

ISSN 1305-6859

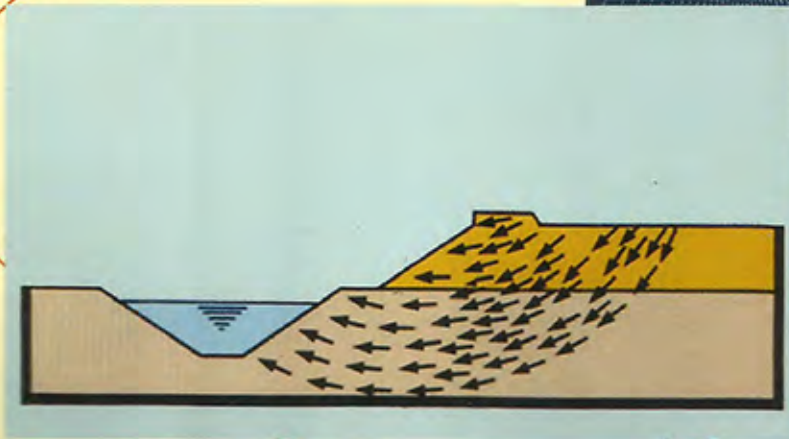
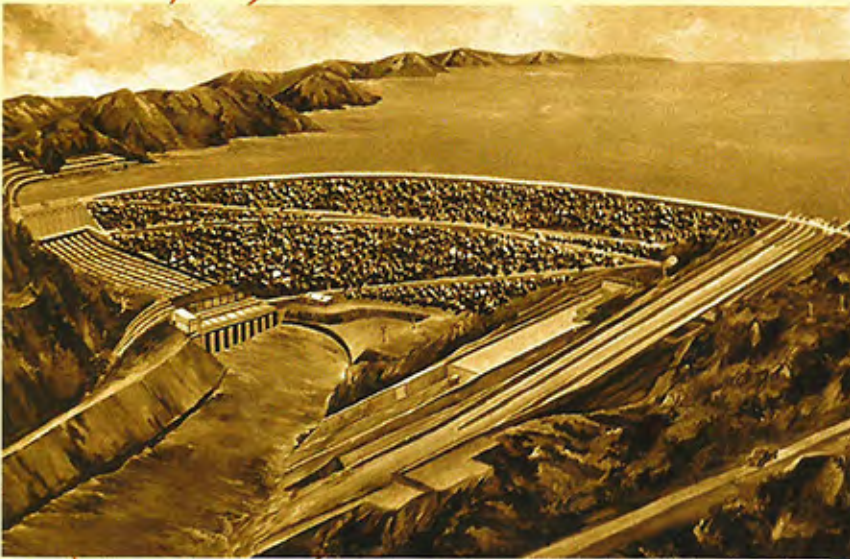


MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ BÜLTENİ BULLETIN OF ENGINEERING GEOLOGY

2009

SAYI: 28-29

EROSKAY ÖZEL SAYISI-2



ULUSLARARASI MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ TÜRK MİLLİ KOMİTESİ YAYINI
PUBLICATION OF INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY AND
THE ENVIRONMENT TURKISH NATIONAL COMMITTEE

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ BÜLTENİ
BULLETIN OF ENGINEERING GEOLOGY

Yayın Sahibi / Owner on Behalf of the Committee
Erdoğan YÜZER

Yazı İşleri Müdürü / Publication Director
Atiye TUĞRUL

Editörler Kurulu / Editorial Board
Reşat ULUSAY
Recep KILIÇ
Tamer TOPAL

Yayın Danışma Kurulu / Advisory Board

Ergin ARIÖĞLU	Okay GÜRPINAR
Can AYDAY	Remzi KARAGÜZEL
Remzi DİLEK	K. Erçin KASAPOĞLU
Vedat DOYURAN	Şakir ŞİMŞEK
Mehmet EKMEKÇİ	Atiye TUĞRUL
Mustafa ERDOĞAN	Necdet TÜRK
Okay EROSKAY	Mahir VARDAR
Aziz ERTUNÇ	Erdoğan YÜZER
Candan GÖKÇEOĞLU	

Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Yönetim Kurulu
International Association of Engineering Geology and the Environment Turkish National Executive Committee

Başkan: Erdoğan YÜZER (İTÜ)
Genel Sekreter: Atiye TUĞRUL (İÜ)
Sayman: Tamer TOPAL (ODTÜ)
Üye: Aziz ERTUNÇ (ÇÜ) - Üye: Reşat ULUSAY (HÜ)
Üye: Remzi KARAGÜZEL (İTÜ) - Üye: Mustafa ERDOĞAN (İTÜ)

Bültenin Kapsamı / Scope of the Bulletin

Bülten'de mühendislik jeolojisi ile ilgili yapılmış bilimsel araştırmalara ve/veya uygulamaya yönelik çalışmaların ürünü olan Türkçe yazılara yer verilir. Bülten yılda iki kez yayımlanır.
Bulletin of Engineering Geology is a medium to the publication of original scientific studies and/or applications in the field of engineering geology written in Turkish. The bulletin is published twice a year.

Yazı Göndereceklere Not / Note to Contributors

Gönderilecek yazılar, Bülten'in Yayın Amaç ve Yazım Kuralları'nda belirtilen ilkelere uygun olmalıdır. Yazılar üç kopya halinde yazışma adresleri aşağıda verilen editörlerden birine gönderilmelidir.
Manuscripts should be prepared in the form required in the instructions entitled "Guide for Authors". Three copies should be submitted to the one of the editors whose corresponding addresses are given below.

Yazışma Adresleri / Correspondence Addresses

Prof. Dr. Reşat Ulusay
Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800 Beytepe, Ankara
e-mail: resat@hacettepe.edu.tr - Tel: (312) 297 77 67 - Fax: (312) 299 20 34

Prof. Dr. Recep Kılıç
Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06100 Tandoğan, Ankara
e-mail: rkilic@cng.ankara.edu.tr - Tel: (312) 212 67 20/1343 - Telefax: (312) 221 26 60

Prof. Dr. Tamer Topal
ODTÜ Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06531, Ankara
e-mail: topal@metu.edu.tr - Tel: (312) 210 26 90 - Fax: (312) 210 12 63

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ BÜLTENİ

BULLETIN OF ENGINEERING GEOLOGY

Sayı(No.): 28-29 Haziran-Aralık (June-December) 2009

İÇİNDEKİLER (CONTENTS)

Büyükçılıklı (Silivri) Bentonitinin Metal Döküm Sanayiinde Kullanım Olanaklarının Araştırılması

Investigation of the Potential Use of Büyükçılıklı (Silivri) Bentonite Treated with Sodium Carbonate in Metal Casting Industry

Mustafa ERDOĞAN, Yılmaz MAHMUTOĞLU..... 1

Farklı Kökenli Doğal Kumların Betonda Alkali Silis Reaksiyonu Yönünden Değerlendirilmesi

Evaluation of Alkali-Silica Reactivity of Natural Sands with Different Origins

Selahattin HASDEMİR, Atiye TUĞRUL, Murat YILMAZ..... 15

13 Mart 1992 Erzincan Depremi ve Yüzey Etkileri Üzerine Bazı Düşünceler ve Değerlendirmeler

The 13 March 1992 Erzincan Earthquake and Some Thoughts and Evaluations on its Surface Effects

Ömer AYDAN..... 33

Yayın Türü (Type of Publication) : Yerel Süreli Yayın
Baskı (Printed By) : Öncü Basımevi, Kazım Karabekir Caddesi,
Ali Kabakçı İşhanı, No: 85/2 İskitler, ANKARA.
+90 312 384 31 20

Baskı Tarihi (Printing Date) : 27.01.2010

Değerli okurlarımız,

*Anımsayacağınız gibi, bültenimizin 2008 yılında çıkarılan 26. ve 27. özel sayıları, 17 Ekim 2008 tarihinde İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde düzenlenen **'EROSKAY UYGULAMALI JEOLojİ KOLLOKYUMU'**unda sunulan bildirilere ayrılmıştı. Bu sayımızda da anılan kolokyumda sunulan bir diğeri yer almaktadır.*

*Ülkemizde Mühendislik Jeolojisi çalışmalarının başlatıldığı 1950'li yılların sonundan itibaren günümüze kadar **'Enver Altunlu Ekolü'**nün en başarılı uygulayıcısı olan Sevgili **EROSKAY** onuruna düzenlenen bu kollokyumda uygulamalı jeolojinin farklı alanlarından 2 çağrılı bildiri, 26 poster bildirinin sunumu yapılmış ve bunların özetleri bir kitapta toplanmıştır.*

***EROSKAY'**ın 1960'lı yılların çetin koşullarında başlayan Sivas-Kayadibi-Şarkışla Gemerek ve Konya'da su havzası etütleri, Milas ve İstanbul Tuzla içmelerinin hidrokimyasal özellikleri, Orta Sakarya'nın jeolojisi, mühendislik jeolojisi ve hidrojeolojisi, Seyhan-Kavşak, Kızılırmak-Bayramhacılı ve Yamula, Manavgat-Oymapınar, Köprüçay-Beşkonak, Ceyhan-Berke, Dicle Barajı rezervuar etütleri, Laleli-Toskay derivasyon tüneli mühendislik jeolojisi, Türkiye'deki karst bölgelerinin araştırılması, Denizli-Kızıldere jeotermal alanının enerji potansiyeli, İstanbul grovaklarının mühendislik jeolojisi, İstanbul'da atık depolama alanlarının jeolojik ve hidrojeolojik incelemesi, Boğaziçi Köprüsü, İstanbul Boğazı ikinci karayolu geçişi ve Fatih Sultan Mehmet Köprüsü, İstanbul Metrosu ve Boğaz tüp geçişi, Edirne-Kınalı Otoyolu, Çanakkale Asma Köprüsü, Pozantı-Tarsus-Mersin, İskenderun-Hatay-Cilveözü, Orhaneli-Bursa Otoyolu projelerinde mühendislik jeolojisi çalışmaları ile süren başarılı meslek yaşamı, anılan komularda hazırlanan çok sayıda lisans, 22 yüksek lisans ve 10 doktora tez danışmanlığı ile taçlanmıştır.*

***Prof. Dr. S. Okay EROSKAY**, sırasıyla İstanbul Üniversitesi'nde Fen Fakültesi Tatbiki Jeoloji Kürsüsü Başkanlığı, Yerbilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölüm Başkanlığı, Yerbilimleri Fakültesi Yönetim Kurulu ve Senato Üyeliği, Mühendislik Fakültesi Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı Başkanlığı, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölüm Başkanlığı yapmış, Tıbbi Ekoloji ve Hidroklimatoloji Araştırma Merkezi Yönetim Kurulu Üyeliğinde bulunmuş ve 1997-2007 yılları arasında halen görevde bulunduğu İstanbul Kültür Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'nin üç dönem dekanlığını yürütmüştür. Bu görevleri sırasında Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi'nin kuruluşundan itibaren 1976-2004 yılları arasında 28 yıl boyunca Yönetim Kurulu Üyeliği ve Genel Sekreterlik görevlerini büyük bir özveri ve titizlikle sürdürmüştür.*

*Komitemizin günümüzdeki saygınlığının ve başarılarının sağlanmasında çok önemli, unutulmaz katkıları olan, nezaket, zerafet ve hoşgörü sözcüklerinin simgesi olarak örnek aldığımız değerli meslektaşımız **Prof. Dr. Okay EROSKAY**'a bundan sonraki yaşamında da sağlık ve başarılar diliyor, derin şükranlarımızı sunuyoruz.*

Uluslararası Mühendislik Jeoloji Türk Milli Komitesi
Yönetim Kurulu

BÜYÜKKILIÇLI (SİLİVRİ) BENTONİTİNİN METAL DÖKÜM SANAYİNDE KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Investigation of the Potential Use of Büyükkılıçlı (Silivri) Bentonite Treated with Sodium Carbonate in Metal Casting Industry

Mustafa ERDOĞAN, Yılmaz MAHMUTOĞLU

İTÜ Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul

ÖZ

Bu çalışmada, Silivri Büyükkılıçlı (İstanbul) civarındaki Çantaköy formasyonu içerisinde bulunan bentonit oluşumunun döküm sanayiinde kullanım olanakları araştırılmıştır. Formasyon, Doğu Trakya Neojen Havzası'nın üst düzeylerindeki tüf, tüfit ve bentonitten oluşmaktadır. Bölgeden alınan örneklerin döküm sanayiinde öngörülen standart özellikleri karşılayıp karşılamadığının belirlenmesi amacıyla hem doğal hem de soda katkılı örnekler üzerinde çok sayıda laboratuvar deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar dünyada benzer amaçla üretilen bentonitler ve döküm standartlarında aranan sınır değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçta, soda katkısıyla modifiye edilen Büyükkılıçlı bentonitin döküm sanayiinde kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bentonit, Çantaköy formasyonu, döküm sanayi, soda katkısı.

ABSTRACT

This study aims to investigate the potential use of Silivri-Büyükkılıçlı (Istanbul) bentonite forming the upper level of the Çantaköy formation for casting industry. It crops out with tuff and tuffit in the Neogene basin of the Eastern Thrace. Laboratory tests have been carried out on both natural and sodium carbonate added bentonite specimens for the determination of standard properties requested in casting industry. The results obtained from these tests were compared with those of bentonite produced for same purposes in the world and standards related with foundry bentonite. As a result, it was concluded that modified Büyükkılıçlı bentonite with sodium carbonate can be used in casting industry.

Keywords : Bentonite, Çantaköy formation, casting industry, sodium carbonate added.

1. GİRİŞ

Dünyada yılda 2.8 ile 3.7 milyon ton arasında döküm bentoniti kullanılmaktadır. Yaklaşık 53 milyon ton demir esaslı metalin döküm yoluyla şekillendirildiği bu iş kolunda, bir ton sıvı metal için tüketilen ortalama bentonit miktarının 70 kg olduğu hesaplanmaktadır (Erdoğan,

2006). Birim sıvı metal başına tüketilen bentonit miktarı, döküm sanayiinde ulaşılan teknolojik düzey açısından bir ölçü olarak değerlendirilebilir. Örneğin, Amerika ve Kanada'da ton başına bentonit kullanımı 66 kg olduğu halde, bu değer Güney Kore'de 61 kg, Çin'de 105 kg ve Türkiye'de ise 92 kg dolayındadır (Erdoğan, 2006).

Son yıllarda döküm ürünlerine olan talebin otomotiv ve el aletleri endüstrisinde artmasına karşın, yapı ve çelik sektöründe giderek azaldığı, diğer sektörlerde ise sabit kaldığı dikkati çekmektedir. Öte yandan enerji ve çevre sorunları nedeniyle üreticilerin hafif motorlu taşıt konusunda yoğun araştırma yaptıkları bilinmektedir. Buradan hareketle döküm bentoniti ve bunun eldesine dönük madenciliğin motorlu taşıtların geleceği ile doğrudan ilişkili olduğu söylenebilir. Giderek artan maliyetler ve çevre baskıları nedeniyle otomotiv üreticilerinin köken ülkeleri terk ederek on yıl gibi kısa bir süreçte Çin, Brezilya, Hindistan ve Türkiye'de üstleneceği konusunda öngörüler bulunmaktadır (Erdoğan, 2006). Bu kestirimin doğru olması halinde, Türkiye'nin döküm kapasitesinin önümüzdeki on yıllık sürede çok önemli miktarda artacağını söylemek mümkündür. Bu gelişme karşısında 1.30.000 ton (Dünya işlenmiş yıllık döküm bentoniti üretiminin yaklaşık % 3.2'si) dolayında olduğu tahmin edilen Türkiye döküm bentonit üretiminin beklenen talepleri karşılamasının mümkün olamayacağı şimdiden görülmektedir.

Ülkemizde geniş alanlara yayılmış bentonit oluşumları bulunmaktadır. Kretase, Eosen, Oligosen, Miyosen ve Pliyosen yaşlı, çoğu kez kalk-alkalen karakterde asidik ya da intermediyer bileşimli volkanizma ürünlerinin ayrışması sonucu oluşan bu bentonitlerin büyük bir çoğunluğu, katyon içeriği yönünden kalsiyum bentoniti ya da ara bentonit türündendir. Edirne (Enez, Lalapaşa), İstanbul (Silivri, Şile), Çanakkale (Ayvacık), Balıkesir, Manisa, Kütahya, Eskişehir, Ankara (Kalecik), Çankırı (Eldivan, Kurşunlu, Ilgaz, Hançılı), Tokat (Reşadiye), Konya, Elazığ, Malatya, Ordu (Ünye, Fatsa), Giresun ve Trabzon çevresinde kümelenen bentonit rezervlerinin Çankırı, Ankara, Eskişehir, Balıkesir, Tokat ve Elazığ il sınırları içinde yüzeylenen bazı seviyeler sodyum bentoniti karakterindedir (Erdoğan, 1976; Kahya, 1988). Yukarıda belirtilen yerlerdeki bentonitlerin jeolojik varlıklarının belirlenmesine rağmen, bunlar üzerinde henüz ayrıntılı teknolojik araştırmanın yapılmadığı görülmektedir. Bu nedenle, söz konusu oluşumlara işletilebilir rezerv gözüyle bakılması da olanaklı değildir.

Doğal özellikler yönünden bentonit oluşumlarının çok az bir kısmının döküm sanayine uygun oldukları ve bu nedenle uygun olmayan bentonitlerin katkı maddeleri ilavesi yoluyla modifiye edildikleri ve sektörün hizmetine sunuldukları bilinmektedir (Güngör, 1981; Gül, 1989; Erdoğan, 1976; Güler ve Danık, 1989). Türkiye'de döküm bentoniti üreten kuruluşlara ait ocak ve işleme tesislerinin çoğunlukla Çankırı ilinde bulundukları dikkat çekmektedir. Bu tesisler, Çankırı ve Ankara il sınırları içindeki doğrudan döküm bentoniti üretmeye uygun sodyum bentonitini ya da katyon değiştirme kapasitesi yüksek türden bentonitleri soda ilave edilerek ülke genelindeki döküm sanayiinin hizmetine sunmaktadırlar.

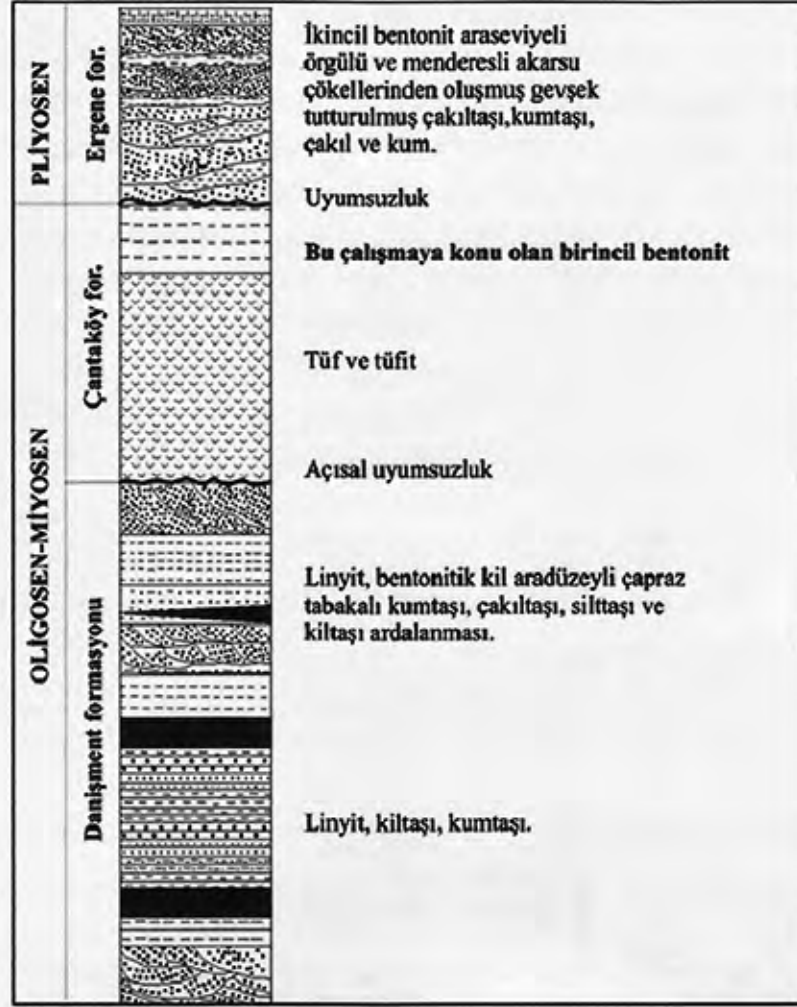
Bu çalışmada, Büyükkılıçlı (Silivri) yöresi bentonit oluşumları incelenmiştir. Yöre bentonitinin doğal ve farklı oranlarda soda katılarak elde edilmiş örnekleri üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2. İNCELEME ALANININ KONUMU VE JEOLJİSİ

İnceleme alanı İstanbul'un Batısında ve Silivri ilçesinin yaklaşık 19 km kuzey doğusunda yer almaktadır (Şekil 1). Araştırmaya konu edilen bentonit oluşumu, Trakya Havzası'nın doğu uzantısını oluşturan genç sedimanter istif içerisinde bulunmaktadır (Şekil 2). Sedimanter istif, tabanda Orta Eosen-Alt Oligosen yaşlı kumtaşı, çakıltası, kireçtaşı ve killi kireçtaşı-şeyllerden oluşan şelf çökelleri ile başlamaktadır. Üstte ise, Geç Oligosen-Alt Miyosen yaşlı sığ denizel ve delta fasiyeslerinden oluşan Danişment ve Çantaköy formasyonları ile devam etmektedir (Umut vd., 1983, 1984). Bölgedeki istif Üst Miyosen yaşlı akarsu, göl ve lagün çökeller ile sona ermektedir (Sayar, 1976; Erdoğan vd., 1999). İşletilebilir bentonit düzeyleri tuf ve tüfitlerden oluşan Çantaköy formasyonunun tavanında yer almaktadır (Şekil 2). Formasyon tabanda kumlu çamurtaşları ile başlamakta, üste doğru beyaz renkli tuf ara katkılı killi kumlara geçmektedir. Kalınlığı yer yer 60-70 m'ye varan volkano-sedimanter çökeller güney yönünde giderek incelmektedir (Sakıncı vd., 1999). Çantaköy formasyonunun tavanında yer alan bentonitin kalınlığı yer yer 12 m ye ulaşmaktadır (Şekil 3). Açık boz, yeşil ve sarı renkleriyle karakteristik bentonit oluşumu, genellikle Ergene formasyonunun (üsteki örtünün) aşındığı bölgelerde tamamen yok olmuştur (Yenipazar, 2000).



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.
Figure 1. Location map of the investigated area.



Şekil 2. İnceleme alanı ve civarının stratigrafik dikme kesiti ve ekonomik bentonit seviyesi (ölçeksiz).
 Figure 2. Stratigraphic column section of the studied area and its vicinity and the layer of economical bentonite reserve (not-to-scale).



Şekil 3. Çantaköy formasyonunu oluşturan tüfit ve bentonit birimleri.
 Figure 3. The main lithologies of Çantaköy formation, tuffite and bentonite units.

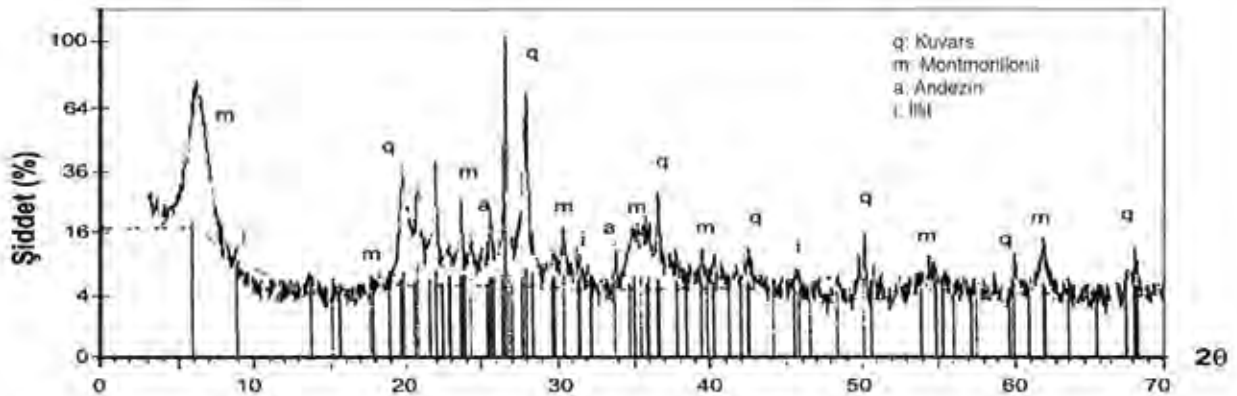
3. BÜYÜKKILIÇLI BENTONİTİNİN ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde, Büyükkılıçlı bentoniti üzerinde yapılan laboratuvar deneylerine yer verilmiştir. Laboratuvar deneyleri, TS 5360 döküm bentoniti standartına (TSE, 1987) uygun olarak yapılmıştır. Öncelikle, doğal haldeki yöre bentonitinin döküm sanayii açısından uygunluğu araştırılmıştır. Mineralojik incelemede Büyükkılıçlı bentonitinin kalsiyum bentonit olduğu ve döküm sanayiinde aranan özellikleri sağlamadığı deney sonuçlarından anlaşılmıştır. Plastisitesi düşük olan bu bentonite soda külü eklenerek özellikleri değiştirilmiştir. Sırasıyla % 2, % 3, % 4, % 5 ve % 6 oranlarında soda konsantrasyonları ile aktifleştirilen bentonit örnekleri üzerinde şişme indeksi deneyleri yapılarak döküm açısından en uygun özellikteki bentonitin soda katkı oranı belirlenmeye çalışılmıştır. Daha sonra döküme en uygun bentonit üzerinde TS 5360'ta (TS, 1987) tarafından öngörülen deneyler yapılmıştır. Laboratuvar deneylerinin sonuçları döküm standartında belirtilen eşik değerlerle karşılaştırılmıştır.

TS 5360 nolu döküm bentoniti standartında; kimyasal analiz, metilen mavisi, pH değeri, seri kireç miktarı, montmorillonit miktarı (iyon değiştirme kapasitesi), kızdırma kaybı, tane büyüklüğü analizi, nem miktarı, likit limit, sinterleşme, jelleşme katsayısı, kolloidal özellik, suda şişme, termal duraylılık, yaş dayanım, kuru dayanım ve gaz geçirgenliği deneylerinin yapılması önerilmektedir. Belirtilen bu özelliklerin belirlenmesine yönelik deney ve analizler, Büyükkılıçlı bentoniti üzerinde gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki paragraflarda açıklanmıştır.

3.1. Mineralojik Özellikler

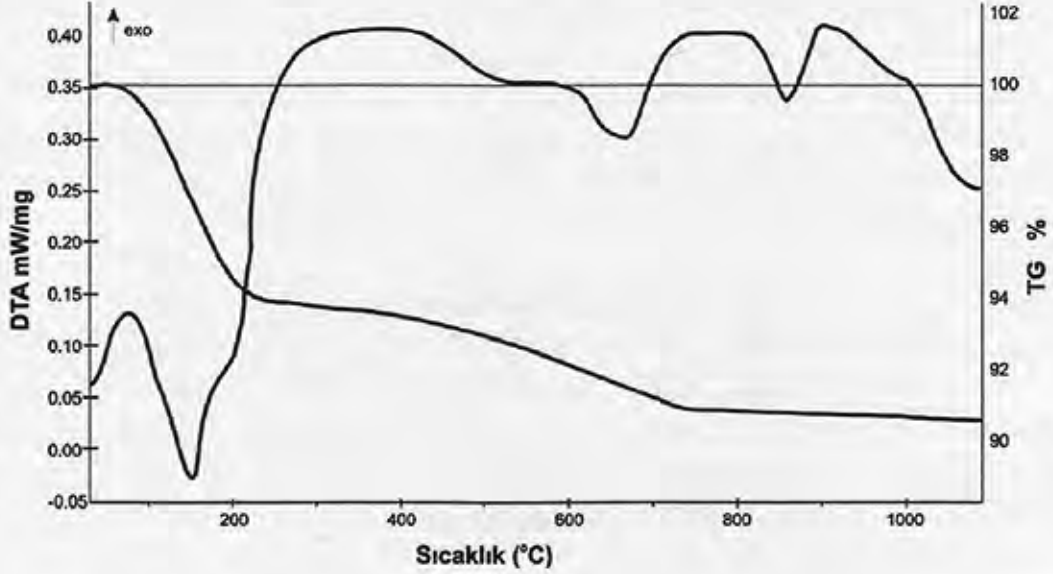
Büyükkılıçlı yöresi bentonitlerinin mineralojik analizi, X-ışınları kırınım (XRD) ölçümleri yöntemiyle yapılmıştır. Grafikler yardımıyla bentonit özelliklerinde montmorillonit mineraline eşlik eden diğer mineral türleri saptanmıştır. İki örnek üzerinde uygulanan analiz sonucunda örneklerin yüksek miktarda simektit gurubuna ait montmorillonit minerali içerdiği belirlenmiştir. Montmorillonit oranı %75'in üzerindedir. Ayrıca, XRD analizinden Büyükkılıçlı bentonitinin kuvars, illit, kaolinit, andezin ve kristobalit gibi mineralleri de içerdiği anlaşılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Büyükkılıçlı bentonitinin XRD difraktogramı.

Figure 4. The diffractogram of XRD of Büyükkılıçlı bentonite.

Öte yandan, iki ayrı noktadan alınan temsili örnekler üzerinde yapılan Diferansiyel Termal Analiz (DTA)'den bentonit örneklerinin farklı ısı davranış gösterdiği anlaşılmaktadır. Her iki örneğin DTA grafiğinde üç ayrı endotermik pik bulunmaktadır (Şekil 5). Örneklerden birinde ağırlık kaybı % 12, diğerinde ise % 9 civarındadır. Anılan grafiklerden bentonitin sinterleşme sıcaklığının 1000 °C'nin üzerinde olduğu saptanmıştır.



Şekil 5. Büyükkılıçlı bentonitin diferansiyel termal analiz (DTA) grafiği.

Figure 5. The graph of differential thermal analysis (DTA) of the Büyükkılıçlı bentonite.

3.2. Kimyasal Özellikler

3.2.1. Kimyasal analizler

Doğal ve ağırlıkça % 2, % 3, % 4, % 5 ve % 6 soda katkısı içeren bentonit örnekleri üzerinde laboratuvar da kimyasal analizler yapılmıştır. Kimyasal analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de sunulmuştur.

3.2.2. Serbest kireç deneyi

Bu deney, hazırlanan bentonit örnekleri içerisinde serbest halde kalsiyum karbonatın bulunup bulunmadığını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Bunun için %5'lik HCl çözeltisi kullanılmıştır. Doğal örneklerde herhangi bir reaksiyon oluşmamıştır. Ancak soda katkılı örneklerde, iyon değişimine bağlı olarak açığa çıkan CaCO_3 'tan kaynaklanan köpürmeler izlenmiştir. Soda katkısıyla reolojik özellikleri değiştirilen endüstriyel bentonitlerde CaCO_3 'ın açığa çıkması nedeniyle asit etkisiyle bu tür reaksiyonları göstermesi doğaldır. İlgili döküm standardında da asit etkisiyle köpürmenin düşük düzeyde olması istenmekte olup, sayısal bir sınır getirilmemektedir.

Çizelge 1. Büyükkılıçlı bentonitine ait doğal ve soda katkılı örneklerin kimyasal analizinden elde edilen sonuçlar.

Table 1. The results of the chemical analysis on natural and sodium carbonate added bentonite specimens obtained from the Büyükkılıçlı area.

Bileşen (%)	Doğal örnek	Soda katkılı örnekler (%)				
		2	3	4	5	6
SiO ₂	61.45	59.54	60.94	60.37	58.52	58.85
Al ₂ O ₃	15.45	14.73	14.46	14.36	14.80	14.87
TiO ₂	0.54	0.52	0.52	0.44	0.51	0.51
Fe ₂ O ₃	6.39	6.31	6.13	5.89	6.36	6.39
CaO	2.36	2.19	2.17	2.57	2.25	2.18
MgO	3.16	3.11	2.89	3.11	3.22	3.21
Na ₂ O	0.54	1.77	2.30	2.23	3.16	3.23
K ₂ O	0.64	0.65	0.70	0.63	0.70	0.69

3.2.3. pH değişimi

Döküm standardında istenen sınır değerleri karşılayıp karşılamadığını belirlemek amacıyla, hazırlanmış olan deney örnekleri üzerinde pH ölçümleri yapılmıştır. Doğal bentonitin pH değeri 9.4 olarak belirlenmiştir. Farklı miktarlarda soda katkısı içerecek şekilde modifiye edilen bentonit örneklerinin pH değerlerindeki değişim Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 6'dan da izleneceği gibi, teknolojik özellikleri açısından en uygun sonuçlar veren % 3 soda katkılı bentonitin pH değeri 10.8 olarak ölçülmüştür. İlgili standarda göre, döküm bentonitin pH'nın 8.0–10.5 arasında kalması istenmektedir. Buna göre, % 3 soda katkılı bentonitin pH değeri standart değer üzerinde.

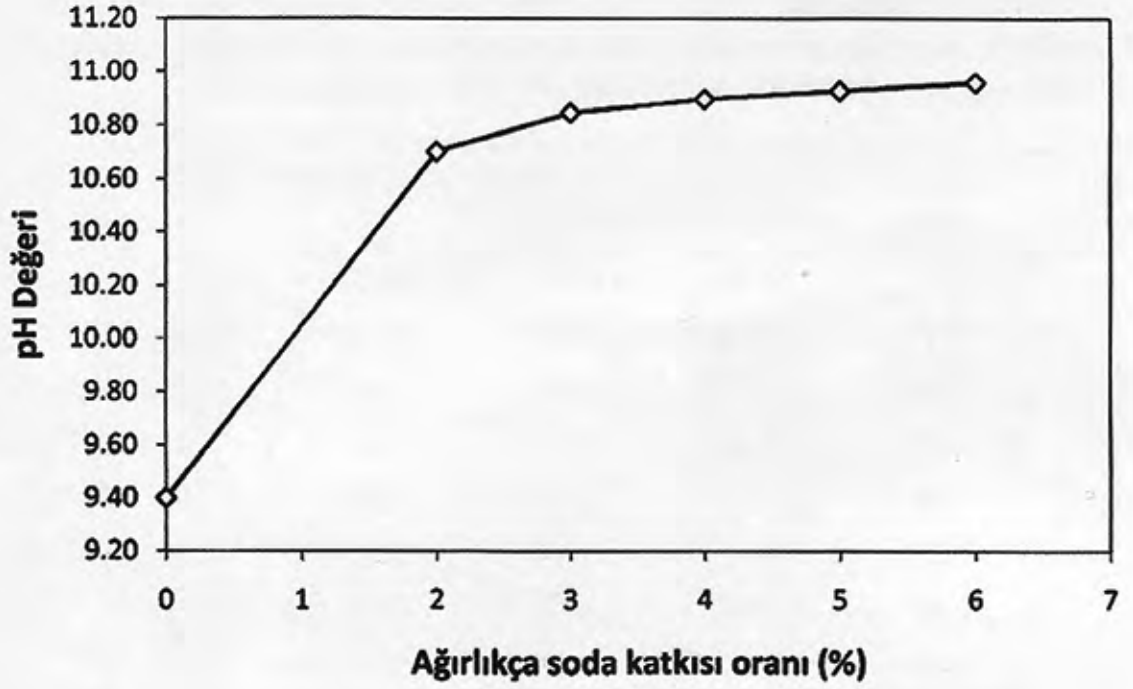
3.2.4. Katyon değiştirme kapasitesi

İlgili standartta da (TS 5360) belirtildiği gibi, bentonit örneklerinin katyon değiştirme kapasiteleri "Metilen Mavis" deneyi yardımıyla belirlenmektedir. Deney sonucunda örneklerin aktif kil (montmorillonit) oranının % 83 ile % 95 arasında olduğu saptanmıştır. Şekil 7'den de görüleceği gibi, % 5 ve % 6 soda katkılı örneklerde, reaksiyon sonucu daha yüksek oranda açığa çıkan CaCO₃ miktarı aktif kil oranı göreceli olarak azalmıştır.

3.3. Fiziksel Özellikler

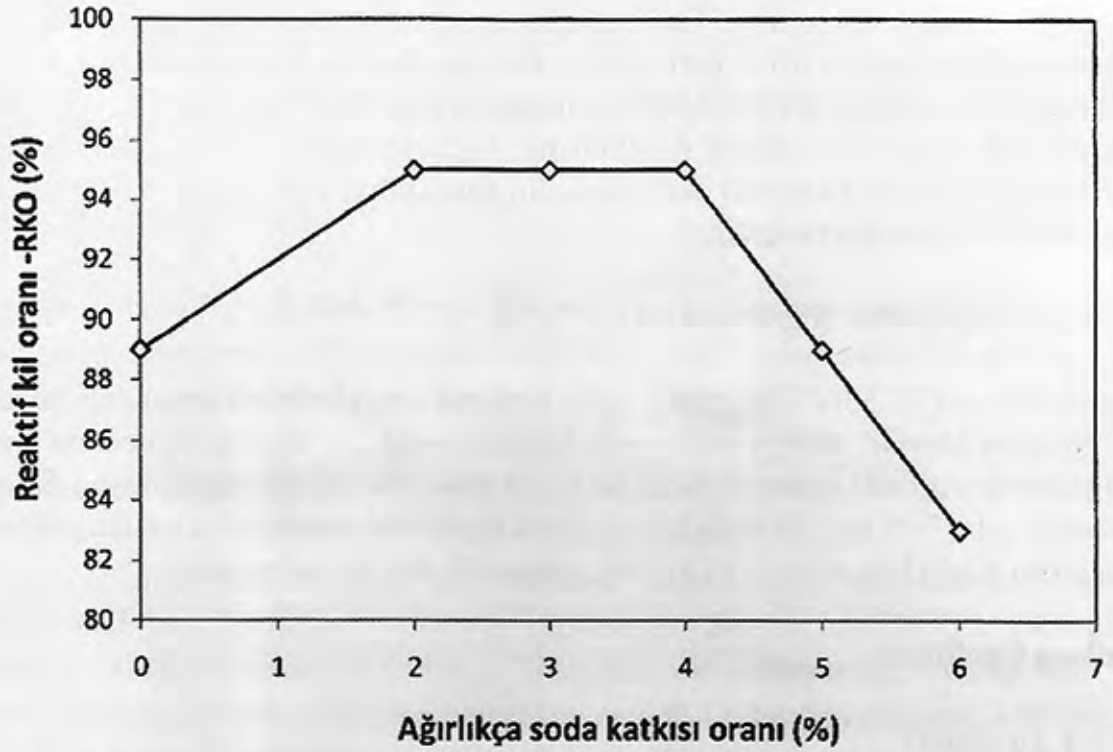
3.3.1. Elek analizleri

Deneyler için hazırlanan bentonit örneklerinin 200 mesh (75 µm) açıklıklı elek altına geçecek şekilde öğütülmesi gerekmektedir. Soda katkısı arttıkça açığa çıkan serbest CaCO₃ oranındaki artışa bağlı olarak bentonitin öğütülebilirliğinin kolaylaştığı saptanmıştır.



Şekil 6. Aktifleştirmede kullanılan soda katkısı oranına bağlı pH değişimi.

Figure 6. Variation of pH value by sodium carbonate percentage added for bentonite activation.



Şekil 7. Doğal ve soda katkılı bentonit örneklerinin metilen mavisi deneylerinden elde edilen aktif kil oranları.

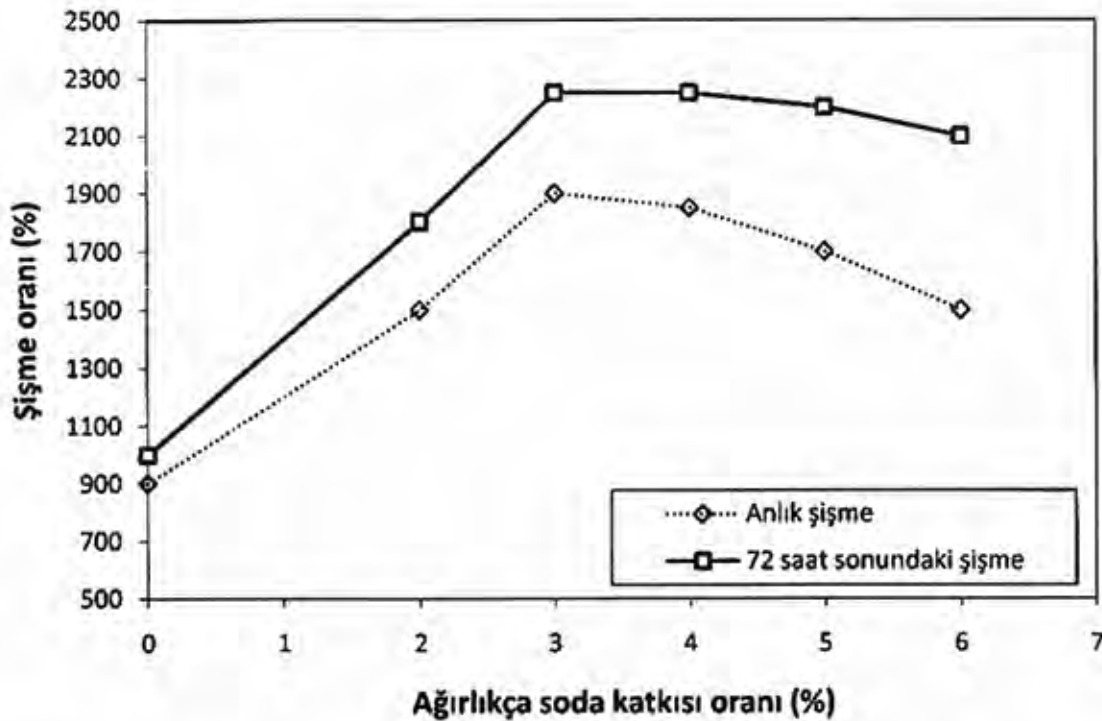
Figure 7. Reactive clay ratios of the natural and sodium carbonate-added bentonite specimens according to methylene blue tests.

3.3.2. Şişme

Bentonitin bünyesine fiziki olarak su alması ve kristal yapının c-ekseni yönünde genişlemesi “şişme” olarak tanımlanmaktadır. TS 5360’a göre (TS, 1987) hazırlanan deney örnekleri 72 saat beklemeye bırakılmış ve bu deneyden elde edilen şişme oranları Şekil 8’de verilmiştir. Buna göre, anlık ve 72 saat sonundaki şişme oranları soda katkısına bağlı olarak önce artmış, % 5 ve % 6 soda katkılı örneklerde ise göreceli olarak azalmıştır. En yüksek şişme oranı % 3 soda katkılı örnekte elde edilmiştir. Bu örnekte % 1900 olan anlık şişme, 72 saat sonunda % 2250 yükselmiştir. Zamana bağlı bu şişme farkı % 18.4 dolayındadır.

3.3.3. Jelleşme katsayısı

Metilen mavisi ve şişme deneylerinin sonuçları dikkate alınarak, jelleşme katsayısı (J_k) üç farklı soda katkılı (% 2, % 3 ve % 4) örnek üzerinde ölçülmüştür. TS 5360’a göre yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir. Bu çizelgeden de görüleceği gibi, standarda jelleşme katsayısı için öngörülen 12 (en az) değeri her üç örnek için de 20 ‘den daha büyük olarak bulunmuştur.



Şekil 8. Soda katkısı oranına bağlı olarak anlık ve uzun süreli şişme oranındaki değişim.
Figure 8. Variations in instant and long-term (after 72 hours) swelling ratio depending on the percentages of sodium carbonate.

3.3.4. Kolloidal yetenek

Kolloidal yetenek deneyi TS 5360’a göre en yüksek şişme değeri veren % 3 soda katkılı bentonit örneği üzerinde yapılmıştır. Standarda göre, en az % 3 olması öngörülen kolloidal yetenek değeri % 5 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2. Farklı oranda soda katkısı içeren bentonit örnekleri için belirlenen jelleşme katsayıları (Jk).

Table 2. Coefficients of gelation (Jk) of bentonite specimens including different proportion of sodium carbonate.

Soda katkısı oranı (%)	Konsantrasyon (g)	Jk
2	0.5	>20
	0.6	
	0.7	
	0.8	
	0.9	
	1.0	
	0.5	
3	0.6	>20
	0.7	
	0.8	
	0.9	
	1.0	
	0.5	
4	0.6	>20
	0.7	
	0.8	
	0.9	
	1.0	

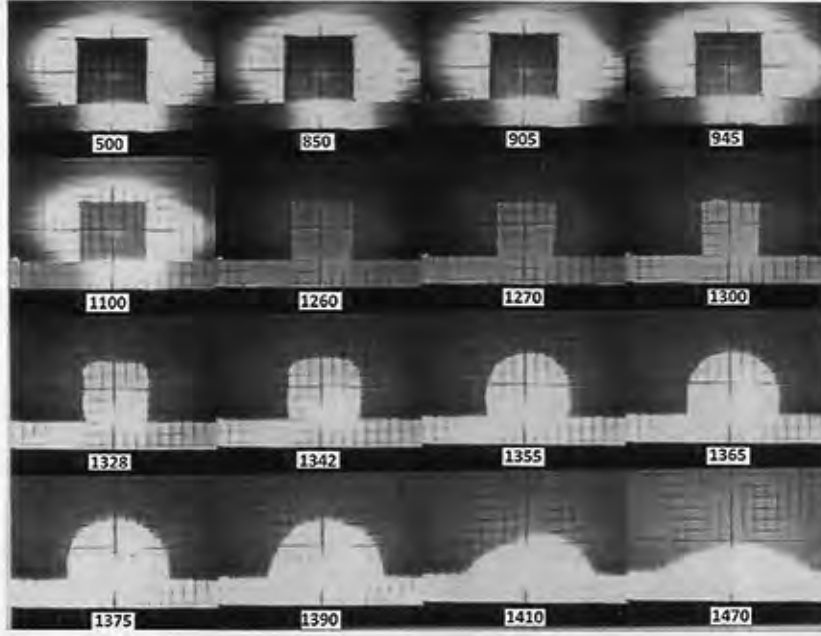
3.3.5. Sinterleşme

Sinterleşme döküm bentonitinin sıcaklık karşısında hacim değişikliği göstermeksizin kısmi ergime ile bentoniti oluşturan tanelerin birbirine yapışması ve direnç kazanmasıdır. Bentonit örneği üzerinde yapılan ve ısı mikroskobu yardımıyla belirlenen ısıl dönüşüm noktaları Şekil 9 da ve Çizelge 3’de verilmiştir.

İlgili standarda (TS-5360) göre, döküm bentonitinin 1300 °C’nin altında sinterleşmiş olması gerekmektedir. Bu durumda araştırma konusu olan bentonitin istenilen sinterleşme sıcaklığını (1240 °C) sağladığı anlaşılmaktadır.

3.3.6. Likit limit

Likit limit deneyi, doğal ve % 2 ve % 3 oranlarında soda katkılı bentonit örnekleri üzerinde yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 10’da karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, soda katkısı likit limit değerini olumlu yönde etkilemiş ve en yüksek değer (% 370) % 3 soda katkılı örnek için elde edilmiştir. Bu durumda, % 3 soda katkılı örnek için belirlenen likit limit değeri döküm bentoniti için önerilen alt sınır değer (% 350) üzerindedir. Deney sonuçlarından hareketle % 3 soda katkısı içeren Büyükkılıçlı bentonitinin döküm sanayiinde istenen likit limit değerini sağladığı söylenebilir.



Şekil 9. Isı mikroskobu yardımıyla farklı sıcaklık aşamalarında alınmış görüntüler ve sıcaklık değerleri.

Figure 9. Images obtained by thermal microscopy at different temperatures and temperature values.

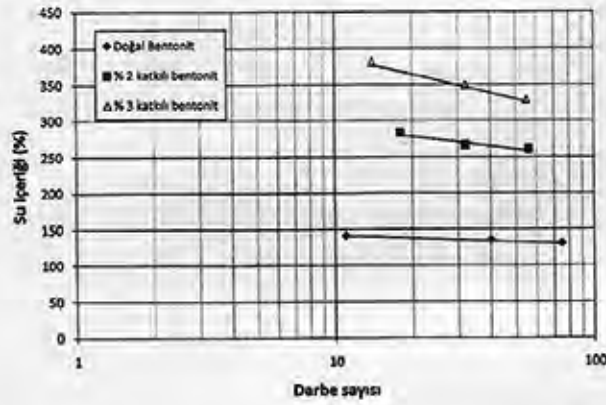
Çizelge 3. Sinterleşme deneyi ile belirlenen ısı dönüşüm noktalarına karşılık gelen sıcaklık değerleri.

Table 3. Temperatures corresponding to the points of thermal transformation after sintering test.

Durum	Sıcaklık Değeri (°C)
İlk küçülme	930
Sinterleşme	1240
Ergime başlangıcı	1245
Küre hali	1350
Ergime noktası	1379
Akma noktası	1415

3.3.7. Gaz geçirgenliği

Döküm bentonitinin gaz geçirgenliği, % 12 döküm bentoniti % 5.5 su ve Amerikan Döküm Birliği'nce önerilen döküm kumu (AFS 40-50 incelikte) ile hazırlanan kalıbın geçirgenliği olarak belirlenmiştir. Gaz geçirgenliği; hem normal karışım, hem de 500 °C sıcaklıkta bekletilen bentonit üzerinde ölçülmüştür. TS 5369'a da en az 175 cm³/s olarak öngörülen gaz geçirgenliği, Büyükkılıçlı bentoniti için 115 cm³/s olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, araştırılan bentonitin gaz geçirgenliğinin standarda uygun olmadığını göstermektedir.



Şekil 10. Doğal ve soda katkılı bentonit numuneleri üzerinde yapılan likit limit deneylerinin sonuçları.

Figure 10. The results of liquid limit tests performed on the natural and sodium carbonate added bentonite specimens.

3.3.8. Isıl duraylılık

Isıl duraylılık % 3 soda katkılı bentonit örneğinde belirlenen aktif kil miktarının, aynı örneğin 110 °C'de kurutularak 500 °C'deki fırında 15 dakika süreyle bekletilmesi sonucundaki aktif kil yüzdesine oranı olarak tanımlanır. TS5360'ta döküm bentonit için en az % 50 koşulu getirilen ısıl duraylılık değeri, deney örneğinde % 67 olarak bulunmuş ve bu açıdan da malzemenin standarda uygun olduğu anlaşılmıştır.

3.4. Mekanik Özellikler

Isıl işlemlerden geçirilmemiş % 3 soda katkısı içeren bentonit üzerinde, kuru ve yaş halde tek eksenli sıkışma dayanımı ile ıslak halde çekilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. 500 °C'lik ısıl işleminden geçirilen örnek üzerinde ise, bu deneylere ek olarak ezilme ve makaslama dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Isıl işleminden geçirilmemiş soda katkılı bentonit örnekleri üzerindeki deneyler TS 5360'a göre hazırlanan örnekler üzerinde yapılmıştır. Standartta tanımlanan deney aleti kullanılarak yapılan deneyler sonucunda kuru ve yaş tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri sırasıyla 2990 g/cm² ve 2546 g/cm² olarak ölçülmüştür. % 3 soda katkılı bentonit örneklerinin ıslak çekilme dayanımı ise 57 g/cm² olarak bulunmuştur. Bu çalışmada, karşılaştırma kolaylığı açısından, ilgili standartta tanımlanan birimler aynen kullanılmıştır.

500 °C'de ısıl işleme tabi tutulmuş % 3 soda katkılı bentonit örneği üzerinde yukarıda numarası belirtilen standarda göre gerçekleştirilen deneyler sonucunda katkılı bentonitin ezilme dayanımı 350 g/cm², makaslama dayanımı 560 g/cm², ıslak halde çekilme dayanımı 43 g/cm² ve kuru haldeki tek eksenli sıkışma dayanımı 2630 g/cm² olarak belirlenmiştir (Çizelge 4).

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Laboratuvar sonuçlarına göre, % 3 soda katkısıyla aktifleştirilmiş Büyükkılıçlı bentonitinin pH ve gaz geçirimsizliği dışındaki diğer özelliklerinin TS 5360'a uygun olduğu saptanmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Büyükkılıçlı bentonitinin Çizelge 4'de verilen ve dünyada yaygın olarak kullanılan bentonitlerden daha kaliteli olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4. Soda katkılı Büyükkılıçlı bentonitinin özelliklerinin döküm bentoniti standardında ön-görülen sınır değerler ve bazı bilinen bentonit türleri ile karşılaştırılması.

Çizelge 4. Comparison of the properties of sodium carbonate added Büyükkılıçlı bentonite with the values specified in standard for cast industry and known cast bentonite in the World.

Özellikler		Büyükkılıçlı (İstanbul)	Haneli (Çankırı)	Sungurlu (Çorum)	Kurşunlu (Çankırı)	Mitos (Yunanistan)	Gekos (Yunanistan)	Toscana (İtalya)	TSE 5360 Sınır Değer
Likit limit	(%)	378	-	-	-	-	-	-	>350
Ufalanma direnci	(%)	9.17	17	-	-	-	-	-	-
Nem	(%)	10.3	4.6	8.5	11.2	14	10.2	9.1	>%10
E-Faktörü	(%)	-	4.08	3.84	4.08	-	-	4.17	-
Şişme indeksi	ml	22	27	17	23	27	25	32	>16
Montmorillonit	(%)	87	73	75	75	80q	80	80	>% 75
Jelleşme katsayısı	(%)	>20	12.5	14.28	11.11	20	20	20	>8.3
Suda çökme	(%)	yok	yok	yok	yok	yok	yok	yok	-
Sinterleşme sıcaklığı	(° C)	1240	1100	1050	1050	-	-	-	<1300
Yanma kaybı	(%)	8.05	8.5	5.15	8	-	-	6.5	<% 6.5
Kireç	(%)	az	yok	var	var	az	az	az	olmamalı
pH		10.3	-	9.22	9.7	9.94	-	8-10.5	-
Kompaktibilite	(%)	39.7	40.5	40	40	40.4	40.3	40	-
Karışım nemi	(%)	3.71	3.5	2.92	3.6	3.78	3.68	3.6	-
Yaş sıkışma dayanımı	(g/cm2)	2546	1840	2510	2470	2140	2310	2100	>1200
Ezilme dayanımı	(g/cm2)	440	260	420	380	340	400	360	-
Makaslama dayanımı	(g/cm2)	700	360	610	640	560	570	560	>30
Islak Çekilme dayanımı	(g/cm2)	57	35	37	40	43	40	44	-
Kuru sıkışma dayanımı	(g/cm2)	2960	4710	3715	2220	2685	2950	2800	>900
Gaz geçirgenliği	(cm3/s)	90/115	65 / 70	-	-	80 / 85	75 / 80	90 / 95	>175
Isıya dayanımı	(550°C)	550° C	550° C	550° C	550° C	550° C	550° C	550° C	550° C
Kompaktibilite	(%)	40.6	-	40	40	-	-	-	-
Karışım Nemi	(%)	3.91	-	3.4	3.6	-	-	-	-
Yaş sıkışma dayanımı	(g/cm2)	2170	-	2045	1570	-	-	-	>600
Ezilme dayanımı	(g/cm2)	350	-	350	235	-	-	-	-
Makaslama dayanımı	(g/cm2)	560	-	490	350	-	-	-	>15
Islak Çekilme dayanımı	(g/cm2)	43	-	28	27	-	-	-	-
Kuru sıkışma dayanımı	(g/cm2)	2630	-	3450	1900	-	-	-	>450
Gaz geçirgenliği	(cm3/s)	90	-	-	-	-	-	-	>83
Ufalanma direnci	(%)	8.98	-	-	-	-	-	-	-

Döküm standartına uygun doğal bentonit rezervleri dünyada oldukça sınırlıdır. Mevcut döküm standardı bu tür bentonitler esas alınarak hazırlanmıştır. Durumun böyle olmasına rağmen, artan bentonit taleplerinin büyük bir kısmı işlemden geçirilen (aktifleştirme) bentonitlerle karşılanmaktadır. Aktifleştirilmiş bentonitlerde ise asitle köpürme, pH ve gaz geçirgenliği gibi bazı özellikler döküm standartına uygun hale getirilememektedir. Bu nedenle, uygulamadaki döküm standartında, aktifleştirilmiş bentonit özellikleri de dikkate alınarak bazı yeni düzeltmelerin yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Erdinç, Ş.Ş., 1976. Bentonitlerin metalurjideki uygulamalar yönünden araştırılması ve Reşadiye bentonitlerinin bu açıdan incelenmesi. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erdoğan, M., 2006. Türkiye döküm bentoniti potansiyeline genel bir bakış: Güncel durum, öngörüler ve sorunlar. Kil Bilimleri ve Teknolojisi, 1, 1-5
- Erdoğan M., Eren, R.H. ve Oktay, F.Y., 1999. Silivri çevresindeki Ergene formasyonunun agrega potansiyeli ve özellikleri. 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul, 113-128
- Gül, R., 1989. Adsorbsiyon olayı ile katyon değiştirme kapasitesi arasındaki ilişki. IV. Ulusal Kil Sempozyumu, Sivas, 195-202
- Güler, Ç. ve Danık M., 1989. Asitle aktifleştirilmiş killerin katyon değişim kapasitesi. IV. Ulusal Kil Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Sivas, 189-193
- Güngör, N., 1981. Bentonitik kil minerallerinin yapı ve özellikleri üzerine değişebilen katyonların etkilerinin fiziksel yöntemlerle incelenmesi. Doktora Tezi, İTÜ Temel Bilimler Fakültesi, İstanbul.
- Kahya, Ç., 1988. Ünye-Fatsa arası bentonit oluşumlarının jeolojik incelenmesi. Bitirme Ödevi, İTÜ Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Sakıncı, M., Yaltırak, C. ve Oktay, F.Y., 1999. Paleogeographical and tectonic evolution of the Trace Neogene Basin and the Tethyon-Paratethyon relations at Northwest Turkey (Trace). Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, 153, 17-40.
- Sayar, C., 1976. Haliç civarının jeolojisi. İstanbul Haliç Sorunları Çözüm Yolları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul, 355-374
- TSE., 1987. Döküm Bentoniti - TSE 5360, Ankara.
- Umut, M., Kurt, Z. ve İmik, M., 1983. Tekirdağ – Silivri (İstanbul) - Pınarhisar (Kırklareli) alanının jeolojisi. MTA Rapor No. 7349, Ankara.
- Umut, M., İmik, M., Kurt, Z., Özcan, I., Ateş, M., Karabıyıkoglu, M. ve Saraç, G., 1984. Lüleburgaz (Kırklareli), Uzunköprü (Edirne) civarının jeolojisi. MTA Rapor No. 7604, Ankara.
- Yenipazar, Y., 2000. Büyükkılıçlı (Silivri) bentonitinin döküm ve sondaj sanayi yönünden özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

FARKLI KÖKENLİ DOĞAL KUMLARIN BETONDA ALKALİ SİLİS REAKSİYONU YÖNÜNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Evaluation of Alkali-Silica Reactivity of Natural Sands with Different Origins

Selahattin HASDEMİR¹, Atiye TUĞRUL², Murat YILMAZ²

¹Sej Beton Madencilik San. ve Tic. A.Ş. Ambarlı, İstanbul

²İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul

ÖZ

Beton üretiminde yaygınca kullanılan doğal kumlar içerdikleri minerallerin türüne göre alkali-silis reaksiyonuna neden olabilirler. Bu çalışmanın amacı, farklı kökenli kumların alkali-silis reaktivitesini karşılaştırmaktır. Örnekler; Karadeniz Kıyısı-Akpınar, Trakya-Çorlu, Muratlı ve Sinekli, İstanbul-Ömerli ve Bursa-Mustafakemalpaşa bölgelerinde bulunan yedi farklı kum ocağından alınmıştır. Kumların alkali-silis reaktiviteleri petrografik, mineralojik, kimyasal incelemeler ve hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri ile araştırılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda çört, kalsedon vb. aktif silis mineralleri ile metamorfik kökenli kaya parçaları içeren kumların alkali-silis reaksiyonu açısından tehlikeli olabileceği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alkali-silis reaksiyonu, kum, Marmara Bölgesi.

ABSTRACT

Natural sands, widely used in concrete production, may cause alkali-silica reactions according to their mineral composition. The aim of this study is to compare alkali-silica reactivities of sands with different origins. The samples were collected from seven different quarries located in Black Sea Shore-Akpınar region, Thrace, Çorlu and Muratlı and Sinekli regions, İstanbul-Ömerli region and Bursa-Mustafakemalpaşa region. The alkali-silica reactivities of the sands were investigated by petrographic, mineralogic and chemical analyses, and accelerated mortar bar tests. Based on the assessments, sands containing active silica minerals such as chert, chalcedony etc., and metamorphic rock particles are found to be potentially dangerous for alkali-silica reactions.

Key words: Alkali-silica reaction, sand, Marmara Region.

1. GİRİŞ

Alkali-silis reaksiyonu (ASR); reaktif silis formları içeren agregaların çimento ve/veya dış kaynaklardan gelen alkali oksitlerle reaksiyona girmesi ve bunun sonucunda genleşebilme yetisine sahip bir jelin meydana gelmesidir (Neville, 1981; Moranville-Regourd, 1997). Bu

jel, su emdikçe hacmi daha çok artmakta ve betonda çatlamlara neden olmakta (Nixon ve Page, 1987; Binal, 2008) ve bu çatlaklar betonun dayanımını önemli oranda düşürmektedir (Fookes, 1980; Struble ve Diamond, 1981; Wakizaka, 1998; Marzouk ve Langdon, 2003).

Reaksiyonun oluşabilmesi için çimentodaki alkali içeriğinin $\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{ K}_2\text{O}$ değerinin % 0.60'ı ve ortamdaki nemin 20 °C sıcaklıkta % 85'i aşması gerekir (Arnould, 1997). Bu koşullardan herhangi biri olmazsa alkali-silis reaksiyonu nedeniyle bir genleşme de olmayacaktır. Bunun dışında ortamın gözenekliliği de reaksiyon açısından önemlidir (Swamy, 1992; Moranville-Regourd, 1997; Rivard vd., 2002).

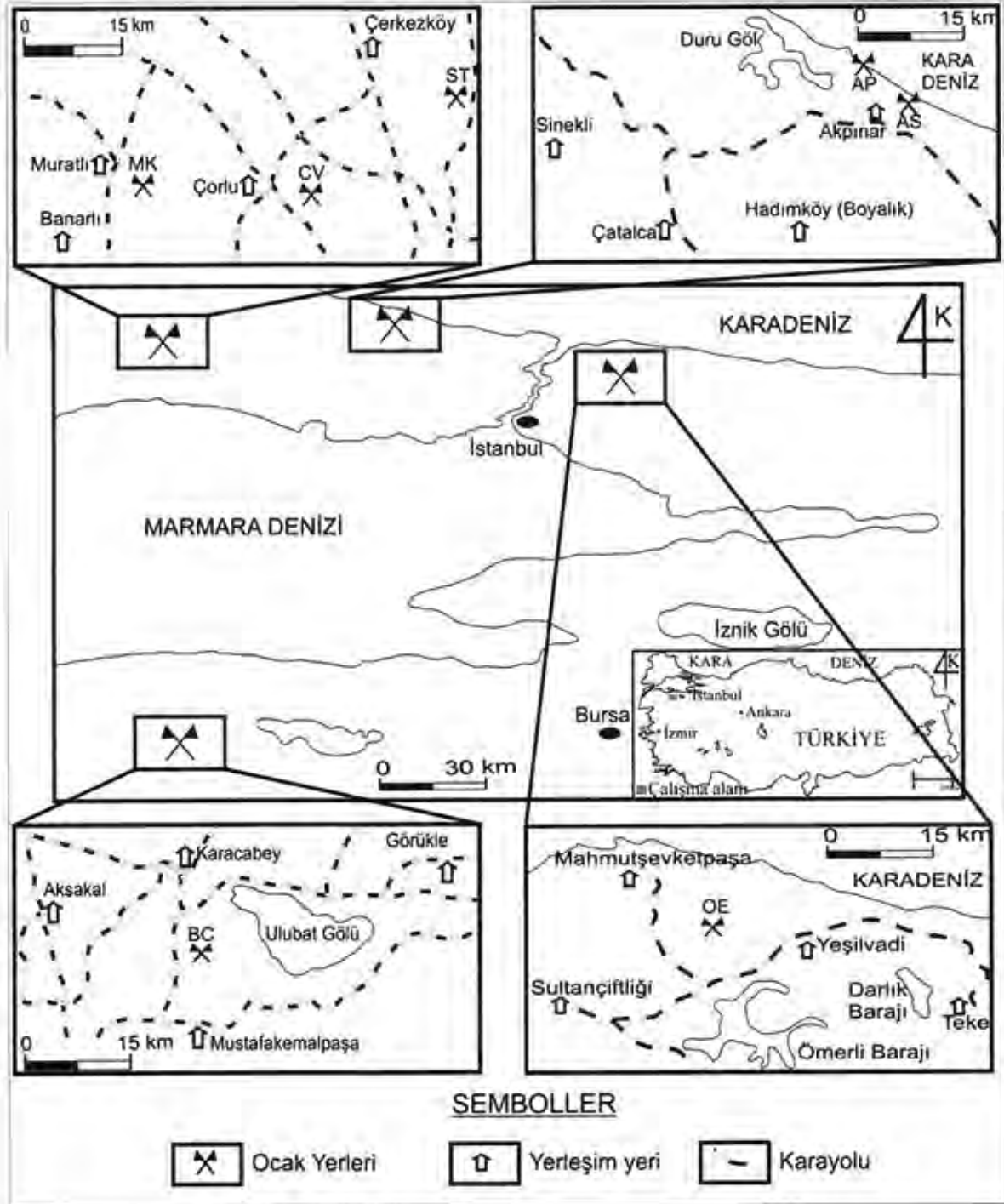
Bazı agregalar kökenleri ile ilgili olarak reaksiyona girebilen silisten oluşan bileşenleri içerebilirler. Bu tür bileşenler, betonun boşluk suyunda çözünen alkali hidroksit ile güçlü bir kimyasal reaksiyona girer ve önce berrak, çoğunlukla yüksek konsantrasyonlu ve sonra yüksek viskoziteli alkali silis çözeltisini meydana getirir (Ben Haha, 2006). Agreganın alkaliye duyarlı bileşenleri böylece yumuşar ve çözünür (Swamy, 1992). Reaksiyon süresi ve şiddeti, özellikle agreganın alkaliye duyarlı bileşenlerinin cins ve miktarına, tane büyüklüğüne ve dağılışına, betonun boşluğunda bulunan çözeltideki alkali hidroksit miktarına ve sertleşmiş betonun çevre koşullarına bağlıdır (Hobbs ve Gutteridge, 1979; Stark vd., 1993; Gillott ve Rogers, 1994; Prince vd., 2001). Bu nedenle, alkaliye duyarlı tanelerin tek başına değerlendirilmesi yeterli değildir (Fookes, 1980; Swamy, 1992; Fournier ve Berube, 2000).

Agregayı oluşturan bileşenlerin tümü ve formu agreganın reaktifliğini belirler. Alkali-silis reaksiyonu ilk kez Stanton (1940) tarafından tanımlanmıştır. Reaksiyona neden olan mineraller; opal (McConnell vd., 1950; Ineson, 1990; Bell, 1998), kalsedon ve volkan camı (Rhoades, 1942; McConnell vd., 1950; Katayama ve Kaneshige, 1986; Ineson, 1990; Shriver vd., 2000), kriptokristalin kuvars (Stanton, 1940), tridimit (Hornibrook vd., 1943; McConnell vd., 1950; Ineson, 1990; Bell, 1998), kristobalit (Landgren ve Sweet, 1952; Mielenz, 1954; Ineson, 1990) ile basınç etkisinde kalmış çatlaklı kuvarstır (McConnell vd., 1950; Gogte, 1973; Bell, 1998). Alkali-silis reaksiyonu konusunda yapılan araştırmalarda fillitler içerisinde bulunan hidromikanın (illit) alkali-silikat reaksiyonuna neden olduğu ifade edilmiştir (McConnell vd., 1950; Bell, 1998; Lorenzi vd., 2001). Alkali-agrega reaksiyonunun belirlenmesi amacıyla birçok standart geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları; BS 7943 (1999), BS 812: Part 123 (1999), TS 2517 (1977), ASTM C 289 (1994), ASTM C 295 (1994), ASTM C-1260 (1999) ve CSA A23.2 (1994)'dir.

Bu çalışmada öncelikle, kumlarda alkali-silis reaksiyonuna yol açabilen minerallerin varlığı binoküler mikroskop incelemeleri ve X-ışınları kırınım (XRD) analizleriyle, kimyasal analizlerle ise kumların içerdiği ana element oksitleri belirlenmiştir. Ayrıca, kum tanelerini polarizan mikroskopta incelemek amacıyla kumlar ile harç küpleri hazırlanmış ve bu küplerden yapılan ince kesitler üzerinde petrografik incelemeler yapılmıştır. Daha sonra, ASTM C 1260 (1999) tarafından verilen esaslara uyularak hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri ile kumların alkali-silis reaktivitesi araştırılmıştır. SEM (taramalı elektron mikroskop) incelemeleri ile reaksiyon ürünlerinin gelişimi ve agrega-çimento sınırı incelenmiştir.

2. İNCELENEN DOĞAL KUMLARIN JEOLÖJİK ÖZELLİKLERİ

Örnekleme işlemlerinin yapıldığı Karadeniz-Akpınar bölgesi, Trakya-Çorlu, Muratlı ve Sinekli bölgeleri, İstanbul-Ömerli bölgesi ve Bursa-Mustafakemalpaşa bölgesinde bölgesel anlamda farklı jeolojik kökenlere sahip gevşek tutturulmuş kayaçlar ile kumlar bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Örneklerin alındığı ocakları gösterir lokasyon haritası.

Figure 1. Map showing the locations of the quarries where sampling was carried out.

Karadeniz-Akpınar bölgesinden 2 farklı kum örneği alınmış olup, bu örnekler AP ve AS kodu verilmiştir. Tane boyları 0-1 mm arasında değişen kumlara ait AP kodlu örnek deniz kumu olup, bol miktarda kavkı içermektedir. AS kodlu örnek ise kıyı kumullarına aittir. Kıyı bölgesindeki az eğimli birikimsel düzlüklerde ve akarsuların ağız bölümlerindeki lagünlerde depolanan kumul çökeltileri az tutturulmuş ve bol kavkılı olup, küçük çakıl, kum, silt ve kilden oluşur. Trakya-Çorlu, Muratlı ve Sinekli bölgelerinden derlenen kum örneklerine ST, MK ve CV kodları verilmiştir. ST kodlu örnek; sarımsı-kahverengimsi, yer yer grimsi yeşil kil ara seviyeleri içeren, yer yer çok gevşek tutturulmuş çakıllar ile ardalanmalı beyaz, sarımsı-kahverengimsi kumlu düzeylerden alınmıştır. Tane boyları 0-3 mm arasında değişmektedir. MK ve CV kodlu örnekler ise; sarımsı-beyaz kum, çakıl ve grimsi-yeşil kil-silt ardalanması içindeki kumlu düzeylerden alınmıştır. Kumlar iyi derecelenmemiş, genellikle gevşek tutturulmuş ve dağınık olup, bazı kesimleri yığılma şeklinde çakıl içerir ve tane boyları 0-3 mm arasında değişim gösterir. İstanbul-Ömerli bölgesinde OE kodu verilen kumlar genel olarak; yeşil, yeşilimsi-gri, gri ve kirli beyaz, ince tabakalı, kömürlü, şeyl, marn, siltaşı ve kilaşı ile mercerler halinde bulunan beyaz, kızılımsı-kahverengimsi ve yer yer kırmızı-pembe, çapraz tabakalı, çok gevşek tutturulmuş kuvars kumtaşı ve çakıltaşıdan oluşan düzeylerden alınmıştır ve kumların tane boyları 0-3 mm arasında değişmektedir. BC kodlu kum ise, Bursa-Mustafakemalpaşa bölgesindeki alüvyondan alınmıştır (Hasdemir, 2007) (Çizelge 1).

Çizelge 1. Kum örneklerinin alındığı yerler, renkleri, çökelme ortamları ve yaşları.

Table 1. Locations, colours, depositional setting and ages of the sand samples.

Örnek kodu	Alındığı yer	Renk	Çökelme ortamı	Yaş
AS	Karadeniz kıyısı	Grimsi beyaz, sarımsı	* Kıyı kumu (kumul)	* Holosen
AP	Karadeniz kıyısı (denizden)	Grimsi beyaz, sarımsı	* Denizel	* Holosen
MK	Trakya-Muratlı	Beyazımsı sarı	* Karasal-akarsu (alüvyal-flüvyal)	* Orta-Üst Miyosen
CV	Trakya-Çorlu	Kahverengimsi sarı-beyaz	* Karasal-akarsu (alüvyal-flüvyal)	* Orta-Üst Miyosen
ST	Trakya-Sinekli	Kahverengimsi sarı-beyaz	* Karasal-akarsu (alüvyal-flüvyal)	* Orta-Üst Miyosen
OE	İstanbul-Ömerli	Beyazımsı sarı	** Karasal (alüvyal)	** Üst Oligosen-Alt Miyosen
BC	Bursa-MustafaKemalpaşa	Sarımsı beyaz-kahverengimsi gri	* Karasal-akarsu (alüvyal-flüvyal)	* Kuvaterner

* Gedik vd. (2005)'ten alınmıştır.

** Duman vd. (2004)'ten alınmıştır.

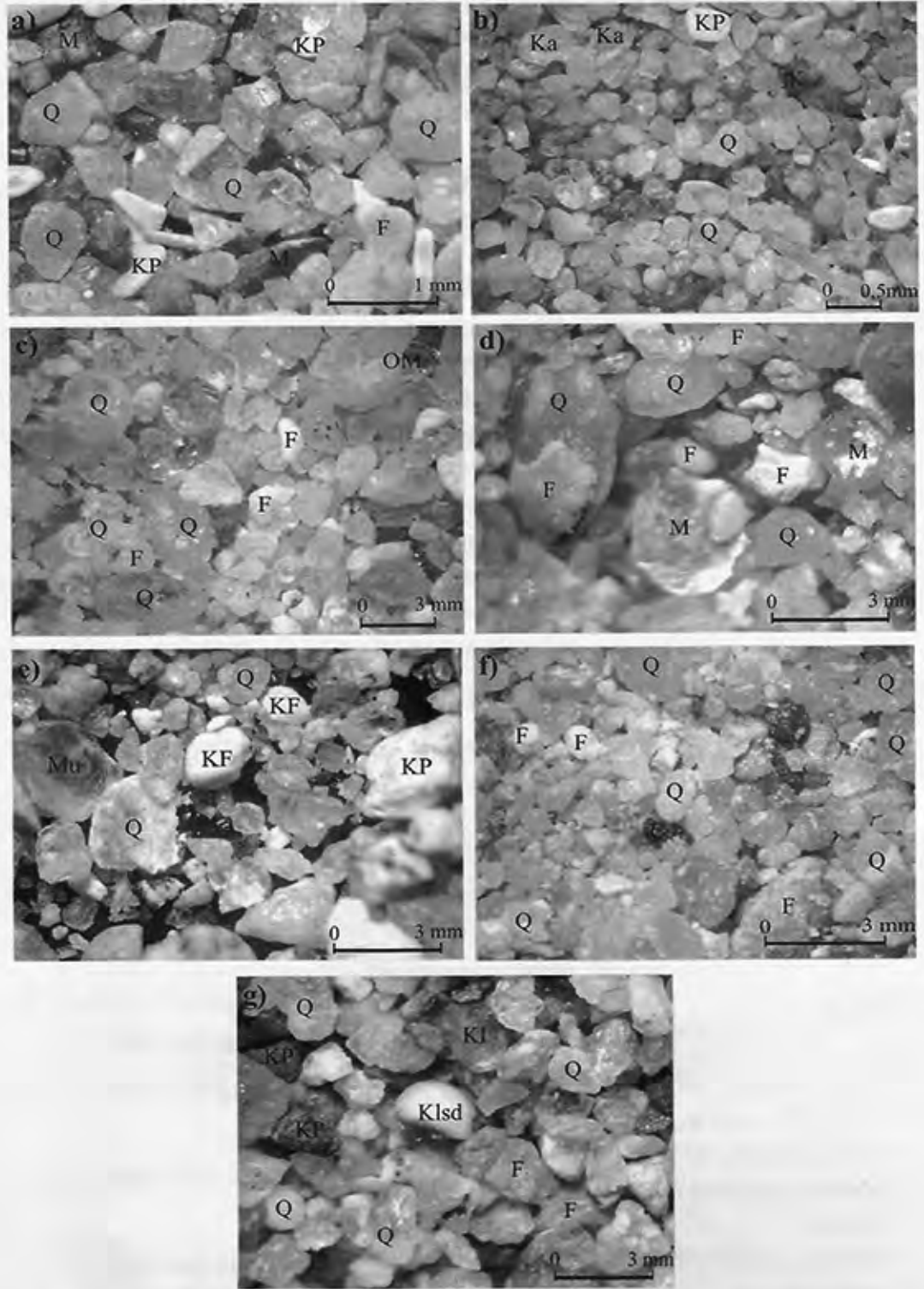
3. İNCELENEN KUMLARIN MİNERALojİK, PETROGRAfİK VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Kum örnekleri üzerinde yapılan binoküler mikroskop incelemeleri sonucunda, kumların tane şekilleri ile içerdikleri mineral ve kayaç parçaları belirlenmiştir (Çizelge 2). AP kodlu örnek; yaklaşık %50-60 oranında kuvars, kalsit, feldispat, muskovit, ametist, klorit, çakmaktaşı, epidot ve kalsedon taneleri ile yaklaşık %30 kavkı parçası (mactra ve gastropod) içermektedir (Şekil 2a). AS kodlu örnek ise; % 95-97 oranında kuvars ve az oranda kalsit, çört/kalsedon (% 1-2) ve feldispat ile yaklaşık % 3-5 kavkı kırıntısı içermektedir (Şekil 2b). MK kodlu örnek; kuvars (yaklaşık % 95-98), muskovit, feldispat, kil, granit kökenli tanelerden (Şekil 2c), CV kodlu örnek; saydam ve süt beyaz kuvars (% 80-90), muskovit (% 5-6), klorit (% 2-3), kil (beyaz, kaolinitik?), biyotit, kalsedon (en fazla % 3), epidot, fillat, zirkon ve granat kökenli tanelerden (Şekil 2d), ST kodlu örnek ise; MK kodlu örneğe benzemekte olup (kil oranı daha fazla), saydam ve süt kuvars, muskovit, biyotit (% 2-3), granat ve kilden oluşmaktadır (%10'dan az) (Şekil 2e). OE kodlu örnek; diğer örneklerle oranla daha fazla oranda kil içermekte (yaklaşık % 20) olup, diğer taneler ise süt beyaz, sarı, gri kuvars (yaklaşık % 80) ve kaya parçasından oluşmaktadır (Şekil 2f). BC kodlu örnek ise; sarımsı, pembemsi, saydam ve beyaz renkli kuvars, muskovit, kloritleşmiş biyotit, epidot, çört/kalsedon, biyotit, mikaşist, granit, volkanik parçalar, arduvaz ve fillat kökenli taneleri içermektedir (Şekil 2g).

Çizelge 2. Binoküler mikroskop ve XRD analizlerine göre kum örneklerinin mineral içerikleri.

Table 2. *Mineralogical composition of the sands according to binocular microscope and XRD analyses.*

Örnek kodu	Mineralojik ve petrografik bileşim	
	Binoküler mikroskop tanımlaması	XRD analizi (Bolluk sırasına göre)
AS	Kuvars/kalsit, çört/kalsedon, feldispat, muskovit, kavkı parçası	Kuvars, kalsit, feldispat (K,Plj), muskovit
AP	Kuvars/kalsit, feldispat, muskovit ametist, çört/kalsedon, klorit, kavkı parçası	Kuvars, kalsit, feldispat (K,Plj), muskovit
MK	Kuvars, muskovit, feldispat, granit parçaları, kil	Kuvars, feldispat (K,Plj), muskovit/illit, dolomit
CV	Kuvars, feldispat, muskovit, klorit, kil, kalsedon, kayaç parçaları (fillit, şist), epidot, zirkon, granat	Kuvars, feldispat (K,Plj), muskovit, montmorillonit, dolomit
ST	Kuvars, muskovit, biyotit, granit parçaları, kalsedon, kaolinleşmiş feldispat taneleri	Kuvars, feldispat (K,Plj), muskovit, dolomit, montmorillonit
OE	Kuvars, kayak parçaları, kil, çört/kalsedon	Kuvars, feldispat (K,Plj), illit, kaolinit
BC	Kuvars, mika, granit parçaları, çört/kalsedon, biyotit, kil, kayaç parçaları (mikaşist, volkanik kayaç, fillit)	Kuvars, feldispat (K,Plj), muskovit, kaolinit, kalsit, dolomit



Şekil 2. Kum örneklerine ait binoküler mikroskop görüntüleri: (a) AP, (b) AS, (c) MK, (d) CV, (e) ST, (f) OE, (g) BC (Q: Kuvars, F: Feldispat, K: Kil, KP: Kavkı parçası, Ka: Kalsit, M: Mika, OM: Oksitli mineral, Mu: Muskovit, KF: Kaolinleşmiş feldispat, Kl: Klorit, Klsd: Kalsedon).

Figure 2. Binocular microscope photographs of the sand samples: (a) AP, (b) AS, (c) MK, (d) CV, (e) ST, (f) OE, (g) BC (Q: Quartz, F: Feldspar, K: Clay, KP: Shell grain, Ka: Calcite, M: Mica, OM: Oxidized mineral, Mu: Muscovite, KF: Kaolinized feldspar, Kl: Chloride, Klsd: Chalcedony).

Binoküler mikroskop incelemeleri ile mineral içerikleri saptanan örneklerin ayrıca, SHIMADZU XRD-6000 cihazı ile Cu X-Işını tüpü ($\lambda=1.5405$ Angstrom) kullanılarak X-Işını toz difraksiyon desenleri çekilmiştir. Bu desenler üzerinde yaklaşık pik şiddetlerine göre bulunan bileşikler tanımlanmıştır. Çizelge 2’de kum örnekleri üzerinde yapılan XRD analizlerine göre, kumların içerisindeki kuvars, feldispat, kalsit, muskovit ve illit mineralleri bolluk sırasına göre sunulmuştur.

Kum tanelerinin petrografik özelliklerinin saptanması amacıyla kum örnekleri ile harç ve katılaşmış harç örneklerinden ince kesitler hazırlanmıştır. Bu ince kesitler polarizan mikroskop altında incelenmiştir (Şekil 3). AS kodlu örnek; kuvars, kuvarsit parçası, plajiyoklas, metamorfik kayaç parçası ve oksitlenmiş mineral (Şekil 3a); AP kodlu örnek; kuvars, kuvarsit parçası ve kalsit (Şekil 3b); CV kodlu örnek; kuvars, plajiyoklas ve şist parçaları (Şekil 3c); ST kodlu örnek; kuvars, plajiyoklas, kalsedon, kuvarsit ve kayaç parçaları (Şekil 3d); OE kodlu örnek; kuvars, K-feldispat ve kuvarsit parçası (Şekil 3e); BC kodlu örnek ise, kuvars, kalsedon, kuvarsit ve kayaç parçaları içermektedir (Şekil 3f). Doğal kumlardan üretilen ve Çizelge 3’de özellikleri verilen ve çimentoyla hazırlanan harçlar içindeki minerallerin türleri incelendiğinde, betonda alkali silis reaksiyonuna neden olabilecek minerallerin varlığı açıkça görülmektedir.

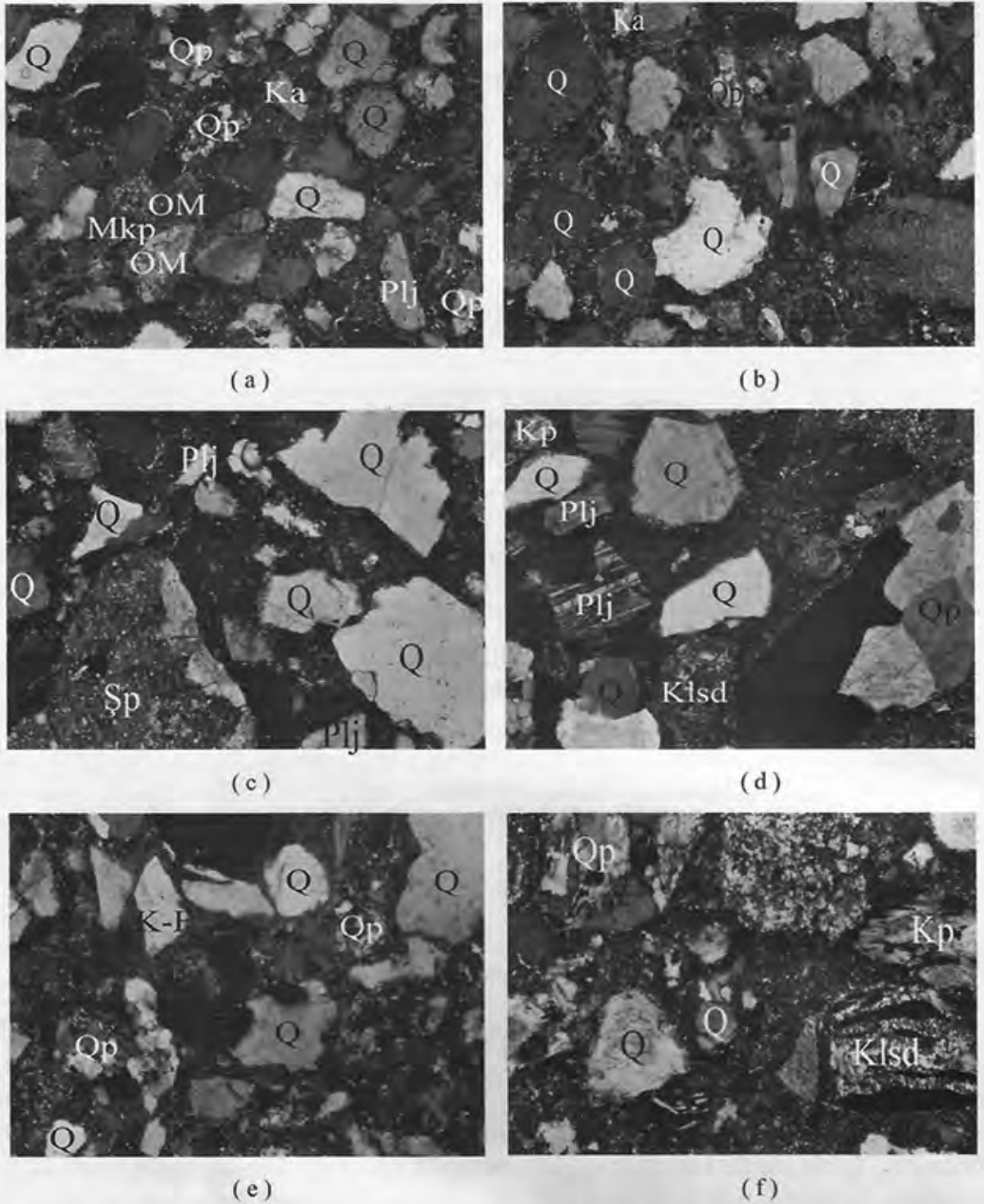
İncelenen kumların kimyasal bileşimlerini belirlemek için yarı kantitatif element analizi ile kimyasal analiz yapılmıştır ve içerdikleri ana element oksit yüzdeleri saptanmıştır. Şekil 4 ve 5’de görüldüğü gibi; örneklerdeki SiO_2 içeriği % 68.74-90.67 arasında (Şekil 4), Na_2O içeriği % 0.30-1.70 arasında, MgO içeriği % 0.36-5.17 arasında, Al_2O_3 miktarı % 5.01-13.53 arasında, SO_3 içeriği % 0.04-0.52 arasında, K_2O miktarı % 2.04-4.20 arasında, CaO miktarı % 0.42-17.19 arasında ve Fe_2O_3 miktarı % 1.01 - 3.98 arasında değişmektedir (Şekil 5).

3. ALKALİ SİLİS REAKSİYONU

3.1. Hızlandırılmış Harç Çubuğu Deneyi

İncelenen kum örneklerindeki aktif silis ile diğer reaktif minerallerin zararlı etkilerini belirlemek amacıyla, ASTM C 1260 (1999) tarafından verilen esaslara uyularak hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerle, incelenen kumların çimento hamuruyla oluşturabileceği reaksiyon nedeniyle meydana gelen genleşmelere bağlı boyca uzamaları belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan çimentonun (CEM I 42.5 R-dayanım sınıfı 42.5 olan yüksek erken dayanımlı portland çimentosu) özellikleri Çizelge 3’de sunulmuştur.

Deneyler, en az üç örnek üzerinde yapılmış olup, elde edilen genleşme oranları; 7, 14, 16, 21 ve 28 günlük dönemler halinde Çizelge 4’de sunulmuştur. Bu çizelgede görüldüğü gibi, 7 günlük ölçümler sonucunda, ortalama en yüksek genleşmenin AP kodlu kumlar ile üretilen harç çubuklarında, ortalama en düşük genleşmenin ise AS kodlu kumlar ile üretilen harç çubuklarında olduğu belirlenmiştir. 14, 16, 21 ve 28 günlük ölçümler sonucunda ortalama en yüksek genleşmenin BC kodlu kumlar ile üretilen harç çubuklarında, ortalama en düşük genleşmenin ise, yine AS kodlu kumlar ile üretilen harç çubuklarında olduğu açıkça görülmektedir. Kum örneklerinin 7, 14, 16, 21 ve 28 günlük boyca uzama yüzdelerinin karşılaştırması ise Şekil 6’da sunulmuştur. Bu şekilde görüldüğü gibi, hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinde en fazla uzama MK ve BC kodlu örneklerde gelişmiştir.

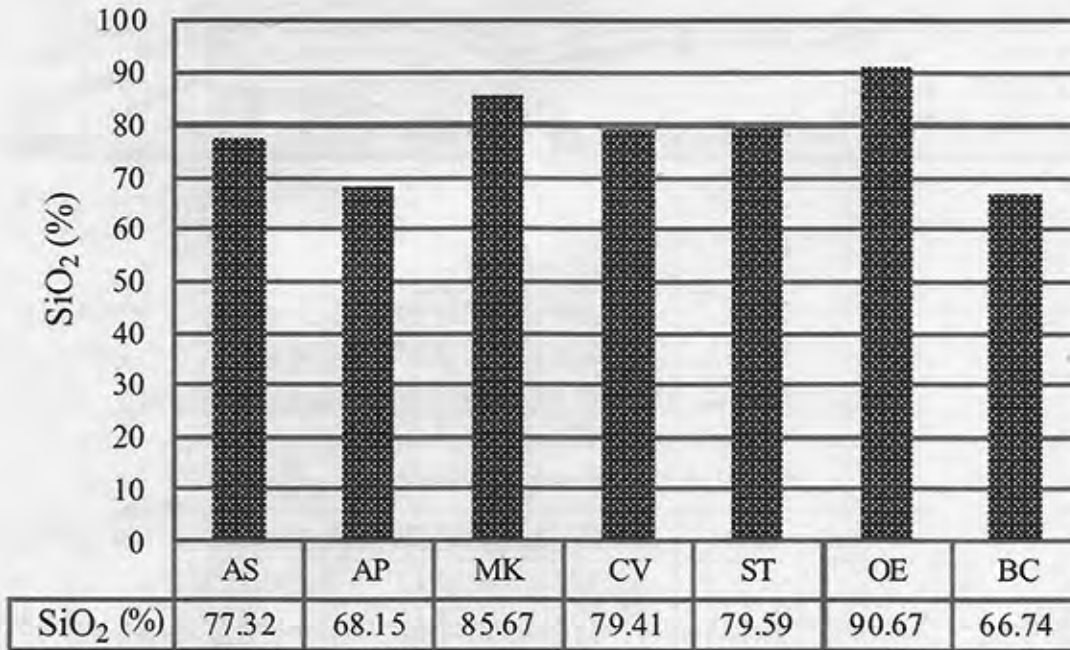


Şekil 3: Kum örnekleri ile üretilen harçların polarizan mikroskoptaki görünüşleri (Çift nikol, 25X): (a) AS, (b) AP, (c) CV, (d) ST, (e) OE, (f) BC. (Q: Kuvars, Qp: Kuvarsit parçası, Plj: Plajiolklas, Mkp: Metamorfik kayaç parçası, OM: Oksitlenmiş Mineral, Ka: Kalsit, Şp: Şist parçası, Klsd: Kalsedon, Kp: Kayaç parçası, K-F: K-Feldispat).

Figure 3. Polarizan microscope photographs of cement paste produced with sand samples (Crossed nicol, 25X): (a) AS, (b) AP, (c) CV, (d) ST, (e) OE, (f) BC. (Q: Quartz, Qp: Quartzite grain, Plj: Plagioclase, Mkp: Metamorphic rock grain, OM: Oxidized mineral, Ka: Calcite, Şp: Schist grain, Klsd: Chalcedony, Kp: Rock grain, K-F: K-Feldspar).

Çizelge 3. Deneylerde kullanılan çimentonun (CEM I 42.5 R) özellikleri.
 Table 3. Properties of the cement (CEM I 42.5 R) used in the experiments.

Kimyasal özellikler	Deney sonuçları
Kızdırma kaybı (%)	2.19
Çözünmeyen kalıntı (%)	0.25
Magnezyum oksit (MgO) (%)	1.02
Kükürt trioksit (SO ₃) (%)	2.95
Klorür (Cl-) (%)	0.01
SiO ₂ (%)	19.74
Al ₂ O ₃ (%)	5.13
Fe ₂ O ₃ (%)	3.01
CaO (%)	62.08
K ₂ O (%)	0.36
Na ₂ O (%)	0.30
Fiziksel özellikler	
Priz başlangıcı (hh:mm)	240
Priz sonu (hh:mm)	320
Hacim genleşmesi (Mm)	1
Özgül yüzey (cm ² /gr)	3643

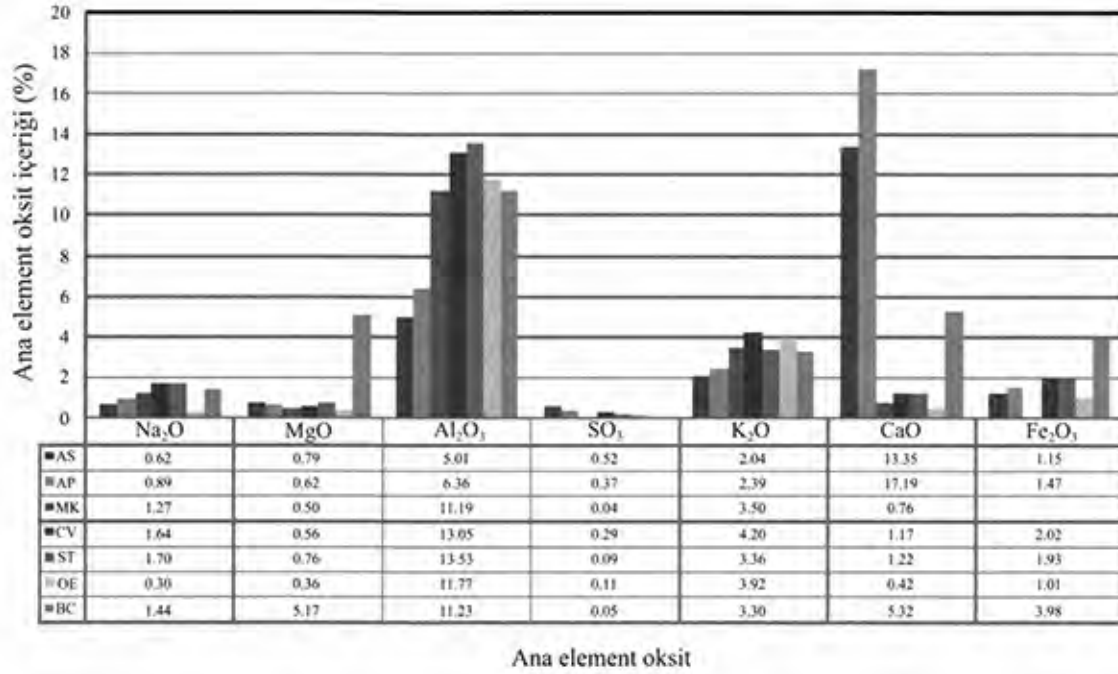


Şekil 4. İncelenen kumların SiO₂ içeriği.
 Figure 4. SiO₂ content of the sands investigated.

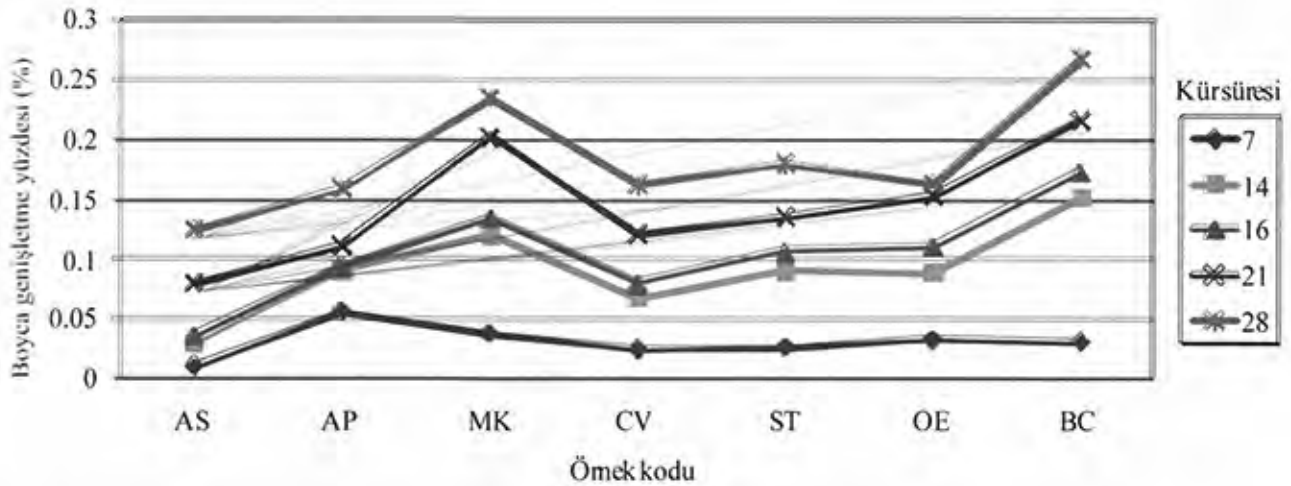
Çizelge 4. Hızlandırılmış harç çubuğu deneyi sonuçları.

Table 4. Results of the accelerated mortar bar tests.

7 günlük boyca uzama yüzdesi, E_7 (%)			
Örnek kodu	En düşük	En yüksek	Ortalama
AS	0.008	0.013	0.010
AP	0.051	0.06	0.056
MK	0.038	0.038	0.038
CV	0.024	0.030	0.025
ST	0.017	0.037	0.027
OE	0.020	0.067	0.033
BC	0.012	0.045	0.031
14 günlük boyca uzama yüzdesi, E_{14} (%)			
Örnek kodu	En düşük	En yüksek	Ortalama
AS	0.024	0.039	0.030
AP	0.088	0.093	0.091
MK	0.116	0.126	0.121
CV	0.048	0.070	0.068
ST	0.058	0.121	0.091
OE	0.067	0.100	0.089
BC	0.135	0.173	0.151
16 günlük boyca uzama yüzdesi, E_{16} (%)			
Örnek kodu	En düşük	En yüksek	Ortalama
AS	0.026	0.047	0.036
AP	0.094	0.095	0.094
MK	0.133	0.135	0.134
CV	0.064	0.098	0.080
ST	0.082	0.139	0.107
OE	0.095	0.120	0.111
BC	0.157	0.200	0.173
21 günlük boyca uzama yüzdesi, E_{21} (%)			
Örnek kodu	En düşük	En yüksek	Ortalama
AS	0.076	0.084	0.080
AP	0.105	0.116	0.111
MK	0.187	0.217	0.202
CV	0.107	0.137	0.121
ST	0.108	0.151	0.135
OE	0.131	0.172	0.153
BC	0.191	0.250	0.216
28 günlük boyca uzama yüzdesi, E_{28} (%)			
Örnek kodu	En düşük	En yüksek	Ortalama
AS	0.122	0.128	0.125
AP	0.158	0.162	0.159
MK	0.232	0.239	0.235
CV	0.154	0.174	0.163
ST	0.150	0.213	0.180
OE	0.137	0.191	0.164
BC	0.264	0.272	0.268



Şekil 5. Kumların içerdiği ana element oksit yüzdeleri.
Figure 5. Percentages of major element oxide of the sands.



Şekil 6. 7, 14, 16, 21 ve 28 günlük genişleme değerlerinin değişimi.
Figure 6. Changes in expansion values at 7, 14, 16, 21 and 28 days

3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemeleri

Hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinde kullanılan örnekler üzerindeki alkali-silis reaksiyonu etkilerini gözlemlemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri de yapılmıştır (Şekil 7). Deneylerde kullanılan harçların SEM görüntülerinde belirlenen özellikler Çizelge 5’de sunulmuştur. İncelemeler sonucunda, AS kodlu örnekte çizgisel çatlakların geliştiği, çatlak açıklıklarının 1.03-1.51 µm arasında değiştiği ve jel oluşumun çok az

olduğu belirlenmiştir (Şekil 7a-7b). OE ve AP kodlu örneklerde ise, çatlaklar dairesel olarak gelişmiştir. Jel oluşumu bu örnekler üzerinde belirgin olup, OE kodlu örnek üzerinde jelin neden olduğu çatlak açıklığı 2.13-6.79 μm , AP kodlu örnek üzerinde ise 5.29-13.51 μm olarak ölçülmüştür (Şekil 7c-7g). MK ve BC kodlu örneklerde en fazla ve en belirgin jel oluşumu tespit edilmiştir. Reaksiyon sonucu bu örnekler üzerinde oluşan çatlaklar dairesel olup, BC kodlu örnekte ölçülen çatlak açıklığı 3.52-17.64 μm ve MK kodlu örnekte ölçülen çatlak açıklığı 4.01-10.5 μm 'dur (Şekil 7d, 7i ve 7j). ST kodlu örnekteki jel oluşumu ağ şeklindedir ve çatlak açıklığı 1.64-6.92 μm olarak ölçülmüştür (Şekil 7e-7f).

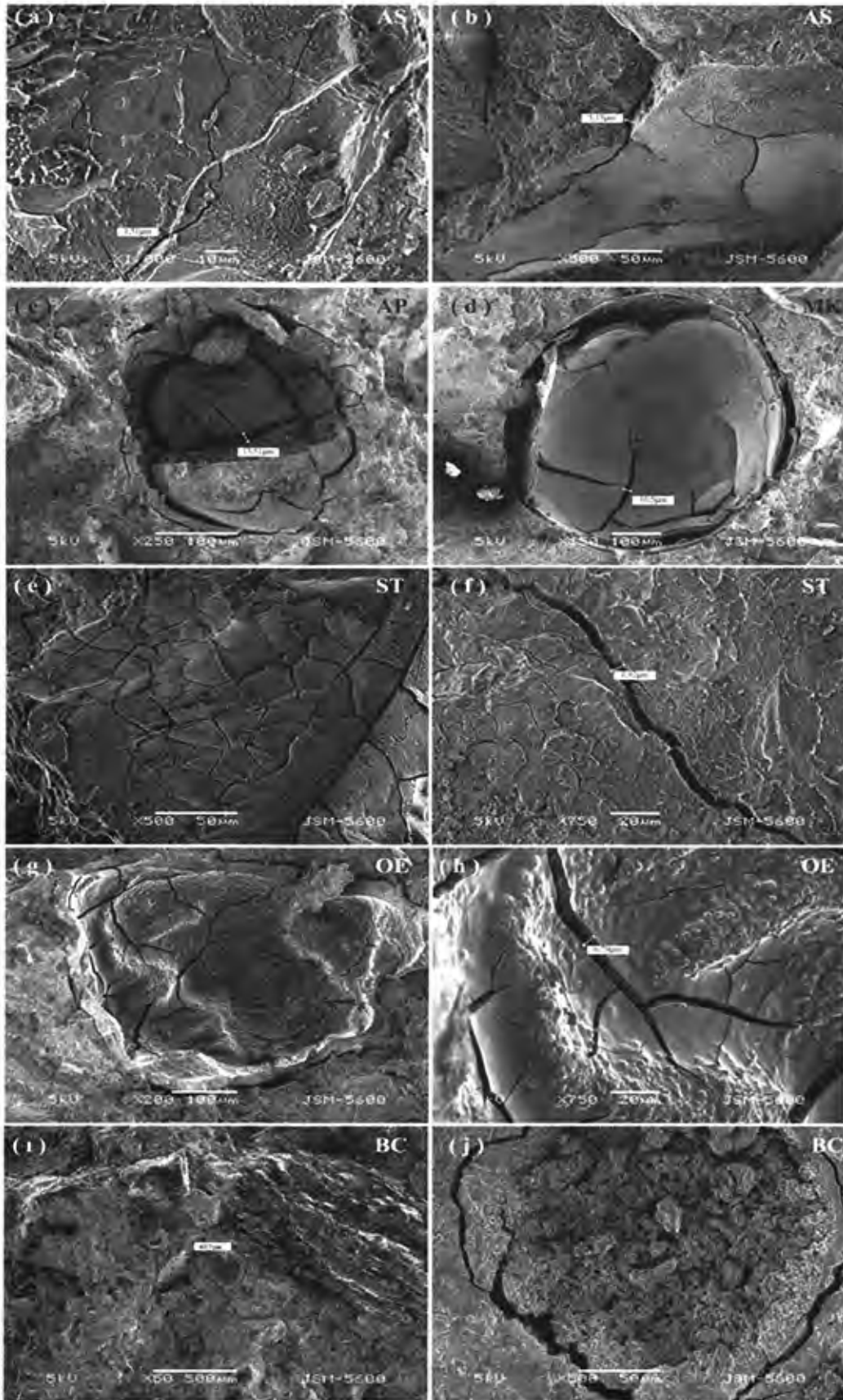
Çizelge 5 Doğal kumlarla üretilen harçların SEM görüntülerinde belirlenen özellikleri.
Table 5. Features of the pastes produced from natural sands in SEM images.

SEM görüntülerindeki reaksiyon göstergeleri			
Örnek kodu	Jel oluşumu	Çatlak şekli	Çatlak açıklığı (μm)
AS	Var	Çizgisel	1.03-1.51
AP	Var	Dairesel	5.29-13.51
MK	Çok fazla var	Dairesel	4.01-10.5
CV	-	-	-
ST	Var	Ağ şeklinde	1.64-6.92
OE	Var	Dairesel	2.13-6.79
BC	Çok fazla var	Dairesel	3.52-17.64

4. VERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Genel olarak opal, çört ve kalsedon gibi aktif silisçe zengin kayaçların alkali-silis reaksiyonuna neden olmalarının yanı sıra, silisçe zengin kayaçların çoğu da bu reaksiyona neden olabilmektedir; (1) granit ve kuvarsit (Mullick ve diğ., 1986); (2) fillit, kuvarsit ve gnays (Buck, 1986); (3) granodiyorit (Moranville-Regourd, 1997); (4) sedimenter agregalar (Shayan ve Lancucki, 1986); (5) çört ve silttaşı (Joyce, 1996). Buna ek olarak, akarsu çökellerinin silisli kumları süzölmeye ve çökelmeye bağlı olarak tane yüzeylerinde ikincil bir kaplanmaya neden olabilir (Bell, 1998). Bu tür malzemeler, beton üretiminde kullanıldıklarında reaksiyon oluşturabilir. Petrografik incelemelere göre; bu çalışmada kullanılan kumlar genel olarak kuvars polimorfları (çört, kalsedon vb.), silikatlar, metamorfik (fillit, mikaşist) ve kriptokristalin sedimenter kayaç parçaları ve bunların alterasyon ürünlerinden oluşmaktadır. Özellikle MK ve BC kodlu örneklerde; yüksek oranda metamorfik kuvars, çört, kalsedon, fillit ve granit parçaları bulunmaktadır.

Kumlar üzerinde yapılan kimyasal analiz verileri değerlendirildiğinde; MK ve OE kodlu kumlar en fazla oranda SiO_2 içermektedir. Ancak, hızlandırılmış harç çubuğu deneylerinden elde edilen verilere göre; MK ve BC kodlu kumların OE'ye göre daha fazla genleşmeye neden olmaları, diğerine oranla toplam alkali içeriklerinin fazla olmasından ve içerdikleri silisin türünden kaynaklanmaktadır.



Şekil 7. Alkali-silis deneylerinde kullanılan harç çubuklarının SEM görüntüleri.
 Figure 7. SEM images of the mortar bars used in alkali-silica reaction tests.

ASTM C 1260 (1999)'da, 16 günlük genleşme oranlarına göre değerlendirme yapılması gerektiği belirtilmiştir. Buna göre, genleşme oranı % 0.1'den düşük ise agrega "zararsız", % 0.20 den büyük ise "potansiyel zararlı" kabul edilmekte, % 0.10-0.20 arasında ise ek bilgi sağlayan yöntemlere başvurulmalıdır. Deney verilerine göre; AS, AP ve CV kodlu kumlar zararlı reaksiyonlara sebep olmaz. Diğer kum örnekleri ise, potansiyel olarak zararlı reaksiyonlara neden olabilir. Alkali-silis reaksiyonunun etkilerini belirlemede kullanılan ve benzer deney yöntemlerinden birisi olan CSA A23.2-25A (1994)'de ise 14 günlük genleşme oranları dikkate alınmaktadır. Bu standarda göre; 14 günlük genleşmelerin % 0.1'den fazla olması durumunda, agregalar reaksiyon açısından sakıncalı olarak değerlendirilmektedir. Genel değerlendirmede, BC kodlu kumun kullanıldığı harç çubuklarının dışında diğer tüm kumların kullanıldığı harç çubuklarındaki 14 günlük genleşme yüzdesi standart limitin altındadır (Çizelge 4 ve Şekil 6). Özellikle MK ve BC alkali silis reaktivitesi yönünden diğer kumlara göre daha fazla zararlı malzemeler içermektedir. Lorenzi vd. (2001)'ne göre, fillitler yüksek kuvars içeriğine sahiptir ve kuvarsın tane boyu ortalama 60 µm'dan az ise kayaç potansiyel reaktiftir. Bu nedenle, BC kumu diğer kumlara göre daha fazla reaksiyona neden olmaktadır. Öte yandan, Berube vd. (1996) tarafından belirtildiği gibi, doğal agregalar beton içerisine azdan çoğa kadar değişen alkaliler temin edebilirler. Özellikle, granitlerin ayrışması ve taşınması sonucu gelişen granit kumu gibi feldispatça zengin agregalar beton içerisine oldukça fazla miktarda alkalileri serbest bırakırlar. İncelenen kumların kökenleri göz önüne alındığında, elde edilen veriler bu durumu destekler niteliktedir.

Harç çubuklarından elde edilen SEM görüntülerinde, incelenen kumlar tarafından üretilen betonların alkali silis reaksiyonundan etkilendikleri ve bunun sonucunda oluşan reaksiyon jelleri açıkça görülmektedir (Şekil 7). Özellikle MK ve BC örnekleri, diğer örneklerle göre daha fazla genleşme göstermişlerdir. Şekil 7d, 7ı ve 7j karakteristik genleşme çatlakları olan agrega yüzeyindeki kabuk kaplamasını göstermektedir. Benzer çatlaklar diğer örneklerde de görülmektedir (Şekil 7). Reaksiyon ürünlerinin agrega yüzeyinde ve agrega-çimento arayüzeyinde geliştiği gözlenmiştir. MK örneğinde oluşan genleşmenin tane yüzeyinde meydana geldiği açıkça görülmektedir. Oluşan jelin miktarı ise reaktif parçaların kökenlerine bağlıdır (Şekil 7d).

Reaktif agrega tanelerinin boyutları, alkali silis reaksiyonu sonucunda harç çubuklarında belirlenen ve geniş bir yayılım sergileyen genleşmeye büyük oranda etki ederler (Diamond ve Thaulow, 1974; Lu vd., 2006). Eğer reaksiyon reaktif tanelerin yüzeyinde meydana geliyorsa, tane boyunun artmasından dolayı mevcut yüzey azalmaktadır. Böylece jel oluşum hızında bir azalma beklenir. Belirlenen reaksiyon tane yüzeyi yerine reaktif taneler içerisinde ise, jel oluşum hızı tane boyutundan bağımsızdır (Hobbs ve Gutteridge, 1979; Multon vd., 2008). Bu çalışmada, reaksiyonun sadece reaktif tanelerin içerisinde değil aynı zamanda tanelerin yüzeyinde de meydana geldiği açıkça görülmektedir (Şekil 7).

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada gerçekleştirilen petrografik incelemeler ve hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri ocaklarda üretilen doğal kum örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Farklı kumların reaktivitelerini; kuvars polimorflarının (çört, kalsedon vd.), alterasyon minerallerinin, sili-

- Berube, M.A., Duchesne, J., and Rivest, M., 1996. Alkali contribution by aggregates to concrete. Proceedings of the 10th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, Melbourne, pp. 899-906.
- Binal, A., 2008. The determination of gel swelling pressure of reactive aggregates by ASGPM devices and a new reactive-innocuous aggregate decision chart. Construction and Building Materials, 22, 1-13.
- BS 812 Part 123, 1999. Method for the determination of alkali - silica reactivity: Concrete prism method. British Standards Institution, pp. 18.
- BS 7943, 1999. Guide to the interpretation of petrographical examinations for alkali-silica reactivity. British Standards Institution, pp. 20.
- Buck, A.D., 1986. Petrographic criteria for recognition of alkali-reactive strained quartz, evaluation of quartzite and granite aggregates containing strained quartz. Proceedings of the 7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, Ottawa, pp. 419-423.
- CSA (Canadian Standards Association), 1994. Test method for detection of alkali-silica reactive aggregate by accelerated expansion of mortar bars. A23.2-25A, Methods of Test for Concrete, Canadian Standards Association, Ontario, Canada, pp. 236-242.
- Diamond, S., and Thaulow, N., 1974. A study of expansion due to alkali-silica reaction as conditioned by the grain size of the reactive aggregate. Cement and Concrete Research, 4, 591-607.
- Duman, T.Y., Keçer, M., Ateş, Ş., Emre, Ö., Gedik, İ., Karakaya, F., Durmaz, S., Olgun, Ş., Şahin, H. ve Gökmenoğlu, O., 2004. İstanbul metropolü batısındaki (Küçükçekmece-Silivri-Çatalca yöresi) kentsel gelişme alanlarının yer bilim verileri. MTA Özel Yayın Serisi-3, Ankara.
- Fookes, P.G., 1980. An introduction to the influence of natural aggregates on the performance and durability of concrete. Quarterly Journal of Engineering Geology, 123, 207-229.
- Fournier, B., and Berube, M.A., 2000. Alkali-aggregate reaction in concrete: a review of basic concepts and engineering implications. Canadian Journal of Civil Engineering, 27, 167-191.
- Gillott, J.E., and Rogers, C.A., 1994. Alkali-aggregate reaction and internal release of alkalis. Magazine of Concrete Research, 167, 99-112.
- Gedik, İ., Duru, M., Pehlivan, Ş. ve Timur, E., 2005. 1/50.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları, İstanbul-F22c Paftası. MTA Rapor, No. 11, Ankara.
- Gogte, B.S., 1973. An evaluation of some common Indian rocks with special reference to alkali-aggregate reactions. Engineering Geology, 7, 135-153.
- Hasdemir, S., 2007. Marmara Bölgesindeki farklı kökenli doğal kumların beton özelliklerine etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (yayımlanmamış).

- Hobbs D.W., and Gutteridge, W.A., 1979. Particle size of aggregate and its influence upon the expansion caused by the alkali-silica reaction. *Magazine of Concrete Research*, 31, 235-242.
- Hornibrook, F.B., Insley, H., and Schuman, L., 1943. Report on committee C-1 on cement (appendix). *Proceedings American Society Test Materials* 43, p. 218.
- Ineson, P.R., 1990. Siliceous components in aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 12, 185-190.
- Joyce, A.S., 1996. Petrographic aspects of alkali-silica reaction in Eastern Australian concretes. *Proceedings of the 10th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, Melbourne, pp. 767-774.
- Katayama, T., and Kaneshige, Y., 1986. Diagenetic changes in potential alkali-aggregate reactivity of volcanic rocks in Japan-A geological interpretation. *Proceedings of the 7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction*, P.E., Grattan-Bellew (ed.), Ottawa, Canada, pp. 489-493.
- Landgren, R., and Sweet, S., 1952. Investigation of durability of Wyoming aggregates. *Proceedings Highway Restoration Board*, 31, pp. 202-217.
- Lorenzi, G., Jensen, J., Wigum, B., Sibbick, R., Haugen, M., Guédon, S., and Åkesson, U., 2001. Petrographic atlas of the potentially alkali-reactive rocks in Europe. PARTNER-project-GRD1-CT-2001-40103.
- Lu, D., Fournier, B., and Grattan-Bellew, P.E., 2006. Evaluation of accelerated test methods for determining alkali-silica reactivity of concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 28, 546-554.
- Marzouk, H., and Langdon, S., 2003. The effect of alkali-aggregate reactivity on the mechanical properties of high and normal strength concrete, *Cement and Concrete Composites*, 25, 549-556.
- McConnell, D., Mielenz, R. C., Holland, W.Y., and Grene, K.T., 1950. Petrology of concrete affected by cement aggregate reaction. In *Application of Geology to Engineering Practice*, S. Paige (ed.), Berkeley Volume, Memoir American Geological Society, pp. 222-250.
- Mielenz, R.C., 1954. Petrographic examination of concrete aggregate. *Proceedings American Society Test Materials*, 54, 1188-1218.
- Moranville-Regourd, M., 1997. Modelling of expansion induced by ASR-new approaches. *Cement and Concrete Research*, 19, 415-425.
- Mullick, A.K., Wason, R.C., Sinha, S.K., and Rao, L.H., 1986. Evaluation of quartzite and granite aggregates containing strained quartz. *Proceedings of the 7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, Ottawa, pp. 428-433.

- Multon, S., Cyr, M., Sellier, A., Leklou, N., and Petit, L., 2008. Coupled effects of aggregate size and alkali content on ASR expansion. *Cement and Concrete Research*, 38, 350-359.
- Neville, A. M., 1981. *Properties of Concrete*. Longman Scientific & Technical, London, England.
- Nixon, P.J., and Page, C.L., 1987. Pore solution chemistry and alkali aggregate reaction. *American Concrete Institute Special Publication*, 100, 1833-1862.
- Prince, W., Castanier, G., and Giafferi, J.L., 2001. Similarity between alkali-aggregate reaction and the natural alteration of rocks. *Cement and Concrete Research*, 31, 271-276.
- Rivard, P., Ollivier, J.P., and Ballivy, G., 2002. Characterization of the ASR rim application to the Potsdam sandstone. *Cement and Concrete Research*, 32, 1-9.
- Rhoades, R., 1942. Discussion of a paper by Stanton, Porter, Meder and Nicol: California experience with the expansion of concrete through reaction between cement and aggregate. *Journal of American Concrete Institute Proceedings*, 38, 7-11.
- Shayan, A., and Lancucki, C.J., 1986. Alkali-aggregate reaction in the Causeway Bridge, Perth, Western Australia. *Proceedings of the 7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, Ottawa, pp. 392-397.
- Shrimer, F. H., Ooi, O., and Gerry, W. J., 2000. Control of alkali-aggregate reactivity, Pointe Seraphine Berth improvements, St. Lucia. *11th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction*, M.A. Bérubé, B. Fournier, B. Durand (eds.), Quebec, Canada, pp. 473-482.
- Stanton, T.E., 1940. Influence of cement and aggregate on concrete expansion. *Engineering News Record*, February 1, 59-61.
- Stark, D., Morgan, B., Okamoto, P., and Diamon, S., 1993. Eliminating or minimizing alkali-silica reactivity. *Strategic Highway Research Program*, National Research Council Washington.
- Struble, L.J., and Diamond S., 1981. Swelling properties of synthetic alkali-silica gel. *Journal of the American Ceramic Society*, 64(11), 611-55.
- Swamy, R.N., 1992. Alkali-aggregate reaction in concrete; material and structural implications, sciences in concrete technology. *Energy, Mines and Resources*, Ottawa Canada, pp. 533-581.
- TS 2517, 1977. Alkali agrega reaktivitesinin kimyasal yolla tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 8 s.
- Wakizaka, Y., 1998. Reactivity of rocks and minerals in alkaline solution. *Journal Research, Public Works Research Institutes*. pp. 34-146.

13 MART 1992 ERZİNCAN DEPREMİ VE YÜZEY ETKİLERİ ÜZERİNE BAZI DÜŞÜNCELER VE DEĞERLENDİRMELER

*The 13 March 1992 Erzincan Earthquake and Some Thoughts and
Evaluations on its Surface Effects*

Ömer AYDAN

Tokai University, Department of Marine Civil Engineering, Shizuoka, Japan

ÖZ

13 Mart 1992'de Erzincan yakınlarında büyüklüğü 6.8 olan bir deprem meydana gelmiştir. Depremi odak derinliğinin 10 km'den fazla ve tahmin edilen göreceli kayma miktarının 1 m ve Erzincan Ovası'nın kalınlığı 1000 m'yi geçen çökellerle kaplı olması nedeniyle belirgin yüzey kırıkları gözlenmemiştir. Bu çalışmada, söz konusu deprem bölgesinde deprem sonrası gözlenen bazı kırıkların ve kalıcı yerdeğiştirmelerin tektonik veya sarsıntı kökenli olup olmadıkları incelenmiş ve tartışılmıştır. Bu amaçla, yazar ve diğer araştırmacılar tarafından depremden etkilenen bölgede gözlenen yüzey etkileri, örneğin yüzey kırıkları, yanıl yayılmalar ve kalıcı yerdeğiştirmeler değerlendirilmiştir. Yapılan inceleme ve hesaplamalar sonucu Erzincan Ovası'nın kalınlığı 1000 m'yi aşan ve özellikle çakıl ve kum türü çökellerle kaplı ve depremi oluşturan fayın ovanın ortasına yakın konumda olmasından dolayı, değişik yerlerde gözlenen yüzey kırıklarının ve kalıcı yerdeğiştirmelerin büyük bir çoğunluğunun şev veya dolgu yenilmesi ile sivilaşmaya bağlı yanıl yayılma sonucu meydana geldikleri ve faylanmayla doğrudan ilişkilendirilmelerinin pek olanaklı olmadığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dolgu, Erzincan, şev, yanıl yayılma, yenilme, yüzey kırığı.

ABSTRACT

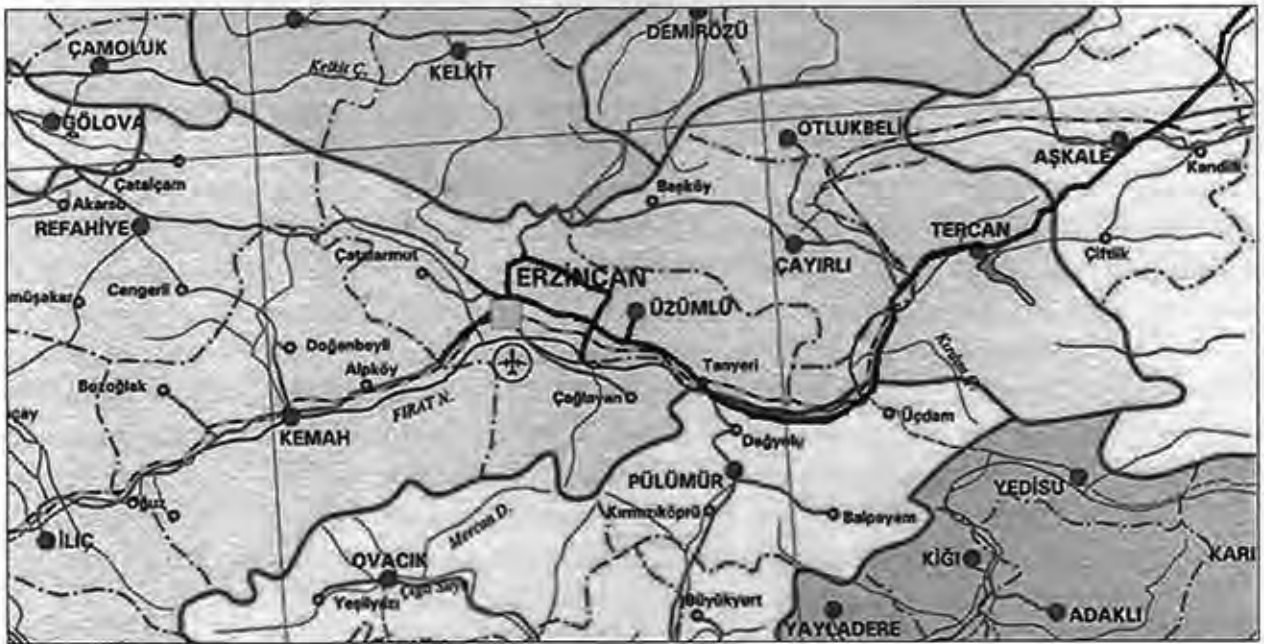
An earthquake with a magnitude 6.8 on the Richter Scale occurred on March 13, 1992 in Erzincan. The surface ruptures caused by this earthquake were not well defined as the hypocenter of the earthquake was more than 10 km, the expected relative slip of the fault would be around 1m and the Erzincan basin was covered with thick sedimentary deposits more than 1000 m. In this study, the origin of surface ruptures and deformations observed after the earthquake was investigated and discussed in view of tectonics and ground shaking. The surface ruptures, lateral spreading and permanent ground deformations observed by the author and other researchers are evaluated. The investigations and computations indicated that the surface ruptures and ground deformations are most likely to be due to ground shaking induced slope movements, lateral spreading and partial embankment yielding rather than to be due to tectonic origin since the earthquake affected region is filled with a more than 1000 m thick sedimentary deposits consisting of clay, silt, sand and gravel.

Key words: Embankment, Erzincan, slope, lateral spreading, failure, surface rupture.

1. GİRİŞ

13 Mart 1992 M_w 6.8 Erzincan depremi, 1939 yılında aynı bölgede yaklaşık 40000 can kaybına neden olan 1939 Erzincan depreminden sonra meydana gelen en büyük yıkıcı depremdir. Bu depremde çok sayıda betonarme bina ya yıkılmış ya da çok büyük hasar görmüştür. Erzincan yerleşim bölgesinde zemin sıvılaşması görülmemesine karşın birçok alanda zemin sıvılaşması gözlenmiştir. 1992 Erzincan depremi, Türkiye’de ilk kez zemin sıvılaşması üzerine temel çalışmaların başlatılmasına vesile olmuştur. Bu deprem, hem ulusal, hem de uluslararası deprem bilimi ile deprem mühendisliği alanında ilgi toplamış ve ayrıntılı olarak incelenmiştir (örneğin; Hamada ve Aydan, 1992; Aydan ve Hamada, 1992; AIJ-JSCE-BU, 1993; EERI, 1993; EEFIT, 1993; Eyidoğan ve Barka, 1992; Barka ve Eyidoğan, 1993; DAD, 1993). Depremin özellikleri, faylanma, yapısal hasarlar, kuvvetli yer kayıt hareketleri ve jeoteknik hasarlara ilişkin ayrıntılar için yukarıda değinilen kaynaklara başvurulabilir.

Bu çalışmada, 13 Mart 1992’de meydana gelen Erzincan depreminde görülen yüzey etkileri, örneğin yüzey kırıkları ile kalıcı deformasyonlar, incelenmiş ve özellikle yüzey kırıklarının depremi oluşturan fayla olan ilişkisi araştırılmıştır. Yazar, 1992 yılında Prof. Dr. Hamada (Waseda Üniversitesi, Japonya) ve Prof. Dr. Zeki Hasgür (İTÜ) ile birlikte depremde yaklaşık bir ay sonra deprem bölgesinde saha incelemesi yapmıştır. Bu saha incelemesi Erzincan Ovası’nın doğu ucundaki Tanyeri’den Erzincan’ın KB’sında 10 km’ye kadar bir alanı kapsamaktadır. Erzurum havaalanından Tercan üzerinden Erzincan’a kadar karayolu ile seyahat edilerek bütün alan taranmıştır (Şekil 1). Yüzey kırığı incelemeleri için ovanın kuzey kenarına ağırlık verilmiştir. İnceleme tarihinden günümüze değin yazarın ve diğer araştırmacıların bulguları da gözönüne alınarak, yüzey kırıklarının uzaysal dağılımı ve oluşum nedenleri ile moment büyüklüğü 6.8 olan bir depremin oluşturabileceği yüzeysel etkiler tartışılmıştır.

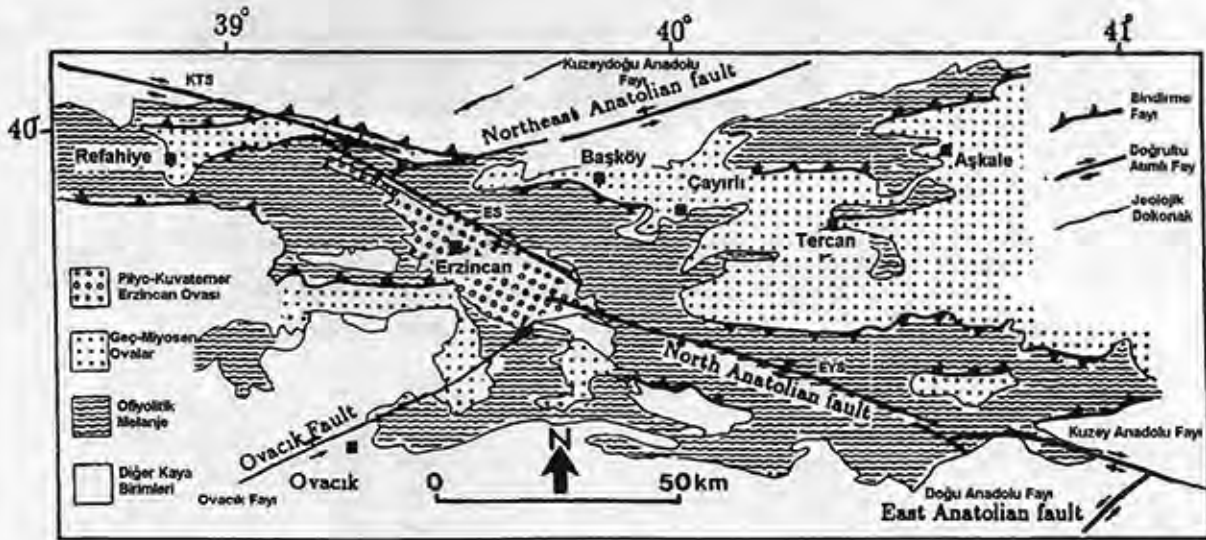


Şekil 1. Yazar tarafından inceleme sırasında izlenen güzergah (Okla gösterilmiştir).
Figure 1. Investigation route of the author (Denoted by the arrow).

2. BÖLGENİN JEOLojİSİ VE TEKTONİĞİ

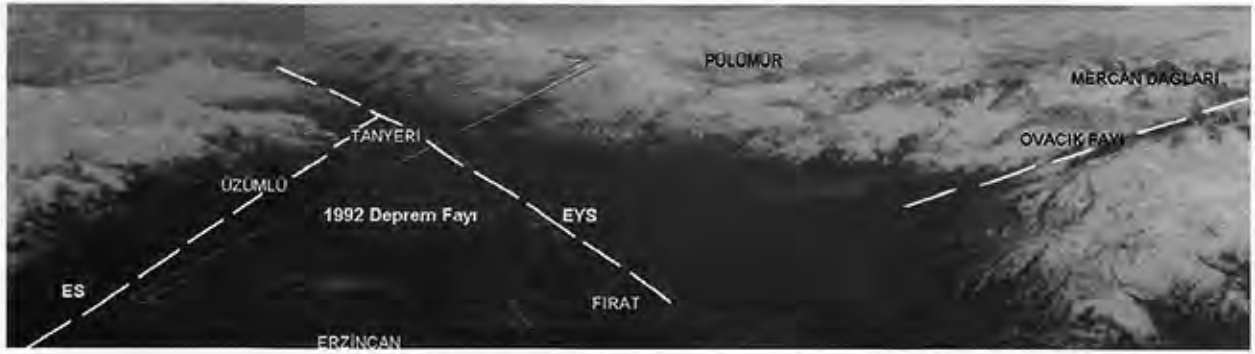
Bölgenin jeolojisi, MTA (örneğin Baykal, 1956; Özgül, 1981; Aktimur, 1986) tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bunun yanı sıra, DSİ (1981) tarafından su arama amacıyla ovada 250 m derinliğe kadar sondajlar yapılmıştır. Havzayı dolduran çökellerin kalınlığının, yapılan jeofizik değerlendirmeler sonucu ortalama 1200 m olduğu öne sürülmüştür (Büyük-aşıkoğlu, 1992)

Erzincan Ovası ve yakın civarı için Barka ve Gülen (1987) tarafından MTA'nın yaptığı haritayı esas alarak basitleştirdikleri bir harita Şekil 2'de verilmiştir. Erzincan ve yakın çevresinin havadan görünümü ise, Şekil 3'te gösterilmiştir. Aynı görüntüye yazar tarafından tahmin edilen deprem fayı ile Barka ve Gülen (1987)'in belirttiği fay segmentleri de işlenmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, ovanın tüm kenarları faylarla çevrili olup, Aydın ve Nur (1981) tarafından çek-ayır havzasının meydana geldiği ve kuzey-güney yönünde çek-ayır zonunun genişliğinin 10 km'yi aştığı öne sürülmüştür. Bölgenin tektoniğini çalışan Barka (1992) tarafından bu yaklaşım benimsenmiş ve mevcut faylar bu yaklaşıma göre yorumlanmıştır. Yazar tarafından Tanyeri dolaylarında Fırat Nehri'nin aktığı vadilerde yanıl atımı gösteren fay çizikleri gözlenmiştir. Tanyeri'nde Fırat Nehri üzerindeki köprü temeli yakınlarındaki ofiyolitte gözlenen bir fay aynası faylanma mekanizmasıyla birlikte Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu tür fay aynalarını çok sık olarak vadi kenarlarında gözlemek mümkündür. Erzincan Ovası'nın kuzey kenarında riyolitik volkanik kütleler bulunmaktadır. Ovanın kuzey kenarını oluşturan dağların yamaç eğimleri ovanın güney sınırını oluşturan dağlarınkine göre daha sarpıdır. Dolayısıyla ovanın kuzeyini sınırlayan fayların eğimi güneydekilere göre daha dik olmalıdır.



Şekil 2. Erzincan Havzası'nın yalınlaştırılmış jeolojisi ve tektoniği (Barka ve Gülen, 1987).

Figure 2. Simplified geology and tectonics of the Erzincan Basin (Barka and Gülen, 1987).



Şekil 3 Erzincan ve yakın civarının hava fotoğrafı ve tahmin edilen deprem fayı (GD'ya bakış).

Figure 3. An aerial view of Erzincan and its close vicinity, and inferred earthquake fault (view towards SE).

3. ERZİNCAN DEPREMİNİN ÖZELLİKLERİ

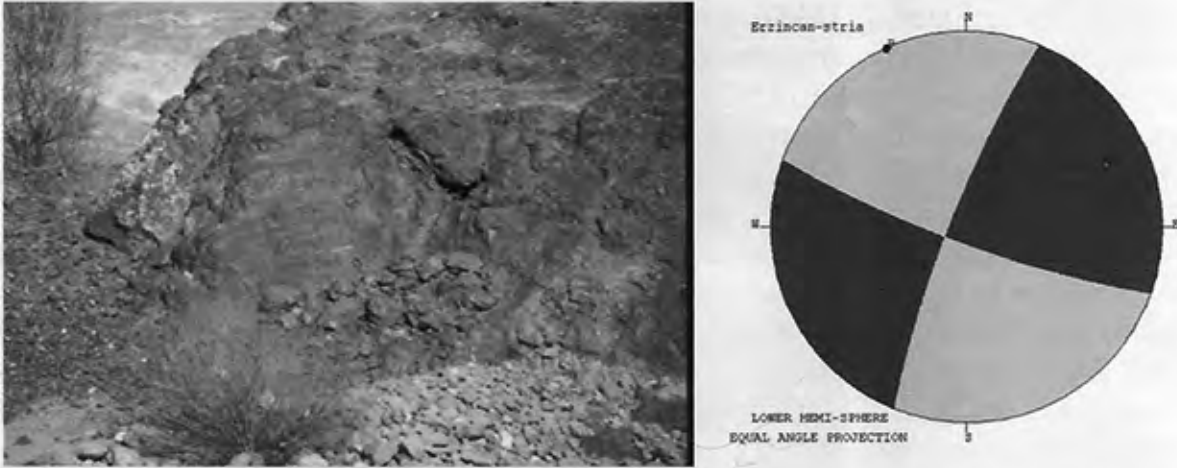
Erzincan depremi 13 Mart 1992 tarihinde akşamüstü saat 19:19'da (GMT 16:19)'da meydana gelmiştir. Depremi moment büyüklüğü $M_w = 6.8$ olarak tespit edilmiş, yeri ve mekanizması için değişik kuruluşlara ait çözümler Çizelge 1'de verilmiştir. USGS, HARVARD, Eyidoğan (1992), Benneth vd. (1994) tarafından yapılan çözümlerde faylanmanın hemen hemen düşey eğimli bir fay üzerinde yanal faylanma sonucu meydana geldiği tahmin edilmiştir (Şekil 5). Şekil 5'te gösterilen faylanma mekanizmalarının Şekil 4'te gösterilen fayın çiziklerine çok benzer olduğu da dikkate değer bir başka noktadır.

Çizelge 1. 1992 Erzincan depreminin değişik enstitüler ve araştırmacılar tarafından elde edilen parametreleri.

Table 1. Parameters of the main shock of the 1992 Erzincan earthquake obtained various institutions and researchers.

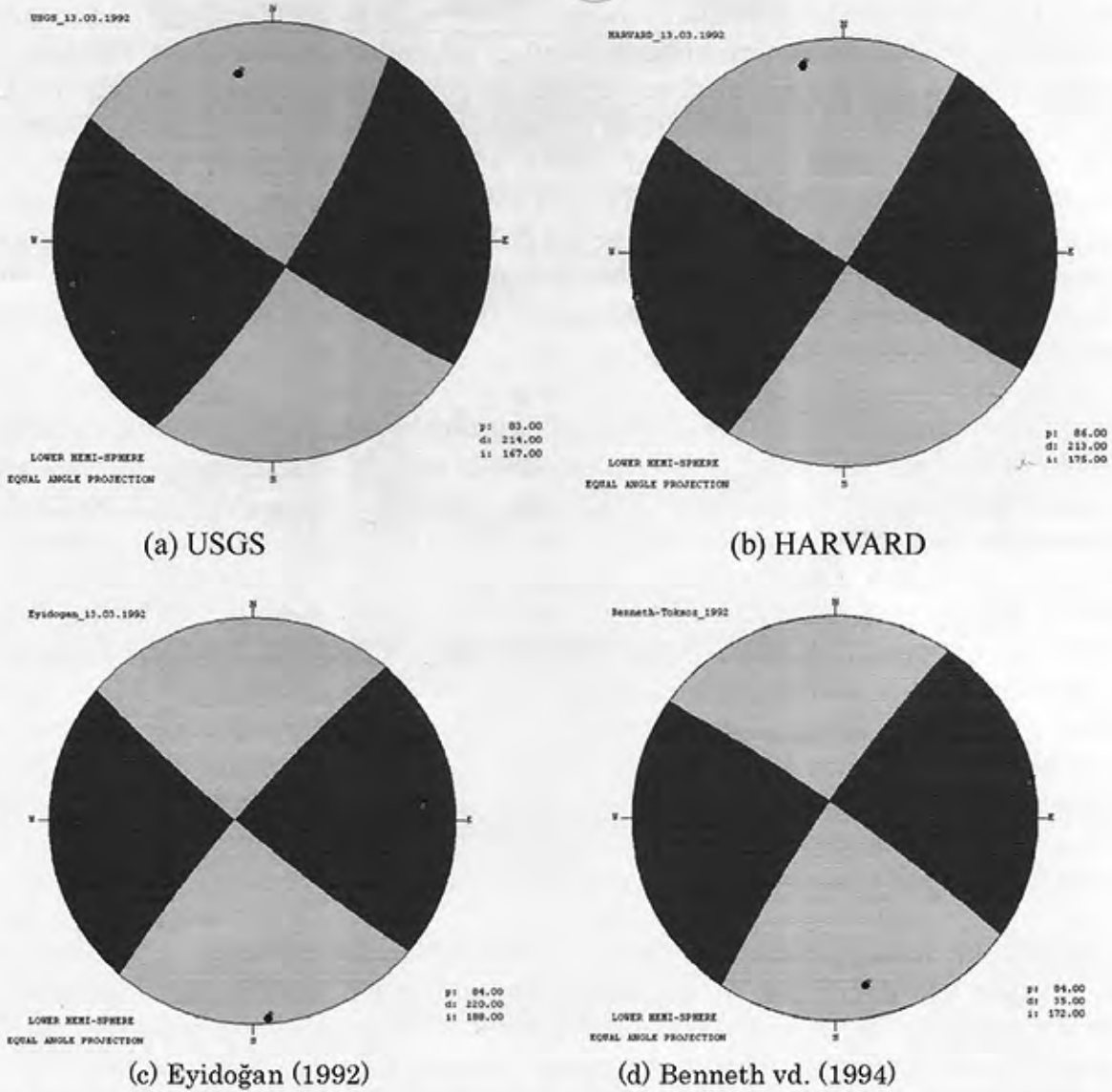
Kurum veya araştırmacı	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Büyüklik	NP1 D/E/K	Diğer parametreler
DAD KANDİLLİ	39.630	39.510	5	6.8(M_d)		
(1992)	39.720	39.630	23	6.1(M_d)	97/79/	
USGS	39.710	39.60	21	6.7(M_w)	124/83/167	
HARVARD	39.940	39.570	15	6.7(M_w)	123/86/-175	
Eyidoğan	39.73	39.65	11-12	6.8(M_s)	130/84/188	Tr=11s; L=30km;
(1992)						W=12km
Benneth						L=40km;
vd. (1994)	39.649	39.651	8.55	-	300/84/171	W=17km
						Tr=7.2+6=13.2s

D/E/K: Doğrultu/Eğim/Kayma Açısı; L: Uzunluk; W:Genişlik; Tr: Kırılma süresi



Şekil 4. Tanyeri’nde gözlenen fayın çizikleri ve mümkün faylanma mekanizması.

Figure 4. A view of striations of the fault outcrop at Tanyeri and its probable faulting mechanism.



Şekil 5: Değişik kuruluş ve araştırmacıların elde ettiği faylanma mekanizma çözümleri.

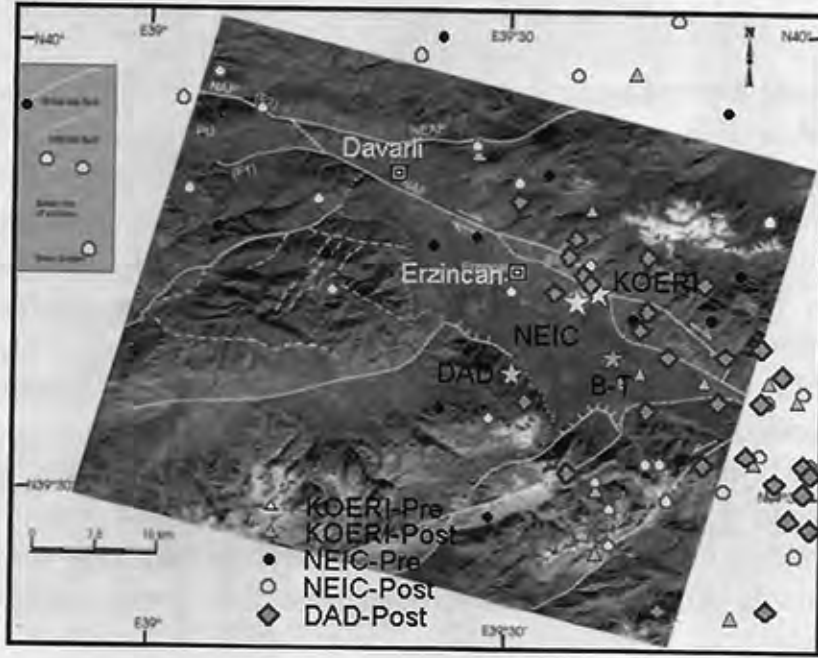
Figure 5. Focal mechanism solutions obtained by various institutions and researchers.

Deprem Araştırma Dairesi (DAD) tarafından belirlenen derinliğin 5 km olmasına karşın, diğer araştırmacı ve kuruluşların saptadığı derinlik ise 10 km dolaylarında ve USGS'inki ise 21 km'dir. Depremi dışmerkezi USGS ve Kandilli'ye göre ovanın kuzey kenarı dolaylarında Ekşisu yakınlarında, DAD'nin hesapladığı merkez üssü ise, ovanın güneyinde Çağlayan dolaylarındadır (Şekil 6). Diğer yandan Benneth vd. (1994)'nin hesapladığı merkez üssü ise Mertekli yakınlarında olup, aynı araştırmacılar kayma miktarının 100-174 cm arasında değiştiğini ve iki kırılmanın meydana geldiğini tahmin etmişlerdir (Şekil 6). İlk kırılmanın süresi 7.2 saniye ve 15 saniye sonra oluşan ikinci kırılmanın süresi ise 6 saniyedir. Benneth vd. (1994)'nin çözümü, kırılmanın kuzeye eğimli bir fay üzerinde meydana geldiğini belirtmektedir. Bu fayın esas alınması halinde, ovanın kuzey kısmında faylanma çözümlerinden taban kayasında 16-28 cm'lik bir düşey atımın oluşması beklenebilir. Ancak bu atım, yüzeye doğru tortul kütle tarafından giderek dağıtılacaktır.

M8.0'lik 1939 Büyük Erzincan depreminde toplam uzunluğu 400 km'yi bulan bir kırılmanın meydana gelmesine rağmen, 1992 M_w 6.8'lik depremde yüzeyde depremle doğrudan ilişkilendirilebilecek bir yüzey kırığı meydana gelmemiştir. Yüzeyde kırık görülmemesi, altta kırılan ana kayanın üzerindeki ortalama kalınlığı 1000 m'yi bulan çökellerin oluşan göreceli deformasyonu yüzeye doğru tüm kütleyle dağıttığı şeklinde yorumlanabilir. Nitekim yazar tarafından yapılan fiziksel model deneylerinde de çökel kütle kalınlığı arttıkça bu kütle-nin alttaki göreceli deformasyonu dağıttığı gözlenmiştir (Ohta ve Aydan, 2005). Dolayısıyla 1992 Erzincan depreminde Benneth vd. (1994)'nin belirlediği merkez üssünün esas alınması halinde göreceli yerdeğiştirmenin Tanyeri yakınlarında meydana gelme olma olasılığı yüksektir. Diğer yerlerde, örneğin şevler ve yol dolgularında yersarsıntısı sonucunda serbest yüzeye doğru yanal atımın olmadığı yenilmelerin meydana gelme olasılığı yüksektir. Bu durum daha ayrıntılı olarak yersarsıntılarının yanal yayılma, dolgu ve şevler üzerindeki etkileri başlığı altında bir sonraki bölümde tartışılmıştır.

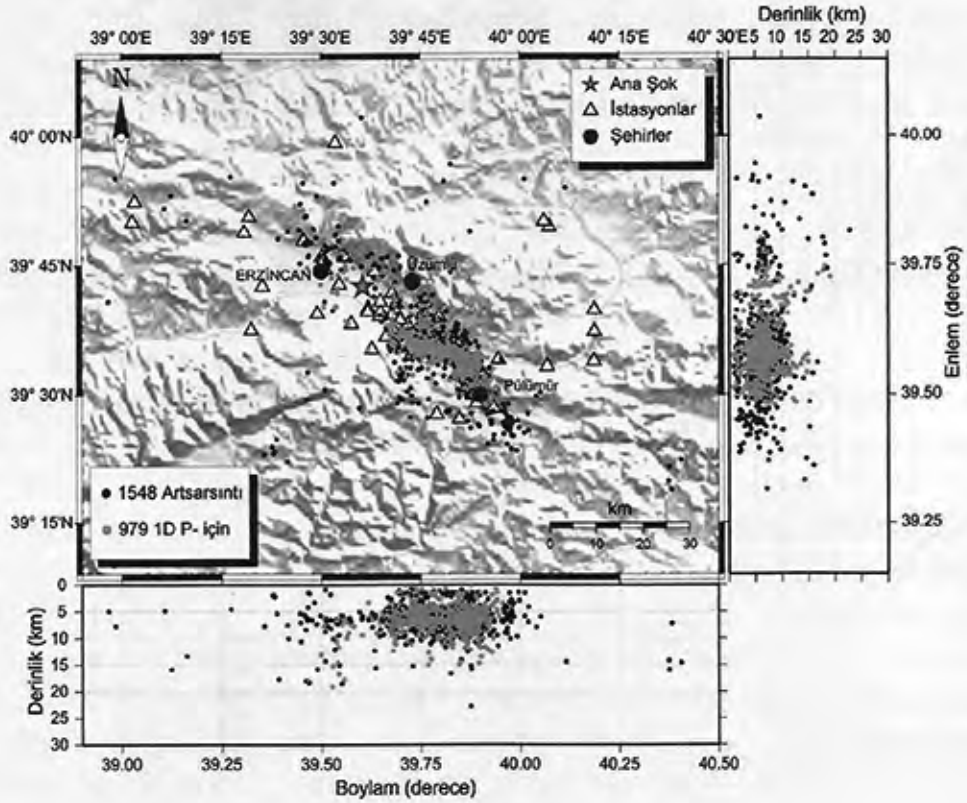
Erzincan depreminin artçı çalışmaları değişik kuruluşlar tarafından yapılmış olmakla birlikte, DAD(1993)'nin ve Eyidoğan (1992)'in yabancı üniversitelerle yaptığı çalışmalara burada kısaca değinilmiştir (Şekil 7). 1992 Erzincan depremi raporu DAD (1993) tarafından yayınlanmış ve bu kaynaktan alınan veriler Şekil 7'de NEIC ve Kandilli'nin kaydettiği verilerle birlikte işlenmiştir. Artçı depremlerin dışmerkezleri, ovanın doğusunda yani Ekşisu'dan Pülümür'e doğru uzanan bir hat boyunca dağıldığını göstermektedir. Bu gözlemler, Benneth vd.(1992)'nin çözümünden elde edildiği gibi, depremin KD eğimli bir fayın kırılması sonucu meydana geldiği şeklinde yorumlanabilir. Diğer yandan, 26 Mart – 8 Mayıs arasında Eyidoğan (1992)'nin yaptığı ve daha küçük büyüklükte artçı depremleri kapsayan çalışmasında da benzer bir dağılım görülmektedir. Dolayısıyla artçı depremlerin dağılımı gözönüne alındığında, Erzincan'ın batısı veya KB'sında bir kırılma olgusu beklenmediği ve faylanmanın Erzincan'ın hemen doğusunda sonlandığı söylenebilir. Diğer bir deyişle, Erzincan'ın batısında göreceli bir yerdeğiştirme meydana gelmemiştir.

Diğer önemli bir husus, artçıların dağılımı ile elde edilen fay çözümleri gözönüne alındığında, bölgenin tektoniğini çok iyi incelemiş olan Barka (1992) tarafından adlandırılmış fay parçacıklarının (ES, EYS) bu depremde hareket etmediğidir. Artçıların dağılımından, Şekil 3'te gösterilen ve ovanın her iki yanına uzanan kalın ova çökelleri ile örtülü fayın üzerinde meydana geldiği anlaşılmaktadır. Ana fayın hareket etmediği varsayılırsa, bölgede yakın gelecekte daha büyük depremlerin meydana gelebilme olasılığının yüksek olduğu söylenebilir.



Şekil 6. Değişik kuruluşlar tarafından elde edilen merkez üssü dağılımı ve artçılar.

Figure 6. Epicenters of the main shock and aftershocks by various institutes and researchers.



Şekil 7. Artçı depremlerin merkez üstlerinin dağılımı (Kaypak ve Eyidoğan, 2002).

Figure 7. Epicenters of aftershocks (Kaypak and Eyidoğan, 2002).

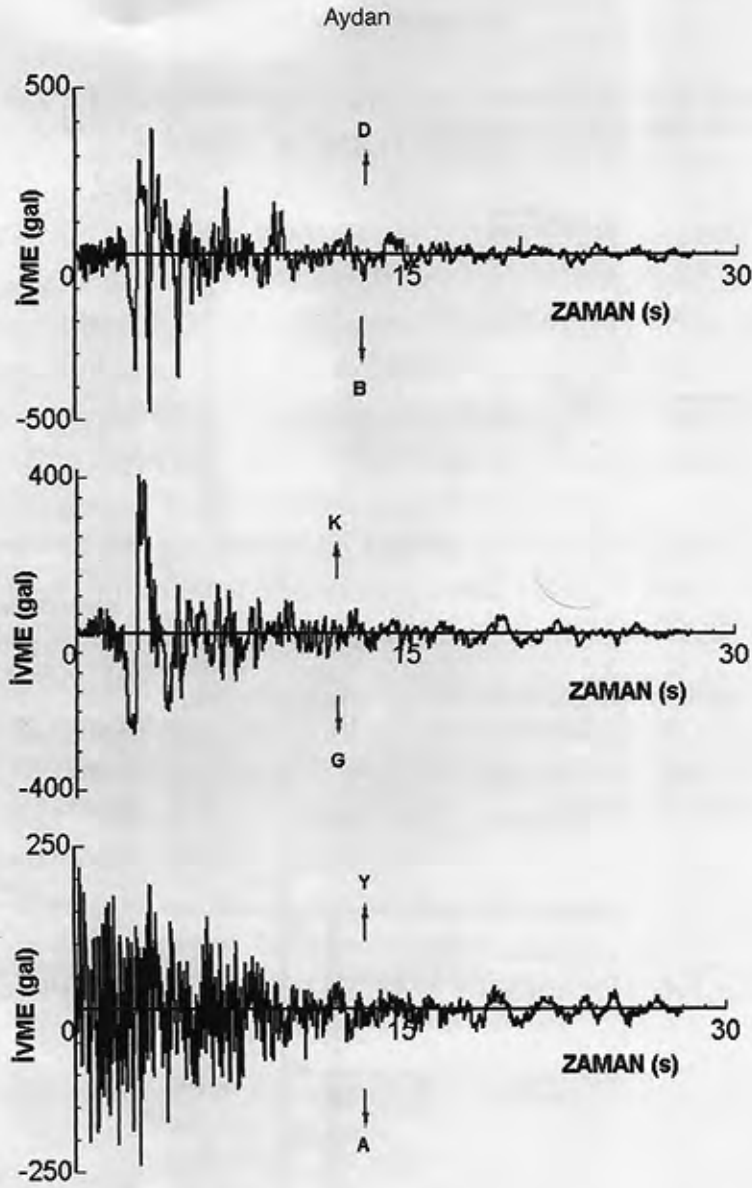
4. KUVVETLİ YER HAREKETLERİ

Bu deprem, depremde alınan kayıtlardan (Şekil 8) faylanma etkisinin çok açık belirlediği bir deprem olması nedeniyle dünya deprem mühendisliği camiasında oldukça büyük yankılar yapmış bir depremdir. Şekil 8'deki deprem kayıtlarının yatay düzlemdeki izdüşümleri Şekil 9'da verilmiştir. Erzincan depreminde 0.5g'ye yakın ivme değerleri ölçülmüştür. K-G yönündeki en büyük ivme kaydının salınımı yaklaşık 1.4 s olup, 1.5 m'lik bir atım için en büyük ivme değeri 480 gal olarak elde edilebilir. Bu şekillerden de görüleceği üzere, depremin zaman eksenine göre salınımlar simetrik değildir. İvmenin ölçülen D-B ve K-G bileşenleri fayın doğrultusuna tam anlamıyla dik veya paralel olmasa da, ivme üzerinde yönsel etki açıkça görülmektedir. Bütün bu olgular faylanmanın oluşumu ve gelişimine bağlı olup, kara içi depremlerde faya yakın alanlarda kalıcı yerdeğiştirmenin yanı sıra, kuvvetli yer hareketlerinin etkilerinin deniz aşırı depremlerden farklı olacağını da ayrıca göstermektedir. Ayrıca yatay düzlemdeki hız izdüşümünden serbest yüzeyi özellikle GB'ya bakan şev, dolgu gibi jeoteknik yapılarda yenilme ve kalıcı yerdeğiştirme olasılığının oldukça yüksek olacağına işaret etmektedir.

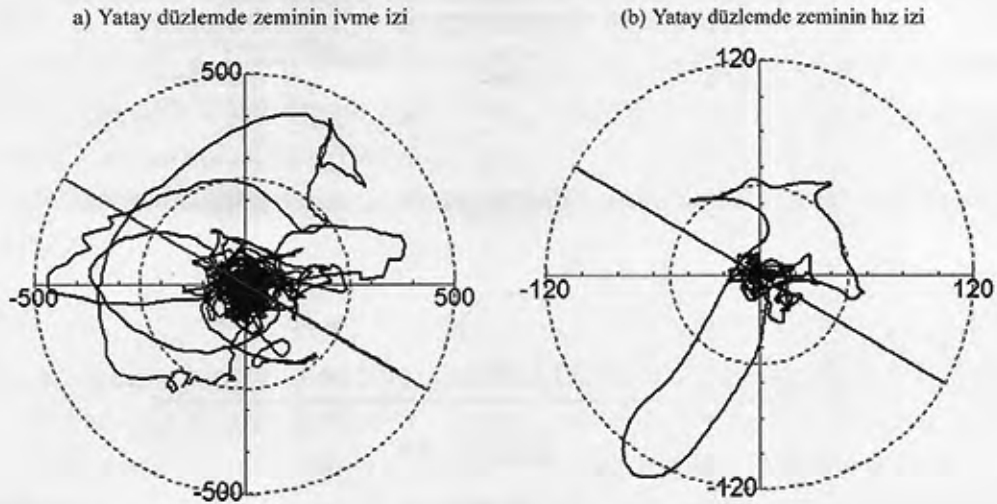
Erzincan depreminde alınan ivme kayıtları yazar tarafından önerilen azalım ilişkilerinin (Aydan vd. 1996; Aydan 1997, 2001, 2007) temel başlangıcını oluşturmaktadır. Şekil 10'da en yüksek yer ivme ve hızın uzaklıkla değişimi gösterilmiştir. İvme azalım ilişkisine ek olarak DAD (1996) ve Ulusay vd. (2004)'nin önerdikleri ilişkilerde de gösterilmiştir. Erzincan Ovası'nı oluşturan çökellerin makaslama dalgası hızının Kaypak ve Eyidoğan (2002)'a göre 750 m/s ve İyisan ve Ansal (1993) tarafından şehir içinde yapılan jeofizik araştırmalarda sığ derinlikteki ise 110 ile 400 m/s arasında değiştiği ve ortalama 250 m/s ($N>10$) olduğu belirlenmiştir.

Kuvvetli yer hareketi kayıtları için depremin yıkıcı gücünü ve etkin süresini belirlemek için Arias şiddeti kullanılmaktadır. Bu şiddet ölçeğinin Erzincan'da alınan ivme kaydına olan bir uygulaması Şekil 11a'da gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, özellikle D-B yönünde depremin yıkıcı etkisinin oldukça yüksek olacağı anlaşılmaktadır. Aynı şeklin en yüksek değerlerle oranlanmış durumu ise Şekil 11b'de verilmiştir. Yatay bileşenlerden mühendislik açısından etkin sürenin yaklaşık 7-8 saniye olduğu anlaşılmaktadır.

Aydan ve Ohta (2006), kuvvetli yer hareketi kayıtlarından yararlanarak kalıcı yerdeğiştirmeleri hesaplayan ve EPS (Erratic Pattern Screening- Düzensiz Dağılım Taraması) olarak adlandırdıkları bir yöntemi önermişlerdir. Benneth vd. (1994)'nin hesapladığı Erzincan'a yakın fay parçasının kırılma süresi 7.2 saniye ve ikinci kırılmaya kadar geçen toplam sürenin 16 saniye olduğu gözönüne alınarak, EPS yöntemi Erzincan'da alınan kayda uygulanmış ve hesaplama sonuçları Şekil 12'de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, Erzincan doğuya doğru 53 cm ve güneye 30 cm ötelenmiş, ayrıca yaklaşık 25 cm yükselmiştir. Erzincan kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonunun deprem sırasında yerdeğiştirmesi ölçülmediği için, bu hesabın sınanması mümkün olmamakla birlikte, Erzincan Ovası'nın özellikle kuzey sınırında meydana gelen açılma çatlakları bunun bir belirtisi olarak düşünülebilir.

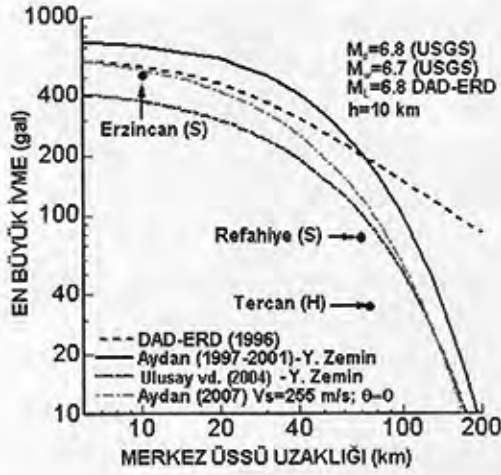


Şekil 8. Erzincan’da alınan ivme kayıtları (veriler DAD’tan temin edilmiştir).
 Figure 8. Acceleration records at Erzincan (data provided from DAD).

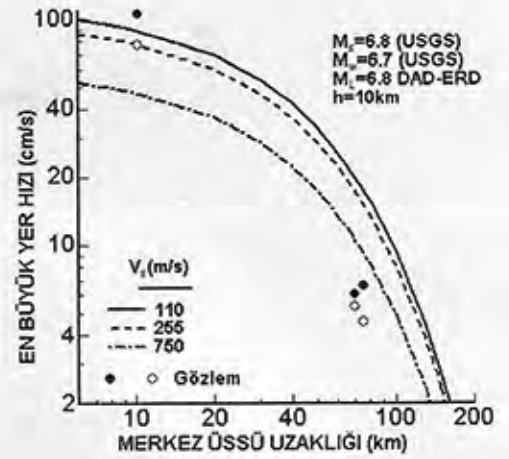


Şekil 9. Yatay düzlemde zeminin ivme ve hız izleri.
 Figure 9. Traces of ground acceleration and velocity in horizontal plane.

a) Gözlemlerin görgül en büyük ivme azalım ilişkileri ile karşılaştırılması



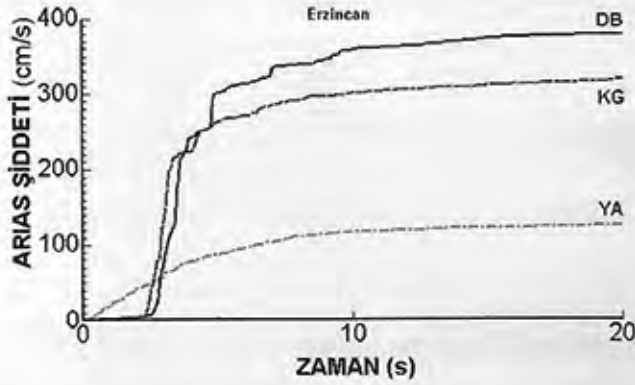
b) Gözlemlerin görgül en büyük yer hızı azalım ilişkileri ile karşılaştırılması



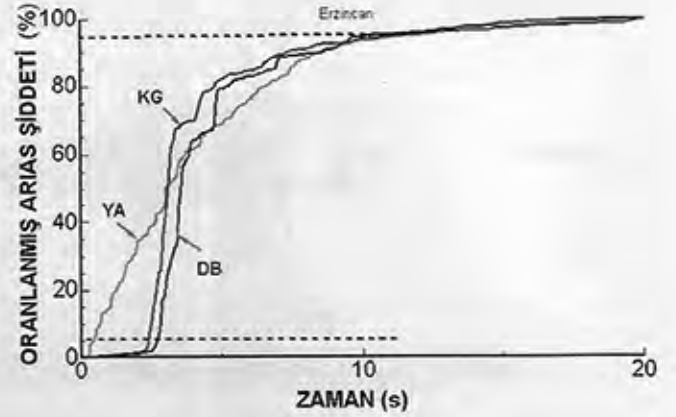
Şekil 10. Azalım ilişkilerinin gözlemlerle karşılaştırılması.

Figure 10. Comparison of the empirical attenuation relations with observations.

(a) Arias şiddeti

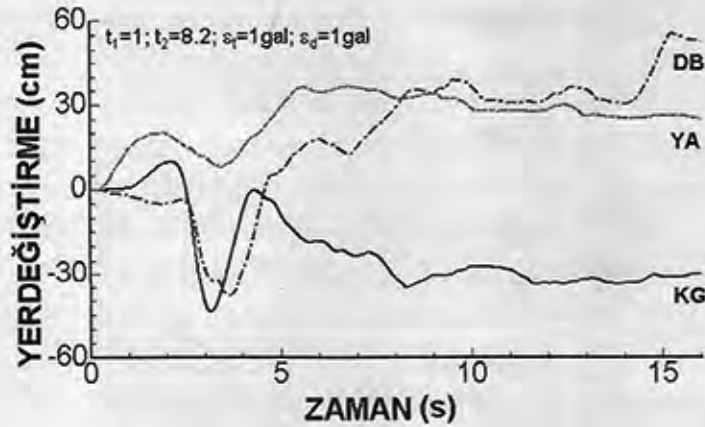


(b) Oranlanmış Arias şiddeti



Şekil 11. Depremin herbir bileşeni için Arias şiddetinin zamana bağlı değişimi.

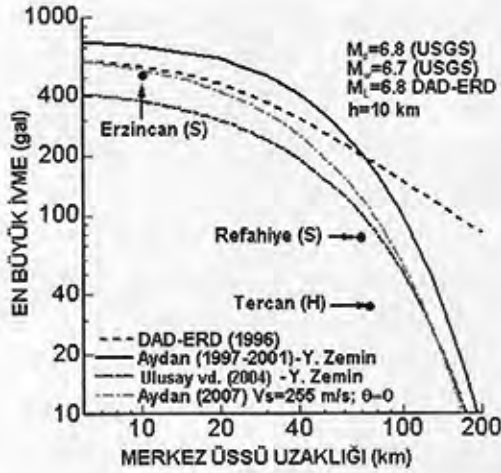
Figure 11. Variation of Arias intensity with time for each component of the earthquake.



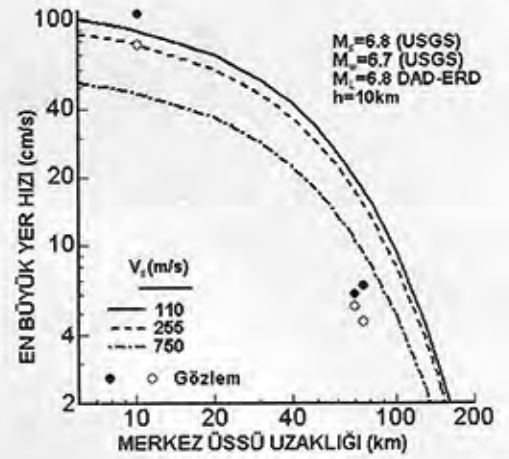
Şekil 12. EPS yöntemine göre Erzincan kaydından hesaplanan kalıcı yerdeğiştirmeler.

Figure 12. Permanent deformations obtained from acceleration records at Erzincan based on EPS method.

a) Gözlemlerin görgül en büyük ivme azalım ilişkileri ile karşılaştırılması

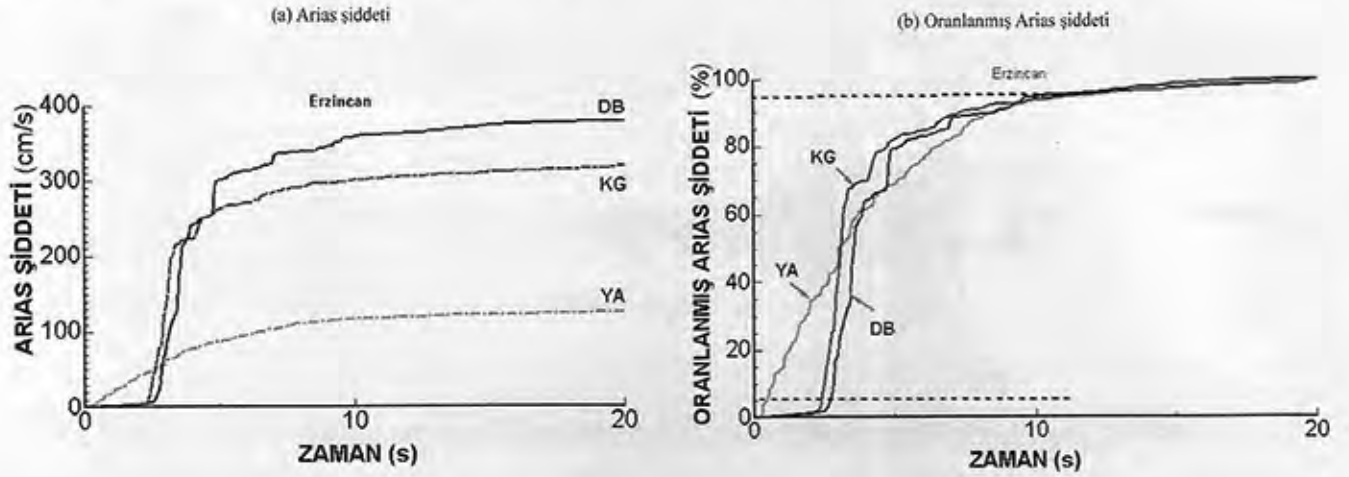


b) Gözlemlerin görgül en büyük yer hızı azalım ilişkileri ile karşılaştırılması



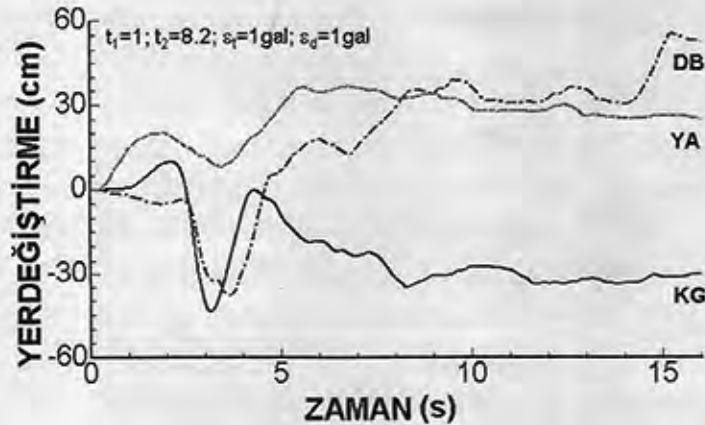
Şekil 10. Azalım ilişkilerinin gözlemlerle karşılaştırılması.

Figure 10. Comparison of the empirical attenuation relations with observations.



Şekil 11. Depremin her bir bileşeni için Arias şiddetinin zamana bağlı değişimi.

Figure 11. Variation of Arias intensity with time for each component of the earthquake.



Şekil 12. EPS yöntemine göre Erzincan kaydından hesaplanan kalıcı yerdeğiştirmeler.

Figure 12. Permanent deformations obtained from acceleration records at Erzincan based on EPS method.

5. ERZİNCAN DEPREMİNİN ÖZELLİKLERİNİN GEÇMİŞ DEPREMLERİN ÖZELLİKLERİYLE KARŞILAŞTIRILMASI

Erzincan depreminin bazı özellikleri Aydan (1997, 2001, 2007) tarafından Türkiye depremleri için önerilmiş görgül ilişkiler kullanılarak Şekil 13'te karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda depremin moment büyüklüğü ile faylanma özellikleri (fay uzunluğu ve alanı, göreceli yerdeğiştirme miktarı, ivmenin uzaklıkla değişimi) arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Deprem sırasında belirgin fay kırığı gözlenmediği için dolaylı olarak elde edilmiş fayın özellikleri gözönüne alınmıştır. Fayın uzunluğu ve genişliği artçı depremlerin dağılımından tahmin edilmiştir. Bu tür bir yaklaşımla elde edilen değerler ilk kırılma anındaki fayın alansal büyüklüğünden kısmen büyük olabilmektedir. Burada kullanılan bütün ilişkiler yazar tarafından 1992 Erzincan depreminin incelenmesinden sonra Türkiye'de meydana gelen depremlerin verisi kullanılarak geliştirilmiş ve yazarın 1996, 1997 ile 2001'deki yayınlarından sonra (Aydan vd. 1996; Aydan 1997, 2001) 2007 yılında tekrar gözden geçirilmiş ve depremin moment büyüklüğünü esas alarak ilişkiler önerilmiştir. Ancak 1996, 1997 ve 2001'de önerilen yüzey büyüklüğünü esas alan ilişkilerle olan ilişkileri de 2007'deki çalışmada verilmiştir. Şekil 13'de görüleceği üzere, Türkiye depremleri için geliştirilen görgül ilişkilerden elde edilenlerle gözlemler birbirleriyle oldukça uyumludur. Bu uyumluluk hiç kuşkusuz, kullanılan verinin Türkiye depremlerine ait olmasının doğal bir sonucudur.

6. ERZİNCAN DEPREMİNDE GÖZLENEN YÜZEY KIRIKLARI VE KALICI YÜZEYSEL YERDEĞİŞTİRMELER

Yazarın kendi gözlemleri ve bazı kaynaklarda (örneğin DAD, 1993; Barka, 1992; Kalafat, 1995) 1992 Erzincan depreminde gözlenen yüzey kırıkları ve yüzeysel yerdeğiştirmeler doğudan batıya doğru sıralanarak Çizelge 2'de özetlenmiş, yerleri Şekil 14'de gösterilmiş ve bunlara ait görüntüler Şekil 15, 16 ve 17'de verilmiştir. Şekil 15-17'den de görüleceği üzere, meydana gelen yüzey kırıklarının doğrudan faylanma ile ilişkilendirilmeleri oldukça güçtür. Benzer görüşler Barka (1993) tarafından da belirtilmiştir. Fırat Nehri'nin geçtiği hat boyunca nehrin her iki tarafındaki suya doygun zeminde, karayolu ve demiryolu dolgularında serbest yüzeye ve nehre doğru yanal yerdeğiştirmeler, sıvılaşma çatlakları, kum ve çamur fıskırmaları, kısmi dolgu yenilmesi meydana gelmiştir. Diğer yandan, Erzincan kent merkezinde yeraltısuyu seviyesinin yüzeyden derinliği 18 ile 40 m arasında değişmekte olup, kent içerisinde herhangi bir sıvılaşma ve buna bağlı yanal yayılma veya oturma gibi olgular gözlenmemiştir.

Şekil 17'de görüldüğü gibi, Barka (1992), Demirtaş ve Yılmaz (DAD (1993)'e.bakınız) ile Kalafat (1995); Erzincan Ovası'nın en batı ucundaki Davarlı köyü yakınlarındaki yol dolgularında ve batıya bakan yamaçlarda kırıkların oluştuğunu ve güney tarafında oturmaların meydana geldiğini belirtmişlerdir. Demirtaş ve Yılmaz (1993) ile Kalafat (1995) bu kırıkların faylanma veya sarsıntıya bağlı olarak oluşabilecek şev hareketleriyle ilgili olup olmadığını tartışmışlardır. Sonuç olarak bu araştırmacılar, kırıkların oluşum nedeninin faylanma ile ilişkili olma

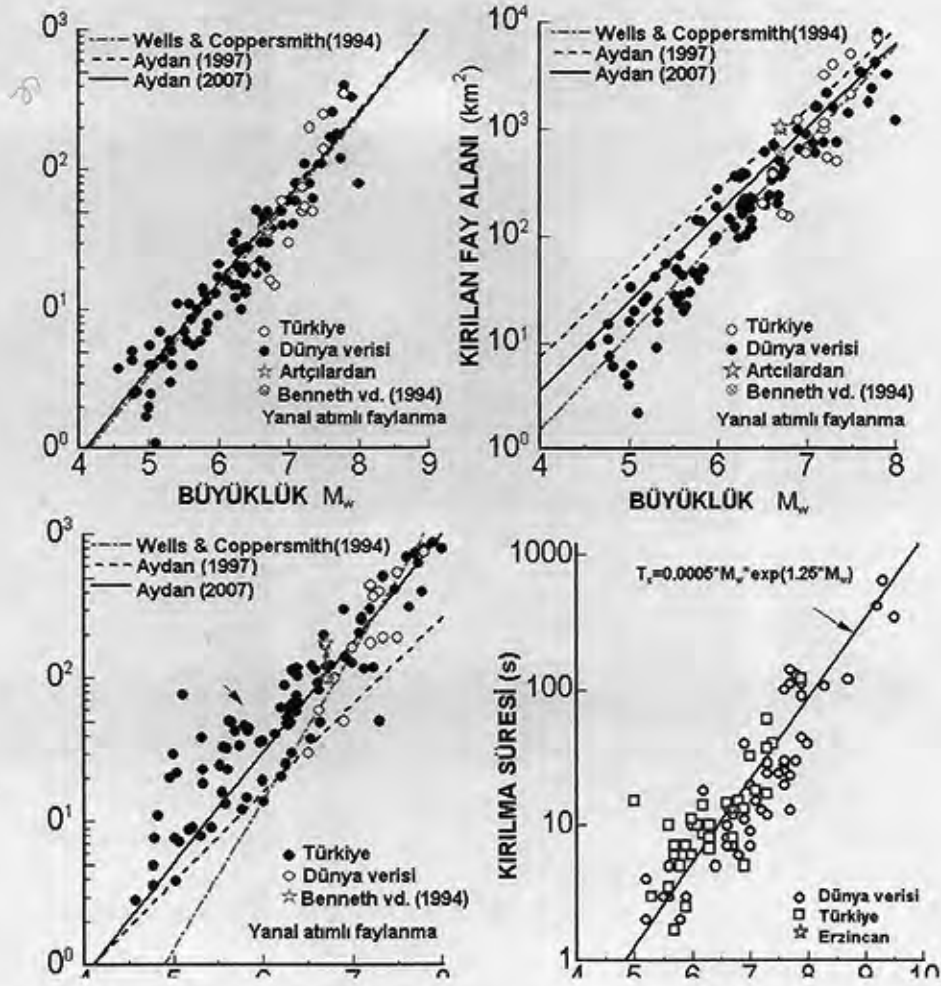
olasılığının yüksek olduğunu belirtmekle birlikte, kırıkların tam nedeninin belirlenmesinin güç olduğunu ifade etmişlerdir. Yazar bu yeri incelememiş olmakla birlikte, Şekil 17'deki dolguda görülen kalıcı yerdeğiştirmeler kesinlikle dolgu yenilmesi ile ilişkilidir. Eğimli yamaçlardaki kırıkların da büyük bir olasılıkla sarsıntı sonucu oluşma olasılığı oldukça yüksektir. Bir diğer önemli husus, daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi, bu bölgede hiçbir artçı sarsıntı meydana gelmemiş ve faylanmanın Erzincan'ın doğusunda olduğu değişik araştırmacılar (örneğin Barka, 1992; Benneth vd., 1994; Eyidoğan, 1992) tarafından ifade edilmiştir.

Çizelge 2. Erzincan depreminde gözlenen yüzey kırıklarının ve yerdeğiştirmelerin yerleri ile bazı özellikleri.

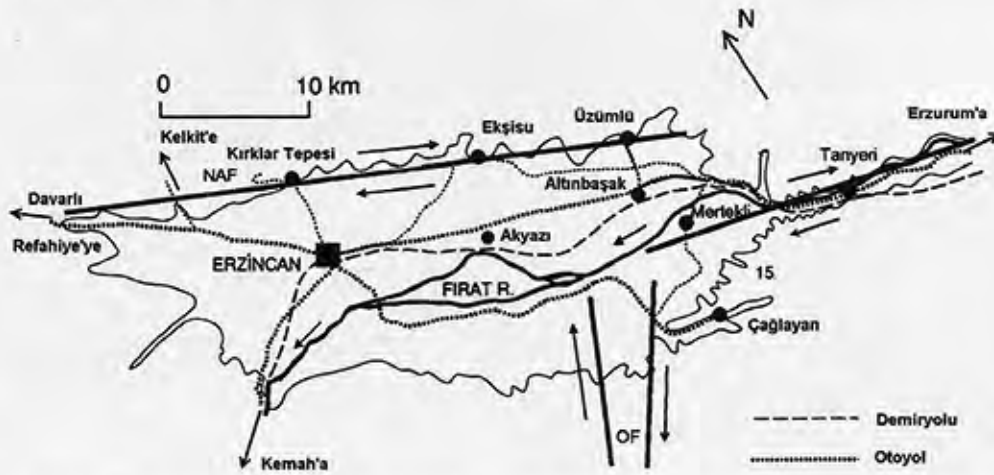
Table 2. Locations and characteristics of surface ruptures and ground movement caused by the Erzincan earthquake.

No.	Yer	Yüzey kırıkları ve yerdeğiştirme biçimleri	Kaynak
1	Tanyeri	Şev kayması	HA
2	Karasu (Sakızlık	Yanal yayılma (100 cm), demiryolu ve karayolu	HA,
3	Tepe)	dolgularında kayma	IMO-İŞ
3	Demirkapı	Karayolunda açılma ve kayma	HA AIJ-
4	Mertekli	Yanal yayılma ve sıvılaşma	JSCE-
5	Çağlayan	200 m uzunluğunda çatlak	BU
6	Ekşisu	Sıvılaşma ve dolguda yanal yayılma, yeni termal kaynak	YD
7	Altınbaş	çıkışı	HA, DY
8	Akyazı	Sıvılaşma	HA
7	Kırklar Tepesi	Kanallarda yayılma	HA
8	Davarlı	Yol dolgularında yanal hareket ve çatlaklar	IMO-İŞ
		Yol dolgularında yanal hareket ve çatlaklar	DY

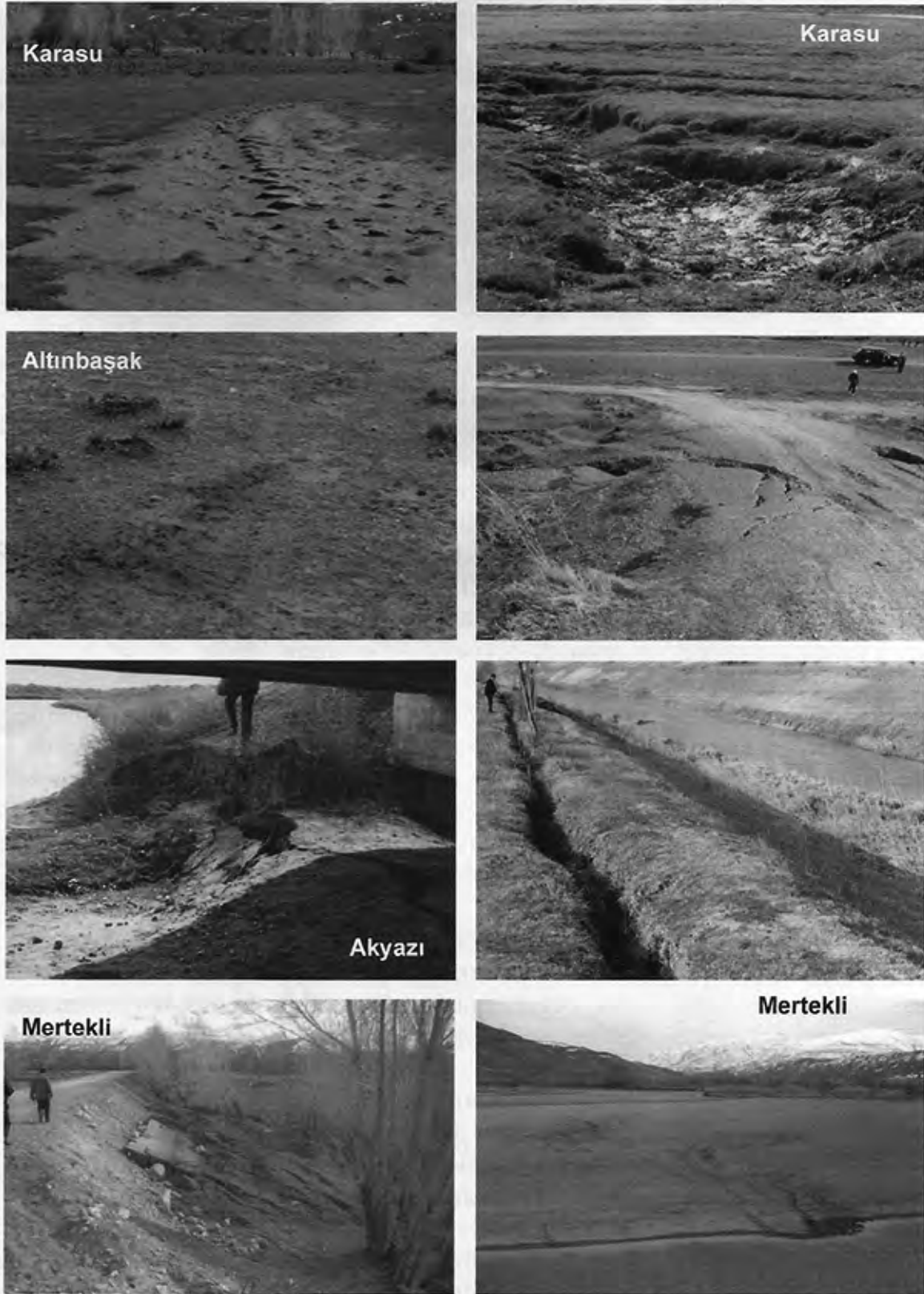
HA: Hamada ve Aydan (1992); DY: Demirtaş ve Yılmaz (1993); AIJ-JSCE-BU: Japon Mimarlar Odası, Japon İnşaat Mühendisleri Odası ve Boğaziçi Üniversitesi, (1992); IMO-İŞ: İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi (1993)



Şekil 13. 1992 Erzincan depreminin bazı özelliklerinin görgül ilişkilerle karşılaştırılması.
Figure 13. Comparison of some characteristics of the 1992 Erzincan earthquake with empirical relations.



Şekil 14. Erzincan depreminde gözlenen yüzey kırıklarının ve yerdeğiştirmelerin yerleri.
Figure 14. Locations of surface cracks and ground displacements observed in the 1992 Erzincan earthquake.



Şekil 16. Deprem alanında gözlenen zemin sıvılaşması, yanal yayılma ve dolgu yenilmesine örnekler.

Figure 16. Examples of liquefaction, lateral spreading and embankment failure observed in the earthquake area.

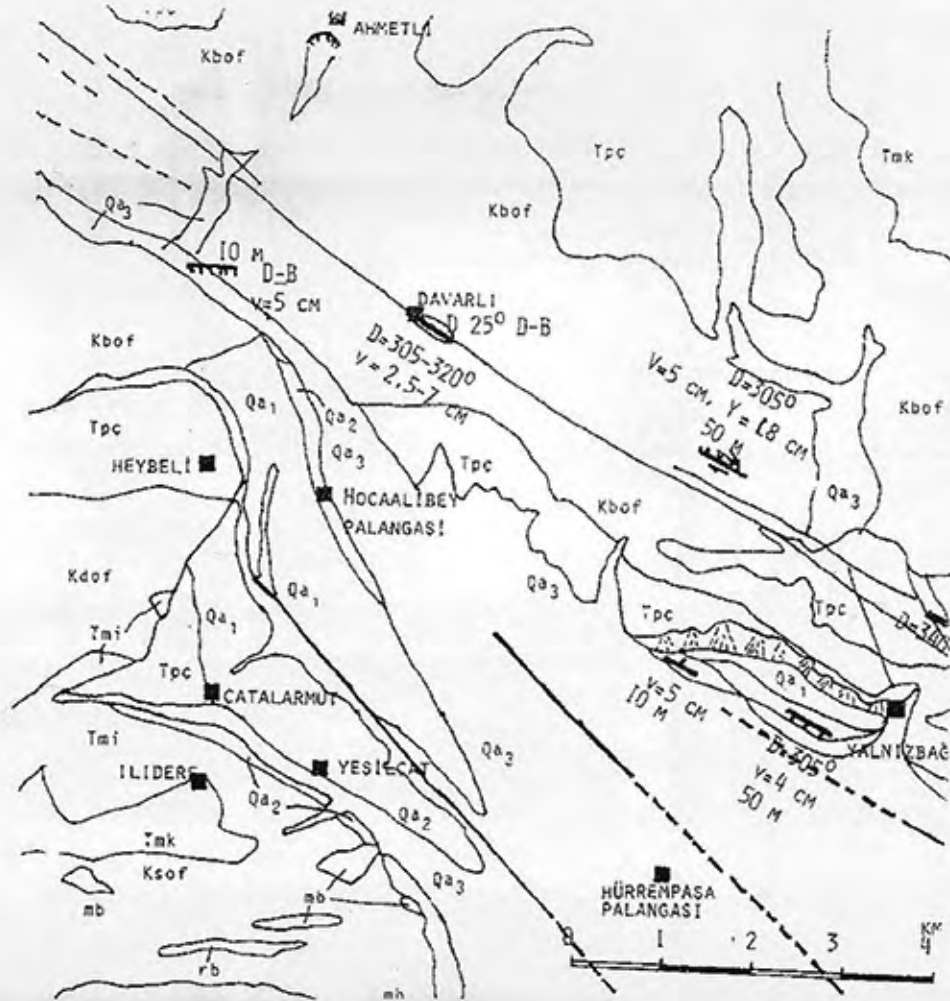
7. DEĞERLENDİRMELER VE BAZI DÜŞÜNCELER

Şekil 17’de Davarlı köyü yakınlarında yol kenarında dolguda görülen yüzey kırıklarının oluşumu Erzincan’da alınan ivme kaydı kullanılarak ve Şekil 18’de verilen malzeme özellikleri ile suya doygunluk durumu da dikkate alınıp, Aydan ve Ulusay (2002) tarafından önerilmiş yöntem kullanılarak yapılan hesaplamaların sonucu gösterilmiştir. Şekil 17’de görülen 25-70mm’lik düşey atım için Erzincan’daki kayıt ile dolgu için olağan malzeme özellikleri kullanıldığında yenilmenin meydana gelebileceği görülmektedir.

Fırat Nehri yakınlarında ve Ekşisu’da görülen sıvılaşma ve yanal yayılma ile ilgili gözlem ve ölçümler Aydan (2007) tarafından fayın konumunu da dikkate alarak önerilmiş görgül ilişkilerle karşılaştırılmıştır (Şekil 19). Şekil 19a’da 1939 Erzincan depremi ile ilgili veriler de gösterilmiştir. 1992 Erzincan deprem verisi için, depremin odak derinliği 10 km olarak varsayılarak veriler şekle işlenmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, hesaplanan odak derinliğinin kurumdan kuruma değiştiğinin de gözönüne alınmasında yarar vardır. Yazar tarafından gözlenen tüm veriler sıvılaşabilir kısma düşmektedir. Benzer şekilde değişik yerlerde gözlenen yanal yayılma sonucu oluşan yerdeğiştirme miktarları Aydan vd. (2008) tarafından önerilmiş görgül ilişkilerle karşılaştırılmıştır. Görgül ilişkilerde yerin en büyük hızı olarak Erzincan kaydından hesaplanan D-B ve K-G yönlerindeki değerler alınmış ve buna göre veri işlenmiştir. Gözlem sonuçları yanal yayılmanın meydana geldiği alanlarda sıvılaşabilir seviyenin kalınlığının 3 ile 5 m arasında değişeceğini göstermektedir.

Yukarıdaki değerlendirmeye ek olarak, Aydan vd. (2008)’nin sıvılaşan zeminlerde yanal yayılma miktarının hesaplanması için önerdikleri rijit blok modeli ile Erzincan’da alınan kayıtlar kullanılarak sıvılaşma sonucu yanal yayılma miktarı hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 20’de gösterilmiştir. Bu hesaplamada sıvılaşmış zeminler için Ishihara (1993)’nin derlediği sürtünme açısı değerleri ile Erzincan’da alınan D-B ve K-G yönündeki ivmeler ile düşey ivme kullanılmıştır. Herbir yatay yön için hesaplanan yanal yayılma miktarları Şekil 20’de gösterilmiştir. Sonuçlar, en yüksek yatay ivmenin etkidiği K-G yönünde salınım için yanal yayılmanın 170 ile 330 cm arasında değişebileceğini göstermektedir. Diğer yandan, D-B yönündeki salınım için yanal yayılma miktarındaki azalma 107 ile 230 cm arasında değişmektedir. Bu değerler Şekil 19’daki değerler ile karşılaştırıldığında oldukça benzer oldukları söylenebilir.

Yüzeysel etkilerin bir diğer şekli ise, şev duraysızlıkları veya başka deyişle heyelanlardır. Şev duraysızlıkları özellikle Fırat Nehri’nin dar bir boğazdan aktığı Tercan-Erzincan otolyolu ile demiryolu boyunca meydana gelmiştir (Şekil 21). Bu şev duraysızlıklarının büyük bir kısmı tektonizma sonucu oldukça parçalanmış ve kısmen ezilmiş ofiyolit birimleri ile volkanik kayalarda gözlenmiştir. Bu tür duraysızlıklar, Keefer (1984)’in tanımlamasına göre kırıklı veya taneseli malzeme (disrupted or fractured rock or granular) şev duraysızlıkları olarak sınıflandırılabilir. Bunlarla ilgili gözlemlere ait sonuçlar Şekil 22a’da gösterilmiştir. Diğer yandan, yine Keefer (1984) tarafından kütleli (coherent or involving yielding of cohesive material) şeklinde tanımlanan şev duraysızlıkları ise, çok kırıklı ofiyolitik kaya ile kohezyonlu zemin şevlerinde gözlenmiştir. Keefer’in görgül olarak çizdiği ve Aydan (2007) tarafından önerilen “deprem büyüklüğü - şev yenilme uzaklığı” ilişkileri bu gözlemlerle Şekil 22’de karşılaştırılmıştır. Aydan (2007)’in önerdiği ilişkilerde oluşabilir şev yenilme uzaklığında fayın konumu da düşünülmektedir.



Şekil 17. Davarlı'da dolgu yenilmesi ve yüzey kırık haritası (DAD, 1993).

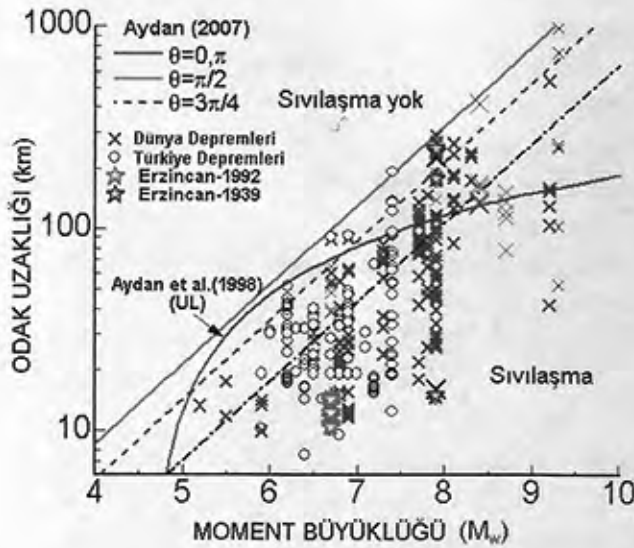
Figure 17. A view of ruptured embankment and surface rupture map (DAD, 1993).



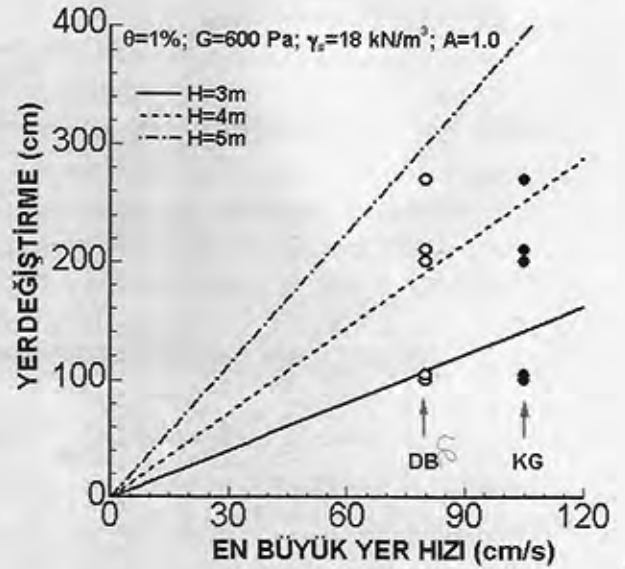
Şekil 18. Davarlı ve benzeri dolgular için hesaplanan yerdeğiştirmeler

Figure 18. Relative displacements calculated for the embankments of Davarlı and similar locations.

(a) Büyüklük – sıvılaştırılabilir odak uzaklığı



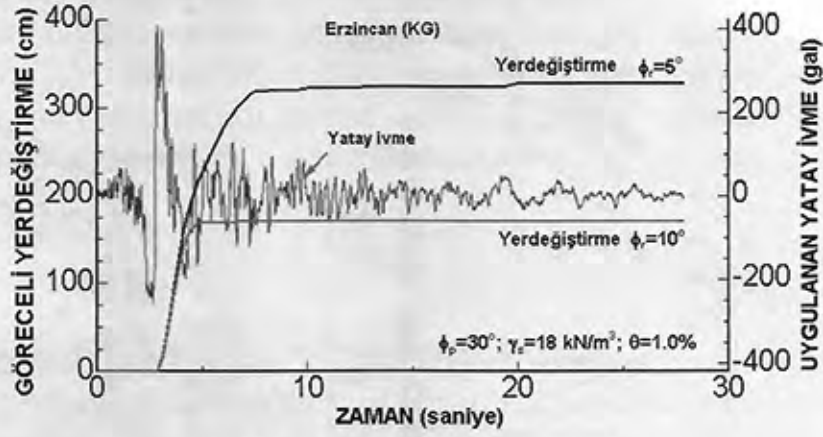
(b) En yüksek yer hızı ile yanal yayılma



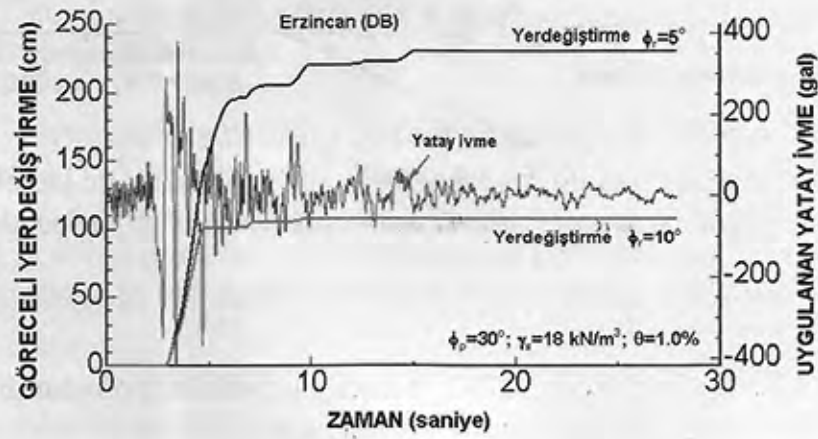
Şekil 19. Görgül ilişkilerle sıvılaşma gözlem verilerinin karşılaştırılması.

Figure 19. Comparison of empirical relations with observation on ground liquefaction.

(a) K-G yönündeki salınım için yanal yayılma



(b) D-B yönündeki salınım için yanal yayılma

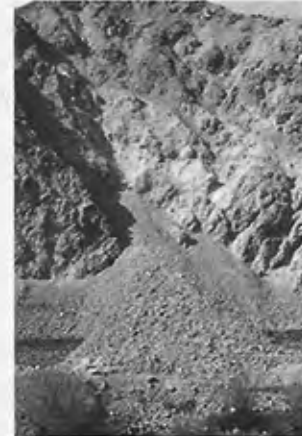


Şekil 20. Erzincan'da alınan ivme kaydı için yanal yayılmanın zamana bağlı değişimi.
 Figure 20. Lateral spreading response for strong motion records of Erzincan.

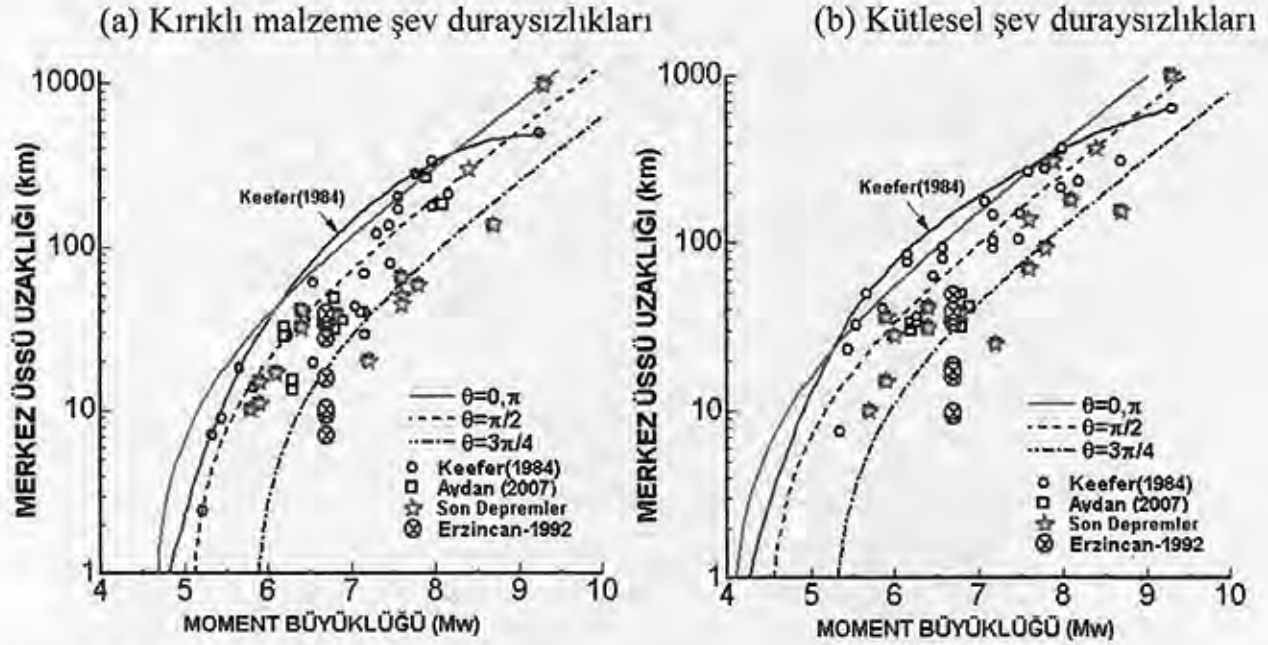
(a) Kütleli şev duraysızlığı



(b) Kırıklı malzeme şev duraysızlığı



Şekil 21. Kırıklı malzeme ve kütleli şev duraysızlıklarına bazı örnekler.
 Figure 21. Some examples of failure of disrupted and coherent slopes.



Şekil 22. Şev duraysızlıklarıyla ilgili gözlemlerin görgül ilişkiler ile karşılaştırılması.
Figure 22. Comparison of empirical relations with observations on failed slopes.

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada, M_w 6.8 büyüklüğündeki 1992 Erzincan depreminin oluşturabileceği yüzeysel etkiler olarak yüzey kırıkları ile tektonik ve jeoteknik kökenli kalıcı yerdeğiştirmeler incelenmiş ve tartışılmıştır. Depremden etkilenen bölgedeki yüzey kırıklarının büyük bir kısmı depreme neden olan fayın yüzeylenmesi durumunda oluşabileceklerden oldukça farklıdır. Bu olgunun nedenlerinden biri, Erzincan Ovası'nın kalınlığı 1000 m'yi aşan özellikle çakıl ve kum türü çökellerle kaplı ve depreme neden olan fayın konumunun ovanın ortasına yakın olmasından kaynaklanmış olabileceğidir. Değişik yerlerde gözlenen kırıkların büyük bir kısmının yanal yayılma, şev duraysızlığı ve dolgu yenilmesi gibi jeoteknik kökenli olduğu söylenebilir. Gözlenen yüzey kırıklarının büyük bir çoğunluğunun serbest yüzeye doğru şev veya dolgu duraysızlığı ve sıvılaşmaya bağlı yanal yayılma sonucu gelişmiş olup, doğrudan faylanma ile ilişkilendirilmelerinin mümkün olmadığı düşünülmektedir. Erzincan'da alınan kuvvetli yer hareketi kaydı için EPS yöntemi uygulandığında, Erzincan'ın güneydoğuya doğru kalıcı olarak hareket ettiği anlaşılmaktadır. Buradan çıkarılan sonuç, ovanın kuzey kısmında yumuşak-katı zemin sınırlarında bu tür hareketlerin zeminde açılma ve oturma şeklinde olacağına işaret etmektedir. Bu durumda Erzincan'ın doğusunda ve Erzincan Ovası'nın kuzey sınırında görülen yüzey kırıklarının tektonik kökenli olduğu düşünülebilir. Meydana gelen şev duraysızlıklarının hemen hemen tamamı sarsıntı sonucu meydana gelmiş olup, faylanmanın bir ürünü değildir.

KATKI BELİRTME

Yazar, 1992 Erzincan depreminin saha incelenmesini Waseda Üniversitesi'nden Prof.Dr. Masanori Hamada ve İTÜ'den Prof. Dr. Zeki Hasgür ile birlikte yapmıştır. Yazar her iki öğre-

tim üyesine en içten teşekkürlerini sunmayı bir borç bilir. Yazar ayrıca, bu depremin saha incelemesinde tüm organizasyonları yapan merhum Prof. Dr. Rifat Yarar ve incelemelerde yardımcı olan Afet İşleri Genel Müdürlüğü elemanlarına yürekten teşekkür etmeyi bir borç bilir. Bunun yanı sıra yazar, gerekli finansal desteği sağlayan 'Association for Development of Earthquake Prediction (ADEP)'e de ayrıca teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- AIJ-JSCE-BU, 1993. Damage report on 1992 Erzincan earthquake, Turkey. Joint Reconnaissance Team of Architectural Institute of Japan, Japan Society of Civil Engineering, and Bogazici University, Istanbul, Turkey.
- Aktimur, H.T., 1986. Erzincan, Refahiye ve Kemah dolayının jeolojisi: MTA Rapor No. 7932, Ankara (yayımlanmamış).
- Aydın, Ö., 1997. Seismic characteristics of Turkish earthquakes. Turkish Earthquake Foundation Report No. TDV/TR 97-007, İstanbul.
- Aydın, Ö., 2000. A stress inference method based on GPS measurements for the directions and rate of stresses in the earth's crust and their variation with time. *Yerbilimleri*, 22, 223-236.
- Aydın, Ö., 2001. İstanbul Bopazı denizaltı geçişi için tüp tunnel ile kalkan tünelin uygunluğunun karşılaştırılması. *Jeoloji Mühendisliği*, 25 (1): 1-17.
- Aydın, Ö., 2007. The inference of seismic and strong motion characteristics of earthquakes from faults with a particular emphasis on Turkish earthquakes. *Proceedings of the 6th National Earthquake Engineering Conference of Turkey*, İstanbul, pp. 563-574.
- Aydın, Ö., and Hamada, M., 1992. The site investigation of the Erzincan (Turkey) Earthquake of March 13, 1992. *The 4th Japan-US Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures Against Soil Liquefaction*, pp. 17-34.
- Aydın, Ö., and Kumsar, H., 1997. A site investigation of October 1, 1995 Dinar Earthquake. *Turkish Earthquake Foundation Report No. TDV/DR 97-003*, İstanbul.
- Aydın, Ö. and Hasgür, Z., 1997. Türkiye'deki depremlerin ivme karakteristikleri . 4. Ulusal Deprem Kongresi Bildiriler Kitabı, Ankara, s. 30-37.
- Aydın, Ö., and Ulusay, R., 2002. A back analysis of the failure of a highway embankment at Bakacak during the 1999 Düzce-Bolu earthquake. *Environmental Geology*, 42, 621-631.
- Aydın, Ö., and Ohta, Y., 2006. The characteristics of strong ground motions in the neighbourhood of earthquake faults and their evaluation. *Proceedings of the Symposium on*

- the Records and Issues of Recent Great Earthquakes in Japan and Overseas, EEC-JSCE, Tokyo, pp. 114-120.
- Aydan, Ö., Sezaki, M., and Yazar, R., 1996. The seismic characteristics of Turkish Earthquakes. The 11th World Conference on Earthquake Engineering, CD-2, Paper No:1270.
- Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H., Sönmez, H., and Tuncay, E., 1998. A site investigation of Adana-Ceyhan Earthquake of June 27, 1998. Turkish Earthquake Foundation Report No. TDV/DR 006-30, İstanbul.
- Aydan, Ö., Ulusay, R., Hasgür, Z., and Taşkın, B., 1999. A site investigation of Kocaeli Earthquake of August 17, 1999. Turkish Earthquake Foundation Report No. TDV/DR 08-49, İstanbul.
- Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H., and Tuncay, E., 2000a. Site investigation and engineering evaluation of the Düzce-Bolu Earthquake of November 12, 1999. Turkish Earthquake Foundation Report No. TDV/DR 095-51, İstanbul.
- Aydan, Ö., Ulusay, R. and Kumsar H., 2000b. An approach for earthquake occurrences in Western Anatolia through GPS measurements. The Symposium on Earthquake Potential of Western Anatolia, İzmir, pp. 279-292.
- Aydan, Ö., Ulusay R., and Atak, V.O., 2008. Evaluation of ground deformations induced by the 1999 Kocaeli earthquake (Turkey) at selected sites on shorelines. Environmental Geology, Springer Verlag, 54, 165-182.
- Aydın, A., and Nur, A., 1982. Evolution of pull apart basins and their scale independence. Tectonics, 1, 91-105.
- Barka, A., 1992. Kuzey Anadolu Fayının Erzincan çevresindeki davranışı ve 13 Mart 1992 depremi. Yerbilimci Gözüyle Erzincan Depremi, Derleyen A. Ercan, İstanbul, s. 35-42.
- Barka, A., and Gülen, L., 1987. Age and total displacement of the North Anatolian Fault zone and its significance for the better understanding of the tectonic history and present day dynamics of the Eastern Mediterranean region, Melih Tokay Geology Symposium Ankara, pp. 57-58.
- Barka, A., and Eyidoğan, H., 1993. The Erzincan earthquake of 13 March 1992 in Eastern Turkey. Terra Nova, 5, 190-194.
- Baykal, F., 1953. Cimen ve Munzur dağları mintikasında jeolojik etutler. MTA Rapor No. 2056, Ankara (yayımlanmamış).
- Bennett, R., Toksöz, M., and Bouchon, M., 1994. Source parameters of the 1992 Erzincan, Turkey earthquake. Earth Resources Laboratories, MIT, USA:

- Büyükaşikoğlu, S., 1992. Erzincan'ın yeraltı yapısı. Yerbilimci Gözüyle Erzincan Depremi. Derleyen A. Ercan, İstanbul, s. 43-51.
- DAD, 1993. 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Raporu. T.C. İmar ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Arştırma Dairesi, 285 (Editör N. Bayülke).
- DAD, 1996. İvme kayıtlarıyla birlikte 1976-1996 arasındaki depremlerin katalogu. E. İnanc, Z. Çolakoğlu, N. Bayülke ve E. Çoruh (editörler), Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Raporu, Ankara.
- DSİ, 1981. Erzincan Ovası.hidrojeoloji raporu. DSİ Raporu, Ankara (yayımlanmış).
- EEFIT, 1992. The Erzincan, Turkey earthquake of 13 March 1992. A Field Report, London (yayımlanmamış).
- EERI, 1993. Erzincan, Turkey, Earthquake of March13, 1992. Reconnaissance Report. Earthquake Spectra 09, Supplement (July 1993) -Erzincan, Turkey, Earthquake of March13.
- Erken, A., Ülker, R., Özkan, O. ve Kurtulmaz, S., 1995. E. Erzincan Ekşisu'da sıvılaşma potansiyeli ve yerel zemin koşulları, 3. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı Bildiriler Kitabı, İstanbul, s. 597-606.
- Eyidoğan, H., 1992. 13 Mart 1992 Erzincan depremi nNerede ve nasıl oldu?. Yerbilimci Gözüyle Erzincan Depremi, Derleyen A. Ercan, İstanbul, s. 35-42.
- Fukushima, Y., Tanaka, T., and Kataoka, S., 1988. A new attenuation relationship for peak ground acceleration derived from strong motion accelerograms. 9th World Congress of Earthquake Engineering, Tokyo.
- Gençoğlu, S., İnanc, I., and Güler, H., 1990. Türkiye'nin deprem tehlikesi. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara.
- Hamada, M., and Aydan, Ö., 1992. The site investigation of the March 13 earthquake of Erzincan, Turkey. Published by Association for Development of Earthquake Prediction (ADEP).
- Hasgür, Z., and Aydan, Ö., 1996. Liquefaction, lateral spreading, slope and embankment failure during the March 13 Earthquake of Erzincan, Turkey. The 11th World Conference on Earthquake Engineering, CD-2, Paper No:1025.
- Ishihara, K., 1993. Liquefaction and flow failure during earthquakes. Geotechnique, 43(3), 351-415.
- İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi (İMO-İŞ), 1993. Erzincan Depremi, 48p.

- İyisan, R. ve Ansal A., 1993. Erzincan'da dinamik zemin özelliklerinin kuyu içi sismik yöntemlerle belirlenmesi. 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, s. 372-379.
- Kalafat, D., 1995. 13 Mart 1992 Erzincan depremi. Deprem Araştırma Bülteni, 73, 5-30.
- Kaypak, B. ve Eyidoğan, H., 2002. Erzincan havzası ve dolayının üst-kabuk hız yapısının (1B) belirlenmesi. İTÜ Dergisi/D, 1 (29), 107-122.
- Keefer, D.K., 1984. Landslides caused by earthquakes. Geological Society of America Bulletin, 95(2), 406-421.
- KOERI, 2000. Kandilli Rasathanesi. <http://www.koeri.boun.edu.tr/>
- NEIC, 1999. National Earthquake Information Center of United States Geological Survey. <http://neic.usgs.gov/>
- Ohta, Y., and Aydan, Ö., 2005. An integration technique for ground displacement from acceleration records and its application to actual earthquake records. Journal of the School of Marine Science and Technology of Tokai University, 5 (2), 1-12.
- Özgül, N., 1981, Munzur dağlarının jeolojisi: MTA Rapor No. 6995, Ankara (yayımlanmamış).
- Ulusay, R., Aydan, Ö., Kumsar, H., and Sönmez, H., 2000. Engineering geological characteristics of the 1998 Adana-Ceyhan earthquake, with particular emphasis on liquefaction phenomena and the role of soil behaviour. Bulletin of Engineering Geology and Environment, 59, 99-118.
- Ulusay, R., Tuncay, E., Sönmez, H., and Gökçeoğlu, C., 2004. An attenuation relationship based on Turkish strong ground motion data and iso-acceleration map of Turkey. Engineering Geology, 74, 265-291.
- Wells, D.L., and Coppersmith, K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, Bulletin of Sseismological Society of America, 84, 974-1002.

MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ BÜLTENİ

AMAÇ, YAYINA KABUL İLKELERİ VE YAZIM KURALLARI

AMAÇ

Mühendislik Jeolojisi Bülteni,

1. Türkiye’de mühendislik jeolojisi konusunda gerek duyulan bilimsel teknik iletişimi saylamak.
2. Türkçe’nin bilimsel ve mesleki yayın dili olarak gelişmesi ve yabancı sözcüklerden arındırılması çabalarına katkıda bulunmak,
3. Mühendislik jeolojisi konusunda uluslararası düzeyde yapılan çalışmaların özellikle uygulamacılar tarafından kolayca izlenebilmesini ve yararlanılabilirliğini sağlamak amacıyla yayımlanmaktadır.

NİTELİK,

Mühendislik Jeolojisi Bülteni’nde yayımlanması istemiyle gönderilecek olan yazılar mühendislik jeolojisinin herhangi bir alanında bir konuyu içermesi koşuluyla, aşağıdaki niteliklerden en az birini taşımaktadır:

1. Bilimsel yöntemlerle yapılmış özgün sonuçları olan bir çalışma,
2. Mühendislik jeolojisi konusunda daha önce yapılmış çalışmaları eleştiren bir yaklaşımla derleyen ve o konuda katkı sağlayan eleştirel derleme veya uygulamaya dönük bir çalışma,
3. Mühendislik jeolojisi konusunda Türkiye’yi büyük ölçüde ilgilendiren ve yabancı bir dilde yayımlanmış bir yazının Türkçe versiyonu.

Yazıların Bülten’de yayımlanabilmesi için daha önce Türkçe yayımlanmamış olması gerekir.

YAZILARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YAYINA KABUL İLKELERİ

Mühendislik Jeolojisi Bülteni Editörlüğü’ne sunulan yazılar, öncelikle içerik, sunum, yayım kuralları vd. yönlerden Editörlük tarafından incelenir ve daha sonra değerlendirmek üzere en az iki Yayın Kurulu üyesine gönderilir. Yayın Kurulu üyelerinden gelecek görüşler doğrultusunda yazının doğru-
dan, az veya önemli ölçüde düzeltilmesi koşuluyla yayımlanmasına veya reddine Editörlükçe karar verilerek sonuç yazarlara bildirilir. Yazarlar, incelemecilerin ve Editörlüğün yaptığı eleştiri, öneri ve düzeltmelere ilişkin yanıtlarını ayrı sayfalarda gerçekleriyle birlikte açıklamalıdır.

YAZIM DİLİ

Mühendislik Jeolojisi Bülteni’nin yazım dili “Türkçe” dir. Bununla birlikte; yazıların başlıkları, ö-
zleri, anahtar kelimeler ve tüm çizelgelerin başlıkları ile şekil altı açıklamaları Türkçe ve İngilizce olarak iki dilde birlikte verilmelidir.

YAZIM KURALLARI

İncelenmek üzere Editörlüğe gönderilecek makalelerin hazırlanmasında dikkat edilecek yazım ku-
ralları aşağıda verilmiştir. Yayına kabul edilen makalelerin derginin formatına göre dizilmesi işle-
mi, basımevi tarafından yapılmaktadır. Bu nedenle, yayına kabul edilen makalelerin metni, çizelge-
leri, şekilleri ve şekiller dizini CD’ye kopyalanmış olarak ayrıca makalenin bir orijinal çıktısıyla birlikte Editörlüğe gönderilmelidir.

Metin Bölümü

1. Metin; A4 boyutunda (29.7x21 cm) kağıtların üzerine bilgisayarda, 1.5 satır aralıklı, 12 punto ve Times New Roman fontuyla yazılmalıdır. Sayfaların alt, üst ve yanlarında 2.5 cm boşluk bırakılmalı ve sayfalar kurşun kalemle numaralandırılmalıdır. Bilgisayar çıktılarının silik olmasına özen gösterilmelidir.
2. Başlık; konuyu en iyi şekilde belirtir ve 10 kelimeyi geçmeyecek şekilde kısa seçilmeli Türkçe başlığın (tamamı büyük harfle ve koyu yazılmış) yanı sıra, İngilizcesi (italik ve normal küçük harflerle) de yazılmalıdır.
3. Öz; yazının başlangıcında en fazla 200 kelimeyi geçmeyecek şekilde hazırlanmış, Türkçe ve İngilizce öz (Abstract) bulunmalıdır. Bu bölüm, yayının diğer bölümlerinden ayrı olarak yayımlanabilecek düzende yazılmış, yazının tümünü en kısa, ancak öz biçimde yansıtır nitelikte (özellikle çalışmanın amacını ve başlıca sonuçlarını içermeli) olmalıdır. Öz içinde; yararlanılan kaynaklara, şekil, çizelge ve eşitlik numaralarına değinilmemelidir. Ayrıca Öz ve Abstract bölümlerinin altında bir satır boşluk bırakılarak Anahtar Kelimeler ve Key Words (en az 3, en çok 6 kelime) verilmelidir.
4. Yazının genel olarak aşağıda belirtilen düzene göre sunulmasına özen gösterilmelidir.
 - a. Başlık (Türkçe ve İngilizce, Türkçesi büyük, İngilizcesi küçük harflerle ve italik)
 - b. Yazar ad(lar)ı ve adres(ler)i (yazar adları koyu karakterle ve soyadları tamamen büyük harfle, adresler italik olarak)
 - c. Öz (anahtar kelimeler eklenerek)
 - d. Abstract (keywords eklenerek)
 - e. Giriş (amaç, kapsam vd.)
 - f. Metin bölümü (yöntemler, çalışılan malzeme, saha tanımlamaları, bulgular vb.)
 - g. Sonuçlar ve tartışmalar (sonuçların tartışılması gerektiği durumlarda tartışmalar sonuçlarla birlikte verilmelidir. Bu durumda 'Sonuçlar' başlığı yerine 'Tartışma ve Sonuçlar' başlığı kullanılmalıdır).
 - h. Katkı belirtme (gerekiyorsa)
 - i. Kaynaklar
5. Yazılarda okuyucuya aktarılması istenen veri, görüşler, tartışmalar (metin kısmı), çizelgeler ve şekiller dahil en fazla 20 sayfayı aşmayacak şekilde düzenlenmelidir.
6. Metin içinde ana bölüm başlıkları dışında en fazla üç alt başlık oluşturulmalı ve başlıklara numara verilmelidir. Bunların yazım şekil yandaki gibi olmalıdır (1.,1.1.,.....2.,2.1.,..... gibi).
7. SI birimleri (kPa, kN/m³ vb.) kullanılmalıdır.
8. Gerek metin içinde ve çizelgelerde, gerekse şekillerde rakamların ondalık bölümlerinin ayrılması için nokta konulmalıdır (3.1 gibi).

Kaynaklar

Kaynaklar, alfabetik sırayla ve türlerine göre aşağıda belirtilen formatlara uygun şekilde verilmelidir.

Metin Bölümü

1. Metin; A4 boyutunda (29.7x21 cm) kağıtların üzerine bilgisayarda, 1.5 satır aralıklı, 12 punto ve Times New Roman fontuyla yazılmalıdır. Sayfaların alt, üst ve yanlarında 2.5 cm boşluk bırakılmalı ve sayfalar kurşun kalemle numaralandırılmalıdır. Bilgisayar çıktılarının silik olmasına özen gösterilmelidir.
2. Başlık; konuyu en iyi şekilde belirtir ve 10 kelimeyi geçmeyecek şekilde kısa seçilmeli Türkçe başlığın (tamamı büyük harfle ve koyu yazılmış) yanı sıra, İngilizcesi (italik ve normal küçük harflerle) de yazılmalıdır.
3. Öz; yazının başlangıcında en fazla 200 kelimeyi geçmeyecek şekilde hazırlanmış, Türkçe ve İngilizce öz (Abstract) bulunmalıdır. Bu bölüm, yayının diğer bölümlerinden ayrı olarak yayımlanabilecek düzende yazılmış, yazının tümünü en kısa, ancak öz biçimde yansıtır nitelikte (özellikle çalışmanın amacını ve başlıca sonuçlarını içermeli) olmalıdır. Öz içinde; yararlanılan kaynaklara, şekil, çizelge ve eşitlik numaralarına değinilmemelidir. Ayrıca Öz ve Abstract bölümlerinin altında bir satır boşluk bırakılarak Anahtar Kelimeler ve Key Words (en az 3, en çok 6 kelime) verilmelidir.
4. Yazının genel olarak aşağıda belirtilen düzene göre sunulmasına özen gösterilmelidir.
 - a. Başlık (Türkçe ve İngilizce, Türkçesi büyük, İngilizcesi küçük harflerle ve italik)
 - b. Yazar ad(lar)ı ve adres(ler)i (yazar adları koyu karakterle ve soyadları tamamen büyük harfle, adresler italik olarak)
 - c. Öz (anahtar kelimeler eklenerek)
 - d. Abstract (keywords eklenerek)
 - e. Giriş (amaç, kapsam vd.)
 - f. Metin bölümü (yöntemler, çalışılan malzeme, saha tanımlamaları, bulgular vb.)
 - g. Sonuçlar ve tartışmalar (sonuçların tartışılması gerektiği durumlarda tartışmalar sonuçlarla birlikte verilmelidir. Bu durumda 'Sonuçlar' başlığı yerine 'Tartışma ve Sonuçlar' başlığı kullanılmalıdır).
 - h. Katkı belirtme (gerekiyorsa)
 - i. Kaynaklar
5. Yazılarda okuyucuya aktarılması istenen veri, görüşler, tartışmalar (metin kısmı), çizelgeler ve şekiller dahil en fazla 20 sayfayı aşmayacak şekilde düzenlenmelidir.
6. Metin içinde ana bölüm başlıkları dışında en fazla üç alt başlık oluşturulmalı ve başlıklara numara verilmelidir. Bunların yazım şekil yandaki gibi olmalıdır (1.,1.1.,.....2.,2.1,..... gibi).
7. SI birimleri (kPa, kN/m³ vb.) kullanılmalıdır.
8. Gerek metin içinde ve çizelgelerde, gerekse şekillerde rakamların ondalık bölümlerinin ayrılması için nokta konulmalıdır (3.1 gibi).

Kaynaklar

Kaynaklar, alfabetik sırayla ve türlerine göre aşağıda belirtilen formatlara uygun şekilde verilmelidir.

Makale:

Soyadı, A., Tarih. Makalelerin başlığı. Derginin Açık Adı, Sayı (No.), başlangıç ve bitiş sayfaları.

Kitap:

Soyadı, A., Tarih. Kitabın Adı. Basımevi, Basıldığı Kentin Adı.

Rapor ve Tezler:

Soyadı, A., Tarih. Rapor veya tezin başlığı. Kuruluş veya Üniversite ve Bölüm Adı, Sayfa sayısı (yayımlanıp yayımlanmadığı).

Not : Tüm kaynaklarda ilk satırdan sonraki satırlar 3 harf içerden başlanarak yazılmalıdır. Kaynaklara metin içerisinden yazarın soyadı ve yayın tarihi belirtilerek aşağıdaki örneklere benzer şekilde atıfta bulunmalıdır.

Ketin ve Canitez (1972).....

Bazı araştırmacılar (Bieniawski, 1989; Barton, 2002).....

Eşitlikler

- Eşitliklerde, yaygın olarak kullanılan uluslararası simgelere yer verilmesine özen gösterilmelidir.
- Her eşitliğe sırayla numara verilmeli, numaralar parantez içinde eşitliğin hizasında ve sayfanın sağ kenarında belirtilmelidir.

Çizelgeler

- Yazarlar, Bülten'in boyutlarını dikkate alarak, çizelge sayısını sınırlı tutmalı, gerekiyorsa metinde kullanılabilecek oranda çizelgeleri daha küçük karakterlerle yazılmalıdır. Tam sayfaya yerleştirilmesi zorunlu olan büyük çizelgelerin (çizelge açıklaması dahil) en fazla (15x20) cm boyutlarında olması gereklidir. Bu boyutlardan daha büyük ve katlanacak türde çizelgeler kabul edilmez.
- Çizelgelerin başlıkları, kısa ve öz olarak seçilerek, hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfi büyük diğerleri küçük harfle) hem de İngilizce (İtalik) ilgili çizelgenin üzerinde verilmelidir.
- Çizelgelerde kolonsal ayrımı gösteren düşey çizgiler yer almalı, sadece çizelgenin üst ve alt sınırları ve gerek görülen diğer bölümleri için yatay çizgiler kullanılmalıdır. Çizelgeler, metinden sonra ayrı sayfalarda verilmelidir.

Şekilde (Çizim ve fotoğraflar)

- Tüm çizim ve fotoğraflar şekil olarak değerlendirilip numaralandırılmalıdır. Şekil alt yazıları 'Şekiller Dizini' başlığı altında hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfli büyük diğerleri küçük harflerle) hem de İngilizce (ilk harfi büyük diğerleri küçük İtalik harflerle) ayrı bir sayfada altalta sırayla verilmelidir.
- Her şekil, ayrı bir sayfada yer alacak biçimde sıraya dizilerek şekiller Dizin sayfasıyla birlikte çizelgelerden sonra sunulmalıdır. Şekil altı yazılarının ayrıca şekillerin altına yazılmasına gerek olmayıp, şekil numaralarının kurşun kalemle her şeklin sağ üst köşesinde belirtilmesi yeterlidir.
- Harita, kesit ve planlarda sayısal ölçek yerine çubuk ölçek kullanılmalıdır.