Ç.Ü. Mim. Fak., 15. Sempozyum tebliğleri, 199-213.

Bingöl, A.F. ve Beyarslan, M., 1996. Elazığ Magmatitleri'nin jeokimyası ve petrolojisi. (Korkmaz, S., Akçay M. editörler), 30. Yıl Sempozyumu bildirileri, KTÜ, 208-227, Trabzon.

Bulut, C, 1973, Elazığ-Gülüşkür-Ferrokrom tesislerine su temini hakkında hidrojeoloji etüd raporu. Devlet Su İşi. raporu, Rap. No: 166, Elazığ, yayınlanmamış.

Çelik, H., 2003. Mastar 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.

Cicchella, D., De Vivo, B., Lima, A., Albanese, S., McGill, R.A.R. and Parrish, R.R., 2008. Heavy metal pollution and Pb isotopes in urban soils of Napoli, Italy Geochemistry: Exploration Environment Analysis, v. 8:103-112,doi:10.1144/1467-7873/07-148.

Cicchella, D., Hoogewerff, J., Albanese, S., Adame,P., Lima,A.,Taiani, M.V.E., 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., Sava, A., 2001.** Pb isotopes and toxic metals in floodplain and stream sediments from the Volturno river, Italy, *Environmental Geology*, 41 :101-112.
- DPT, 2001.** Endüstriyel Hammaddeler (Yapı malzemeleri) , 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, ÖİK raporu.
- Dumanlılar Ö., Aydal D. ve Dumanlılar, H., 2005.** Baskil (Elazığ) Güneyindeki Cevherleşmelerin Jeolojik ve Minerolojik Özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 29/1,1-21.
- Erdoğan, B., 1977.** Geology geochemistry and genesis of the sulphide deposits of the Ergani-Maden region SE Turkey., Ph. D. Thesis, Univ. New Brunswick.
- Erdoğan, B. 1982.** Ergani-Maden Yöresindeki Güneydoğu Anadolu Ofiyolit Kuşağının Jeolojisi ve Volkanik Kayaları. *Türk. Jeol. Kur.*, 25, 49-59.
- 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, 137s. Elazığ.
- Fedo, C.M., Nesbitt, H.W., 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.
- 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., Belkın, H.E., De Vivo, B., Ayuso, R.A. 2001.** Isotope geochemistry and fluid inclusion study of skarns from Vesuvius. *Mineralogy and Petrology*, 73, 145–176.
- Hempton, M.R., 1984,** Results of detailed mapping near lake Hazar (Eastern Taurus Mountains): Tekeli, O. ve Göncüoğlu, M.C., ed., *Geology of the Taurus Belt Proceedings*, 223-228.
- Hempton, R.M. ve Savcı, G.R. 1982.** Petrological and structural features of the Elazığ Kompleksi. *Bull. Geol. Soc. Turkey*, 25/2, 143-150.
- Hınışoğlu, S. ve Ağar, E., 2004.** Use of the waste high density polyethylene as bitumen modifier in asphalt concrete mix, *Materials Letters*, 58, p. 267-271.

- Hossain, I., Roy, K.K., Kumar Biswas, P., Alam, M., Moniruzzaman, M., Deeba, F.** 2014. Geochemical characteristics of Holocene sediments from Chuadanga district, Bangladesh: Implications for weathering, climate, redox conditions, provenance and tectonic setting. *China Journal of Geochemistry*, 33, 336-350.
- İlker, S.,** 1966, Erzurum-Muş bölgesinde Karaköse 48a4-dl paftalarının 1/25000 ölçekli detay petrol etüdü: Maden Tet. Ar. Enst. Rap. No: 4177, Ankara.
- Kalender L., 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., 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., Aytimur, G.** 2016. REE Geochemistry of Euphrates River, *Turkey Journal of Chemistry*, 1, 1-13.
- Kaya, A.,** 2004. Gezin (Maden-Elazığ) çevresinin jeolojisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10/1, 41-50.
- Kerey, E., Türkmen, İ.,** 1991. Palu Formasyonu' nun (Pliyosen-Kuvaterner) Sedimentolojik Özellikleri, Elazığ Doğusu. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 34, 21-26.
- Keinonen, M.** 1992. The isotopic composition of lead in man and the environment in Finland 1966–1987: isotope ratios of lead as indicators of pollutant source. *Science of the Total Environment*, 113, 251–268.
- Kennedy, T.W, Huber, G.A, Harrigan, E.T, Cominsky, R.J, Hughes, C.S, Quintus, H.V, Moulthrop, J.S,** 1994. Superior performing asphalt pavements (Superpave): The product of the SHRP asphalt research program, SHRP-A-410, National Research Council, Washington, DC, 170p.
- Ketin, İ.,** 1983. Türkiye jeolojisine genel bir bakış, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, 595, İstanbul.
- Kırkoğlu, S,** 1990. Endüstriyel Hammaddeler Ders Kitabı, İTÜ Maden Fakültesi, 295s., İSTANBUL.
- Lavin, P.G,** 2003. Asphalt pavements, Spon Pres, London and New York, 444p.
- McGennis, R.B, Anderson, R.M, Kennedy, T.W, 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, Başlık yayın evi 32s., Ankara.

- Michard, A., Whitechurch, H., Ricou, L. E., Montigny, R. and Yazgan E.** 1984. Tauric Subduction (Malatya-Elazığ province) and its Bearing on Tectonics of the Tethyan Realm in Turkey. In: J. E. Dixon and a. H. F., Robertson (Eds.), The geological evolution of the Eastern Mediterranean, Geol. Soc. Spec. Publ. No:17, 361-373.
- Monna, F., Aiuppa, A., Varrica, D. & 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.
- MTA,** 1990. Zonguldak - Merkez –Kardeşler - Kokurdan Köyleri Civan Kuvars Kumu Etüd Raporu, 12- 17s., Zonguldak.
- Naz, H.,** 1979. Elazığ-Palu dolayının jeolojisi. TPAO Rapor no: 1360, (yayınlanmamış).
- Orhan, F.** 2012. Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları. Karayolları Genel Müdürlüğü. Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü. Ankara
- Özçelik, M.,** 1985. Malatya Güneydoğusundaki magmatik kayaçların jeolojisi ve tektonik ortamına jeokimyasal bir yaklaşım, Türkiye jeoloji kurumu bülteni, 28/1, 19-35.
- Özkan, Y. Z.** 1982. Guleman (Elazığ) Ofiyolitinin Jeolojisi ve Petrolojisi. İst. Üniv. Yerbilimleri Derg., 31/2, 295-312.
- Özkul, M.,** 1988. Elazığ batısında Kırkgeçit Formasyonu üzerinde sedimantolojik incelemeler. Doktora tezi F.Ü. Fen Bil. Enst., 186s yayınlanmamış.
- 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.** 1979. The geology of Hazro-Korudağ Çüngüş-Maden- Ergani-Hazar-Elazığ-Malatya Region. Guid book, Geol. Soc. of Turkey, Spec. Publ., 33.
- 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., 181-198, Ankara.
- Perinçek, D. ve Özkaya, İ.** 1981. Arabistan Levhası Kuzey Kenarının Tektonik Evrimi, Yerbilimleri, 8, 91-101.
- Pettijhon F.J., Potter, P.E., 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 bigrifer sands. Journal of Geology. 86, 423-449.
- Poyraz, N.,** 1988. İspendere- Kömürhan (Malatya) ofiyolitlerinin jeolojisi ve petrografisi, Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, yayınlanmamış.

- Rigo De Righi M. ve Cortesini A.,** 1964. Gravity tectonics in Foothill structure of southeast Turkey. Amer. Assoc. Petrol Geologist Bull, 48, 1911- 1937.
- Roy,D., 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., TPJD, 85-107.
- Sungurlu, O., Perinçek, D., Kurt, G., Tuna, E., Dülger, S., Çelikdemir, E. ve Naz, H.** 1985. ElazığPalu Alanının Jeolojisi.T.C. Pet. İşl. Gn. Md. Derg., 29, 83-190.
- Suttner, L.J., 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.
- Şengör, A.M.C.,** 1980, Türkiye'nin neotektoniğinin esasları: Türkiye Jeoloji Kur. Kong. Seri Yay., 40 s.
- Somma, R., Ayuso, R.A., De Vivo, B., 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. and McLennan, S.M.,** 1985. The Continental Crust; Its composition and evolution; an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. Blackwell, Oxford. 312.
- Teutsch, N., Erel, Y., Halicz, L. , Banm, A.** 2001. Distribution of natural and anthropogenic lead in Mediterranean soils. Geochimica et CosmochimicaActa, 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 karışimli asfalt için - Bölüm 34: Marshall deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Todt, W., Cliff. R.A., Hanser, A., Hofmann A.W.,** 1996. Evaluation of a ^{202}Pb – ^{205}Pb double spike for high-precision lead isotope analysis. In: Basu A and Hart S. (eds.) Earth Processes: Reading the Isotopic Code. Geophysical Monograph Series, vol. 95, pp. 429–437. Washington, DC: American Geophysical Union.

- Topçu, B. ve Canbaz, M.** 2006. Aktive edilmiş yüksek fırın cürufu harçlaramalkali türünün etkisi, Yapı Mekanigi Semineri 2006, ODTÜ-ESOGÜ-ETB, Eskişehir, 120-128.
- Tucker, M.E. ,** 1981. Sedimentary Petrology an introduction: Blackwell Sci. Publ. , 346 s., USA.
- Tuna, E. ve Dülger, S.** 1979. Elazığ-Palu-Pertek Bölgesinin Jeolojisi. TPAO Arşivi, Rapor No: 1363. yayınlanmamış.
- Tuna, E.,** 1979. Elazığ-Palu-Pertek dolayının jeolojisi. TPAO Arşiv Rapor no, 1363. yayınlanmamış.
- Tunç, A,** 2001, Yol malzemeleri ve uygulamaları, Atlas Yayınevi, İstanbul, 840s.
- Turan, M., ve Bingöl, A.F.,** 1991. Kovancılar-Baskil (Elazığ) arası bölgenin tektono-stratigrafik özellikleri. Çukurova Üniversitesi, Ahmet Acar Jeoloji Sempozyumu, Tebliğler, 213-217.
- Turan, M., Aksoy, E. ve Bingöl, A. F.,** 1993. Doğu Torosların jeodinamik evriminin Elazığ civarındaki özellikleri. Yerbilimlerinin 25. Yılı Sempozyumu Tebliğler Kitabı. Hacettepe Üniversitesi.
- Turan, M., Aksoy, E., Bingöl, A.F.** 1995. Doğu Toroslar'ın Jeodinamik Evriminin Elazığ Civarındaki Özellikleri. F.Ü. Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi 7/2, 177-199.
- Wronkiewicz, D.J., 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.,** 1981. Dogu Toroslarda etkin bir paleo-kıta kenarı etüdü (Üst Kretase-Orta Eosen), Malatya-Elazığ, Dogu Anadolu. Yerbilimleri, 7, 83-104.
- Yazgan, E.,** 1983. A geotraverse between the Arabian Platform and the Munzur Nappes. Int. Symp. on the geology of the Taurus Belt, Field Guide Book, 199-208, Ankara.
- Yazgan, E.,** 1984. Geodynamic evolution of the Eastern Taurus region (Malatya- Elazığ area, Turkey). (In Tekeli, O. and Göncüoğlu, M. C., eds.) Int. Symp. On the Geology of the Taurus Belt., proceedings, 199-208.
- Yazgan, E. ve Asutay, H.J.** 1981. Definition of structural units located between Arabian platform and Munzur Mountains and their significance in the geodynamic evolution of the area 35th Congr. Geol. Soc. Turkey, Abstracts, 44-45.
- 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 Superpave 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 Suparma, 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.



ÖZGEÇMİŞ

28 Ocak 1988 de Elazığ'da doğdu, İlkokul, Ortaokul ve Lise eğitimini Elazığ'da tamamladı. 2009 yılında başladığı Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümüyle birlikte 2011 yılında İnşaat Mühendisliğinde çiftanadal yaparak eğitime devam etti. 2013 yılında Jeoloji Mühendisliğinden fakülte birincisi olarak, 2015 yılında da inşaat Mühendisliğinden mezun oldu.

