

UYGULAMALI YERBİLİMLERİ DERGİSİ

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ YAYIN ORGANIDIR

CİLT: 17, SAYI: 1 HAZİRAN 2018

VOL17, NO: 1 JUNE 2018

Betonarme Yapılarda Jeofizik Yöntemlerle Beton Kalitesi ve Yapı Donatı Durumunun Araştırılması

Investigation of Concrete Quality and Structure Reinforcement Conditions in Reinforced Concrete Structures by Geophysical Methods

Emre ÖZÇELİK, Kenan GELİŞLİ

1

Altıntaş (Kütahya-Türkiye) Ovası Tarım Topraklarında Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, Öncel Çalışma

Preliminary Investigation of Heavy Metal Pollution in Agricultural Soils of Altıntaş (Kütahya-Turkey)

Cafer ÖZKUL, Recep Uğur ACAR, Necla KÖPRÜBAŞI, Ali Emre ER, Halil İbrahim KIZILKAYA, Muharrem METİN, Musa Namık ŞENEL

13

Biga-Karabiga (Çanakkale) Çevresinin Jeolojisi

Geology of Biga-Karabiga (Çanakkale) and Surrounding Areas

Şerafeddin ÇAKIR, Ahmet KARAKAŞ

27

Kocaeli Gölçük'te Oluşan Heyelanların Nedenleri, Etkileri Ve Alınan Önlemler

Causes And Impacts of The Landslides Occurring in Kocaeli Gölçük and Remediation Measures Undertaken

Musa ZENGİNCE, Ahmet KARAKAŞ

39

Şehir İçinde Karayolu Altından Geçen Çok Sığ Bir Tünel İçin Özel Metod

Special Method for a Very Shallow Tunnel Under Highway in the City of Istanbul -Kadıköy

Yalçın EYİĞÜN

55

Kadıköy (İstanbul)'de Yığma Bir Binanın Deprem Riskinin Belirlenmesi

Earthquake Risk Assessment of A Masonry Building in Kadıköy-İstanbul

Orhan CENİK, H. Haluk SELİM, Kadir GÜLER

69

Deniz Suyu Baskısına Karşı Koyarak İnşa Edilecek Bir Yeraltı Yapısı: Kabataş Aktarma Merkezi

An Underground Structure Constructed Against Seawater Pressure: Kabataş Transfer Centre

Yalçın EYİĞÜN

87



KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ





UYGULAMALI YERBİLİMLERİ DERGİSİ

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ YAYIN ORGANIDIR

SAHİBİ Kocaeli Üniversitesi Adına Rektör Prof. Dr. Sadettin HÜLAGÜ YAYIN KURULU Cengiz KURTULUŞ Fadime SERTÇELİK İbrahim SERTÇELİK Ahmet KARAKAŞ Serpil GERDAN DANIŞMA KURULU Aysan GÜRER Emin CANDANSAYAR Erkan TOPAL Feyzi GÜRER Günay BEYHAN İvan GİNOV İbrahim KARA Murat UTKUCU Nilgün SAYIL Nuri DOLMAZ Sefer ÖLÇEN U. Emin ULUGERGERLİ EDITÖR Cengiz KURTULUŞ İLETİŞİM ADRESİ Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi Müh. Fak. Jeofizik Müh. Bölümü 41380 İZMİT / KOCAELİ Tel: 0.262 303 31 04 Tel: 0.542 217 19 69 e-mail: cengizk@kocaeli.edu.tr YILDA İKİ KEZ YAYIMLANIR Published two issues a year	CİLT: 17, SAYI: 1 HAZİRAN 2018 VOL17, NO: 1 JUNE 2018 Betonarme Yapılarda Jeofizik Yöntemlerle Beton Kalitesi ve Yapı Donatı Durumunun Araştırılması Investigation of Concrete Quality and Structure Reinforcement Conditions in Reinforced Concrete Structures by Geophysical Methods Emre ÖZÇELİK, Kenan GELİŞLİ 1 <hr/> Altıntaş (Kütahya-Türkiye) Ovası Tarım Topraklarında Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, Öncel Çalışma Preliminary Investigation of Heavy Metal Pollution in Agricultural Soils of Altıntaş (Kütahya-Turkey) Cafer ÖZKUL, Recep Uğur ACAR, Necla KÖPRÜBAŞI, Ali Emre ER, Halil İbrahim KIZILKAYA, Muharrem METİN, Musa Namık ŞENEL 13 <hr/> Biga-Karabiga (Çanakkale) Çevresinin Jeolojisi Geology of Biga-Karabiga (Çanakkale) and Surrounding Areas Şerafeddin ÇAKIR, Ahmet KARAKAŞ 27 <hr/> Kocaeli Gölcük'te Oluşan Heyelanların Nedenleri, Etkileri ve Alınan Önlemler Causes And Impacts of The Landslides Occurring in Kocaeli Gölcük and Remediation Measures Undertaken Musa ZENGİNCE, Ahmet KARAKAŞ 39 <hr/> Şehir İçinde Karayolu Altından Geçen Çok Sığ Bir Tünel İçin Özel Metod Special Method for a Very Shallow Tunnel Under Highway in the City of Istanbul - Kadıköy Yalçın EYİGÜN 55 <hr/> Kadıköy (İstanbul)'de Yiğma Bir Binanın Deprem Riskinin Belirlenmesi Earthquake Risk Assessment of A Masonry Building in Kadıköy-İstanbul Orhan CENİK, H. Haluk SELİM, Kadir GÜLER 69 <hr/> Deniz Suyu Baskısına Karşı Koyarak İnşa Edilecek Bir Yeraltı Yapısı: Kabataş Aktarma Merkezi An Underground Structure Constructed Against Seawater Pressure: Kabataş Transfer Centre Yalçın EYİGÜN 87
---	---

Araştırma Makalesi

**BETONARME YAPILARDA JEOFİZİK YÖNTEMLERLE BETON KALİTESİ VE
YAPI DONATI DURUMUNUN ARAŞTIRILMASI**

**Investigation of Concrete Quality and Structure Reinforcement Conditions in Reinforced
Concrete Structures by Geophysical Methods**

Emre ÖZÇELİK¹ ve Kenan GELİŞLİ²

ÖZET

Yapı kalitesi araştırmalarında; beton kalitesi, donatı ve korozyon durumu belirlenmeye çalışılmaktadır. Bu amaçla, gerek tahribatlı gerekse de tahribatsız bir takım uygulamalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, bir köprü yapısının elemanı olarak üretilen düşey bir betonarme yapıda gerçekleştirilmiş jeofizik yöntemlerin uygulama örnekleri verilmektedir. Enine ve boyuna donatılara sahip bu yapı üzerinde beton kalitesi, kırık, çatlak, donatı, çelik hasır ve korozyon durumu araştırmaları yapılmıştır. Çalışmada, ultrasonik yöntem, 2.7 GHz yüksek frekanslı yer radarı yöntemi ve Wenner dizilimi ile elektrik özdirenç yöntemleri kullanılmıştır. Alınan ölçülerin değerlendirilmesi sonucu, yapıya herhangi bir zarar vermeden uygulanan jeofizik yöntemlerle, hızlı ve ucuz bir şekilde, betonarme bir yapının beton kalitesi, kırık-çatlak, donatı, çelik hasır ve korozyon durumu tespitinin başarı ile yapılabildiği anlaşılmıştır.

ABSTRACT

Concrete quality, reinforcement and corrosion degree are being tried to be determined at investigation of structure quality. Some destructive and non-destructive applications are being made for this purpose. Application examples of geophysical methods performed in a vertical reinforced concrete structure produced as part of a bridge structure are given in this work. Concrete quality, fracture, crack, reinforcement, steel bar and corrosion conditions were investigated on this structure which has vertical and horizontal reinforcement. In this work, ultrasonic method, 2.7 GHz high frequency ground penetrating radar method and Wenner electrode array electrical resistivity methods were used. When the measurements are evaluated, it can understand without any damage to the structure, determination of steel bars and pvc pipes, concrete quality, detection of fractures and degree of corrosion in construction can be determined fast and cheap by geophysical methods.

GİRİŞ

Türkiye aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Bu nedenle geçmişte ülkemizde birçok yıkıcı deprem olmuş ve gelecekte de yıkıcı depremler meydana gelecektir. Oluşan depremlerde birçok tarihi ve betonarme yapı hasar görmüş ve yıpranmıştır. Ülkemizde öncelikli olarak deprem riski yüksek bölgelerde olmak üzere deprem dayanımı düşük yapılar için kentsel dönüşüm çalışmaları yürütülmektedir. Tarihi binaların korunması ve yapı yenileme çalışmaları, yapı kalite araştırmalarının sonuçlarına dayanarak yürütülmektedir. Betonun kalitesi, taşıyıcı elemanların içerisindeki donatı sayısı ve durumu, yapı elemanları içerisinde kırık ve

¹ YFA Yerbilimleri, Bayraktarlar İş Merkezi, TRABZON e-mail: emreozcelikk@gmail.com

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, TRABZON, e-mail: gelisli@ktu.edu.tr

*İlgili yazar / Corresponding author: emreozcelikk@gmail.com

Gönderim Tarihi: 13.06.2018

Kabul Tarihi: 27.06.2018

çatlakların belirlenmesi, yapı elemanlarında korozyon tespiti gibi birçok faktör yapının kalitesini ortaya koyan parametrelerdir.

Betonarme; çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen bir yapı malzemesi olan betonun, çelik kullanılarak güçlendirilmesi ile ortaya çıkan yapı malzemesidir. Bina, yol, tünel, baraj, köprü, liman, havalimanı ve daha birçok yapıda kullanılmaktadır. İnşaat halindeki bir yapıda, beton dayanımı, yapının donatı çapı, sayısı, yeri ve paspayı tespitleri yapılmakta, yapının projeye uygunluğu denetlenmektedir. Ayrıca mevcut yapılarda beton dayanımı, donatı, korozyon ve kırık-çatlak tespiti yapılarak yapının sağlamlığı araştırılmakta ve yapının durumuna göre desteklemeler yapılmaktadır.

Günümüzde yapı denetiminde beton dayanımının belirlenmesinde tek eksenli basınç deneyi en sık kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde beton dökümü sırasında oluşturulan ve 7-28 gün kür havuzunda bekletilen ya da mevcut yapıdan karot makinaları ile alınan beton numunelerine test uygulanır. Ancak, kalite araştırmak amacıyla mevcut yapılardan karot numuneleri alınması yapıya hasar verir. Ayrıca, deney sonuçları bölgesel bilgi verir. Mühendislik yapılarının durumu veya projeye uygun imal edilip edilmediği, yapı iskeletini oluşturan elemanların (beton ve donatı) kalitesi, bu yapılara zarar vermeden jeofizik yöntemlerle araştırılabilir. Bu araştırmalarda en etkili sonuçlar veren jeofizik yöntemler; ultrasonik, yer radarı ve elektrik özdirenç yöntemleridir. Bu uygulamalar, yapıdan bir örnek almaya ihtiyaç duymaz, yapının tamamının incelenmesini sağlar, iç yapısının görüntüsünü verir, çok hızlı ve ekonomiktirler.

Son yıllarda yapı araştırmalarında tahribatsız olarak uygulanan jeofizik yöntemlerin kullanımı giderek artmaktadır (Lemoni E ve Christaras B, 1999; Cecire, 2003; Barroso ve diğ., 2006; Gosa' lbez ve diğ., 2006; Nuzzo ve diğ., 2010; Diana ve Fais, 2010; Akevren, 2010; Siegesmund ve Durrast, 2011; Martı' nez-Martı' neza ve diğ., 2011; Siedel ve Siegesmund, 2011; Siegesmund ve Du' rrast, 2011; Uyanık ve diğ., 2011; Uyanık ve diğ., 2012; Hannachi ve Guetteche, 2012; Babacan ve Gelişli, 2012; Babacan ve diğ., 2012; Cheilakou ve diğ., 2013; Babacan ve Gelişli, 2015; Solla ve diğ., 2016; Mechbal ve diğ., 2017; Özçelik, 2017).

Bu çalışmada oluşturulan düşey bir betonarme yapı üzerinde jeofizik yöntemlerle bazı araştırmalar yapılmıştır. Düşey yapının içerisine yatay ve düşey donatılar koyulup bir kolon yapısı oluşturulmuştur. Kolon yapısı üzerinde ultrasonik yöntem ile boyuna dalga hızları ölçülerek kolonun beton kalitesinin tespiti hedeflenmiştir. Donatı çapı, aralığı ve paspayı bilinen yapı üzerinde yer radarı yöntemi ile de ölçümler yapılarak donatıların tespiti hedeflenmiştir. Ayrıca, betonarme yapının elektrik özdirenç haritası oluşturularak korozyon durumu ve nem içeriği araştırılmıştır.

ÇALIŞMADA KULLANILAN YÖNTEMLER

Ultrasonik Yöntem

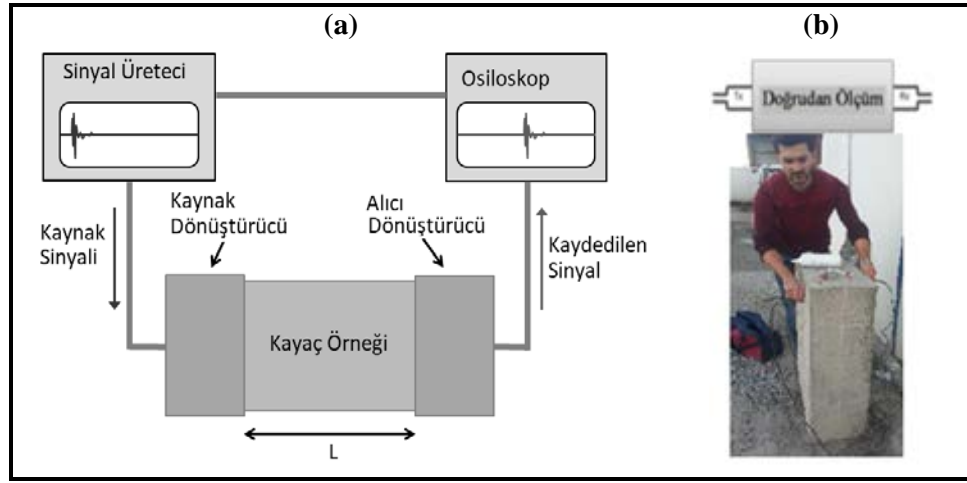
Son yıllarda, tarihi ve diğer yapılarda kalite araştırmalarında yapıya hasar vermeksizin uygulanabilen ultrasonik hız ölçümleri önem kazanmıştır (Popovics, 2003). Yüksek frekanslı (>20 Khz) ses dalgalarına verilen ad olan «ultrasonik» ilk olarak İngiltere' de 1945-1949 yılları arasında yol araştırma laboratuvarında Jones ve Gatfield (1955) tarafından geliştirilmiştir. Ultrasonik dalgaların iletilebilmesi için bir ortam (madde) gereklidir ve yayılımı bir yerden başka bir yere enerji taşınımı şeklindedir. Katı bir malzemenin içinden geçen dalgaların hızı, içinden geçtiği malzemenin elastik özellikleri ve yoğunluğu ile ilgilidir. Taşıyıcı sistemlerin P ve S dalga hızları bulunarak elastisite modülü hesaplanabilir ve bu değere göre betonun basınç dayanımı belirlenebilir. Bilindiği gibi, betonun yoğunluğu ile basınç dayanımı arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Sismik hızlar arttıkça betonun basınç dayanımı artar. Kullanımı açısından basit olması, yöntemin en önemli avantajlarından biridir. Sismik dalga yayılmasını etkilediği için betonun iç yapısı hakkında bilgiler sağlar. Betonun içerisindeki çatlak ve boşluk miktarı arttıkça ses dalgasının hızı azalmaktadır. Bu nedenle, boyuna

dalga hızları (V_p) sıklıkla kayaçların ve betonun kalite değerlendirmesi için bir araç olarak kullanılmaktadır.

Ultrasonik hız ölçüm ekipmanları; ultrasonik hız ölçüm cihazı, verici (T_x) ve alıcı (R_x) probları ile yüksek voltaj puls üreticiden oluşur (Şekil 1). Vericiden gönderilen akustik dalgalar numune içerisinde seyahat ederek alıcıya ulaşır. Sismik dalga hızı T_x ve R_x arasındaki uzaklığın geçiş zamanına oranıdır:

$$V = L / t \quad (1)$$

Burada, V dalga hızı (m/s), L dalga yolu (m) ve t dalganın geçiş zamanını (sn) göstermektedir. Direk, yarı direk ve indirek olmak üzere farklı ölçüm teknikleri mevcuttur. Ultrasonik ölçümün şematik görünümü ve direk ölçüm yöntemi Şekil 1’de görülmektedir. Bu şekilde gerçekleştirilen ultrasonik ölçülerden elde edilen boyuna dalga hızları ile beton kalite ilişkisi Çizelge 1’de verilmektedir.



Şekil 1. a) Ultrasonik hız ölçümünün şematik görünümü, b) Betonarme yapı üzerinde direk ölçüm yöntemi ile ultrasonik hız ölçümlerinin alınması

Figure 1. a) Schematic view of the ultrasonic velocity measurement, b) Direct ultrasonic velocity measurement on the reinforced concrete structure

Çizelge 1. Basınç dalga hızına bağlı beton kalite sınıflaması

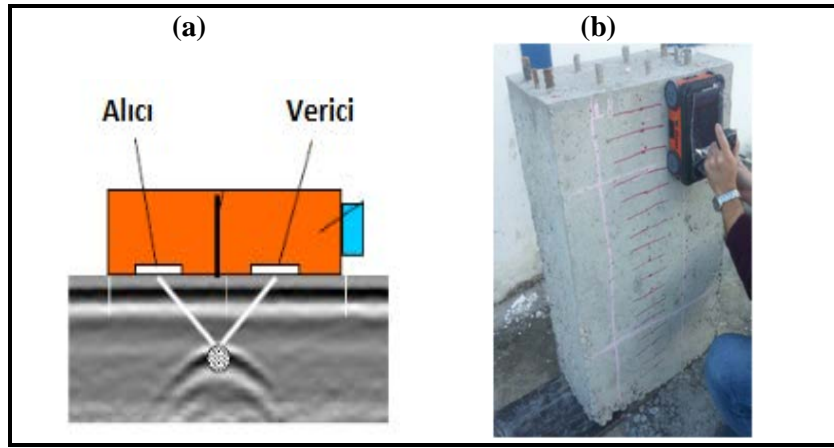
Table 1. Classification of concrete quality based on pressure wave velocity

Beton Kalitesi	Whitehurst, 1951	Uyanık Vd. 2011
	V_p (m/s)	V_p (m/s)
Çok İyi	> 4500	> 4565
İyi	3650-4500	3515-4565
Orta	3050-3650	2930-3515
Zayıf	2000-3050	2110-2930
Çok Zayıf	< 2000	<2110

Yer Radarı Yöntemi

Yer radarı yöntemi (Ground Penetrating Radar, GPR), yer altının sığ derinliklerini araştırmak için kullanılan yüksek frekanslı elektromanyetik bir yöntemdir. Yüksek frekanslı yer radarı cihazlarının gelişmesine bağlı olarak yöntemin yapı denetim araştırmalarında kullanımı artış göstermektedir (Tareco ve diğ. 2009). Bu çalışmalarda yer radarı yöntemi ile donatı özellikleri ve yapı içerisindeki

bozuk zonlar tespit edilmektedir. Yöntemin kullanımının kolay olması ve çok hızlı veri toplanabilmesi, veri toplama sırasında çalışma alanında herhangi bir tahribat oluşturmaması, alınan ölçülerin işlenmesiyle santimetre düzeyinde yüksek çözünürlüklü iki ve üç boyutlu yapı görüntülerinin üretilebilmesi yöntemin en önemli avantajlarıdır. Bir yer radarı sistemi verici anten, alıcı anten, kontrol ünitesi ve kayıtçıdan oluşmaktadır. Yapı araştırmalarında verici antenle yapıya yüksek frekanslı elektromanyetik dalga gönderilip, yapı içerisindeki herhangi bir süreksizlikten yansıyan dalga ölçülerek incelemeler yapılmaktadır (Şekil 2). Yapı içerisine gönderilen elektromanyetik dalga; yapının farklı dielektrik özellikleri (ϵ ; permitivite, σ ; iletkenlik, μ ; manyetik geçirgenlik) ile değişmekte ve yapı içindeki donatının, kırık, çatlak ve boşlukların gözlenmesine izin vermektedir. Alınan sinyaller kontrol biriminde biriktirilmekte ve çift yol seyahat zamanı nanosaniye (nsn) cinsinden kaydedilmektedir (Davis ve Annan 1986; Annan 2001). Ölçülen GPR verilerinin işlenmesinden sonra elde edilen iki ve üç boyutlu kesitler betonun iç yapısını göstermektedir (Şekil 2). Beton içerisindeki çelik donatıdan olan hiperbolik yansımalar x-t ortamında gözlenir. Şekil 2'de hiperbolün merkezi beton donatısının merkezini göstermektedir. Yapı araştırmalarında GPR yöntemi ile beton içerisindeki boşluk, çatlak ve kırıklar, donatı sayısı, çelik donatılarda hasar görmüş yerleri, paspayı, boru ve elektrik hattı tespitlerinde donatı kesilmeden belirlenebilmektedir.



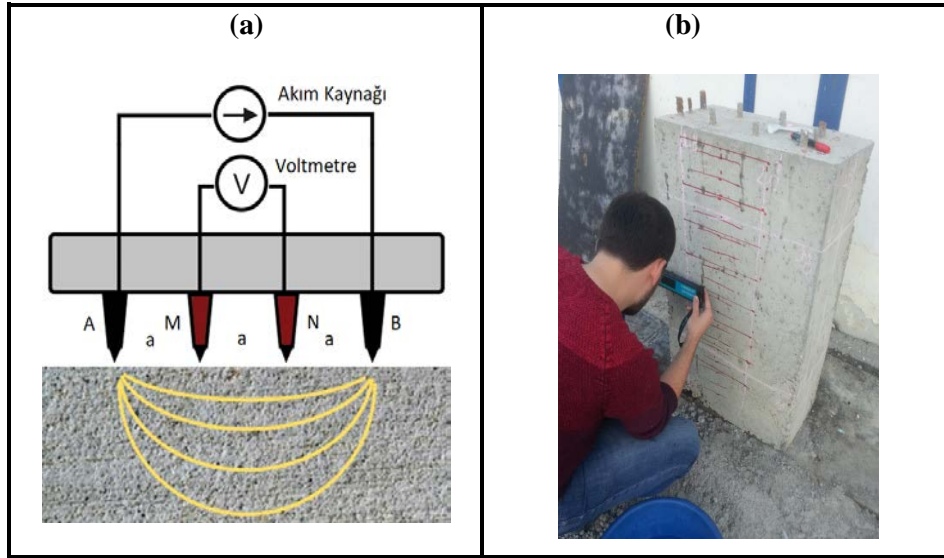
Şekil 2. a) Yer radarı yönteminin çalışma prensibi ve içerisinde gömülü bir çelik donatı bulunan betonun radar kesitindeki görünümü, b) betonarme yapısı üzerinde yer radarı ölçümlerinin alınması

Figure 2. a) The principle of the GPR method and the radar section of the concrete with an embedded steel reinforcement in it, b) The view of the ground radar measurement on the reinforced concrete structure

Doğru Akım Özdirenç Yöntemi

Yapı denetim araştırmalarında kullanılan diğer bir jeofizik yöntem ise özdirenç yöntemidir. Özdirenç yönteminde, yere çakılan iki elektrot ile akım uygulanır ve diğer iki noktadaki elektrotlar arasında oluşan gerilim farkı ölçülür (Şekil 3). Akım ve gerilim elektrotlarının farklı konumlarına göre farklı elektrot dizilimleri uygulanmaktadır (Telford ve diğ. 1990). Yapı jeofiziği uygulamalarında en çok Wenner elektrot dizilimi kullanılmaktadır. Bu dizilimde dışta akım elektrotları (A ve B) ve içte gerilim elektrotları (M ve N) bir doğru boyunca dizilir ve ardışık elektrotlar arasındaki mesafe eşittir (Şekil 3). Elektrik özdirenç yöntemi yapı araştırmalarında, beton nemlilik ve korozyonunun belirlenmesi, bölgesel katodik koruma yerlerinin belirlenmesi, beton kalitesinin incelenmesi ve beton ıslah çalışmalarının başarısının araştırılmasında kullanılmaktadır. Betonun elektrik özdirenç dağılımı, betonun nemliliğini ve içinde bulunan çelik çubukların korozyonunu belirlemek için ana parametredir. Beton özdirenç başlıca boşluk, çatlak, kırık yapısına, çimento tipine, sıcaklık ve neme bağlıdır. Yüksek elektrik özdirenç sahip beton içindeki korozyon işlemi, içinde anot ve katot arasında elektrik akımı hızla geçen düşük özdirençli betona göre daha yavaş olacaktır. Dolayısıyla, beton özdirençinin

azalması durumunda, betondaki korozyon oranı artmaktadır. Beton özdirençinin artması ise, betonun kuru ve karbonlaşmış olmasını, dolayısıyla korozyon riskinin azalmasını gösterir. Görünür özdirenç değerlerine göre korozyon riski ilişkisi Çizelge 2’de verilmektedir.



Şekil 3. a) Resipod Proceq özdirenç aleti ile elektrik özdirenç ölçüm düzeneği a=50 mm, b) Özdirenç ölçü alınımının görünümü

Figure 3. a) Electrical resistivity measurement with Resipod Proceq resistivity meter a=50 mm, b) View of resistivity measurement

Çizelge 2. Korozyon riski ile elektrik özdirenç ilişkisi (Proceq Resipod Family, 2013).

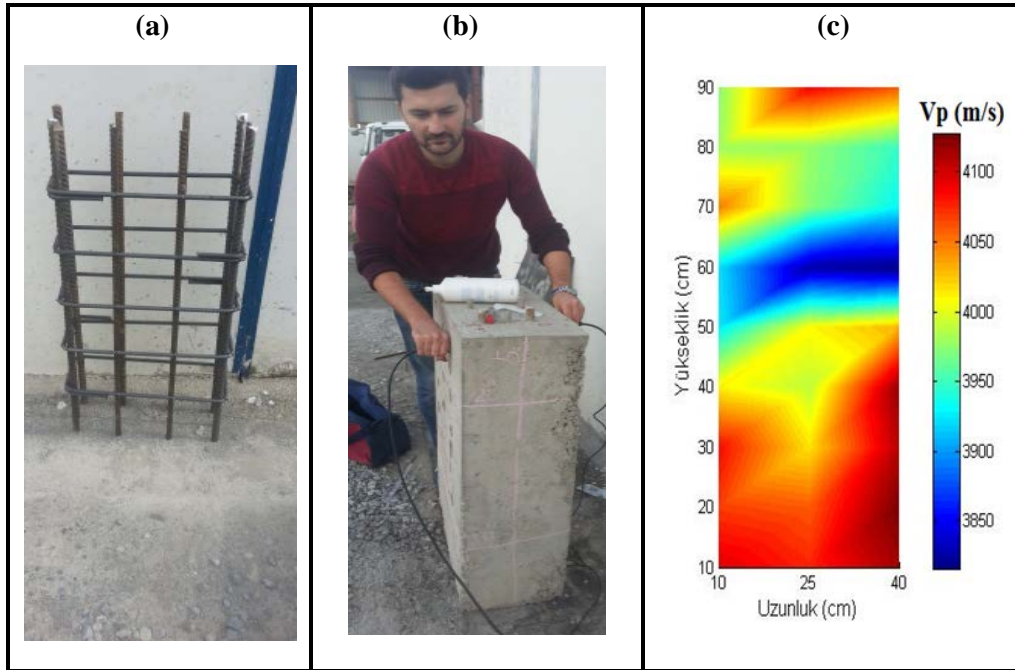
Table 2. Corrosion risk and electric resistivity relation (Proceq Resipod Family, 2013).

Görünür Özdirenç (kOhm.cm)	Korozyon Riski
≥100	İhmal edilebilir korozyon riski
= 50 - 100	Düşük korozyon riski
= 10 - 50	Orta dereceli korozyon riski
≤10	Yüksek korozyon riski

KÖPRÜ YAPISININ BETON KALİTESİ VE YAPI DONATI DURUMUNUN ARAŞTIRILMASI

Jeofizik yöntemlerin yapı kalite çalışmalarında kullanımını araştırmak için, yeni yapılmakta olan bir köprünün yapı elemanı olarak üretilen bir betonarme kolon yapısında birtakım araştırmalar yapılmıştır. Kolon yapısı 100x60x30 cm boyutlarında olup, içerisine aralıklarla 10 adet boyuna donatı ve 5 sıra etriye yerleştirilmiştir (Şekil 4a). Önce bu donatılı kolon yapısının beton kalitesini belirlemek amacıyla yapıda ultrasonik V_p hızı ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerde Pundit Plus Model PC1006 cihazı kullanılmıştır. Ultrasonik dalga vericisi kolonun ön yüzünde, alıcı ise arka yüzünde olmak üzere, direk ölçüm tekniğiyle, kolonun ön yüzünde yatayda 15'er cm aralıklarla 3, düşeyde 10 cm aralıklarla 9 olmak üzere toplam 27 noktada hız değerleri ölçülmüştür (Şekil 4b). Daha sonra ölçülen ultrasonik hız değerleri haritalanarak kolon yapısına ait ultrasonik hız haritası oluşturulmuştur (Şekil 4c). Elde edilen ultrasonik hız değerleri incelendiğinde, hızların 3816 m/s ile 4128 m/s arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre dalga hızına bağlı beton kalite sınıflamasına göre kolon yapısının “iyi” kalitede bir betona sahip olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 1). Çizilen kontur haritası incelendiğinde; kolonun homojen bir hız dağılımına sahip olmadığı ve düşey doğrultuda yaklaşık 50-

60 cm arasında ölçülen ultrasonik Vp hızı değerlerinin diğer kısımlara göre daha düşük olduğu görülmektedir.



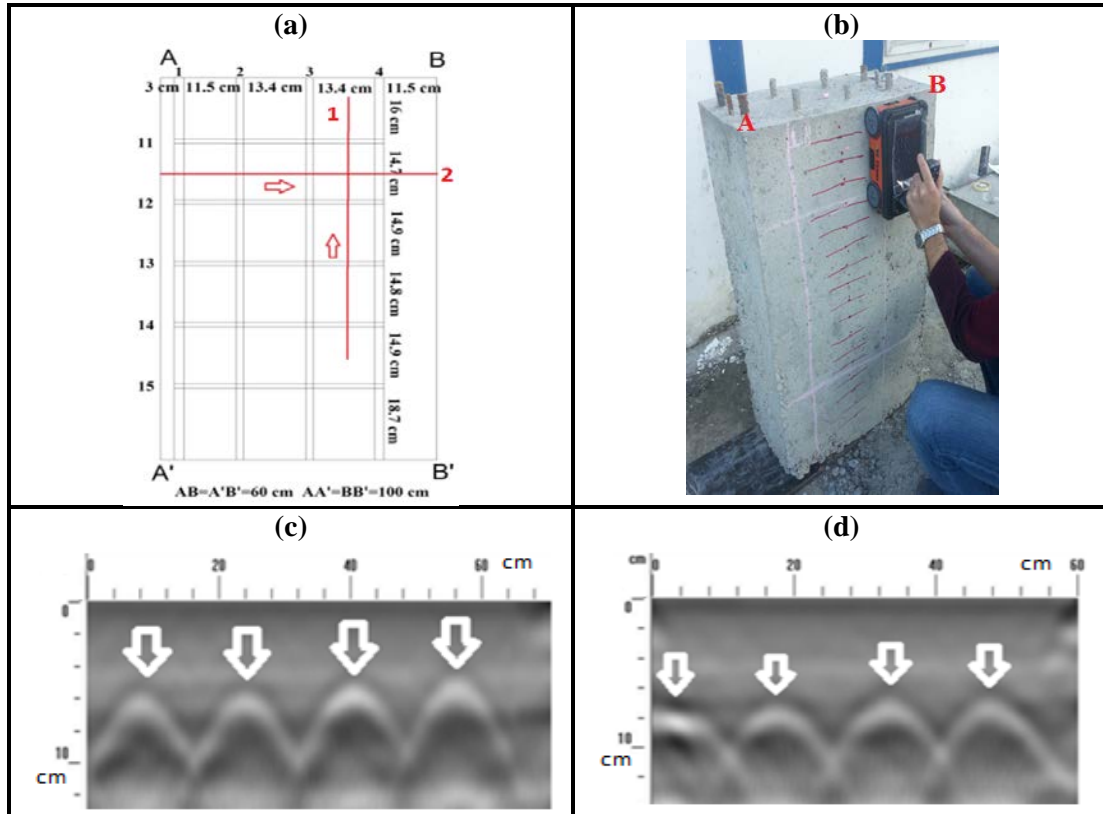
Şekil 4. a) Kolon yapısı içerisine yerleştirilen donatı ve etriyelerin görünümü, b) Kolon numunesi üzerinde ultrasonik hız ölçümünün görünümü, c) Kolona ait ultrasonik Vp hız haritası.

Figure 4. a) The appearance of the reinforcement and of the irons placed in the column structure, b) View of the ultrasonic velocity measurement on the column structure, c) The ultrasonic Vp velocity map of the colum formed from the measurement taken along the front face of the column

Oluşturulan köprü kolon yapısı içindeki donatı ve etriyelerin tespiti amacıyla kolon yapısı üzerinde GPR ölçümleri yapılmıştır. Çalışmada merkez frekansı 2.7 GHz olan StructureScan Mini XT GPR cihazı kullanılmıştır. Kolon yapısı üzerinde ölçü alınan 1. ve 2. hatlar ile yapı içerisindeki donatı ve etriyelerin yerleri Şekil 5a'da, ölçümün görünümü Şekil 5b'de, alınan 2-boyutlu enine ve boyuna GPR ölçümlerinden oluşturulan kesitler (radargram) ise Şekil 5c ve 5d'de görülmektedir. Alınan verilere standart veri işlemler uygulanmıştır. Sıfır kayma zamanı düzeltmesi (Time Zero Correction) ile kayma zamanı giderilmiş, bant geçişli filtreleme ve saçılmaları odaklamak için göç (Migration) işlemleri uygulanmış daha sonra GPR kesitleri oluşturulmuştur. Bu işlemlere ilaveten verilerde kazanç (gain) ve dielektrik değerleri (buna bağlı hız değerleri) değiştirilerek net görüntüler elde edilmeye çalışılmıştır. Radar sinyali yer içerisinde ilerlerken enerjisini derinlikle birlikte kaybetmektedir. Uygun genlik kazanımı ardından en derinlerdeki yansımalar da radargram üzerinde görülebilmektedir. Genellikle kazanç değerleri için; 20, 40 ve 60 kullanılmıştır.

1. profilde ölçüm düşey olarak yapılmıştır. Ölçüme BB' kesitinin 20 cm solundan ve A'B' kesitinin 25 cm üstünden başlanmıştır. 2. profilde ölçüm yatay olarak ve AB kesitinin 25 cm altından yapılmıştır (Şekil 5a). Kesit üzerinde 4 adet etriye bulunmaktadır. Boyuna donatıların AB kesitinde 6-6.5 cm derinlikte olduğu (Sadece 1.donatının derinliği 6.5 cm, diğer donatılar 6 cm derinliktedir), donatılardan önce etriyelerin olduğu ve çaplarının 1,2 cm olduğu düşünülürse, etriyeler 4.8-5.3 cm derinlikte bulunmaktadır. Bu mesafe aynı zamanda etriyeli kısımdaki paspayıdır. Ayrıca etriyelerin profil hattında (düşey yönde) başlama mesafeleri 9.8, 25.8, 41.9 ve 57.8 cm'dir. Kesit üzerinde 4 adet boyuna donatı bulunmaktadır. Donatıların AB kesitinde 6-6.5 cm derinlikte bulunmaktadır (Sadece 1.donatının derinliği 6.5 cm, diğer donatılar 6 cm derinliktedir). Bu mesafe aynı zamanda boyuna

donatılı kısımdaki paspayıdır. Ayrıca donatıların profil hattında başlama (yatay yönde) mesafeleri 3, 16.5, 31.5 ve 46.5 cm'dir. 1. profilde 4 adet etriye kesildiği için 4 hiperbol, 2. profilde de 4 adet boyuna donatı kesildiği için yine 4 hiperbol oluşmuştur. Kesitlerde oklarla işaretlenen hiperbollerin tepe noktaları yapı içerisindeki çelik donatıların konumunu gösterir. Düşey yönde yapılan 1. ölçümden elde edilen kesitlerde; 4 adet etriye bulunduğu, etriyelerin derinliğinin (paspayı) 4-6 cm arasında olduğu ve etriyelerin profil hattında yaklaşık 9, 26, 41 ve 57 cm'de olduğu görülmektedir. 2. Profilden elde edilen kesitlerde; 4 adet boyuna donatı bulunduğu ve boyuna donatıların 6-7 cm derinlikte olduğu görülmektedir. Bu mesafe aynı zamanda paspayıdır. Ayrıca donatıların profil hattında başlama (yatay yönde) mesafeleri 3, 18, 34 ve 48 cm'dir.

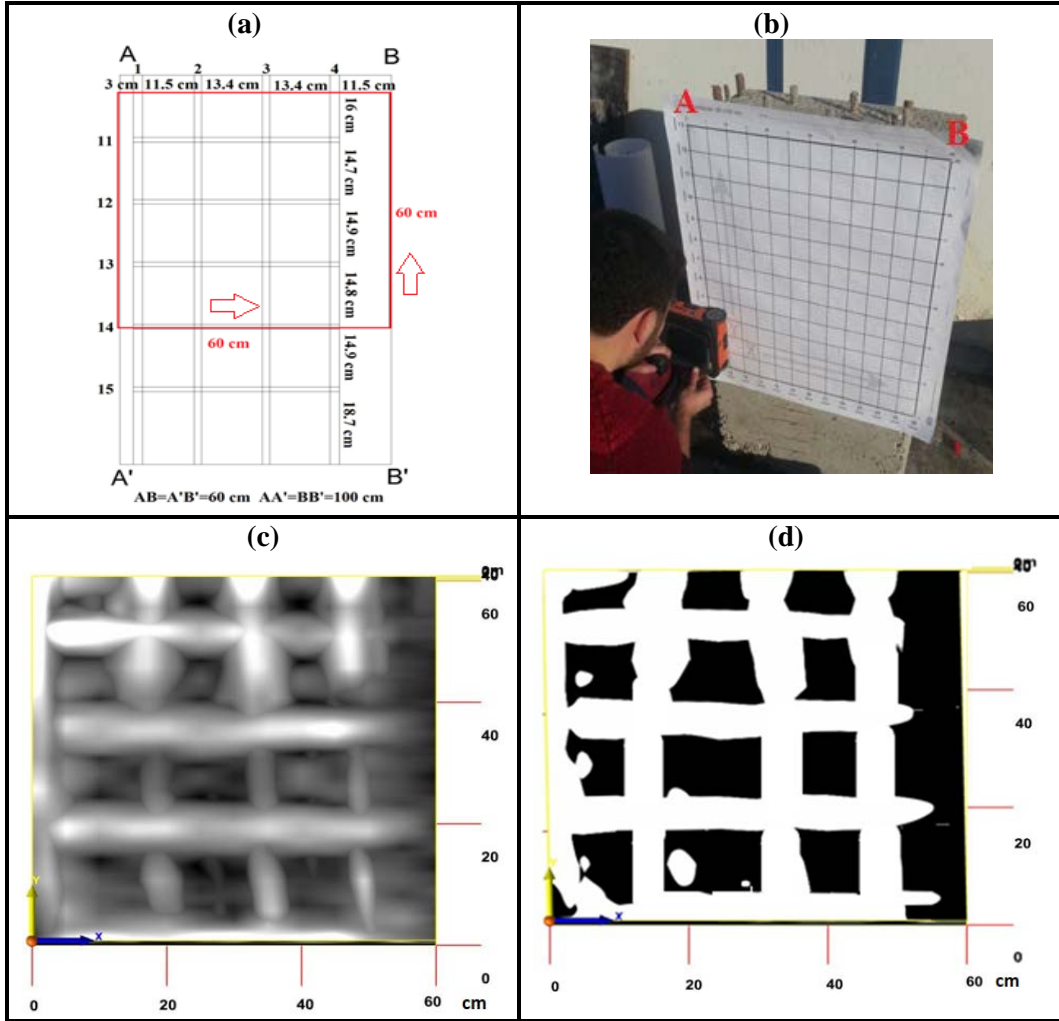


Şekil 5. a) İçerisindeki donatı ve etriyelerle oluşturulmuş kolon yapısının görünümü ve yapı üzerinde 2-boyutlu GPR ölçülerinin alındığı profillerin yerleri, b) Bir profilde yapılan GPR ölçüsünün görünümü c) 1. profile ait radar kesiti (radargram) d) 2. profile ait radar kesiti. 1. Profile ait kesitte etriyelerin, 2. Profile ait kesitte de boyuna donatıların yerleri belirgin olarak görülmektedir.

Figure 5. a) The appearance of the reinforced concrete column structure and the locations of the profiles where the 2-dimensional GPR measurements are taken on the structure, b) View of the GPR measurement made on profile 1, c) Radar cross section of profile 1 (radargram), d) Radar cross section of profile 2. Section 1 shows the location of the longitudinal equipment, while Section 2 shows the location of the vertical equipment

Kolon yapısını 3-boyutlu olarak incelemek için, üzerinde 5 er cm aralıklarla, yatay ve düşey olarak 60 cm'lik profillerde GPR ölçümleri alınmıştır. Yapı üzerinde ölçü alınan alan Şekil 6a'da, 3-boyutlu ölçü alınımının görünümü Şekil 6b'de, alınan ölçümlere standart veri işlemler uygulandıktan sonra, her iki yönde alınan veriler birleştirilerek oluşturulan 6.66 cm derinlikteki 3-boyutlu radar kesitleri ise Şekil 6c ve d'de görülmektedir. Radar verilerine donatı ve etriyeleri belirginleştirmek için farklı kazanç değerleri uygulanarak kesitler oluşturulmuştur. Şekil 6c ve 6d de verilen 3-boyutlu kesitler incelendiğinde, 4 adet boyuna donatı ve 4 adet etriyenin belirgin bir şekilde görüldüğü

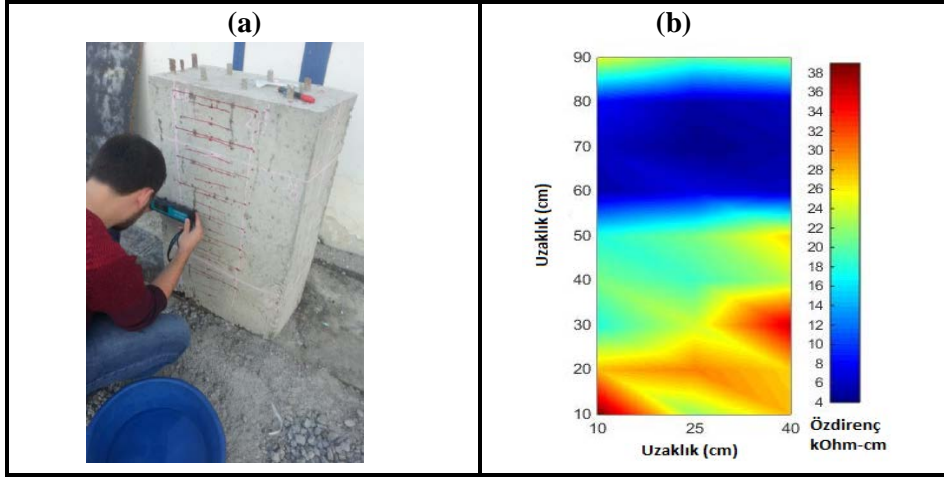
anlaşılmaktadır. Donatı ve etriyelerin konum ve derinlik bilgileri de 2-boyutlu kesit ve gerçek yapının durumu ile örtüşmektedir.



Şekil 6. a) Yapı üzerinde 3-boyutlu ölçülerin alındığı bölgenin görünümü. Kırmızı renkle çerçeveyle alınmış alan ölçülerin alındığı bölümü göstermektedir, b) 3-boyutlu ölçüm alınmasının görünümü, c) Kazanç (Gain)=20 için z=6.66 cm derinliğinde 3-boyutlu radar kesiti, d) Kazanç (Gain)=30 alındığında aynı derinlik için 3-boyutlu radar kesiti.

Figure 6. View of the area where 3-dimensional measurements are taken on the structure. The area framed with red color indicates the part where the measurements are taken, b) the appearance of the 3-dimensional measurement, c) 3-dimensional radar cross section at a depth of z=6.66 cm for gain=20, d) 3-dimensional radar cross section for the same depth when gain=30.

Betonarme yapılarda demirin oksitlenmesi ile korozyon (paslanma) oluşur. Oksijen ve rutubet donatıda korozyon oluşturarak donatının zarar görmesine sebep olur. Oluşturduğumuz kolon yapısının nemlilik durumunu ortaya koymak amacıyla yapı üzerinde yatayda 15 cm aralıklarla 3, düşeyde ise 10 cm aralıklarda 9 olmak üzere toplam 27 noktada elektrik özdirenç ölçüleri alınmıştır. Ölçüler; elektrotlar arası 50 mm olan Resipod Proceq mini özdirenç aleti kullanılarak Wenner dizilimi ile alınmıştır (Proceq Resipod 2013). Alınan ölçülerden yapıya ait özdirenç haritası oluşturulmuştur (Şekil 7). Şekil incelendiğinde özdirenç değerlerinin 5 ve 39 k Ω .cm arasında değiştiği görülmektedir. Oluşturulan betonarme yapının 45 günlük olduğu düşünülürse, elde edilen sonuçların betonun nemli olması nedeniyle düşük olduğu ve yapının korozyon durumu hakkında yorum yapılmasına uygun olmadığı söylenebilir.



Şekil 7. a) Betonarme yapı üzerinde elektrik özdirenç ölçü alınımının görünümü, b) Betonarme kolon yapısı üzerinde alınan ölçülerden oluşturulmuş özdirenç haritası

Figure 7. a) The appearance of electrical resistivity measurement on reinforced concrete structure, b) The resistivity map constructed from the measurements taken on the reinforced concrete column structure

SONUÇLAR

Bu çalışmada bir köprü yapısına ait betonarme yapının beton kalitesi, donatı durumu ve nemlilik durumu araştırılmıştır. Ultrasonik ölçülerden betonun kalite haritası elde edilmiştir. Haritadan yapının içinde kırık çatlak olmadığı, ancak betonun özenle dökülmesine rağmen homojen bir yapıda olmadığı, bazı yerlerinin daha sağlam, bazı yerlerinin ise nispeten düşük kalitede olduğu anlaşılmıştır. Yer radarı ölçülerinden yapı içerisindeki boyuna donatıların, etriyelerin ve paspaylarının tespiti yapılmıştır. Köprü yapısına ait donatı ve etriyelerin derinlik ve konum bilgileri ile alınan ölçümlerle elde edilen veriler karşılaştırılarak radar kesitlerinin yapının görüntüsünü doğru olarak ortaya koyduğu belirlenmiştir. Ayrıca, yapı üzerinde yapılan elektrik özdirenç ölçülerinden yapıya ait nemlilik haritası oluşturulmuştur. Harita incelendiğinde, nemlilik oranının daha yüksek olduğu gözlemlenen kolonun üst kısımlarında, özdirenç değerlerinde düştüğü belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, kullanılan yöntemlerin hızlı ve yapıya bir hasar vermeden uygulanabileceği ortaya konulmuştur.

TEŞEKKÜR

Çalışmada kapsamında oluşturulan numuneler Mapa İnşaat Yıldızlı Şantiyesi Yapı Denetim Laboratuvarı'nda oluşturulmuştur. Bu kapsamda Mapa İnşaat Proje Müdür Yardımcısı Sayın Alaeddin AYDOĞDU'ya ve laboratuvar çalışanlarına teşekkür ederim. Bu çalışma FAY-2016-5555 nolu KTÜ Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Annan, A.P., 2001. Ground Penetrating Radar Workshop Notes. Mississauga, Ontario Sensors and Software Inc.
- Akevren S., 2010. Non-destructive examination of stone masonry historic structures quantitative IR thermography and ultrasonic testing. MSc Dissertation, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Babacan, A.E., Ersoy, H. and Gelişli, K., 2012. Kayaçların Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özelliklerinin Ultrasonik Hız Tekniği ve Zaman-Frekans Analiziyle Belirlenmesi: Bej Kireçtaşları (KD Türkiye) Üzerine Örnek Bir Çalışma. Jeoloji Mühendisliği Dergisi. 36 (1).
- Babacan, A.E. and Gelisli, K. 2012. The Investigation of Building Structure Quality with the Method of Ultrasonic Velocity and Schmidt Hammer. 4th EAGE St.Petersburg International Conference and Exhibition on Geosciences - New Discoveries through Integration of Geosciences. St.Petersburg, Russia. DOI: 10.3997/2214-4609.20145581.
- Babacan, A.E. and Gelisli, K. 2015. Ultrasonic Investigations of Marble Columns of Historical Structures Built in Two Different Periods. Carbonates and Evaporites. 30: 357. <https://doi.org/10.1007/S13146-015-0233-X>
- Barroso E, Silva L, Polivanov H., 2006. Weathering and deterioration evaluation of a Brazilian cultural heritage building, IAEG
- Cecire A.S., 2003. Nondestructive evaluation of historic structures. Dissertation, Massachusetts Institute of Technology
- Cheilakou E, Theodorakeas P, Kouli M, Moustakidis S ve Zeris C., 2013. Determination of Reinforcement and Tendon Ducts Positions on Pre-Stressed Concrete Bridges by Means of Ground
- Davis J.L. ve Annan A.P., 1986. High Resolution Sounding Using Ground Penetrating Radar, Geoscience, 13, 3, 205-208
- Diana G, Fais S., 2010. IR thermography and ultrasonic investigations in the cultural heritage field. In: 15th international conference on "cultural heritage and new technologies", Vienna
- Gosa lbez J, Salazar A, Bosch I, Miralles R, Vergara L 2006. Application of ultrasonic nondestructive testing to the diagnosis of consolidation of a restored dome. Mater Eval 64(5):492-497
- Hannachi S ve Guetteche MN 2012. Application of the Combined Method for Evaluating the Compressive Strength of Concrete on Site, Open Journal of Civil Engineering, 16-21
- Tareco H, Grangeia C, Varum H, and Senos Matias M 2009. A high resolution GPR experiment to characterize the internal structure of a damaged adobe Wall, first break 27, 79-84.
- Jones R and Gatfield EN, 1955. Testing concrete by an ultrasonic pulse tech. Paper No.34, London
- Lemoni E, Christaras B 1999. Classification of soils for urban planning, using in situ ultrasonic velocity techniques, geotechnical engineering for transportation in infrastructure. Balkema, Rotterdam, pp 393-399.

Martí'nez-Martí'neza J, Benevento D, Garcí'a-del-Curaa MA 2011. Spatial attenuation: the most sensitive ultrasonic parameter for detecting petrographic feature sand decay processes in carbonate rocks, *Eng Geol* 9:84–95

Mechbal Z, Khamlichi A 2017. Determination of concrete rebars characteristics by enhanced post-processing of GPR scan raw data, *NDT E Int.*, 89, 30–39

Nuzzo L, Calia A, Liberatore D, Masini N, Rizzo E, 2010. Integration of ground-penetrating radar, ultrasonic test and infrared thermography for the analysis of a precious medieval rose window. *Adv Geosci* 24:69–82

Özçelik E, 2017. Beton ve Betonarme Yapıların Yapı Kalitesinin Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon

Penetrating Radar (GPR), 5th International Conference on NDT of HSNT- IC MINDT 2013, Athens, Greece, art. no P.10.5, CD ROM.

Popovics JS 2003. NDE Techniques for concrete and masonry structures, *Prog Struct Eng Mater* 5:49–59

Proceq Resipod Family, 2013. Operating Instructions Concrete Durability Testing

Siedel H, Siegesmund S 2011. Characterization of stone deterioration on buildings. In: Siegesmund S, Snethlage R (eds) *Stone in architecture: properties, durability*, 4th edn. Springer, New York, pp 347–410

Siegesmund S, Du'rrast H 2011. Physical and mechanical properties of rocks. In: Siegesmund S, Snethlage R (eds) *Stone in architecture: properties, durability*, 4th edn. Springer, New York, pp 97–225

Solla M; Asorey-Cacheda R; Núñez-Nieto X; Conde-Carnero B 2016. Evaluation of historical bridges through recreation of GPR models with the FDTD algorithm. *NDT E Int.* 77, 19–27

Telford WM, Geldart LP ve Sheriff RE 1990. *Applied Geophysics*, Cambridge University Press. 770 p

Uyanık O, Kaptan K, Gülay FG ve Tezcan S 2011. Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini, *Yapı Dünyası* 184, 55-58

Uyanık O, Gülay FG ve Tezcan S 2012. Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini, *Hazır Beton CV* 436f, 82-85

Whitehurst EA 1951. Soniscope Test Concrete Structures, *Journal of American Concrete Institute, Proceeding*, 47, pp, 443-444.

KAYNAKLAR

Annan, A.P., 2001. Ground Penetrating Radar Workshop Notes. Mississauga, Ontario Sensors and Software Inc.

Akevren S., 2010. Non-destructive examination of stone masonry historic structures quantitative IR thermography and ultrasonic testing. MSc Dissertation, The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, Ankara, Turkey.

Babacan, A.E., Ersoy, H. and Gelişli, K., 2012. Kayaçların Fiziksel, Mekanik ve Elastik Özelliklerinin Ultrasonik Hız Tekniği ve Zaman-Frekans Analiziyle Belirlenmesi: Bej Kireçtaşları (KD Türkiye) Üzerine Örnek Bir Çalışma. Jeoloji Mühendisliği Dergisi. 36 (1).

Babacan, A.E. and Gelisli, K. 2012. The Investigation of Building Structure Quality with the Method of Ultrasonic Velocity and Schmidt Hammer. 4th EAGE St.Petersburg International Conference and Exhibition on Geosciences - New Discoveries through Integration of Geosciences. St.Petersburg, Rusia. DOI: 10.3997/2214-4609.20145581.

Babacan, A.E. and Gelisli, K. 2015. Ultrasonic Investigations of Marble Columns of Historical Structures Built in Two Different Periods. Carbonates and Evaporites. 30: 357. <https://doi.org/10.1007/S13146-015-0233-X>

Barroso E, Silva L, Polivanov H., 2006. Weathering and deterioration evaluation of a Brazilian cultural heritage buildin, IAEG

Cecire A.S., 2003. Nondestructive evaluation of historic structures. Dissertation, Massachusetts Institute of Technology

Cheilakou E, Theodorakeas P, Kouli M, Moustakidis S ve Zeris C., 2013. Determination of Reinforcement and Tendon Ducts Positions on Pre-Stressed Concrete Bridges by Means of Ground

Davis J.L. ve Annan A.P., 1986. High Resolution Sounding Using Ground Penetrating Radar, Geoscience, 13, 3, 205-208

Diana G, Fais S., 2010. IR thermography and ultrasonic investigations in the cultural heritage field. In: 15th international conference on “cultural heritage and new technologies”, Vienna

Gosa lbez J, Salazar A, Bosch I, Miralles R, Vergara L 2006. Application of ultrasonic nondestructive testing to the diagnosis of consolidation of a restored dome. Mater Eval 64(5):492-497

Hannachi S ve Guetteche MN 2012. Application of the Combined Method for Evaluating the Compressive Strength of Concrete on Site, Open Journal of Civil Engineering, 16-21

Tareco H, Grangeia C, Varum H, and Senos Matias M 2009. A high resolution GPR experiment to characterize the internal structure of a damaged adobe Wall, first break 27, 79-84.

Jones R and Gatfield EN, 1955. Testing concrete by an ultrasonic pulse tech. Paper No.34, London

Lemoni E, Christaras B 1999. Classification of soils for urban planning, using in situ ultrasonic velocity techniques, geotechnical engineering for transport infrastructure. Balkema, Rotterdam, pp 393–399.

Martínez-Martínez J, Benevento D, García-del-Cura MA 2011. Spatial attenuation: a sensitive ultrasonic parameter for detecting petrographic feature sand decay processes in carbonate rocks, *Eng Geol* 9:84–95

Mechbal Z, Khamlichi A 2017. Determination of concrete rebars characteristics by enhanced post-processing of GPR scan raw data, *NDT E Int.*, 89, 30–39

Nuzzo L, Calia A, Liberatore D, Masini N, Rizzo E, 2010. Integration of ground-penetrating radar, ultrasonic test and infrared thermography for the analysis of a precious medieval rose window. *Adv Geosci* 24:69–82

Özçelik E, 2017. Beton ve Betonarme Yapıların Yapı Kalitesinin Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon

Penetrating Radar (GPR), 5th International Conference on NDT of HSNT- IC MINDT 2013, Athens, Greece, art. no P.10.5, CD ROM.

Popovics JS 2003. NDE Techniques for concrete and masonry structures, *Prog Struct Eng Mater* 5:49–59

Proceq Resipod Family, 2013. Operating Instructions Concrete Durability Testing

Siedel H, Siegesmund S 2011. Characterization of stone deterioration on buildings. In: Siegesmund S, Snethlage R (eds) *Stone in architecture: properties, durability*, 4th edn. Springer, New York, pp 347–410

Siegesmund S, Duřrast H 2011. Physical and mechanical properties of rocks. In: Siegesmund S, Snethlage R (eds) *Stone in architecture: properties, durability*, 4th edn. Springer, New York, pp 97–225

Solla M; Asorey-Cacheda R; Núñez-Nieto X; Conde-Carnero B 2016. Evaluation of historical bridges through recreation of GPR models with the FDTD algorithm. *NDT E Int.* 77, 19–27

Telford WM, Geldart LP ve Sheriff RE 1990. *Applied Geophysics*, Cambridge University Press. 770 p

Uyanık O, Kaptan K, Gülay FG ve Tezcan S 2011. Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini, *Yapı Dünyası* 184, 55-58

Uyanık O, Gülay FG ve Tezcan S 2012. Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini, *Hazır Beton CV 436f*, 82-85

Whitehurst EA 1951. Soniscope Test Concrete Structures, *Journal of American Concrete Institute, Proceeding*, 47, pp, 443-444.

Araştırma Makalesi

ALTINTAŞ (KÜTAHYA-TÜRKİYE) OVASI TARIM TOPRAKLARINDA AĞIR METAL KİRLİLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI, ÖNCEL ÇALIŞMA

Preliminary Investigation of Heavy Metal Pollution in Agricultural Soils of Altıntaş (Kütahya-Turkey)

Cafer ÖZKUL¹, Recep Uğur ACAR¹, Necla KÖPRÜBAŞI², Ali Emre ER¹, Halil İbrahim¹ KIZILKAYA¹, Muharrem METİN¹ ve Musa Namık ŞENEL¹

ÖZET

Altıntaş ovası, Ege Bölgesi'nin iç kısmında Kütahya ilinin yaklaşık 40 km güneyinde yer alan, tarımsal faaliyetlerin yoğun olarak yapıldığı bir bölgedir. Bir öncel çalışma niteliğinde olan bu çalışma da; Altıntaş ovasındaki tarım topraklarının ağır metal kirliliğini değerlendirmek için farklı ürünlerin yetiştiği tarım arazileri üzerinden 15 noktadan örnekleme (0-15 cm) yapılmıştır. Toprak örneklerindeki ağır metal içerikleri ICP-MS ile analiz edilmiştir. Çalışma alanından alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri sırası ile As için 12.90-70.20 mg/kg; Cr için 29.30-137.70 mg/kg; Cu için 14.44-32.87 mg/kg; Hg için 0.02-0.56 mg/kg; Ni için 70.10-254.20 mg/kg; Pb için 10.01-29.16 mg/kg; Sb için 0.33-1.66 mg/kg ve Zn için 30.50-75.80 mg/kg arasında değişmektedir. Ayrıca Zenginleşme Faktörü (EF), Jeobirikim İndeksi (I_{geo}), Kirlilik Faktörü (CF) ve Kirlilik Yük İndeksi (PLI) topraklardaki ağır metal kirliliğini değerlendirmek için hesaplanmıştır.

ABSTRACT

Altıntaş plain is part of the Aegean Region, about 40 km south of Kütahya province, where agricultural activities are intense. In this preliminary study, in order to evaluate the heavy metal pollution of agricultural soils in Altıntaş plain, 15 samples (0-15 cm) were taken from the farms where different crops grown. Heavy metal contents in soil samples were analyzed by ICP-MS. The heavy metal contents of soil samples taken from the study area are 12.90 to 70.20 mg/kg for As; 29.30 to 137.70 mg/kg for Cr; 14.44 to 32.87 mg/kg for Cu; 0.02 to 0.56 mg/kg for Hg; 70.10 to 254.20 mg/kg for Ni; 10.01 to 29.16 mg/kg for Pb; 0.33 to 1.66 mg/kg for Sb and 30.50 to 75.80 mg/kg for Zn, respectively. Enrichment Factor (EF), Geoaccumulation Index (I_{geo}), Contamination Factor (CF) and Pollution Load Index (PLI) were also utilized to assess the heavy metal contamination in soils.

GİRİŞ

Tarım alanlarındaki toprak ağır metal kirliliği, özellikle gıda güvenliği ve ekosistem üzerindeki zararlı etkileri nedeniyle son yıllarda oldukça önem arz etmektedir. Tarım topraklarındaki ağır metallerin kaynağı jeojenik ve/veya antropojenik kaynaklı olabilmektedir. Jeojenik kirlilik tamamıyla toprağı oluşturan ana malzemenin bileşiminden kaynaklanmaktadır. Gübre ve pestisidlerin aşırı kullanımı, fosil yakıtların kullanımı, madencilik faaliyetleri, hızlı nüfus artışı ve buna bağlı artan kentleşme, kontrolsüz atık su deşarjı, atmosferik birikim, trafik yoğunluğu ve artan endüstriyel faaliyetler ise tarım topraklarındaki antropojenik kirliliğin ana kaynaklarını oluşturmaktadır (Nicholson ve diğ., 2003; Romic ve Romic, 2003; Gil ve diğ., 2004; Zhang, 2006; Chary ve diğ., 2008; Zhao ve diğ., 2008; Cai ve diğ., 2009; Li ve diğ., 2009).

¹ Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Bl. Merkez Kampüs Merkez-KÜTAHYA.
e-mail:cafer.ozkul@dpu.edu.tr, recep.uguracar@dpu.edu.tr

² Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Bl. Umuttepe Yerleşkesi İZMİT-KOCAELİ.
e-mail: neclakop@kocaeli.edu.tr

*İlgili yazar / Corresponding author: cafer.ozkul@dpu.edu.tr

Gönderim Tarihi: 23.05.2018

Kabul Tarihi: 05.06.2018

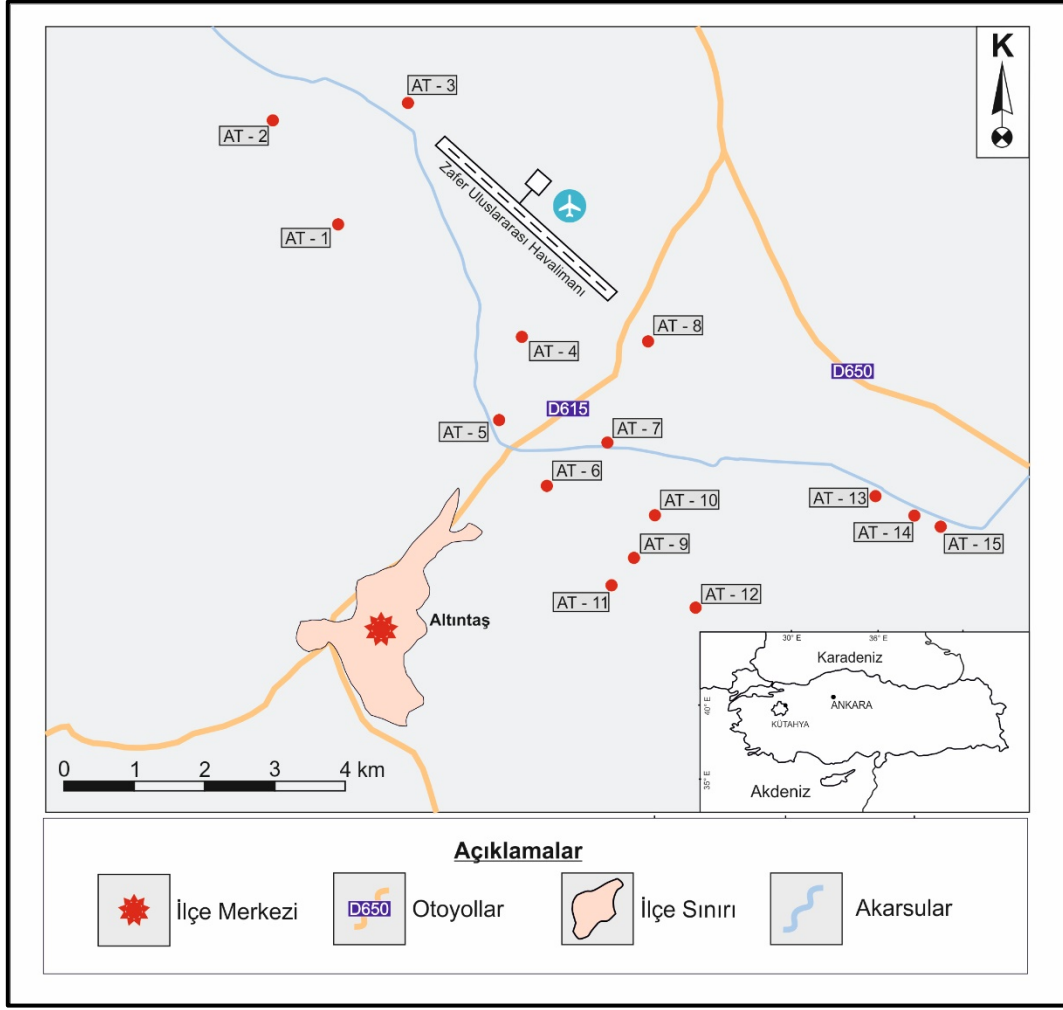
Tarım topraklarının ağır metaller tarafından kirletilmesi, sadece tarım arazilerinin eko-çevrelerini tehlikeye sokmakla kalmadığı gibi, aynı zamanda besin zinciri yoluyla bu alanlardan faydalanan insanlar dâhil tüm canlılar için ciddi tehlikeler oluşturmaktadır (Chen, 1996; Zheng ve diğ., 2002; 2003). Bu durum özellikle artan insan nüfusu ve buna bağlı besin ihtiyacının karşılanması karşısında gün geçtikçe büyüyen bir problem haline dönüşmektedir.

Ağır metaller, genellikle yoğunluğu 5 g/cm³ ten daha yüksek olan ve ayrıca kirletici ve/veya toksik özellik taşıyan metaller ya da yarı-metaller (metalloidler) olarak tanımlanmaktadır (Duffus, 2002; Kahvecioğlu ve diğ., 2009). Ağır metallerin insan organizmasına solunum, sindirim sistemi ve cilt yoluyla girdiği gözlenmektedir (Ljung, 2006; Nieć ve diğ., 2013). Organizmaya kolay bir şekilde girmelerine rağmen bu metallerin metabolizmadan dışarı atılmaları o kadar da kolay olmamaktadır ve zamanla organizmada birikim göstermektedirler. Bu birikimlerin zamanla insanlarda oluşturduğu sağlık problemlerinin çoğu ileri derecede tanı ve tedavi olanakları gerektiren kronik hastalıklar ya da kanserlerdir (Özbolet ve Tuli, 2016).

İnsan sağlığı için son derece önemli olan ülkemiz tarım alanları topraklarının ağır metal içerikleri ile ilgili çalışmalar yeterli sayıda değildir. Kütahya ilinin önemli tarım alanlarından birisi olan Altıntaş ovası topraklarında ise bu içerikte bir çalışma daha önce yapılmamıştır. Bir ön araştırma niteliğinde olan bu çalışmanın amacı Altıntaş ovasında seçilen pilot bölgede tarım topraklarının ağır metal kirlilik düzeylerini belirlemektir. Bu kapsamda, seçilen bölgede 15 örnekleme noktasında yer alan toprakların ağır metal içerikleri (As, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb ve Zn) belirlenmiştir. Ayrıca bu topraklar için, Zenginleşme Faktörü, Jeobirikim İndeksi, Kirlilik Faktörü ve Kirlilik Yük İndeksi parametreleri kullanılarak ağır metal kirlilik düzeyleri açısından değerlendirme yapılmıştır.

Çalışma Alanı

Altıntaş ovası, Ege Bölgesi'nin İç Batı Anadolu Bölümü'nde yer almakta olup Kütahya ilinin yaklaşık 40 km güneyindedir (Şekil 1). Çalışma alanı, İç Anadolu Bölgesi ile Ege Bölgesi arasında yaklaşık 20 km² alana sahip bir geçiş bölgesinde, 39° 03' 59" ile 39° 07' 28" Kuzey enlemleri ve 30° 06' 19" ile 30° 12' 04" Doğu boylamları arasında ve ortalama 1015 m rakıma sahip bir alanda konumlanmaktadır. Genellikle penneplen özellik gösteren ve yoğun tarım alanlarından oluşan Altıntaş Ovası üzerinde yöre ekonomisinde önemi olan ayçiçeği ve şeker pancarı gibi sanayi bitkileri, sebze, tahıl ve hayvan yemleri üretimi yapılmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanına ait yer bulduru ve örnekleme haritası
Figure 1. Location and sampling map of the study area

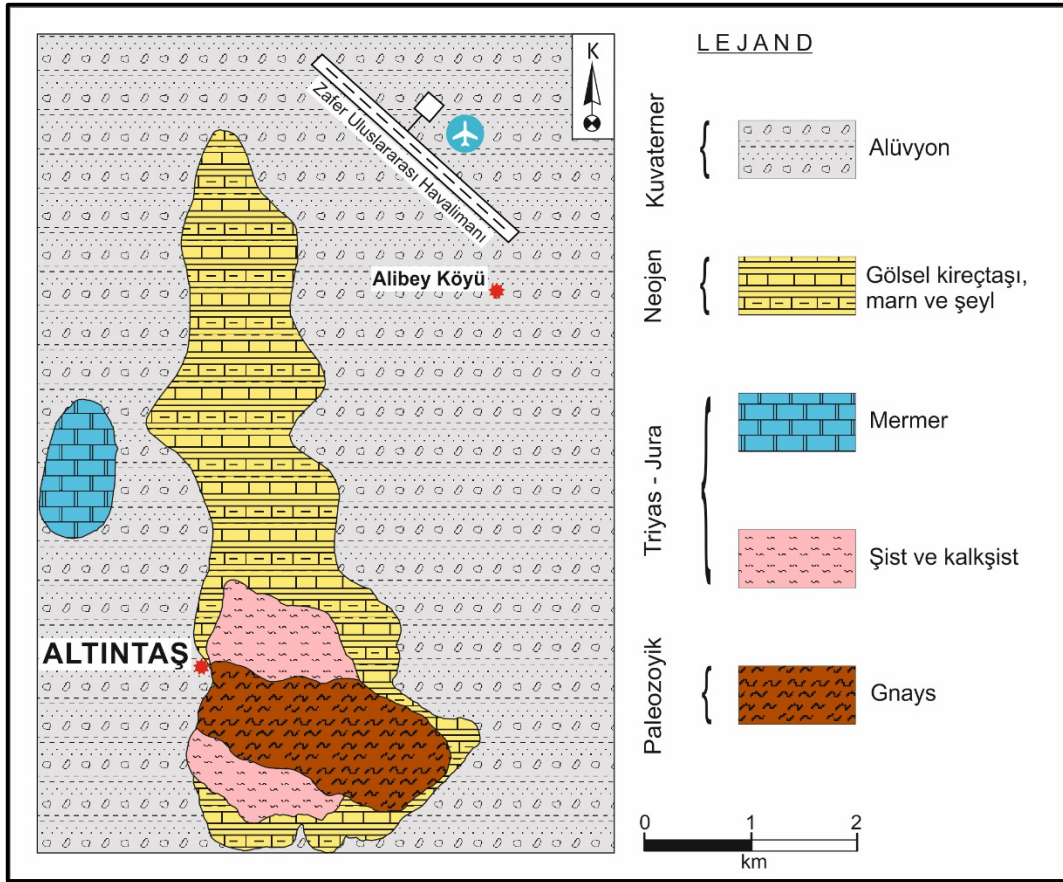
Topografya ve iklim

Çalışma alanı, Orta Anadolu havzası ile Batı Ege platosu arasında iç Batı Anadolu eşiği üzerinde bulunmaktadır. Gerek dağ ve tepe dizileri, gerek çukur sahalara, eşiğin genel karakterine uygun olarak kuzeybatı – güneydoğu istikametinde uzanırlar. Yellice Dağı (1764 m), Gümüş Dağı (1901 m), Yeşil Dağ (1533 m), Türkmen Dağı (1829 m), Murat Dağı (2312 m), Şaphane Dağı (2121 m) ve Eğrigöz Dağı (2312 m) ile Kütahya, Köprüören, Tavşanlı, Altıntaş, Aslanapa, Gediz, Simav ve Örencik ovaları bölgenin topografyasını oluştururlar (KİÇDR, 2017).

Ege ile İç Anadolu Bölgesi arasında kalan çalışma alanı bir geçiş noktasında yer almaktadır. İklim bakımından, her iki bölgenin de özelliklerini taşımaktadır. İç Anadolu'nun soğuk iklimi ile Ege'nin ılık iklimi arasında bir geçiş özelliği gösterir. Buna göre, yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise soğuk ve yağışlı geçer. Yıllık sıcaklık ortalaması 10.5 °C'dir. En sıcak aylar, temmuz ve ağustos, en soğuk aylar ise ocak ve şubatır. Bölgede ölçülen en yüksek sıcaklık, 38,6 °C'dir. En düşük ölçülen sıcaklık ise – 28,1 °C'dir. Yağışlar, karasal iklime bağlı olarak, kış, ilkbahar ve sonbaharda görülür. Yazları genellikle kuraktır. Yıllık ortalama yağış miktarı 565 mm'dir. En yağışlı ay aralık, en kurak ay ağustostur. Yağışların %38,8 i kış, %29,4 'ü ilkbahar, %12,5 'i yaz, %19,3 'ü sonbahar aylarında düşer. Kış aylarında yağışlar, genellikle kar şeklinde, diğer mevsimlerde yağmur şeklinde görülür. Bölgedeki hâkim rüzgâr yönü ise kuzey-kuzeybatıdır (KİÇDR, 2017).

Jeolojik Özellikler

Çalışma sahasında; Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı litolojik birimler yüzeylenmektedir (Şekil 2). Stratigrafik olarak en alt konumda bulunan Paleozoyik yaşlı ayrılmamış gnayslardan oluşan kayalar sahada temel kayaları oluşturmaktadır. Bu temel kayaların üzerine stratigrafik olarak altta şist-kalkşist ve onun üzerinde mermerden oluşan Triyas- Jura yaşlı bir metamorfik birim gelmektedir. Neojen yaşlı gösel ortam kökenli kireçtaşı, marn ve şeyllerden oluşan birim çalışma alanında geniş alanlarda yüzeylenmekte olup yer yer Kuvaterner yaşlı kum, çakıl ve siltten oluşan alüvyal çökeller bu birimi örtmektedir (M.T.A., 2002).



Şekil 2. Çalışma alanına ve civarına ait genel jeoloji haritası (M.T.A., 2002'den değiştirilerek alınmıştır)

Figure 2. General geological map of the study area and surroundings (Modified from M.T.A., 2002)

MATERYAL ve METOT

Çalışma materyalini, Kütahya ili Altıntaş ilçesinde yer alan Altıntaş ovasının tarım alanlarından alınan toplam 15 toprak örneği oluşturmaktadır. Çalışma bir ön araştırma niteliğinde olduğu için çalışma alanı ve örnek sayısı sınırlı tutulmuştur. Toprak örnekleri yüzeyden 15 cm derinliğe kadar olan kısımdan toplanmıştır. Örnekleme, Nisan 2017 ayı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Örnekleme noktaları Zafer Havalimanı, Kütahya-Afyon Karayolu ve Altıntaş ilçe merkezi arasında kalan tarım alanlarından rastgele olarak seçilmiştir. Çalışma alanında seçilen örnekleme noktaları Şekil 1'de gösterilmektedir. Örnekleme işlemi için plastik kürek kullanılmıştır ve her örnekleme noktasından yaklaşık bir kilogram toprak örneği alınmıştır. Örnekler analiz işlemine kadar polietilen torbalar içinde saklanmıştır.

Tarım alanlarından alınan toprak örnekleri laboratuvar ortamında oda sıcaklığında 5 gün süre ile kurutulmuştur. Örneklerin içerisindeki topraklanmalar tahta havan yardımıyla ezilmiştir. Daha sonra toprak örnekleri kimyasal analizler için ideal olan 177 µm'lik tane boyu elde etmek için 80 numaralı elekten geçirilmiştir (Rose ve diğ., 1991; Thomson, 1986).

Örneklerin çözündürme işlemi, 0.5 g kuru toz halindeki toprak örneğinin Aqua Regia (AR) solüsyonunda (HCl+HNO₃+H₂O) 95 °C'de teflon basınçlı krozölerde 1 saat süreyle yapılmıştır. Bu yöntem, toplama en yakın çözündürme yöntemlerinden birisi olduğu için toprak analizlerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Chen ve Ma, 2001). Elde edilen çözeltilerden As, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb ve Zn ağır metallerinin konsantrasyon ölçümleri ICP-MS yöntemi ile ACME (Kanada) laboratuvarlarında yaptırılmıştır.

Topraklardaki ağır metal zenginleşme ve kirlilik seviyelerinin tespit edilmesi amacıyla; Zenginleşme Faktörü (Enrichment Factor, EF), Jeobirikim İndeksi (Geoaccumulation Index, I_{geo}), Kirlilik Faktörü (Contamination Factor, CF) ve Kirlilik Yük İndeksi (Pollution Load Index, PLI) parametreleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada da bu parametrelerden çalışma alanındaki ağır metal kirlilik seviyelerinin belirlenmesi için yararlanılmıştır.

Zenginleşme Faktörü (Enrichment Factor, EF)

Zenginleşme faktörü (EF), topraktaki ağır metal kirlilik oranını belirlemek ve kıyaslamak için sıklıkla kullanılan önemli bir göstergedir (Buat-Menard ve Chesselet, 1979). EF değeri, ölçülen bir element miktarının, aynı elemente ait referans değerine göre normalize edilmesiyle hesaplanır. Referans element, topraktaki konsantrasyonunun değişmemesi ve çok düşük kimyasal reaksiyona sahip olması ile karakterize olur (Barbieri, 2016). En sık kullanılan referans elementler Al, Fe, Mn, Sc, Ti ve Zr elementleridir (Quevauviller ve diğ., 1989; Pacyna ve Winchester, 1990; Schiff ve Weisberg, 1999; Reimann ve de Caritat, 2000; Sutherland, 2000; Chatterjee ve diğ., 2007, Machender ve diğ., 2011; Vural, 2014). Bu çalışmada, referans element olarak Mn elementi seçilmiştir. Çalışılan tüm elementlerin referans değerlerinde ise Brooks (1972) tarafından belirlenen toprak değerlerinden yararlanılmıştır. Zenginleşme Faktörü (EF) aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$EF = (C_n/C_{ref})_{\text{örnek}} / (B_n/B_{ref})_{\text{referans}} \quad (1)$$

Formüle, C_n : Analizi yapılan örnekteki elementin değeri; C_{ref} : Analizi yapılan örnekteki referans elementin değeri; B_n : Brooks (1972)'a göre elementin topraktaki ortalama değeri; B_{ref} : Brooks (1972)'a göre referans elementin topraktaki ortalama değeri olarak kullanılmıştır. Zenginleşme Faktörü Sutherland (2000) tarafından sınıflanmıştır;

EF < 2	Minimal zenginleşme
2 ≤ EF ≤ 5	Orta zenginleşme
5 ≤ EF ≤ 20	Belirgin zenginleşme
20 ≤ EF ≤ 40	Çok yüksek zenginleşme
EF > 40	Aşırı zenginleşme

Jeobirikim İndeksi (Geoaccumulation Index, I_{geo})

Jeobirikim indeksi (I_{geo}), günümüzdeki mevcut element değerlerini endüstrileşme öncesi değerlerle karşılaştırarak toprakta meydana gelen metal kirliliğinin seviyesini belirlemek için kullanılmaktadır. İndeks Müller (1969) tarafından önerilmiştir ve toprak kirliliğinin değerlendirilmesi için pek çok

araştırmacı tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır (Miko ve diğ., 2000; Loska ve diğ., 2003; Sengupta ve diğ. 2010; Chung ve Chon, 2014; Vural, 2014). Jeobirikim indeksi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$I_{geo} = \log_2(C_n / (1.5 \times B_n)) \quad (2)$$

Eşitlikte, C_n : Toprak örneğindeki metal konsantrasyonunun değeri; B_n : n metalin topraktaki ortalama değeri (Brooks, 1972); 1.5: Temel değer matrisi korelasyon faktörü (çok küçük antropojenik etkilerden dolayı) değerlerine karşılık gelmektedir. Jeobirikim indeksi Müller (1969; 1981) tarafından 7 ayrı kirlilik sınıfına ayrılmıştır;

Sınıfı	Değer	Kirlilik Derecesi
0	$I_{geo} < 0$	Pratik olarak kirlenmemiş
1	$0 < I_{geo} < 1$	Kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş
2	$1 < I_{geo} < 2$	Orta derecede kirlenmiş
3	$2 < I_{geo} < 3$	Orta-çok kirlenmiş
4	$3 < I_{geo} < 4$	Çok kirlenmiş
5	$4 < I_{geo} < 5$	Çok-aşırı kirlenmiş
6	$I_{geo} > 5$	Aşırı kirlenmiş

Kirlilik Faktörü (Contamination Factor, CF) ve Kirlilik Yük İndeksi (Pollution Load Index, PLI)

Kirlilik faktörü (CF), Hakanson (1980) tarafından önerilmiştir. Topraktaki kirlilik derecesinin belirlenmesinde kullanılır. CF, çalışılan topraktaki ağır metal değerinin toprak ortalama değerine (Brooks, 1972) bölünmesiyle elde edilir ve aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$CF = C_{metal} / C_0 \quad (3)$$

Formüle, C_{metal} : Toprak örneğindeki metal konsantrasyonu; C_0 : Brooks (1972)'a göre metalin topraktaki ortalama değeri olarak kullanılmaktadır. Kirlilik Faktörü Hakanson (1980) tarafından sınıflandırılmıştır;

CF Değeri	Kirlilik Derecesi
$CF < 1$	Az kirlenme
$1 < CF < 3$	Orta derecede kirlenme
$3 < CF < 6$	Önemli derecede kirlenme
$CF > 6$	Aşırı derecede kirlenme

Kirlilik Yük İndeksi (PLI) ise, Tomlinson ve diğ. (1980) tarafından her bir örnekleme noktasındaki ağır metal kirlilik seviyesinin tespit edilmesi için önerilmiş bir indekstir. İndeks, her bir metale ait kirlilik faktörlerinin (CF) hesaplanmasıyla aşağıdaki eşitlik kullanılarak elde edilmektedir.

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n} \quad (4)$$

Eşitlikte, CF: Kirlilik faktörü; n: Metal sayısına karşılık gelmektedir. Chakravarty ve Patgiri (2009)'a göre, elde edilen PLI değeri > 1 ise o örnekleme noktasında kirlilik var, PLI değeri < 1 ise kirlilik yok demektir.

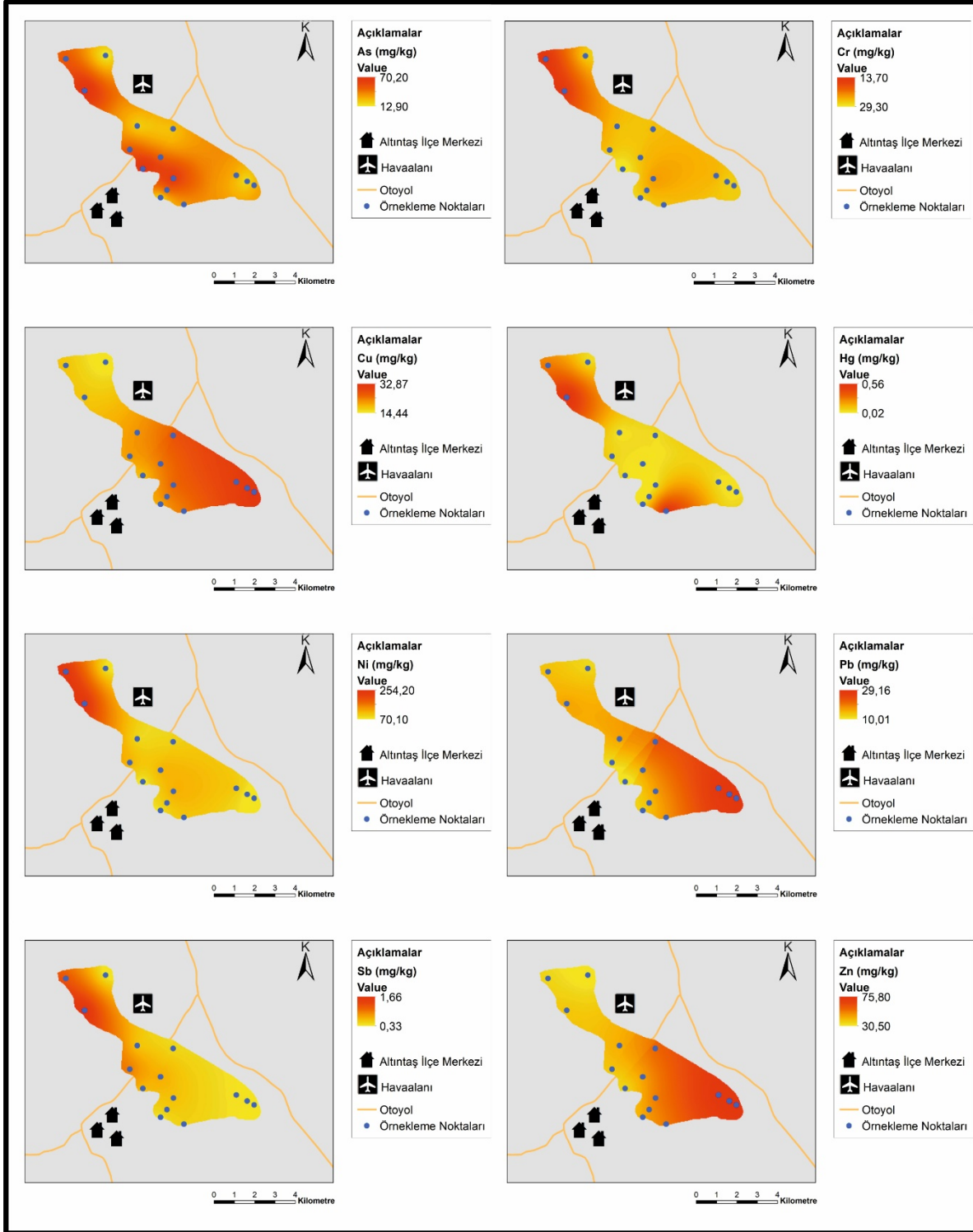
TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Altıntaş ovası tarım alanlarından alınan 15 toprak örneğine ait analiz sonuçları ve tanımlayıcı istatistik parametreleri Çizelge 1’de verilmiştir. Buna göre; As değerleri 12.90-70.20 mg/kg (ortalama 37.91 mg/kg), Cr değerleri 29.30-137.70 mg/kg (ortalama 63.69 mg/kg), Cu değerleri 14.44-32.87 mg/kg (ortalama 22.51 mg/kg), Hg değerleri 0.02-0.56 mg/kg (ortalama 0.12 mg/kg), Ni değerleri 70.10-254.20 mg/kg (ortalama 117.19 mg/kg), Pb değerleri 10.01-29.16 mg/kg (ortalama 20.80 mg/kg), Sb değerleri 0.33-1.66 mg/kg (ortalama 0.64 mg/kg) ve Zn değerleri 30.50-75.80 mg/kg (ortalama 54.58 mg/kg) arasında değişmektedir (Çizelge 1). Ayrıca çalışma alanındaki örnekleme noktalarına ait ağır metal konsantrasyon haritaları Şekil 3’de sunulmuştur. Konsantrasyon haritalarının hazırlanmasında ArcGIS 10 programı kullanılmıştır.

Çizelge 1. Toprak örneklerinin ağır metal içerikleri (mg/kg) ve tanımlayıcı istatistikleri

Table 1. Heavy metal contents (mg/kg) and descriptive statistics of soil samples

Örnekleme	As	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn
AT-1	70.20	130.60	20.02	0.56	254.20	23.56	1.66	54.70
AT-2	49.80	137.70	21.58	0.26	251.70	21.02	1.22	50.20
AT-3	12.90	48.90	14.44	0.02	80.20	16.57	0.33	37.70
AT-4	20.10	55.90	21.48	0.02	88.60	24.69	0.57	55.10
AT-5	48.50	54.60	23.94	0.05	121.20	18.58	0.96	53.50
AT-6	66.90	29.30	14.59	0.04	75.60	10.01	0.62	30.50
AT-7	44.50	55.50	23.23	0.05	120.50	20.99	0.71	50.00
AT-8	24.10	54.90	26.19	0.03	95.10	24.91	0.45	62.10
AT-9	46.40	60.80	25.56	0.04	105.60	20.93	0.53	58.20
AT-10	61.10	70.40	26.39	0.02	123.50	22.02	0.58	62.70
AT-11	17.80	45.80	16.90	0.03	84.10	14.99	0.37	46.30
AT-12	32.80	53.80	21.84	0.54	106.30	19.71	0.50	54.10
AT-13	29.30	60.40	25.99	0.04	104.20	24.03	0.39	75.80
AT-14	14.60	47.90	22.64	0.03	76.90	20.80	0.41	59.20
AT-15	29.70	48.80	32.87	0.03	70.10	29.16	0.33	68.60
Ortalama	37.91	63.69	22.51	0.12	117.19	20.80	0.64	54.58
Ortanca	32.80	54.90	22.64	0.04	104.20	20.99	0.53	54.70
Minimum	12.90	29.30	14.44	0.02	70.10	10.01	0.33	30.50
Maksimum	70.20	137.70	32.87	0.56	254.20	29.16	1.66	75.80
Basıklık	-1.12	3.25	0.51	2.91	3.09	1.30	3.26	0.81
Çarpıklık	0.34	1.97	0.06	2.05	1.98	-0.65	1.85	-0.35
Standart Sapma	18.97	30.00	4.84	0.19	57.75	4.60	0.37	11.27



Şekil 3. Çalışma alanına ait ağır metal konsantrasyon haritaları
Figure 3. Heavy metals concentration maps of the study area

Altıntaş ovası çalışma alanındaki topraklarda 8 ağır metal için hesaplanan;

Zenginleşme Faktörüne (EF) göre; As 3.64-20.81 (orta zenginleşme – çok yüksek zenginleşme), Cr 0.16-0.95 (minimal zenginleşme), Cu 0.81-2.87 (minimal zenginleşme – orta zenginleşme), Hg 2.22-77.59 (orta zenginleşme – aşırı zenginleşme), Ni 2.09-8.88 (minimal zenginleşme – belirgin

zenginleşme), Pb 1.11-4.69 (minimal zenginleşme – orta zenginleşme), Sb 0.80-4.64 (minimal zenginleşme – orta zenginleşme) ve Zn 0.67-2.61 (minimal zenginleşme – orta zenginleşme) arasında zenginleşme göstermektedir. Özellikle civadaki aşırı, arsenikteki çok yüksek ve nikeldeki belirgin dereceye varan zenginleşme değerleri dışında diğer ağır metaller için Altıntaş tarım topraklarında önemli bir zenginleşme tespit edilmemiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Zenginleşme faktörüne göre toprak örneklerinde gözlenen ağır metal zenginleşmeleri
Table 2. Heavy metal enrichments in the soil samples according to enrichment factor

Örnekleme	EF-As	EF-Cr	EF-Cu	EF-Hg	EF-Ni	EF-Pb	EF-Sb	EF-Zn
Ortalama	10.77	0.46	1.63	15.70	4.20	2.99	1.83	1.58
Minimum	3.64	0.16	0.81	2.22	2.09	1.11	0.80	0.67
Maksimum	20.81	0.95	2.87	77.59	8.88	4.69	4.64	2.61
Örnek Sayısı								
EF < 2	-	15	13	-	-	1	11	13
2 ≤ EF ≤ 5	2	-	2	8	13	14	4	2
5 ≤ EF ≤ 20	12	-	-	4	3	-	-	-
20 ≤ EF ≤ 40	1	-	-	1	-	-	-	-
EF > 40	-	-	-	2	-	-	-	-

Jeobirikim İndeksine (I_{geo}) göre; As 0.78-3.23 (kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş – çok kirlenmiş), Cr (-3.36)-(-1.12) (pratik olarak kirlenmemiş), Cu (-1.05)-0.13 (pratik olarak kirlenmemiş – kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş), Hg 0.18-5.21 (kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş – aşırı kirlenmiş), Ni 0.22-2.08 (kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş – orta-çok kirlenmiş), Pb (-0.58)-0.96 (pratik olarak kirlenmemiş – kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş), Sb (-1.18)-1.15 (pratik olarak kirlenmemiş – orta derecede kirlenmiş) ve Zn (-1.30)-0.02 (pratik olarak kirlenmemiş – kirlenmemiş-orta derecede kirlenmiş) arasında değerler belirlenmiştir. Cr ağır metali açısından bölge toprakların herhangi bir kirlenme görülmezken, Cu, Pb, Sb ve Zn ağır metalleri için ise kirlilik orta dereceye varan düzeylerde gerçekleşmiştir. Çalışma alanındaki topraklarda en fazla kirlilik oluşturan ağır metaller ise Hg ve onu takip eden As ve Ni olmuştur (Çizelge 3).

Çizelge 3. Jeobirikim indeksine göre toprak örneklerinde gözlenen ağır metal zenginleşmeleri
Table 3. Heavy metal pollution level of the soil samples according to geoaccumulation index

Örnekleme	I_{geo} -As	I_{geo} -Cr	I_{geo} -Cu	I_{geo} -Hg	I_{geo} -Ni	I_{geo} -Pb	I_{geo} -Sb	I_{geo} -Zn
Ortalama	2.15	-2.35	-0.45	1.75	0.85	0.43	-0.40	-0.49
Minimum	0.78	-3.36	-1.05	0.18	0.22	-0.58	-1.18	-1.30
Maksimum	3.23	-1.12	0.13	5.21	2.08	0.96	1.15	0.02
Örnek Sayısı								
$I_{geo} < 0$	-	15	14	-	-	1	12	14
$0 < I_{geo} < 1$	2	-	1	7	10	14	2	1
$1 < I_{geo} < 2$	5	-	-	5	3	-	1	-
$2 < I_{geo} < 3$	5	-	-	-	2	-	-	-
$3 < I_{geo} < 4$	3	-	-	-	-	-	-	-
$4 < I_{geo} < 5$	-	-	-	1	-	-	-	-
$I_{geo} > 5$	-	-	-	2	-	-	-	-

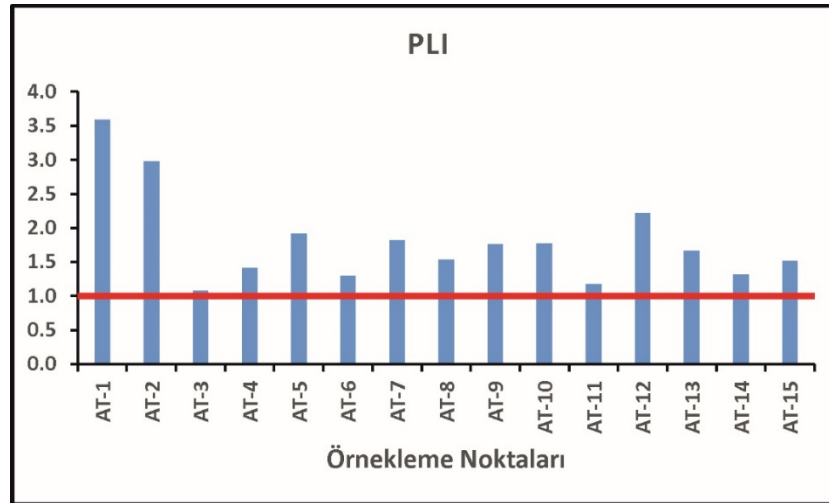
Kirlilik Faktörüne (CF) göre; As 2.58-14.04 (orta derecede kirlenme – aşırı derecede kirlenme), Cr 0.15-0.69 (az kirlenme), Cu 0.72-1.64 (az kirlenme – orta derecede kirlenme), Hg 1.70-55.50 (orta derecede kirlenme – aşırı derecede kirlenme), Ni 1.75-6.36 (orta derecede kirlenme – aşırı derecede kirlenme), Pb 1.00-2.92 (orta derecede kirlenme), Sb 0.66-3.32 (az kirlenme – önemli derecede kirlenme) ve Zn 0.61-1.52 (az kirlenme – orta derecede kirlenme) arasında kirlilik tespit edilmiştir. Buna göre en fazla kirlilik gösteren ağır metaller Hg, As ve Ni olmuştur. Diğer metaller açısından ise çok ciddi bir kirlenme söz konusu değildir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Kirlilik faktörüne göre toprak örneklerinde gözlenen ağır metal zenginleşmeleri

Table 4. Heavy metal pollution level of the soil samples according to contamination factor

Örnekleme	CF-As	CF-Cr	CF-Cu	Cr-Hg	Cr-Ni	Cr-Pb	CF-Sb	CF-Zn
Ortalama	7.58	0.32	1.13	11.50	2.93	2.08	1.28	1.09
Minimum	2.58	0.15	0.72	1.70	1.75	1.00	0.66	0.61
Maksimum	14.04	0.69	1.64	55.50	6.36	2.92	3.32	1.52
Örnek Sayısı								
CF < 1	-	15	3	-	-	-	6	3
1 < CF < 3	2	-	12	6	10	15	8	12
3 < CF < 6	5	-	-	5	3	-	3	-
CF > 6	8	-	-	3	2	-	-	-

Örnekleme noktaları Kirlilik Yük İndeksi (PLI) sonuçlarına göre değerlendirildiğinde ise; tüm örnekleme noktalarında PLI değerlerinin kirlilik sınır değeri olan 1 değerinin üzerinde kaldığı belirlenmiştir (Şekil 4). Buna göre her bir örnekleme noktasında araştırma konusu ağır metallerin toplamı değerlendirildiğinde örnekleme noktalarının tamamının kirlendiği tespit edilmiştir.



Şekil 4. Çalışma alanı örnekleme noktalarına ait Kirlilik Yük İndeksi (PLI) dağılımı

Figure 4. Pollution Load Index (PLI) distribution graphic of sample points of the study area

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Altıntaş ovası tarım topraklarında ağır metal kirlilik boyutunun belirlenmesi amacıyla Zenginleşme Faktörü (EF), Jeobirikim İndeksi (I_{geo}) ve Kirlilik Faktörü (CF) parametreleri hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre; As, Hg ve Ni ağır metallerince bölge topraklarında oldukça önemli oranlarda kirlenme gözlenmektedir. Cu, Pb, Sb ve Zn ağır metalleri için kirlilik boyutu ciddi oranlara ulaşmamıştır. Cr ağır metali için ise bir kirlenme söz konusu değildir. Hesaplanan Kirlilik Yük İndeksine (PLI) göre söz konusu ağır metallerin tamamı için bir değerlendirme yapıldığında da tüm örnekleme noktalarının kirlendiği tespit edilmiştir ($PLI > 1$).

Çalışma alanındaki tarım topraklarında belirlenen bu ağır metal kirliliğinin bölgedeki trafik yoğunluğu, evsel atıklar, gübreleme ve pestisit kullanımı gibi antropojenik aktiviteler sonucunda oluştuğu düşünülmektedir. Kirlilik gösteren ağır metaller için yüksek EF, I_{geo} ve CF değerleri bu görüşü destekler niteliktedir.

Sonuç olarak, Altıntaş ovası tarım toprakları ağır metallerce kirlenmiştir. Bu kirlilik boyutunu tam anlamıyla belirlemek için örnekleme yapılan bölge genişletilerek daha detaylı bir şekilde çalışılması önerilmektedir. Bu çalışma sonucuna göre bölge topraklarında insan sağlığını tehdit etmeyecek şekilde daha kontrollü bir üretim yapılması ya da bölge topraklarının temizlenmesi veya iyileştirilmesi (remediasyon) sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- BARBIERI, M., 2016. The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) to Evaluate the Soil Contamination. *J Geology & Geophysics*, 5 (1), 1 -4.
- BROOKS, R. R., 1972, *Geobotany and biogeochemistry in mineral exploration*: New York, Harper and Row, 290 p
- BUAT-MENARD, P. and CHESSELET, R., 1979. Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of oceanic suspended matter. *Earth Planet Sci Lett*, 42, 399–411.
- CAI Q., LONG M.L. , ZHU M., ZHOU Q.Z., ZHANG L., LIU J., 2009. Food chain transfer of cadmium and lead to cattle in a lead–zinc smelter in Guizhou, China. *Environ Pollut*, 157:3078–82.
- CHAKRAVARTY, I. M. and PATGIRI, A. D., 2009. Metal Pollution Assessment in Sediments of the Dikrong River, N.E. India *Journal of Human Ecology*, 27, 63-67.
- CHARY S. C, KAMALA C. T, RAJ D. S. S., 2008. Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. *Ecotoxicol Environ Safety*, 69: 513–24.
- CHATTERJEE, M., FILHO, E. V. S., SARKAR, S. K., SELLA, S. M., BHATTACHARYA, A., SATPATHY, K. K., PRASAD, M. V. R., CHAKRABORTY, S., BHATTACHARYA, B. D., 2007. Distribution and possible source of trace elements in the sediment cores of a tropical macrotidal estuary and their ecotoxicological significance. *Environ Int*, 33, 346–356.
- CHEN HUAIMAN, 1996. *Heavy Metal Pollution in Soil-Plant System*. Science Press, Beijing.
- CHEN, M. and MA, L.Q., 2001. Comparison of three aqua regia digestion methods for twenty Florida soils. *American Society of Soil Science Journal*, 65, 491–499.
- CHUNG, S. AND CHON, H.T., 2014. Assessment of the level of mercury contamination from some anthropogenic sources in Ulaanbaatar, Mongolia. *J Geochem Explor*, 147, 237–244.
- DUFFUS J., 2002. Heavy metals: a meaningless term (IUPAC Technical report). *Pure Appl Chem*. 74, 793-807.
- GIL, C., BOLUDA, R., RAMOS, J., 2004. Determination and evaluation of cadmium, lead and nickel in greenhouse soils of Almeria (Spain). *Chemosphere* 55 (7), 1027–1034.
- HAKANSON, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach *Water Res.*, 14, 975-1001.
- KAHVECİOĞLU, Ö., KARTAL, G., GÜVEN, A., TİMUR, S., 2009. Metallerin çevresel etkileri. *Metalurji Dergisi*, 136, 47-53.
- KİÇDR, 2017. Kütahya il çevre durum raporu. Kütahya Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü.
- LI J. L., HE, M., HAN, W., GU, Y., 2009. Analysis and assessment on heavy metal sources in the coastal soils developed from alluvial deposits using multivariate statistical methods. *J Hazard Mater*. 164: 976–981.
- LJUNG, K., 2006. *Metals in urban playground soils, distribution and bioaccessibility*. Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

LOSKA, K., WIECHULA, D., BARSKA, B., CEBULA, E., CHOJNECKA, A., 2003. Assessment of arsenic enrichment of cultivated soils in Southern Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*, 12(2), 187-192.

MACHENDER, G., DHAKATE, R., PRASANNA, L., GOVIL, P. K., 2011. Assessment of heavy metal contamination in soils around Balanagar industrial area, Hyderabad, India. *Environ Earth Sci*, 63, 945–953. Manahan, S.E., 2003. *Toxicological Chemistry and Biochemistry*. CRC Press, Limited Liability Company (LLC), 3rd edition.

MIKO, S., PEH, Z., BUKOVEC, D., PROHIC, E., KASTMÜLLER, Z., 2000. Geochemical baseline mapping and Pb pollution assessment of soils in the karst in Western Croatia. *Natura Croatica*, 9 (1), 41-59.

M. T. A., 2002. 1/500.000 ölçekli Jeoloji Haritası Ankara Paftası, Editör: Turhan N., M.T.A. Yayını, Ankara.

MÜLLER, G., 1969. Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. *Geo J*, 2, 108–118.

MÜLLER, G., 1981. Die Schwermetallbelastung der Sedimenten des Neckars und Seiner Nebenflüsse, *Chemiker-Zeitung*, 6, 157.

NICHOLSON, F. A., SMITH, S. R., ALLOWAY, B. J., CARLTON- SMITH, C., CHAMBERS, B. J. 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Science of the Total Environment*. 311: 205–219.

NIEĆ J., BARANOWSKA R., DZIUBANEK G., ROGALA D., 2013. Children’s exposure to heavy metals in the soils of playgrounds, sport fields, sandpits and kindergarten grounds in the region of Upper Silesia. *Journal Ecology and Health* 17, 2: 55–62.

ÖZBOLAT, G. ve TULİ, A., 2016. Ağır Metal Toksisitesinin İnsan Sağlığına Etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*, 25, 4: 502-521.

PACZYNA, J. M., WINCHESTER, J. W., 1990. Contamination of the global environment as observed in the Arctic. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 82, 149–57.

QUEVAUVILLER, P. and LAVIGNE, R., CORTEZ, L., 1989. Impact of industrial and mine drainage wastes on the heavy metal distribution in the drainage basin and estuary of the Sado River (Portugal). *Environ Pollut*, 59, 267–86.

REIMANN, C. and de CARITAT, P., 2000. Intrinsic flaws of element enrichment factors (EFs) in environmental geochemistry. *Environ Sci Technol*, 34, 5084–91.

ROMIC, M. and ROMIĆ, D., 2003. Heavy metals distribution in agricultural topsoils in urban area. *Environ. Geol.* 43 (7), 795–805.

ROSE, A. W., HAWKES, H. E., WEBB, J. S., 1991. *Geochemistry in mineral exploration*. London: Academic Press.

SCHIFF, K. C. and WEISBERG, S.B., 1999. IRon as a reference element for determining trace metal enrichment in Southern California coastal shelf sediments. *Marine Environmental Research*, 48(2), 161–176.

SENGUPTA, S., CHATTERJEE, T., GHOSH, P. B., SAHA, T., 2010. Heavy metal accumulation in agricultural soils around a coal fired thermal power plant (Farakka) in India. *Environ Sci Eng*, 52(4), 299–306.

SUTHERLAND, R. A., 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environ Geol*, 39, 611–27.

TOMLINSON, D. L., WILSON, J. G., HARRIS, C. R., JEFFREY, D. W., 1980. Problems in the assessment of heavy- metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgolander Meeresunters* 33: 566.

THOMSON, I., 1986. Exploration geochemistry: design and interpretation of soil surveys, *Rev Econ Geol*, 3, 1–18.

VURAL, A., 2014. Toprak ve Akasya Ağacı Sürgünlerindeki İz/Ağır Metal Dağılımı, Gümüşhane-Türkiye. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 148: 85-106.

ZHANG, C., 2006. Using multivariate analyses and GIS to identify pollutants and their spatial patterns in urban soils in Galway, Ireland. *Environmental Pollution*. 142: 501–511.

ZHAO, Y., XU, X., SUN, W., HUANG, B., DARILEK, J. L., SHI, X., 2008. Uncertainty assessment of mapping mercury contaminated soils of a rapidly industrializing city in the Yangtze River Delta of China using sequential indicator cosimulation. *Environ. Monit. Assess.* 138 (1-3), 343–355.

ZHENG Y., CHEN T., CHEN H., WU H., ZHOU J., LUO, J., HUANG, Z., 2003. The spatial structure and distribution of Ni contents in soils of suburbs of Beijing. *Acta Geographica Sinica*, 58(3): 470-476. (in Chinese).

ZHENG Y., YU K., WU H., HUANG, Z., CHEN, H., WU, X., TIAN, Q., FAN, K., CHEN, T., 2002. Lead concentrations of soils in Beijing urban parks and their pollution assessment. *Geographical Research*, 21(4): 418-424. (in Chinese).

Araştırma Makalesi

BiGA-KARABİGA (ÇANAKKALE) VE ÇEVRESİNİN JEOLJİSİ
Geology of Biga-Karabiga (Çanakkale) and Surrounding Areas

Şerafeddin ÇAKIR¹, Ahmet KARAKAŞ¹

ÖZET

Bu çalışma; Biga ilçesi ile Karabiga yerleşim birimi arasındaki alanın stratigrafisini ortaya koymak amacıyla yapılmıştır. Formasyonlar yaşlıdan gence anlatılmaktadır. Çalışma alanının temelini başlıca; mikaşist, fillit, kalkşist, metakuvarsit ve mermerden oluşan Permo-Triyas yaşlı Çamlıca metamorfittleri oluşturmaktadır. Bu birimin üzerine tektonik olarak Üst Kratese yaşlı Çetmi ofiyolit melanjı gelmektedir. Bu birim kireçtaşı blokları, şeyl ve grovak içerir. Ballıkaya formasyonu Üst Kratese-Paleosen dönemi kireçtaşı blokları, grovak ve bazaltları barındırır. Bu birimler üzerine uyumsuz olarak resifal kireçtaşlarından oluşan Soğucak formasyonu gelir. Bu formasyon üzerine uyumlu olarak gelen kumtaşı ve şeyl ardalanmasından oluşan Ceylan formasyonu derinleşmeye başlayan denizin türbiditik çökelleridir. Orta Eosen yaşlı Karabiga granitoyitleri, bu birimleri kesmektedir. Bunların üzerine Orta Eosen yaşlı andezitik ve dasitik bileşimli Balıklıçeşme volkanitleri gelir. Daha üstte uyumsuz olarak Plio-Kuvaterner döneminde çökelen çakıltaşı, kumtaşı ve silt ve killerden oluşan flüviyal çökeller yer alır. Bayramiç formasyonu olarak adlandırılan bu çökeller çalışma alanının orta ve güney kesiminde küçük yüzlekler verir. Alüvyonlar ise alçak alanlarda ve çalışma alanının ortasında geniş ve düz alanlarda bulunur.

ABSTRACT

This study was carried out to reveal the stratigraphy of the area between the Biga district and Karabiga settlement. Formations are explained from old to young. The bedrocks of the study area are mainly Permo-Triassic Çamlıca metamorphic rocks composed of mica-schist, phyllite, calcschist, metaquartzite and marble. Upper Cretaceous Çetmi ophiolite mélange overlies the bedrocks tectonically. This unit contains limestone blocks, shale and greywacke. Ballıkaya formation consists of Upper Cretaceous-Paleocene limestone blocks, greywackes and basalts. These units are unconformably overlain by the Soğucak formation, which is composed of reef limestones. Ceylan formation, consisting of sandstone and shale intercalation, overlying conformably Soğucak formation consists of the deep marine turbiditic sediments. The Middle Eocene Karabiga granitoids cut these units. The Middle Eocene andesitic and dacitic Balıklıçeşme volcanics overlay these formations. Conglomerate, sandstone, silty and clayey fluvial sediments deposited during the Plio-Quaternary period unconformably in the upper parts. These deposits, called Bayramiç formation, outcrop in small areas in the central and southern part of the study area. Alluviums exist in low areas and in wide and flat areas in the middle of the study area.

GİRİŞ

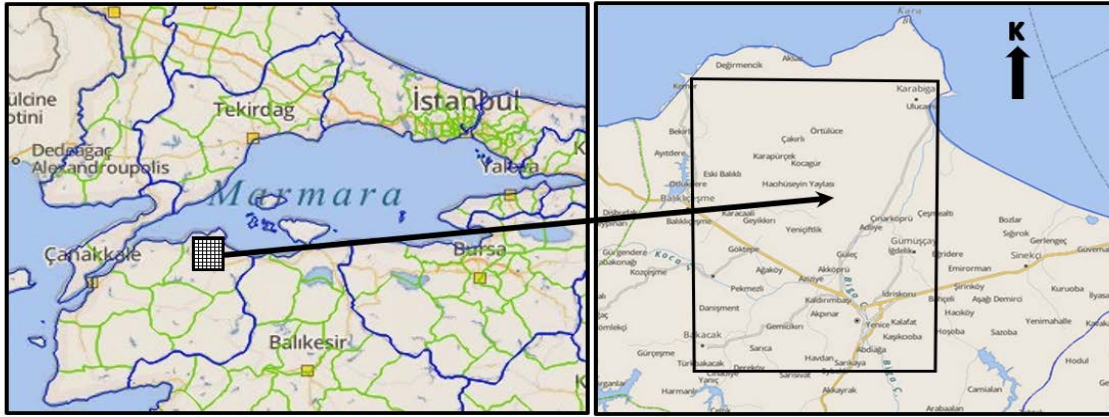
İnceleme alanı kuzeybatı Anadolu'da Çanakkale ili Biga ilçesi ile Karabiga yerleşim birimi arasındaki alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Hem çalışma alanında ve Biga Yarımadası'nın diğer bölgelerinde çalışan araştırmacılar; yüzeyleyen kayaları stratigrafik, paleontolojik, petrografik, petrolojik ve ekonomik jeoloji yönünden irdelemişlerdir. Bingöl (1968); Bingöl ve diğ., (1973); Akyürek ve Soysal (1983); Önal ve Yılmaz (1983); Gözler ve diğ., (1984); Ercan ve Günay (1984); Siyako ve diğ., (1989); Ertürk ve diğ., (1990); Okay ve diğ. (1990); Ercan ve diğ., (1995); Yılmaz (1989, 1990, 1995) olmak üzere birçok araştırmacı tarafından çeşitli amaçlı araştırmalar yapılmıştır.

¹ Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Umutepe Yerleşkesi, İZMİT-KOCAELİ

*İlgili yazar / Corresponding author: scakir@kocaeli.edu.tr

Gönderim Tarihi: 07.05.2018

Kabul Tarihi: 25.06.2018



Şekil 1: Çalışma Alanının Yer Bulduru Haritası
Figure 1: Location map of the study area

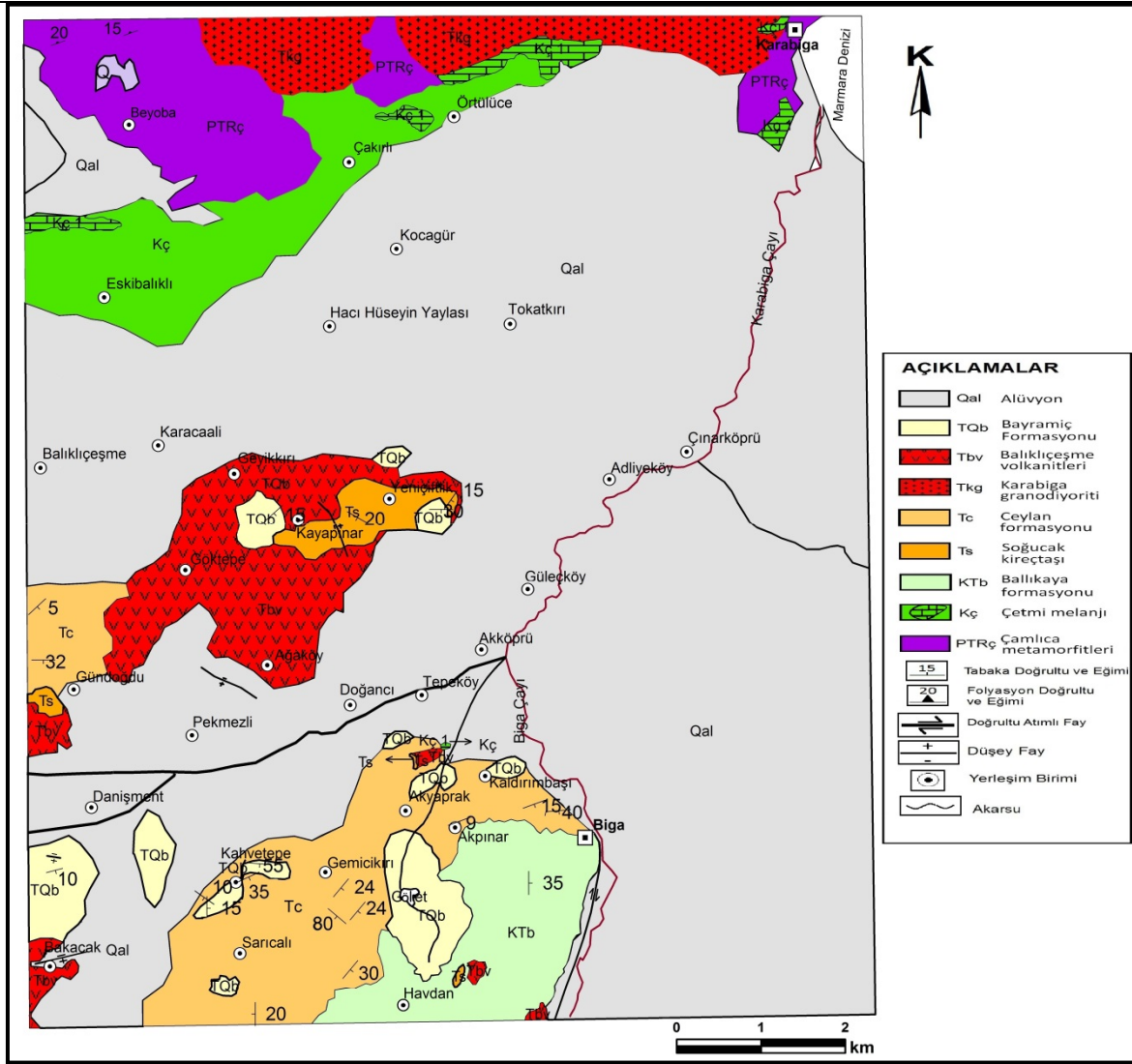
ÇALIŞMA ALANININ STRATİGRAFİSİ

Çalışma alanı; Sakarya zonu tektonik birliğinin batıdaki uzantısıdır. Arazide yüzeyleyen kayalar, daha önceki yapılan çalışmalarda tanımlanarak karşılaştırılarak korele edilmiştir.


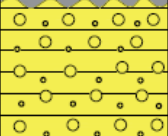



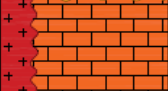



Bu alandaki kaya birimleri daha doğuda yapılan çalışmalarda Geç Triyas yaşlı Karakaya kompleksi, Liyas yaşlı Bayırköy formasyonu, Orta-Geç Jura yaşlı Bilecik kireçtaşı ve Kretase yaşlı Vezirhan formasyonu olarak tanımlanmıştır. Çamlıca metamorfik topluluğu litolojik ve stratigrafik nitelikleri ile metamorfizma özellikleri bakımından Sakarya Zonu içerisinde yüzlek veren İznik metamorfik topluluğunun eşleniği olabilecek özellikler içermektedir Şengün ve Çalık (2007). Biga batısındaki kireçtaşı mostraları Jura yaşlı Bayırköy formasyonu, Balıkkaya Tepe çevresindeki birim Jura-Erken Kretase yaşlı Bilecik formasyonu, Havdan köyü güneyindeki kireçtaşı bloklu birim ise Triyas yaşlı Karakaya Kompleksine ait Çal Birimine ait Aşmalı formasyonu olarak tanımlanmıştır (Siyako ve diğ. 1989). Biga güneyinde de mostra veren Apsiyen-Maastrichtiyen yaşlı birim, Vezirhan formasyonu olarak tanımlanmıştır (Okay ve diğ. 1990). İnceleme alanı jeoloji haritası Şekil 2’de ve genelleştirilmiş stratigrafi kesiti Şekil 3’te verilmektedir.

Çamlıca metamorfileri (PTRç)

Biga Yarımadası’nın batı-kuzeybatı kesimlerinin temelini bölgenin en yaşlı kayaç topluluğu olan Paleozoyik yaşlı Çamlıca metamorfikleri oluşturmaktadır. Serisit şist, klorit şist, sleyt ve mermer seviyelerinden oluşan birim, Okay ve diğ. (1990) tarafından Çamlıca metamorfileri olarak tanımlanmıştır. Mermerler, birkaç metre kalınlığa sahip ve mercerler halinde yer almaktadır. Çamlıca metamorfileri, Karabiga çevresinde yaklaşık geniş bir alanda yüzeyler. Çamlıca metamorfilerinin büyük bir kesimi mikaca zengin, iyi foliyasyon gösteren, gri, koyu gri, kırmızı, kahverengi kuvars-mikaşist ve fillitlerden ve bunlar içinde 1-100 m. kalınlıkta seviyeler halinde yer alan kalkışist, metakuvarsit ve mermerden oluşur. Metamorfilerin içinde, foliyasyona paralel dizilmiş, boyları 20-30 metreden 2-3 km ye kadar değişen serpantin dilimleri ve daha seyrek olarak, Çetmi ofyolit Melanjına ait diğer litolojiler yer alır. Serisit şist, klorit şist, sleyt ve mermerlerin %80’den fazlasını gri, kirli kahve, yeşilimsi kahve renkli, iyi foliyasyon gösteren, bol mikalı, yer yer karbonatlı kuvars mikaşistler oluşturur. Bu kayalar içerisinde kuvars ve beyaz mika minerallerinin yanı sıra kalsit, biyotit, albit, klorit ve granat mineralleri de yaygın olarak bulunur (Sarı ve diğ. 2015).



Şekil 2: Çalışma Alanının Jeoloji Haritası
Figure 2: Geology map of the study area

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	KALINLIK (m.)	SEMBOL	LİTOLOJİ	FOSİLLER		
SENOZOYİK	Kuvaterner	Holosen	Altıvyon	80	Qal		Çakıl, kum, silt, kil	Fosilsiz	
		Pleyistosen	Bayramiç	40-45	TQb		Çakıltaşı, Kumtaşı	Fosilsiz	
		Pliyosen							
	Tersiyer	Eosen		Balıklıçeşme volkanitleri		Tbv		Andezit, Dasit	Fosilsiz
				Karabiga granodiyoriti		Tkg		Granit, Granodiyorit Monzodiyorit	Fosilsiz
				Ceylan	350-400	Tc		Kumtaşı-kıltaşı ardanması, tuf	<i>Globigerina inflata</i> <i>Globigerina corpulenia</i> <i>Globorotalia</i> sp.
				Soğucak kireçtaşı	15-20	Ts		Kireçtaşı	<i>Fabiania cassis</i> <i>Discocyclina</i> sp. <i>Alveolina</i> sp. <i>Orbitolites</i> sp.
	MESOZOYİK	Kretase	Üst Kretase	Balılkaya	200-300	KTb		Şeyl, Kumtaşı, çakıltaşı, Kireçtaşı blokları	<i>Morozovella velascoensis</i> <i>Planorotalites</i> sp. <i>Bolivina</i> sp. <i>Radiolaria</i>
				Çetmi ofiyolitik melanji		Kç		Spilit, kireçtaşı, Şeyl, kumtaşı, Serpantinit, Radyolarit	<i>Involutina</i> sp. <i>Trochammia</i> sp. <i>Trocholina</i> sp. <i>Heterohelix</i> sp.
		Triyas							
PALEOZOYİK	Permiyen		Çamlıca metamorfizmi		PTRç		Mikaşist, fillit, metakuvarsit, mermer	Fosilsiz	

Şekil 3: Çalışma Alanının Genelleştirilmiş Stratigrafi Kesiti.

Figure 3: Generalized stratigraphic columnar section of the study area.

Bu kayaçlar içerisinde kuvars, mika mineralleri, ayrıca kalsit, biyotit, albit, klorit ve granat mineralleri yaygın olarak bulunur (Okay ve diğ., 1990). Albit–granat–epidot–klorit parajenezi

Çamlıca metamorfik topluluğunun yeşilşist fasiyesinde metamorfizma geçirdiğini göstermektedir (Şengün, 2006).

Çetmi ofiyolitik melanji (Kç)

Çamlıca metamorfikleri üzerine Üst Kretase yaşlı ofiyolitik kayaç grubu tektonik olarak üzerlenmektedir. Okay ve diğ. (1990) tarafından Çetmi ofiyolit melanji olarak adlandırılmıştır. Karabiga batısında yüzeyleyen Çetmi ofiyolit melanji, en fazla spilit, değişik tipte kireçtaşı blokları ve daha az olarak şeyl, kumtaşı, serpantin ve radyolaritten oluşmuştur. Spilitler, koyu yeşil, siyahımsı yeşil renkli spilitler genellikle foliyasyon göstermez ve albit, pembemsi Ti-Ojit ve kloritten oluşur. Yalnızca tektonik eklojit blokları çevresinde yer alan eklojitler belirgin bir foliyasyon ve aktinolit ile epidot tarafından karakterize edilen bir yeşilşist fasiyesi mineral topluluğu gösterir (Okay ve diğ., 1990).

Çetmi melanji olarak tanımlanan bu bloklu karmaşık Geç Kretase yaşlıdır. Adlandırıldığı tip lokalitesi olan Çetmi dolaylarında ise çökel bir matris (kumtaşı-şeyl) içerisinde kireçtaşı, çört, kumtaşı bloklarından oluşan Erken Kretase yaşlı bloklu birim doğrudan Kazdağ Masifi üzerinde tektonik olarak yer almaktadır. Aynı birim Karabiga dolaylarında ise uyumsuz olarak metamorfik temel üzerine stratigrafik dokanakla oturmaktadır (Yiğitbaş ve diğ., 2005).

Çetmi ofiyolit melanji içerisinde yaygın olarak bulunan kireçtaşı blokları granitoid sokulumunun etkisi ile yeniden kristallenmişlerdir (Şekil 4). Kalsit kristalleri genellikle plütone yakın kısımlarda iri taneli (rekristalize), plütondan uzaklaştıkça ince taneli olarak gözlenmektedir. Ayrıca plütone yakın kesimlerde garnet, piroksen ve epidot minerallerine rastlanmıştır. Bu mineraller, granitoid sokulumu ile gelişen skarn oluşumunu işaret etmektedir.



Şekil 4: Çalışma alanının kuzey sınırındaki Değirmencik köyü güneyinde Çetmi melanji içindeki kireçtaşlarında açılan taşocağının görünüşü.

Figure 4: A view of the quarry that was operated in the limestones in the Çetmi mélange to the south of the Değirmencik village on the northern border of the study area.

Karabiga’da batıya doğru 35-40 km uzunlukta ve 3-4 km eninde bir şerit halinde yüzlekler veren ofiyolitik melanji litoloji ve yapı özellikleri ile Gelibolu zonundaki Çetmi ofiyolitik melanjına çok benzer. Denizaltı lav ve tüflerini temsil eden spilitler genellikle ilksel özelliklerini korumuştur, ezilme ve foliyasyon gelişimine ender olarak rastlanır (Okay ve diğ. (1990). Çetmi ofiyolitik melanji içindeki kayaçlar ilksel konumlarını kaybetmiştir. Gözler ve diğ. (1984) melanji içinde kireçtaşı bloklarında *Globotruncana* sp. fosilleri bulmuştur. Bu fosiller, Maastrichtiyen-Kampaniyen (Üst Kretase) yaşını vermektedir.

Karabiga batısında Çetmi ofiyolit melanjında bulunan kireçtaşı bloklarından alınan örneklerde, Okay ve diğ. (1990) tarafından Geç Triyas yaşı veren şu fosiller bulunmuştur: *Involutina* sp., *Trochammina* sp., *Fronicularia* sp., *Miliopora* sp., *Nodosariidae*, *Trocholina* sp., *Solenoporacea*, *Cayeuxia* sp., *Hedbergella* sp., *H. cf. delrioensis*, *Praeglobotruncana* sp., *Heterohelix* sp.

Balıkaya formasyonu (KTb)

Birim; Yıkılmaz ve diğ. (2002) tarafından tanımlanmıştır. Biga ilçe merkezi, Akpınar köyü ve Havdan köyü çevresinde yüzeylenmektedir. Birimin adı Biga batısındaki Balıkaya tepeden alır. Yiğitbaş ve diğ. (2005) “Biga dolaylarında ise Erken Kretase–Paleosen yaşında tabanı görülmeyen bloklu birim de Çetmi melanjı eşdeğeri olarak adlandırılmaktadır” cümlesi ile bu formasyonu Çetmi melanjı kabul edilmektedir.

Formasyonun büyük bir kısmı kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şekil 5) ve formasyon içinde tabakalanmanın az olması nedeni ile Balıkaya formasyonunun kalınlığını ancak yaklaşık olarak belirlenebilir. Görünen kısmının kalınlığı birkaç yüz metre kadardır. Çalışma alanında Balıkaya formasyonunun tabanı gözlenmemiştir.

Yıkılmaz ve diğ. (2002) tarafından Balıkaya tepesi civarından alınan üç mikritik kireçtaşı örneğinde bulunan pelajik foraminiferlere göre; Erken Paleosen (Daniyen) yaşını veren *Morozovella pseudobulloides* (Plummer), *M. uncinata* (Bolli), *M. cf. trinidadensis* (Bolli), *Morozovella* sp., *Planorotalites compressa* (Plummer), *Planorotalites* sp. *Globigerina trilocolinoides* Plummer, *Globigerina* sp., *Racemiquembelina* sp., *Bolivina* sp. ve *Radiolaria* fosilleri saptanmıştır. Yine aynı bölgeden alınan diğer bir mikritik kireçtaşı örneği Üst Paleosen (Tanesiyen) yaşını veren *Morozovella velascoensis* (Bolli), *Planorotalites* sp. ve *Radiolaria* içerir. Havdan köyü'nün güneybatısından alınan başka bir mikritik kireçtaşı örneği *Planorotalites compressa* (Plummer), *Planorotalites* sp., *Morozovella* sp., *Globotruncanita* cf. *stuarti* (d'Lapparent), *Globotruncanita* sp., *Abathomphalus* sp. içermektedir. Bu foraminiferler Maastrichtiyen'in en üstü ile Paleosen'in en alt kesimini işaret etmektedir. Yıkılmaz ve diğ. (2002) tarafından, örnekte bulunan *Globotruncana* fosillerinin muhtemelen Üst Kretase'den taşındığı kabul ederek, kireçtaşlarındaki diğer fosillere göre Balıkaya formasyonuna Paleosen (Daniyen-Tanesiyen) yaşı verilmiştir.

Atabey ve Erdoğan (2003) Biga'nın 500 m batısındaki (1/25000 ölçekli topoğrafya haritasında Balıkaya Tepe) Balıkaya formasyonu olarak adlandırmıştır. Yıkılmaz ve diğ. (2002) ise tepenin adının Balıkaya Tepe olduğu belirtmiştir.

Atabey ve Erdoğan (2003) tarafından Balıkaya tepeden alınan çakıllarda; Kalloviyen-Oksfordiyen yaşında olan *Palaeomiliolina strumosum* (Gümbel), *Globuligerina* gr. *oxfordiana* (Grigelis), *Patellina* sp., *Ammobaculites* sp., bulunmuştur. Havdan köyü güneyi, Sarısıvat köyü kuzeyi Kokarca tepedeki kireçtaşı blokları Kimmericiyen yaşında *Protopenneroplis striata* Weynschenk, *Conicospirillina basiliensis* Mohler ile *Pseudocyclammina lituus* Yokoyama, *Tubiphytes morronensis* Cressenti, *Koskinobullina socialis* Cherchi ve Schroeder, *Cladocoropsis mirabilis* Felix, *Trocholina* sp. tanımlanmıştır.

Çalışma alanın güney sınırının hemen dışında bulunan Sarısıvat köyü kuzeyi Asar tepe ile Havdan kuzeydoğusundaki kireçtaşı blokları ise Berriasiyen yaşında *Neotrocholina valdensis* Reichel, *Protopenneroplis trochoangulata* ve *Trocholina odukpaniensis* Dessauvage fosilleri içermektedir. Yine Sarısıvat kuzeyindeki kireçtaşı bloğu Geç Titoniyen-Berriasiyen yaşlı *Cladocoropsis mirabilis*, *Tubiphytes morronensis* Cressenti, *Neotrocholina valdensis* Reichel, *Calpionella alpina* Lorenz, *Tintinopsella* sp., *Neotrocholina* sp., bulunur (Atabey ve Erdoğan, 2003).

Balıkaya tepenin doğu yamacındaki kireçtaşı bloğu Hotriviyen yaşında olan *Globuligerina hoterivica* (Subbotina), *Meandrospira favrei* (Charrolais, Brönnimann ve Zaninetti), *Spirillina* sp.,

foraminiferleri bulunmuştur. Havdan kuzeydoğusundaki kireçtaşı blokları da Geç Apsiyen (Erken Kretase) yaşındaki *Globigerinelloides ferreolensis* (Moullade), *Hedbergella delrioensis* (Carsey), *Hedbergella planispira* (Tappan), *Hedbergella trocoidea* (Gandolfi) kapsamaktadır (Atabey ve Erdoğan, 2003).

Fakat; kireçtaşı bloklarının matriksi konumundaki kırmızı-bordo renkli pelajik kireçtaşlarında ise Atabey ve Erdoğan (2003); Maastrichtiyen özellikle Geç Maastrichtiyen'e ait foraminiferleri bulmuştur. Havdan kuzeydoğusu, Sarısuva kuzeyindeki Kokarca tepede ve Havdan güneybatısında kırmızı pelajik kireçtaşlarından alınan örnekler; Maastrichtiyen yaşında *Globotruncana* gr. *linneiana* (d'Orbigny), *Globotruncana arca* (Cushman), *Globotruncanita stuartiformis* (Dalbiez) ile Geç Maastrichtiyen'e ait *Globotruncanella citae* (Bolli), *Globotruncanella havanensis* (Voorwijk), *Abathomphalus* sp., *Rugoglobigerina rugosa* (Plummer), *Heterohelicidae* foraminiferlerini bulmuştur. Bu nedenle de birimin yaşını Geç Maastrichtiyen (Üst Kretase) olarak kabul etmiştir. Bu çalışmada; Yıkılmaz ve diğ. (2002) tarafından aynı alanda Paleosen yaşlı fosillerin de bulunması nedeniyle birimin yaşının Üst Kretase- Paleosen olması benimsenmiştir.



Şekil 5: Ballıkaya formasyonu içindeki kireçtaşlarının Biga güneyinde Ağıl Tepe'de görünüşü.
Figure 5: The view of limestone in Ballıkaya formation at Ağıl Tepe in the south of Biga.

Soğucak kireçtaşı (Ts)

Ballıkaya formasyonu üzerinde uyumsuzlukla yer alan resifal kireçtaşları, Siyako ve diğ. (1989) tarafından Soğucak kireçtaşı olarak isimlendirilmiştir. Soğucak kireçtaşı, kirli sarı, kalın tabakalı, bol *Nummulites*, mercan ve alg içeren resifal kireçtaşlarıdır. Bu birim, çalışma alanının güney ve orta kesiminde yüzeyler ve Ballıkaya formasyonunun kireçtaşı blokları üzerinde uyumsuzlukla bulunur. Biga'nın batısında Soğucak kireçtaşının 10-15 metrelik bir kalınlığı vardır, üzerine kumtaşı ve kilttaşları araldanmasından oluşan Ceylan formasyonu uyumlu olarak gelir.

Siyako ve diğ. (1989), Biga Yarımadası'nda Soğucak kireçtaşlarından alınan örneklerde; *Chapmanina gassiensis*, *C. sp.*, *Eofabiani* cf. *grahami*, *Halkyardia bibiensis*, *Fabiania cassis*, *F. sp.*, *Eonnullaria eocenica*, *Nummulites* sp., *Alveolina* sp., *Assilina* sp., *Amphistegina* sp., *Actinocyclus* sp., *Discocyclus* sp., *Operculina* sp., *Asterigerina* sp., *Orbitolites* sp., *Sphaerogypsina* sp., *Rotalidae*, *Miliolidae*, kırmızı alg ve mercan fosillerine göre birimin yaşı Lütésiyen (Orta Eosen) olarak kabul etmektedir.

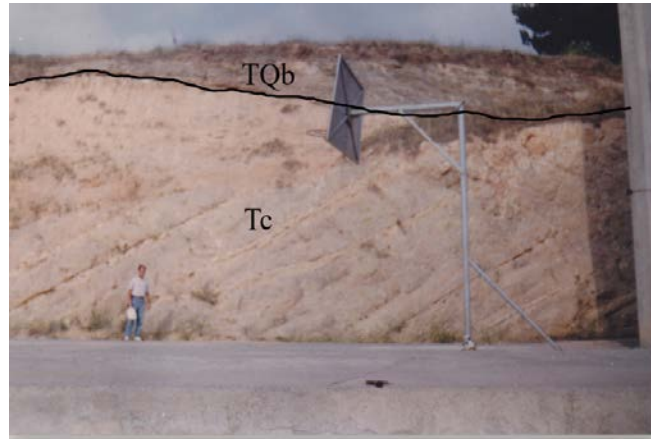
Biga'nın batısında Soğucak kireçtaşı bol miktarda *Nummulites* ve benttik foraminiferleri kapsar. Bu bölgeden derlenen örneklerde saptanan *Nummulites beaumonti* d'Archiac ve Haime, *Nummulites* spp., *Discocyclus* sp., *Asterocyclus* sp., *Operculina* sp., *Quinqueuloculina* sp., *Rotaliidae*, *Rupertidae*, *Anomalina* sp. formları Soğucak kireçtaşının Orta Eosen (Lütésiyen) yaşında olduğunu göstermektedir (Yıkılmaz ve diğ., 2002).

Ceylan formasyonu (Tc)

Ceylan Formasyonu, kıltaşı-kumtaşı ardalanmasından oluşmuştur. İlk kez Ünal (1967) tarafından tanımlanmıştır. Kıltaşları; yeşilimsi mavimsi gri, sert, volkanitlere yakın olduğu yerlerde ileri derecede alterasyona uğramış, yer yer başkalaşmış, yer yer kıvrımlanmalı olup, ince kumtaşı düzeyleri bulundurur (Şekil 6). Kumtaşları; sarımsı gri renkli, sert, köşeli kırılmalı karbonat çimentolu, ince orta tanelidir. Biga batısındaki yüzleklerde yeşil renkli tüf düzeyi Kahvetepe köyü çevresinde görülmektedir. Ceylan formasyonu içindeki bu tüfler, çoğunlukla vitrik, nadiren kristalen tüflerdir. Bunlar, iyi yataklanmış laminasyon gösteren yeşil renkli tüfler ile karbonatlaşma yer yer silisli beyaz renkli tüflerdir (Ertürk ve Uygur, 1994).

Soğucak formasyonunun çökelişinin son zamanlarında havzanın derinleşmesi ile Soğucak formasyonu üzerine Ceylan formasyonu çökelmeye başlamıştır. Kumtaşı-kıltaşı ardalanması en yaygın görülmüştür. Birimin kumtaşları tabanında kaval yapıları az da olsa görülmektedir. Ölçülen bir kaval yapısı akıntının K 40 D'ya olduğunu göstermektedir. Birimin kalınlığı 350-400 m. kadardır.

Siyako ve diğ. (1989) tarafından Ceylan Formasyonu'ndan alınan örneklerde *Globigerina inflata*, *G. jeguanxis*, *G. corpulena*, *G. spp.*, *Globorotalia* sp. fosillerine göre birimin yaşı Üst Eosen olarak belirlenmiştir.



Şekil 6: Biga ilçesinde Ceylan formasyonu ile Bayramiç formasyonunun görünümü.

Figure 6: View of Ceylan formation and Bayramiç formation at Biga district center.

Karabiga Granodiyoriti (Tkg)

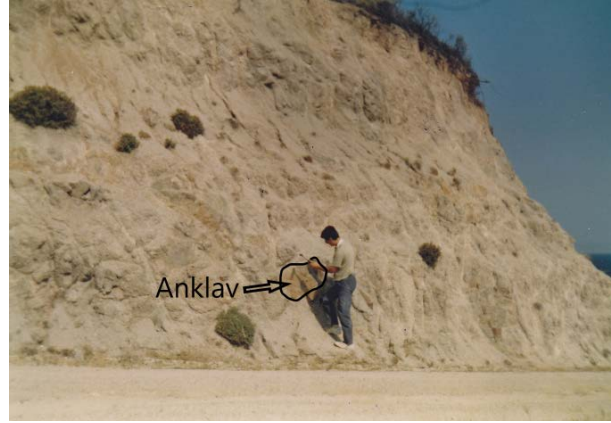
Çalışma alanının kuzey bölümünde yüzeyleyen Karabiga granitoyiti; granit, granodiyorit ve kuvarşlı monzodiyorit olup, ileri derecede alterasyona uğramıştır. Başlıca oligoklaz, K-feldspat, kuvars, biyotit, hornblend ve daha düşük oranlarda apatit, sfen, magnetit ve zirkondan oluşurlar. Bazı K-feldspat kristallerinin 10-12 mm tane boyutuna sahip olmalarına karşın, mineral tane boyutları 1-5 mm olan granüler ve porfiritik doku tipleri yaygındır (Güçtekin ve diğ., 2004).

Kalk-alkalen karakterli sığ bir sokulum olduğu öngörülmektedir (Gözler ve diğ., 1984; Siyako ve diğ., 1989; Okay ve diğ., 1990). İçinde kireçtaşı anklavlarına rastlanmaktadır (Şekil 7). Plütona yakın kesimlerde garnet, piroksen ve epidot minerallerine rastlanmıştır. Bu mineraller, granitoyid sokulumu ile gelişen skarn olumunu işaret etmektedir (Güçtekin ve diğ., 2004).

Gözler ve diğ. (1984), Karabiga granodiyoritlerinin Üst Kretase yaşlı ofiyolitik kayalarla kestiği için, bunların Üst Kretase'den daha genç olduğunu, Siyako ve diğ. (1989) Biga Yarımadası'nda

bulunan diğer granitoid plutonların yaşlarıyla karşılaştırma yaparak, bu granitoidin yaşının Geç Oligosen–Erken Miyosen olabileceğini belirtmişlerdir. Güçtekin ve diğ. (2004) tarafından, Karabiga plütönünde K/Ar yöntemi ile yapılan yaş analizlerinde 45 ± 0.9 My (Orta Eosen) yaşı bulunmuştur.

Bu granitoidinin Çetmi ofiyolit melanji ile olan dokanağında skarn yatakları görülmektedir. Kuzeybatı Anadolu’da yüzeyleyen granit sokulumları kuzeyden güneye doğru gençleşmektedir (Delaloye ve Bingöl, 2000).



Şekil 7: Karabiga granitoidleri içindeki anklavın (kireçtaşı) Karabiga batısında görünüşü.

Figure 7: The view of the enclave (limestone) in the Karabiga granitoids to the west of Karabiga.

Balıklıçeşme Volkanitleri

Ercan ve diğ. (1995) tarafından Balıklıçeşme’de yüzeyleyen andezit ve dasitik volkanitler, Balıklıçeşme volkanitleri olarak adlandırılmıştır (Şekil 8). Kılavuz seviye olarak kullanabilecek yeşil-mavi renkli, 10-15 m kalınlıkta dasitik tüf seviyesi yer alır.



Şekil 8: Çalışma alanının güney sınırında Selviköy güneyinde andezit taş ocağı

Figure 8: Andesite quarry in the south of Selvi village on the southern border of the study area

Eosen volkanitlerinden alınan örneklerde yapılan petrografik incelemeler sonucunda; andezitik lavların, porfirik dokulu, kloritleşmiş ve killeşmiş plâjyoklaz mikrolitleri, piroksen ve opak mineral bulunduran hamur içindeki plâjyoklaz fenokristalleri, biyotitleşmiş ve opak minerale dönüşmüş hornblend kırıntıları ve diyopsitik ojit kristalleri ile belirgin oldukları, dasitik lavların ek

olarak kuvars kristalleri içerdikleri saptanmıştır. Plâjyoklazlar egemen durumda olup, dilinimlerinden itibaren değişime, bozuşmaya başlamışlardır. Zonal yapı sunanlarda kaolenleşme bu yapıya uyumludur ve andezin ve oligoklaz türdedirler. Homblendler iri, özşekilli, parçalanmış, içleri kısmen boşalmış görünümündedirler. Hafif biyotitleşme ve kloritleşme sergileyenlerle, kenarlarında turuncu renkli opaklaşma içerenler bulunmaktadır. Kuvars kristalleri özşekilsiz ve yuvarlağımsıdır. Yer yer de ufak özşekilli apatit kristalleri bulunmaktadır. Tüfler genellikle litik tüf özellikleri taşırlar.

Eosen volkanizmasına ilişkin son evrelerde oluşmuş dasitik bir lavdan Balıklıçeşme yakınından alınan bir örnekte K/Ar yöntemi ile radyometrik yaş belirlemesi yapılmış ve $37,3 \pm 0,9$ milyon yıllık (Üst Eosen sonu) bir yaş ekte edilmiştir (Ercan ve diğ. 1995). Balıklıçeşme volkaniklerinde zirkonlar üzerinde yapılan U/Pb yaş tayinine göre $\sim 43\text{--}35$ My (Orta-Geç Eosen) yaşadır. Bu volkanikler jeokimyasal özellikleri ile; dalma-batma ile ilgili olan kalk-alkalinden şoşonitiğe kadar uzanan bir dizi sunarlar (Ersoy ve diğ., 2017)

Bayramiç formasyonu (TQb)

Bu formasyon Siyako ve diğ. (1989) tarafından Bayramiç formasyonu olarak adlandırılmıştır. Biga Yarımadası'nda Pliyo-Kuvaterner döneminde çakıltaşı, kumtaşı ve kiltaşlarından oluşan fluvial sedimanlar ile gölsel karbonatlar çökelmiştir (Siyako ve diğ., 1989). Ancak çalışma alanındaki yüzlelerde göl ortamını karakterize eden karbonat kayalarına rastlanmamış, akarsu ortamının çakıllı, kumlu ve killi düzeyleri görülmüştür. Formasyonun çakılları az köşelidir, kırmızımtırak renkte demirli kumlu düzeyler görülür. Çakıllar genellikle Ceylan formasyonu kumtaşları, andezit ve dasit ve nadiren de kireçtaşı çakıllarıdır. Ercan ve diğ. (1995) tarafından Biga Yarımadası'nın başka kesimlerinde geniş alanlarda yüzeylediği belirtilmiştir. Çalışma alanında Ceylan formasyonu üzerinde uyumsuz olarak görülür (Bknz Şekil 6).

Alüvyon (Qal)

Çalışma alanının alçak alanları ve orta kesimlerdeki geniş alanlarda yüzeyler. Akarsu yataklarında ve Marmara Denizi kıyılarındaki düzlüklerde görülen birim son jeolojik dönemin aşınan kayalarının çakıl, kum, silt ve killeri barındırır. Geniş bir alanda yüzeylemesine karşın tarım, yerleşim birimlerinin engellemesi nedeniyle sadece akarsu kenarlarındaki birkaç metrelik yarmalarda görülebilmektedir. Ayrıca su bulmak için yapılan sondajlar birim hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlamaktadır. Çakıllar ve kumlar daha ince çökellere göre oransal olarak daha fazladır. Efe (1993) tarafından kalınlığının 80 metreye kadar ulaştığı belirtilmiştir.

SONUÇLAR

Bu çalışma Biga ilçesi ile Karabiga yerleşim birimi arasındaki alanın stratigrafisini ortaya koymuştur. İnceleme alanında yüzeylenen birimlerin yayılımları arazi çalışmalarıyla belirlenmiştir. Arazi çalışmalarıyla inceleme alanının 1/25000 ölçekli jeoloji haritası formasyon ve birimlerin yayılımı ve stratigrafik ilişkilerini ortaya koymuştur. Biga Yarımadasındaki kayaçlar 1960'lı yıllardan beri değişik araştırmacılar tarafından farklı adlarla adlandırılmıştır. Aynı zamanda yarımada'nın farklı yerlerinde çalışan araştırmacılar da farklı adlar kullanmışlardır. Bu çalışmada daha önce yayınlanan çalışmalar korele edilerek Biga Yarımadasının doğusunda bulunan Biga-Karabiga bölgesindeki formasyonlar adlandırılmıştır. Orta Eosen'de çökelen Soğucak formasyonunun üzerine uyumlu olarak gelen Üst Eosen yaşlı Ceylan formasyonunun kumtaşlarının tabanındaki kaval yapılarının denizin güneyden kuzeye doğru derinleştiğine işaret etmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, 91-A-02-04-03 numaralı Yıldız Üniversitesi'nin "Lapseki-Biga (Çanakkale) Arasındaki Bölgenin Jeolojisi ve Yeraltı Kaynakları" adlı projenin bir kısmıdır.

KAYNAKLAR

- AKYÜREK, B., SOYSAL, Y., 1983. Biga Yarımadası Güneyinin (Savaştepe-Kırkağaç-Bergama-Ayvalık) Temel Jeolojik Özellikleri, MTA Enstitüsü Dergisi, 95/96, 1-13.
- ATABEY, E., ERDOĞAN, K., 2003. Biga Yarımadası'nda Tartışmalı Pelajik bir Paleosen İstifi: Ballıkaya (Balıkkaya) Formasyonu, MTA Dergisi, 126, 4-47.
- BİNGÖL, E., 1968, Contribution a l'étude géologique de la partie centrale et Sud-Est du massif de Kazdağ (Turquie): Doktora Tezi, Nancy Univ., Fransa, 189 s. (yayımlanmamış).
- BİNGÖL, E., AKYÜREK, B., KORKMAZER, B., 1973, Biga Yarımadasının jeolojisi ve Karakaya formasyonunun bazı özellikleri: cumhuriyetin 50. yılı yer bilimleri kongresi tebliğleri, MTA Enstitüsü, 70-77, Ankara.
- DELALOYE, M., ve BİNGÖL, E., 2000. Granitoids from western and Northwestern Anatolia: eochemistry and modeling of geodynamic evolution. *International Geology Review*, 42, 241-268.
- EFE, R., 1993. Marmara Denizi Güneyinde, Karabiga-Tahirova Arasındaki Kıyı Kesiminin Çevresel Jeomorfolojisi, *Türk Coğrafya Dergisi*, 28, 293-306.
- ERCAN, T., GÜNAY, E., 1984. Kuzeybatı Anadolu, Trakya ve Ege adalarındaki Oligo-Miyosen yaşlı volkanizmanın gözden geçirilişi: *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 5, 119-139.
- ERCAN, T., SATIR, M., STEİNİTZ, G., DORA, A., SARIFAKIOĞLU E., ADIS, C., WALTER, H.J., YILDIRIM, T., 1995. Biga Yarımadası ile Gökçeada, Bozcaada ve Tavşan Adaları'ndaki (KB Anadolu) Tersiyer Volkanizmasının Özellikleri, *MTA Dergisi*, 117, 55-86.
- ERSOY, E.Y., AKAL, C., GENÇ, Ş.C., CANDAN, O., PALMER, M. R., PRELEVİC, D., UYSAL, İ., KRAUS, R. M., 2017. Pb zircon geochronology of the Paleogene–Neogene volcanism in the NW Anatolia: Its implications for the Late Mesozoic-Cenozoic geodynamic evolution of the Aegean Tectonophysics, 717, 284-301.
- ERTÜRK, O., DİNÇÖZ, E., ALAYGUT, D., 1990. Petrology of the Cenozoic volcanics in the Biga Peninsula, NW Turkey: *International Earth Sciences Congress on Aegean Region Proceedings*, II, 368-384.
- ERTÜRK, O., UYGUR, E., 1994. Petrographical, sedimentological and diagenetic characteristics of the Ceylan tuffs and their reservoir potential, Thrace basin, Turkey: *IAVCEI International volcanology Congress, Abstracts*, Ankara.
- GÖZLER, M.Z., ERGÜL, E., AKÇAÖREN, F., GENÇ, Ş., AKAT, U., ACAR, Ş., 1984. Çanakkale Boğazı doğusu Marmara Denizi güneyi Bandırma–Balıkesir Edremit ve Ege Denizi arasındaki alanın jeolojisi ve kompilasyonu: MTA Rapor no:7430, (yayımlanmamış).
- GÜÇTEKİN, A., KÖPRÜBAŞI N., ALDANMAZ, E., 2004. Karabiga (Çanakkale) Granitoidinin Jeokimyası. *Yerbilimleri Dergisi*, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 29, 29-38.
- OKAY, A.İ., SİYAKO, M., BÜRKAN K.A., 1990. Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve tektonik evrimi, *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 2/1, 83-121.
- ÖNAL, M., YILMAZ, H., 1983. Gelibolu Yarımadası'nda iki ana farklı yaşta filiş fasiyesindeki kil mineralleri ve gömülme derinliğine ait bazı ipuçları, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 18, 23-30.

SARI, R., TÜRKECAN, A., DÖNMEZ, M., KÜÇÜKEFE, Ş., AYDIN, Ü., ÖZMEN, Ö., 2015. Gökçeada'nın (Çanakkale) Jeolojisi, MTA Dergisi, 150, 1-17.

SIYAKO, M., BURKAN, K.A., OKAY, A.İ., 1989. Biga ve Gelibolu Yarımadaı'nın Tersiyer Jeolojisi ve hidrokarbon olanakları: Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 1/3, 183-199.

ŞENGÜN, F., 2006. Biga Yarımadaı Çamlıca Metamorfitlelerinin Jeolojisi, Petrografisi ve Metamorfizması. Türkiye Jeoloji Kurultayı kitapçığı, 20-24 mart 2006, 286-287.

ŞENGÜN, F., ÇALIK, A., 2007. Çamlıca Metamorfitlelerinin (Biga Yarımadaı, KB Türkiye) Metamorfizma Özellikleri ve Korelasyonu, Türkiye Jeoloji Bülteni, cilt 50, Sayı 1, 1-16.

ÜNAL, O., 1967. Trakya Jeolojisi ve Petrol İmkanları, TPAO Arama Grubu Raporu, No:391, 86 s.

YIKILMAZ, M.B., OKAY, A.İ., ÖZKAR, İ., 2002. Biga Yarımadaı'nda Pelajik bir Paleosen İstifi, MTA Dergisi, 123-124, 21-26.

YILMAZ, Y., 1989, An approach to the origin of young volcanic rocks of western Turkey: in: A.M.C. Şengör (ed); Tectonic Evolution of the Tethyan region, Kluwer, The Hague, 159-189.

YILMAZ, Y., 1990. Comparison of young volcanic associations of Western and Eastern Anatolia review: J. Volcan. Geoth. Res., 44, 69-77.

YILMAZ, Y., 1995. Ege Bölgesindeki Genç magmatizmanın oluşumu ile Litosferin Evrimi arasındaki ilişki üzerine düşünceler: Jeofizik, 9, 107-110.

YİĞİTBAŞ, E., TUNÇ, İ.O., ŞENGÜN, F., 2005. Biga Yarımadaı'nda Bazı Temel Jeolojik Sorunlar: Çetmi Melanjı,

Araştırma Makalesi

KOCAELİ GÖLCÜK’TE OLUŞAN HEYELANLARIN NEDENLERİ, ETKİLERİ VE ALINAN ÖNLEMLER

Causes and Impacts of the Landslides Occurring in Kocaeli Gölcük and Remediation Measures Undertaken

Musa ZENGİNCE¹ ve Ahmet KARAKAŞ²

ÖZET

Küçük veya büyük ölçekli oluşan heyelanlar insan canı ve malına zarar vermektedirler. Planlama ve yapılaşma sürecinde gerekli bilimsel çalışmaların yapılmaması, doğal olayların afete dönüşmesine zemin hazırlamaktadır. Bunu önüne geçmek için yerleşime uygunluk çalışmaları göz önüne alınarak yapılaşmaya gidilmelidir. Heyelanlar Gölcük ve civarında sık sık meydana gelmektedir. Bu nedenle bu çalışmada Kocaeli ili Gölcük ilçesi orta kesimlerinde oluşan heyelanların nedenleri, etkileri ve alınan önlemler araştırılmıştır. Jeolojik açıdan bu kesimlerde sık sık heyelan oluşmasının nedenlerinin başında, inceleme alanının Üst Paleosen-Orta Eosen yaşlı kırıntılılar ve ayrılmış volkanikler ve piroklastiklerin üzerinde yer alması gelmektedir. Yerleşik alan sınırları içerisinde kalan heyelanlı alanlarda 174 adet hane yer almaktadır. İnceleme alanında MTA heyelan haritaları dışında kalan 15 adet aktif kütle hareketi alanları (heyelan, toprak akması) tespit edilmiş ve bu alanların yapılar ve tarım alanlarına etkisi ortaya konulmuştur. Ayrıca, bu heyelanların oluşumu sonrası heyelanlı bölgelerin iyileştirilmesi kapsamında yarattığı etkilere karşı alınan önlemler de araştırılmıştır.

ABSTRACT

Small or large-scale landslides harm human life and property. Not considering the necessary scientific studies in the planning and development stages leads natural phenomenon to turn into a natural disaster. To avoid this, housing should be planned by considering settlement suitability studies. Landslides frequently occur in and around Gölcük. For this reason, the causes, effects and measurements against landslides in the central part of Gölcük district of Kocaeli province were investigated. Geologically, one of the main reasons at the beginning of the cause of frequent landsliding in these parts that the study area is located on the Upper Paleocene-Middle Eocene clastic and weathered volcanics and pyroclastics. There are 174 households in the landslide areas within the boundaries of the built-up area. In the study area, 15 active mass movement areas (landslide, earth flow) other than MTA landslide maps were determined and the impacts of these areas on the construction and agricultural areas were determined. In addition, remediation measures taken against the impacts of occurred landslides have been investigated.

¹ Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Kocaeli, Türkiye, musazengince@kocaeli.bel.tr

² Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, akarakas@kocaeli.edu.tr

*İlgili yazar / Corresponding author: akarakas@kocaeli.edu.tr

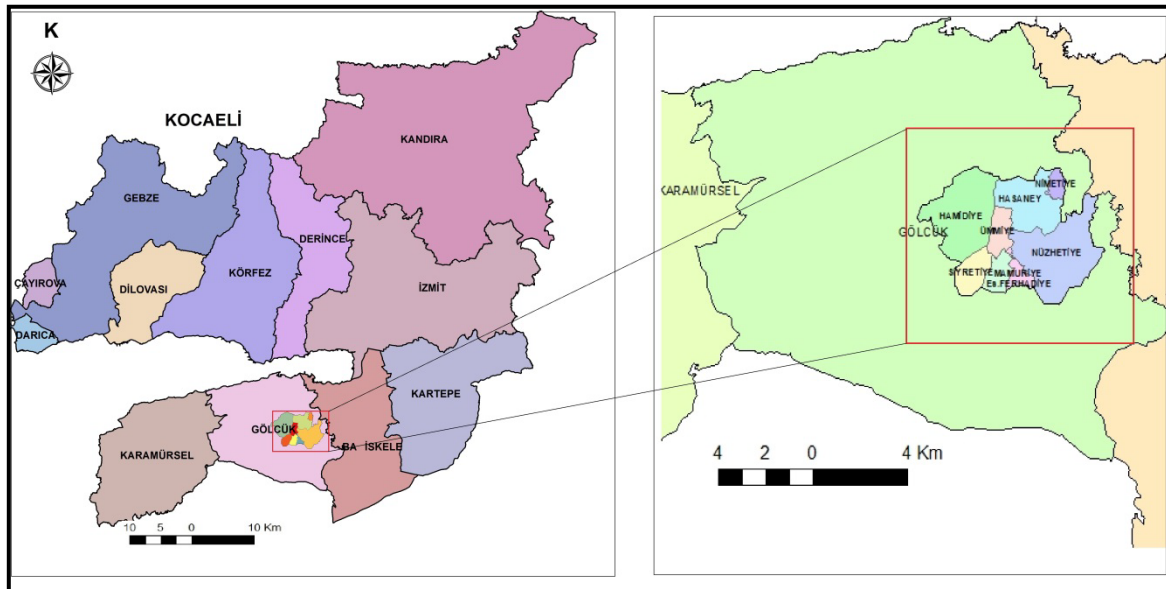
Gönderim Tarihi: 26.04.2018

Kabul Tarihi: 27.06.2018

GİRİŞ

Heyelanlar doğal afetler arasında en sık ve yaygın meydana gelen, can ve mal kayıplarına sebep olan doğal süreçlerdir. Heyelan duraylılık analizlerinin yapılması ve potansiyel heyelan alanlarının belirlenmesi; yeni yerleşim alanlarının doğru yerlerde seçilmesini, yapılacak mühendislik çalışmalarının doğru planlanmasını ve oluşabilecek zararların en aza indirilmesini sağlayacaktır. İnceleme alanının tamamı birinci derece deprem bölgesinde kalmaktadır. Yöre halkı 1999'da depremlerin tetiklediği heyelanlardan etkilenmiştir. İnceleme alanı Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün heyelan yoğunluk hartasında, yüksek yoğunluklu heyelan alanında kalmaktadır (Duman ve diğ., 2006; Gökçe ve diğ., 2008). Coğrafi konumu, iş ve yaşanabilme açısından önemli bir potansiyele sahip olan Kocaeli, yeni yerleşim ve sanayi alanlarına hızla ihtiyaç duymaktadır. Bölge tektonik, jeolojik, jeomorfolojik, iklim koşulları açısından heyelan oluşumuna oldukça elverişlidir (Duman ve diğ., 2006). Karakaş ve Coruk (2011) 2010 yılında aşırı yağışlardan dolayı Kocaeli ilinin farklı ilçelerinde meydana gelen kütle hareketleri ve bu hareketlerin maddi ve manevi etkilerini incelemişlerdir. Gölcük (Kocaeli) güney köyleri için heyelan tehlikesinin değerlendirilmesi Zengince ve Karakaş (2016) tarafından ortaya konmuştur. Heyelanların yerel altyapı ve çevreye olan etkisi Skrzypczak ve diğ. (2017) tarafından Polonya Alt Karpatya Voyvodalığı bölgesi için araştırılmıştır. Sismik aktivitenin ve yağış durumunun heyelan hareketlerine etkisinin fiber optik sistemlerle izlenmesi ve değerlendirilmesi çalışması Kocaeli ili, Başiskele Belediyesi, Kılıçarslan Mahallesi Bahçecik Mevkii'ndeki heyelanlı alan için Kelam ve diğ. (2017) tarafından yapılmıştır.

İnceleme alanı Kocaeli ili, Gölcük ilçesi orta kesimlerinde yer alan Hamidiye, Ümmiye, Mamuriye, Siretiye, Nimetiye, Eski Ferhadiye ve Nüzhetiye köylerinin yerleşim alanlarını kapsamaktadır (Şekil 1). Bu alanlarda meydana gelen heyelanların nedeni, çevreye verdiği hasarlar ve bu heyelanlara karşı alınan önlemler araştırılmıştır. Bu alanlarda oluşan heyelanların oluşum mekanizmalarının anlaşılması, etki alanlarının belirlenmesi ve alınan önlemlerin efektifliği ileride oluşacak heyelanların etkisinin en aza indirilmesine öncülük edecektir. Ayrıca, bu gibi çalışmalar yerleşime uygun alanların belirlenmesi çalışmalarında bir altlık teşkil edecektir.



Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası
Figure 1. Study area location map

İnceleme alanı 1/25000'lik G24-c1 ve G24-c2 paftalarında yer alıp yaklaşık olarak 28 km²lik bir alana sahiptir. Gölçük ve civarı Armutlu yarımadasının kuzeybatısında yeraldığından jeolojisi Armutlu yarımadasının jeolojisi ile temsil edilir.

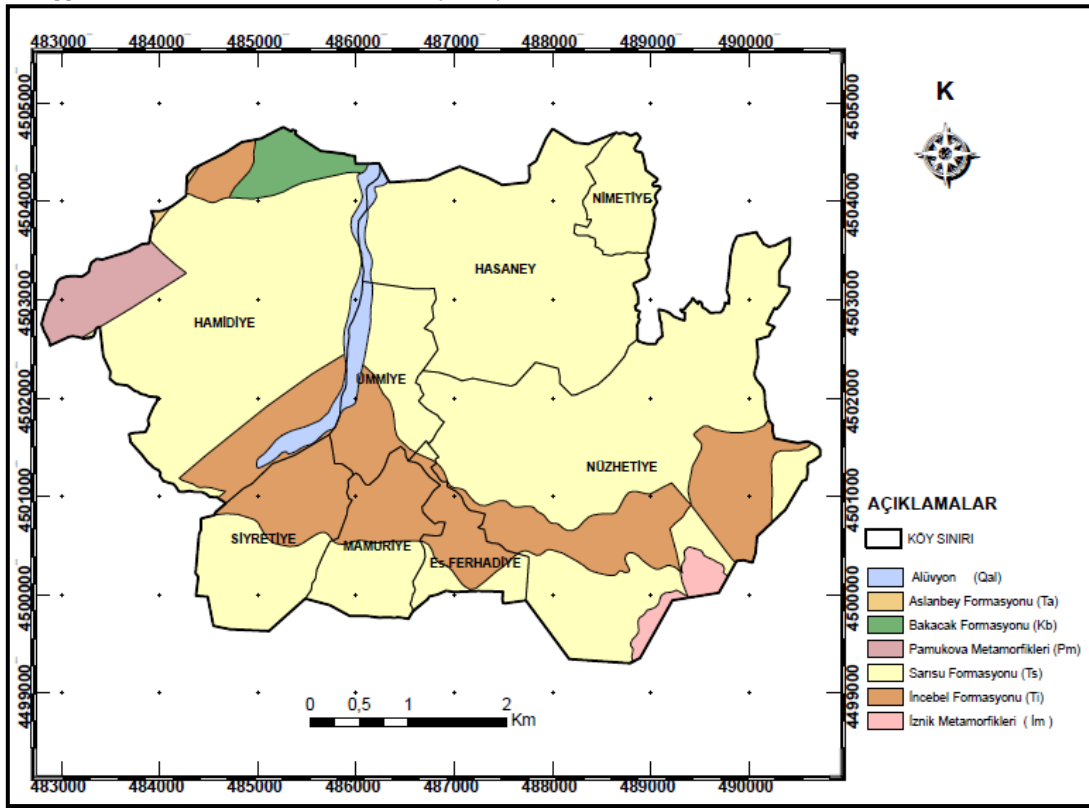
Armutlu Yarımadası'nda yer alan kaya stratigrafi birimleri iki ana grupta toplanabilir. Bunlardan birincisi bölgenin temelinde yer alan düşük ya da nispi olarak daha yüksek dereceli metamorfik kayalar, diğeri ise metamorfik kayalar üzerinde Senomaniyen-Türoniyen yaşlı kireçtaşlarıyla uyumsuz olarak yer alan Kretase-Pliyosen yaş aralığındaki metamorfik olmayan volkanik, volkanosedimenter ve sedimanter kayalardır (Akartuna, 1968).

Metamorfik grup içinde yüksek dereceli olanlar çoğunlukla amfibolit ve metagranitlerden oluşan ve bölgenin güneyinde (Pamukova kuzeyi) kuvarsit ve granit çakıllı metakırıntıları da içeren bir metamorfik topluluk bulunmaktadır (Pamukova metamorfikleri). Metamorfik grubun diğerkayaları ise Sapanca Gölü-İznik arasında ve yarımadanın batı kesimlerinde yaygın yüzeylemeler veren düşük dereceli metamorfizmaya uğramış bölümler bulunur. İznik metamorfikleri olarak adlanan bu alanlar yer yer felsik volkanik ve volkanotortul birimler de içeren meta-kırıntılı karbonat seviyesiyle başlar. Bu birimin üzerinde ise alacalı renkli, çoğunlukla volkanik-piroklastik kayaların egemen olduğu ve yine çeşitli kırıntılı kayalar içeren bir birim yer alır. Bu birimin de üzerinde metavolkanik kayalardan oluşan ve yer yer mermer blok ve ara tabakaları içeren bir birim uyumsuz olarak gelir (Göncüoğlu ve diğ., 1986).

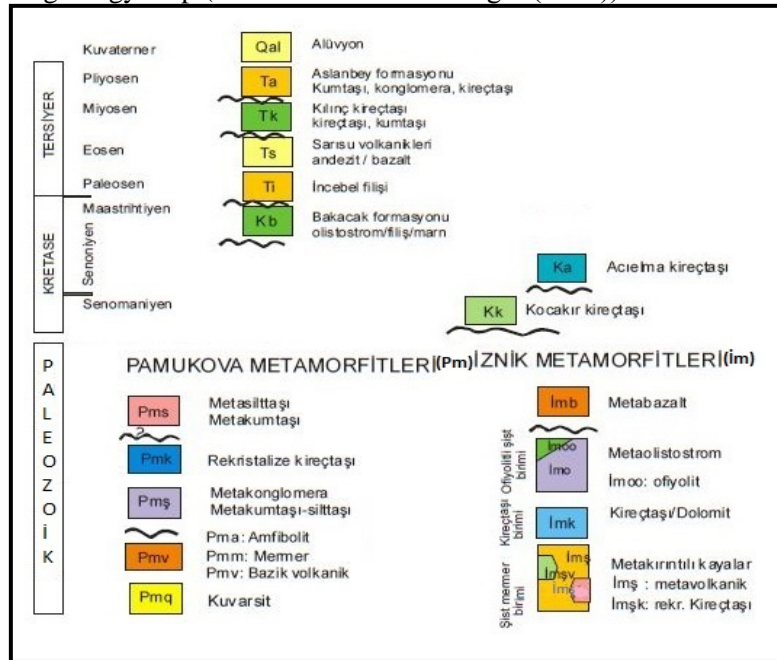
Yalnızca düşük dereceli metamorfik birimler içindeki büyük boyutlu ve yüksek mermer yüzeylemeleri üzerinde ince bir kumtaşı düzeyi ile başlayan kireçtaşları, metamorfik grubu örten istifin ilk üyesidir. Erken Üst Kretase (Senomaniyen-Turoniyen) yaşlı bu formasyona daha genç birimlerin altında rastlanmaz (Göncüoğlu ve diğ., 1986).

Bu grubun ikinci birimi, Senoniyen yaşlı makrofosilli kireçtaşlarıdır. Üst Kretase formasyonlarının en yaygını Mastrohtiyen yaşlı bir fliš istifidir (Bakacak fm). Bu birim metamorfik grubun en üst üyesi olan metavolkanikleri ya da alacalı şistler içindeki büyük ofiyolit yüzeylemelerini bir taban konglomerasıyla uyumsuz olarak örter. Bu birimin alt düzeyleri, özellikle bölgenin güneyinde, çok nadir ofiyolit bloklarıyla birlikte Üst Jura ve Kretase yaşlı kireçtaşı blokları içeren olistostromal bölümler kapsar. Bu birimin üzerinde yer alan formasyonlar ise güneyde Paleosen-Eosen yaşlı kalın bir fliš (İncebel fm), kuzeyde ise Eosen yaşlı daha çok andezitik volkanik bir istif niteliğindedir (Sarısu fm). (Göncüoğlu ve diğ., 1986).

Pliyosen yaşlı çökellerden oluşan Arslanbey formasyonu yarımadanın kuzey sınırları boyunca gözlenir. Kuvaterner yaşlı alüvyon, Armutlu Yarımadası'nın kuzeyinde İzmit Körfezi kıyısında ve yarımada içerisindeki derelerin vadilerinde kum, silt, kil, mil olarak izlenmektedir (Göncüoğlu ve diğ., 1986). İnceleme alanı jeoloji haritası Şekil 2'de genelleştirilmiş stratigrafik kesiti de Şekil 3'te verilmektedir.

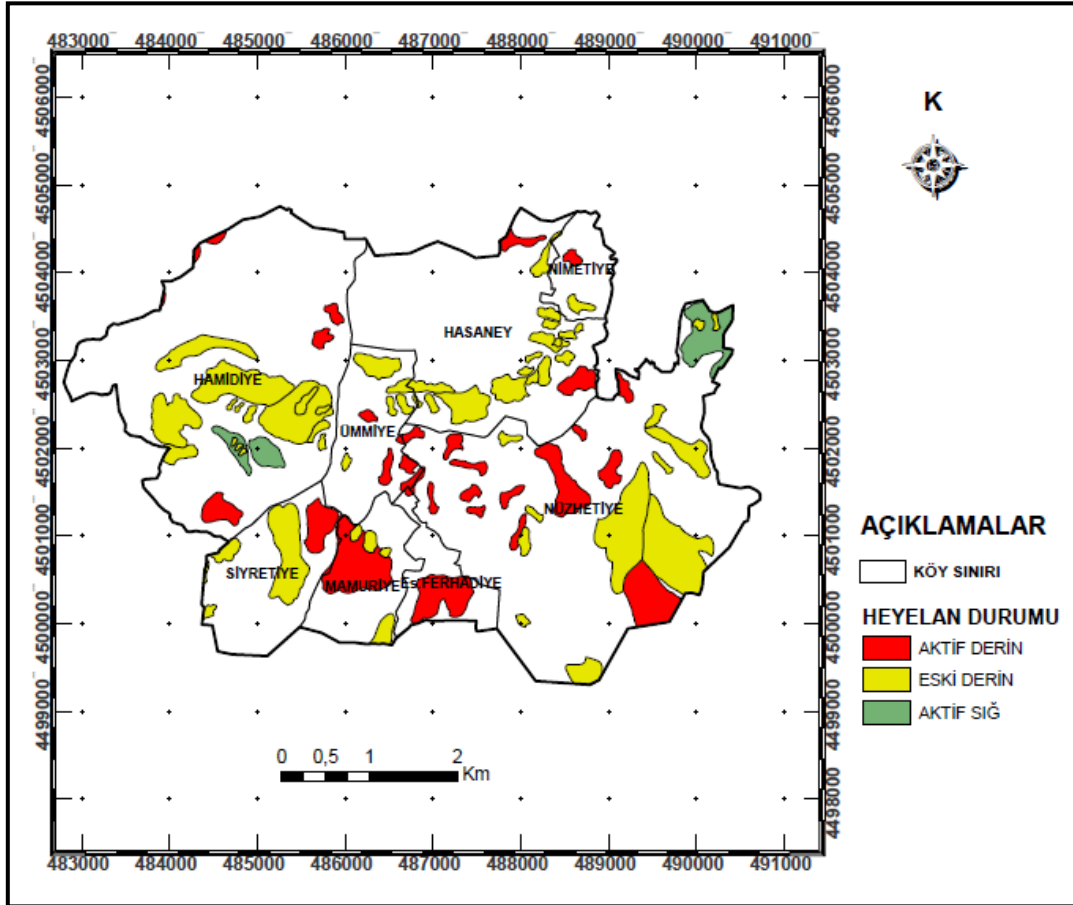


Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası (Göncüoğlu (1986)'dan değiştirilerek)
Figure 2. Study area geology map (Modified from Göncüoğlu (1986))



Şekil 3. İnceleme alanı ve civarının stratigrafik kesiti (Göncüoğlu (1986)'dan değiştirilerek)
Figure 3. Generalized stratigraphic section of the study area and surroundings (Modified from Göncüoğlu (1986))

Heyelanlar oluşumları için fiziki koşulların uygun olması durumunda harekete geçen kütle hareketleridir. Ayrıca deprem ve aşırı yağış gibi faktörler de heyelan tetikleyici olabilmektedirler. İnceleme alanında meydana gelen heyelanların tespiti için büro ve arazi çalışmaları yapılmıştır. Büro çalışmaları kapsamında daha önce yapılmış olan harita, teknik rapor, önceki jeolojik çalışmalar derlenmiştir. Arazi çalışmaları jeolojik çalışmalar ile heyelan tespiti aşamalarından oluşmuştur. Bu kapsamda 1/100000 ölçekli MTA heyelan haritası temel alınarak, arazi çalışmalarında 250 m² den büyük heyelanlar alansal olarak haritalanmıştır. Ancak çizgisel olarak da haritalanmış akma yapıları bölgede çok sayıda görülmektedir. İnceleme alanında, MTA heyelan haritasına göre 84 alansal heyelan, 28 çizgisel haritalanmış aktif kütle hareketi alanları (heyelan, toprak akması, devrilme, vb.) tespit edilmiştir (Şekil 4). Buna ek olarak arazi incelemeleri ile MTA heyelan haritalarında yer almayan 15 aktif kütle hareketi alanları (heyelan, toprak akması) belirlenmiştir. MTA heyelan haritaları baz alınarak Coğrafi Bilgi Sistemleri ortamında hazırlanan Türkiye heyelan veri tabanı (Çan ve diğ., 2013) yerel, bölgesel ve ulusal bazda heyelan envanterine ulaşımına imkan sağlamaktadır. Bölgede meydana gelen kütle hareketlerinin oluşumu ve alansal dağılımları jeoloji, tektonik, jeomorfoloji ve iklim gibi faktörler tarafından kontrol edilmektedir (Duman ve diğ., 2006). İnceleme alanı ve civarında meydana gelen heyelanların oluşumuna katkıda bulunan önemli birkaç etken aşağıda açıklanmaktadır.



Şekil 4. İnceleme alanı heyelan envanter haritası (Duman ve diğ., 2006)

Figure 4. Landslide inventory map of the study area (Duman ve diğ., 2006)

Jeolojik Etkenler

Kütle hareketleri; meydana geldiği jeolojik formasyonun cinsi, yapısal özellikleri, fay, çatlak, şistozite, tabakalanma, ayrışma-dayanım ve yeraltısuyu gibi birçok etkenlerin etkisi altında farklı geometrik yapıda (düzlemsel, dairesel, karışık), farklı hızda (çok hızlı, hızlı, yavaş, krip gibi) ve farklı yayılım özelliğinde gelişebilir (Varnes, 1978). İnceleme alanında en yaygın olarak Sarısu formasyonu görülmektedir (Bknz Şekil 2). 20,2 km²'lik bir alan kaplayan bu formasyon (Çizelge 1) inceleme alanın yaklaşık %71'ni oluşturmaktadır. Hasaney, Nimetiye ve Nüzhetiye köylerinin hemen hemen tamamı bu formasyon üzerinde kalmaktadır. İncebel formasyonu çalışma alanında bulunan en yaygın ikinci formasyondur. Mamuriye, Siretiye, Eski Ferhadiye ve Nüzhetiye (Sakarbıçkı) köyleri bu formasyon üzerinde yer almaktadır. Arazi çalışmalarında bu bölgelerde oluşan heyelanlar üzerine yoğunlaşmıştır. Bahsedilen alanlarda yerleşik hayatı olumsuz etkileyen birçok alan tespit edilmiştir. Sarısu formasyonu litolojik birimleri üzerinde meydana gelen Hamidiye köy alanı heyelanı (Şekil 5); andezit tuf biriminin alterasyonu neticesi gri renkli kaygan bir zon oluşturmuş ve bu birim üzerindeki ince kum taneli marn tabakasını yeraltı ve yüzey sularının de etkisiyle harekete geçmiştir (Yamlı ve Akgül, 2012). Çizelge 1 jeolojik formasyon-birimlerin alanlarını (m² olarak), üzerindeki heyelanlı alanları (m² olarak) ve heyelanlı alanların formasyon alanına oranlarını (% olarak) göstermektedir.

Üst Kratese yaşlı Bakacak formasyonu ve Pliyosen yaşlı Aslanbey formasyonu inceleme alanında çok küçük alanlar kapladığından ve bahsedilen formasyonlarda heyelan alanları bulunmadığından değerlendirmeye alınmamıştır.



Şekil 5. Hamidiye köyünde meydana gelen heyelan
Figure 5. Landslide occurred in Hamidiye village

Çizelge 1. Jeolojik formasyonlar üzerindeki heyelanlı alanların oransal dağılımı.
Table 1. Proportional distribution of landslide areas on geological formations.

Jeolojik Formasyon veya Birim	Heyelanlı Alan (m ²)	Formasyon Alanı (m ²)	Formasyon üzerinde heyelanlı alanlar (%)
Sarısü Formasyonu (Ts)	4498050	20271148	22,19
İncebel Formasyonu (Ti)	1917280	5629533	34,06
Bakacak Formasyonu (Kb)		495676	0
Pamukova Metamorfikleri(Pm)		749831	0
Aslanbey Formasyonu (Ta)		21960	0
Alüvyon (Qal)		580159	0
İzmit metamorfikleri (İm)		285908	0

Jeomorfolojik Etkenler

İnceleme alanının bulunduğu kesimlerde arazi yüksekliği 83 m ile 591 m arasında değişmekte olup ortalama yükseklik 300-400 m civarındadır. Yamaç eğim değerleri 0° ile 46° arasında değişip yamaçlarda hâkim eğim 15-25°'dir. Yamaç yüzeylerin coğrafi yönleri (bakı) arazi gözlemlerine göre her yöne olmakla beraber genelde heyelanlar K-KB yönlerinde gelişmiştir. İnceleme alanı içerisinde yüksekliği 400 ila 600 m rakımlı tepeler bulunmaktadır. Bu tepeler derin vadilerle kesilmekte ve yüksek eğimli alanlar oluşturmaktadır (Şekil 6). Mamuriye-Eski Ferhadiye arasında meydana gelen heyelan bölge morfolojisinin heyelana müsait alanlar oluşturduğunun bir göstergesidir. Kocaeli ve çevresini etkileyen depremlerde, jeolojik yapının, jeomorfolojik özelliklerin (yükselti, eğim) uygun olmasına bağlı olarak; İzmit Körfezi'nin güneyindeki Samanlı Dağları'nın denize bakan kuzey yamaçlarında kütle hareketleri meydana gelmiştir. Gölçük'e bağlı Nusretiye Köyü'ndeki heyelan, bu dağlar üzerinde meydana gelen kütle hareketlerine örnek oluşturur (Kahraman ve Arıkan, 2015).



Şekil 6. Derin vadi kenarlarında oluşan heyelan

Figure 6. The landslide occurred at the edges of the deep valley

İklimsel Etkenler

İnceleme alanının iklimi Akdeniz iklimi ile Karadeniz iklimi arasında bir geçiş bölgesinde yer almaktadır. Yazlar sıcak ve az yağışlı, kışlar yağışlı, zaman zaman karlı ve soğuk geçer. Meteoroloji Genel Müdürlüğü bilgilerine göre bölgenin yıllık en yüksek sıcaklığı 44,1 °C ve yıllık en düşük sıcaklığı -18,0 °C, yıllık ortalama sıcaklığı 14,9 °C, yıllık ortalama yağış miktarı ise 814,7 mm olarak belirlenmiştir (URL-1, 2018). Ancak son yıllarda meydana gelen ani yağışlar bölgede heyelanların oluşmasına neden olmuştur (Karakaş ve Coruk, 2011) zira 2012 yılında sadece Mamuriye köyünde beş farklı noktada heyelanlar oluşmuştur. Bölgenin yağışlı olması, inceleme alanında yer altı suyu seviyesinin yüzeye yakın olmasını sağlar. Bunun yanında, bölgede uygulanan yanlış sulama ve mevsimsel yağış değişikliği yamaç duyarlılığı artırmakta ve heyelana sebep olmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Gölcük köylerini birbirine bağlayan yol üzerinde meydana gelen heyelan

Figure 7. Landslide occurred side of the road connecting Gölcük villages

KÜTLE HAREKETLERİNİN ETKİLERİ

Kocaeli ili dahil Türkiye'nin çeşitli illerinde kütle hareketlerinden özellikle heyelanların etkileri oldukça yaygındır. Türkiye genelinde meydana gelen heyelanların nedenleri, tipleri, etkileri ve alınacak önlemler Öztürk (2002) tarafından derlenmiştir. Çalışma kapsamında köy yerleşik alan sınırları içerisinde kalan heyelanlı alanlar incelenmiştir. İnceleme alanında bulunan bütün köylerin yerleşik alan sınırları içerisinde heyelanlı alanlar tespit edilmiştir (Çizelge 2). Mamuriye, Siretiye, Nüzhetiye- Sakarbiçki köylerinin hemen hemen tamamı heyelanlı alanlar içerisinde kalmaktadır.

Yerleşik alan sınırları içerisinde kalan heyelanlı alanlarda 174 adet hane yer almaktadır. Hane başı nüfus sayısı ortalama 4 kişi olarak hesaplandığında 696 kişi heyelan tehlikesi ile karşı karşıyadır.

MTA heyelan haritalarında yer almayan 15 adet aktif kütle hareketi alanları (heyelan, toprak akması) tespit edilmiştir. Tespit edilen bu alanlar incelendiğinde, köy yerleşik alanı içerisinde oluşanların;

logar sistemlerinin çalışmaması, drenaj sisteminin olmaması, mesken inşaatlarında önlem alınmaması vb. nedenlerden tetiklendiği tespit edilmiştir (Yamlı ve Akgül, 2012).

Yola yakın bölgelerde ve tarımsal olarak değerlendirilen alanların içerisinde ise, doğal sürece ek olarak yanlış sulama, projesiz yol çalışmalarının heyelan oluşumuna yol açtığı görülmektedir. Heyelanların etkilediği yerleşim alanları ve yapılar aşağıda açıklanmaktadır.

Çizelge 2. Gölcük ilçesi orta kesimlerde yer alan köylerin yerleşik alanında meydana gelen heyelan alanları ve etkiledikleri yerleşimler.

Table 2. Landslide areas and settlements in the settlement area of the villages located in the middle part of the Gölcük district.

Köy Adı	Köy Yerleşik Alanı (m ²)	Heyelan Alan (m ²)	Heyelan Alanındaki Hane Sayısı
Hamidiye	499186	18375	6
Ümmiye	402044	750	0
Siretiye	337136	175438	60
Mamuriye	284929	221572	54
Eski Ferhadiye	270414	197832	16
Nüzhetiye	796974	31852	5
Nüzhetiye(Sakarbiçki)	138479	132977	28
Nimetiye	201216	15787	6
Hasaney	657809	83278	5
TOPLAM			174

Mamuriye

Diğer adı Çürükbayır olan köy, eski heyelan gölü etrafına kurulmuştur. Köy jeolojik olarak iki farklı formasyon üzerinde yer almaktadır. İki formasyon sınırları içerisinde de heyelan alanları mevcuttur.

Sarısu volkanikleri içerisinde meydana gelen heyelanlı alanlar daha sığdır ve alt kotlarda başlayan İncebel formasyonunun daha sağlam durumdaki kayaçlarına dayanarak dengelenmektedir. Bu kayaçların akarsuya yakın olan bölümlerinde de aktif heyelanlar bulunmaktadır. Köy; iki adet aktif derin yataklı dere arasında kurulmuştur.

Mamuriye köyü yerleşik alanı büyük oranda, MTA haritasında işaretlenen; heyelanlı alanda kalmaktadır. Eski heyelan olarak adlandırılan alanlar üzerinde de yeni aktif alanların olduğu tespit edilmiştir. Köy içerisinde beş farklı noktada bu izleri görmek mümkündür. Köy camisi, köy okulu ve on ev meydana gelen heyelanlardan zarar görmüştür (Şekil 8). Köyün yüksek kotlu alanlarında kayma derinlikleri sığken alt kotlarında meydana gelen heyelanlarda kayma düzlemi daha derindir.



Şekil 8. Mamuriye köyünde zarar gören yol ve bina
Figure 8. Road and building damaged by the landslide in Mamuriye village

Siretiye

Köy yerleşik alanın tamamı heyelan alanında kalmaktadır. Köy içerisinde ve civarında fabrika, su deposu gibi büyük yapıların olması heyelan tehlikesini artırmaktadır.

Nüzhetiye-Sakarbıçkı

Arazi çalışmaları sırasında tespit edilen bir başka heyelan alanı Nüzhetiye, Sakarbıçkı Mahallesinde yer almaktadır. Köy yerleşik alanı aktif heyelan alanında kalmaktadır. Heyelan köye ulaşım sağlayan yol üzerinde oluşmuş, ulaşımı engellemiş ve istinat duvarlarına hasar vermiştir (Şekil 9).

Ceviz bahçesi yapılarak ağaçlandırılan alan üzerinde oluşan akma türü hareket geniş bir alanı kaplamaktadır. Bahçe yapıldıktan sonra kurulan sulama sisteminin yanlış kullanılması akmanın oluşumuna zemin hazırlamıştır.

Hamidiye köyünü diğer köylere bağlayan yollar üzerinde de heyelan, kayma ve akma türü kütle hareketleri bulunmaktadır. Bu nedenle köy yolu zaman zaman kapanmaktadır. Alınan önlemler olsa da jeoteknik analizlerin eksikliğinden dolayı yetersiz kalmaktadır ve yeni tehlikeler ortaya çıkmaktadır.



Şekil 9. İnceleme alanında zarar gören istinat yapısı
Figure 9. Retaining structure damaged in the study area

Hamdiye

Köy içerisinde meydana gelen heyelan sebebiyle iki bina boşaltılmış ve heyelan meydana gelen alan Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından afete maruz bölge olarak ilan edilmiştir. Önlem alınmadığı takdirde köy yolu ve etrafındaki binalar, gelişebilecek yeni heyelanların etkisiyle zarar görecektir (Yamlı ve Akgül, 2012).

Hasaney

Hasaney köyü içerisinde tespit edilen heyelan çevresindeki binaları tehdit etmektedir. Alanda bulunan bir bina boşaltılmış ancak heyelan sonrası gerekli teknik önlemler alınmamıştır. Heyelan alanının topuk kısmından, yol inşaatı ve su deposu inşaatı nedeniyle hafriyat alınmış, yağışlarında etkisiyle heyelan meydana gelmiştir (Yamlı ve Akgül, 2012) (Şekil 10).

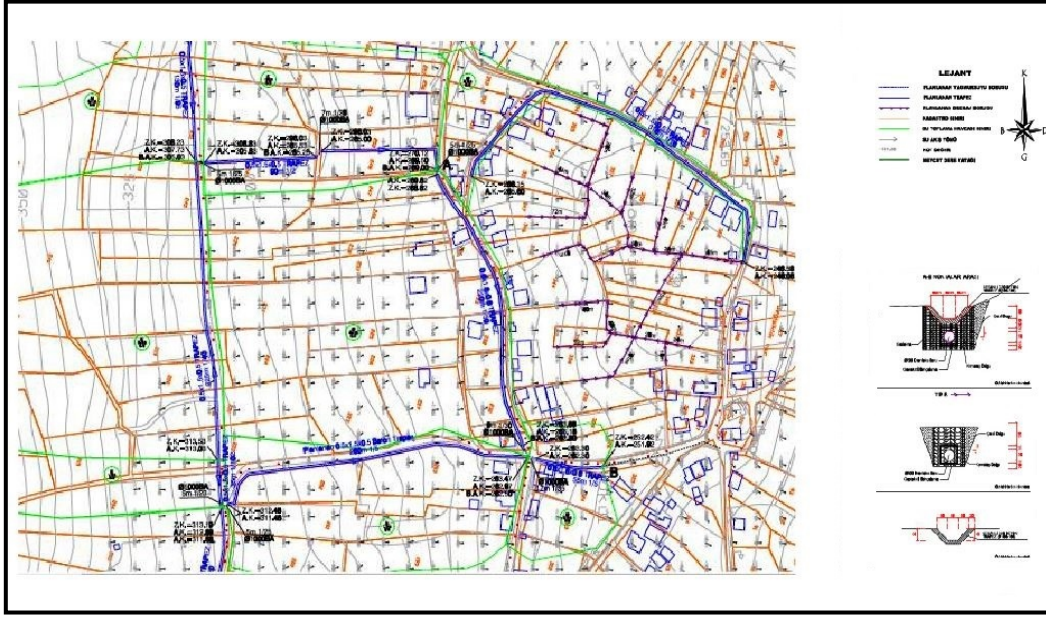


Şekil 10. Hasaney köyünde eski heyelan alanı üzerinde oluşan yeni heyelan
Figure 10. New landslide developed on the old landslide area in Hasaney village

HEYALANLAR İÇİN ALINAN ÖNLEMLER

İnceleme alanında meydana gelmiş heyelanlar için yapılan iyileştirme çalışmalarının değerlendirildiği bu bölümde yapılan jeoteknik çalışmalar ve uygulanan inşaa projelerine değinilmiştir.

Mamuriye köyünde meydana gelen heyelanlar sonucu bölgede jeoteknik sondajlar, laboratuvar deneyleri, stabilite analizi ve inklinometre deneyleri yapılmıştır. Yapılan şev stabilite analizlerinde stabilite sorunu olduğu görülmüştür. Stabilite Güvenlik katsayısı (Fs) 0,536-3,055 arasında değiştiği belirlenmiştir. İnklinometre çalışmaları neticesinde heyelan-kaymanın yönü belirlenmiş ve 20 günde maksimum 15 mm olduğu tespit edilmiştir. Yer altı suyu seviyesi oldukça yüksektir. Bölgede uygulanan yanlış sulama ve mevsimsel yağış değişikliği duyarlılığı artırmakta ve heyelana sebep olmaktadır. Sorunların önüne geçilebilmesi için drenaj sistemi kurulmalı ve istinat yapıları yapılmalıdır (Keskin ve Yolcu, 2015). Mamuriye köyünde heyelanlara önlem olarak uygulanan drenaj hatları Şekil 11’de gösterilmektedir. Yapılan istinat yapıları ve drenaj sistemi sonrası bölgedeki yamaç hareketlerinin azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 11. Mamuriye köyünde uygulanan drenaj hatları.
Figure 11. Drainage lines applied in Mamuriye village.

Nuzhetiye-Böcekli yolu üzerinde meydana gelen heyelan sonrası yapılan istinat yapısı zarar görmüştür (Şekil 12). Sonrasında yapılan jeoteknik çalışmada killi tabaka üzerinde oturtulan temelin sularının etkisiyle istinat duvarında deformasyon meydana getirdiği tespit edilmiştir. Yağmur ve yüzey sularının yol güzergâhına olabilecek olumsuz etkileri drenajla ortadan kaldırılması ve istinat duvarının, litolojisi kiltası olan İncebel formasyonuna oturtulması gerektiği anlaşılmıştır (Beyazıt ve Kaymakçı, 2015).



Şekil 12. Heyelanlar sonrası yapılan bazı istinat yapıları.
Figure 12. Some retaining structures built after the landslides.

Hasaney mezarlık mevkiinde meydana gelen heyelan sonucu jeoteknik rapor hazırlanmış; stabilite analizleri, laboratuvar deneyleri yapılarak heyelan incelenmiş, yolu ve mezarlık bölgesini etkileyebileceği belirlenmiştir. Önerilen istinat yapısının uygulanması sonrası tehlike ortadan kalkmış ve yol kullanılmaya başlamıştır (Kaymakçı ve Beyazıt, 2013).

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Türkiye’de heyelan oluşumlarının en çok görüldüğü Üst Paleosen-Orta Eosen yaşlı kırıntılılar ve ayrılmış volkanikler ve proklastiklerin olduğu alan içerisinde kalan inceleme alanının heyelan oluşum nedenleri, etkileri ve alınan önlemler bu çalışmada ortaya konmuştur. Gölcük ve civarının jeolojik, jeomorfolojik, yüksek sismik aktivite ve sürekli yağış alma durumundan dolayı sürekli bir heyelan oluşturma potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

Bu nedenle CBS ile heyelan duraylılık haritasının oluşturulması ve planlamalara altlık olarak kullanılması gerekmektedir. Planlama ve yapılaşma sürecinde bilimsel çalışmaların doğru biçimde yapılmaması doğal olayların afete dönüşmesine zemin hazırladığı sonucu ortaya çıkmıştır. Köy yerleşik alanı: Köy camii, köy konağı, okul, sağlık ocağı gibi köy ortak yapıları ile köy nüfusuna kayıtlı ve köyde sürekli oturanlar tarafından, mevzuat hükümlerine uygun olarak inşa edilmiş yapıların toplu olarak bulunduğu yerlerdeki binaların en dışta olanlarının dış kenarlarından geçirilen çizginin içinde kalan alan, köy yerleşik (meskûn) alanıdır. Köy yerleşik alan sınırından itibaren 100 m dışında kalan alan ise köy yerleşik alanı civarı olarak tanımlanır; ancak ilgili kurumlar sorumluluk olarak köy yerleşik alanı sınırlarını daha güvenli alanlara kaydırmalıdır (İmar Yönetmeliği, 1999).

Heyelanların önlenmesine yönelik bazı çalışmalar olsa da jeoteknik analizlerin doğru biçimde yapılmaması veya dikkate alınmaması, yeni tehlikeler ortaya çıkarmaktadır. Heyelan oluşumunda doğal etkenlerin yüksek katkısı yanında insan etkisinin tetikleyici ya da süreci hızlandırıcı etkisinin fazla olması; bölge insanının bu konuda bilinçlendirilmesi gerektiği gerçeğini ortaya çıkarmaktadır.

Jeoteknik çalışmaların planlama ve imalat öncesi hazırlanması can ve mal kaybının önüne geçilebileceğini göstermektedir. Doğal afet oluşumundan sonra yapılan jeoteknik, teknik, imalat, planlama çalışmaları maliyeti ciddi bir biçimde artırmaktadır. Bundan dolayı doğal afetleri de göz önünde bulunduran yerleşime uygunluk çalışmaları yapılmalı ve uygulanmalıdır. Gölcük ve civarının yüksek sismik aktivite ve sürekli yağış alma durumundan dolayı heyelan oluşturma potansiyeline sahip yamaçların fiber optik sistemlerle izlenmesi ve değerlendirilmesi heyelan hareketlerine karşı alınacak bir erken uyarı önlemi olabilir.

KAYNAKLAR

- AKARTUNA M., 1968. Armutlu yarımadasının jeolojisi. İstanbul Üniversitesi Fen. Fak. Monog. 20, 1-105.
- BEYAZIT S., ve KAYMAKÇI Y., 2015. Nüzhetiye Böcekli Yolu Heyelana Yönelik Jeoteknik rapor, Kocaeli Belediyesi Arşivi
- ÇAN T., DUMAN T. Y., OLGUN Ş., ÇÖREKÇİOĞLU Ş., GÜLMEZ F. K., ELMACI H., HAMZAÇEBİ S., EMRE Ö., 2013. Türkiye Heyelan Veri Tabanı, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara
- DUMAN T. Y., EMRE Ö., ÇAN T., NEFESLİOĞLU H., 2006. 1/500.000 Ölçekli Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-İstanbul Paftası, MTA Özel Yayın.
- GÖKÇE O., ERDEM Ş., DEMİR A., 2008. Türkiye’de Afetlerin Mekânsal ve İstatistiksel Dağılımı, Afet Bilgileri Envanteri, Afet İşleri Genel Müdürlüğü.
- GÖNCÜOĞLU M. C., ERENDİL M., TEKELİ O., ÜRGÜN B. M., AKSAY A., KUŞÇU İ., 1986. Armutlu Yarımadasının Doğu Kesiminin Jeolojisi, M.T.A Raporu, 7943.
- KAHRAMAN N., ve ARIKAN, R., 2015. Kocaeli ve Deprem, Uluslararası Karamürsel Alp ve Kocaeli Tarihi Sempozyumu II, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, 859-875 ss
- KARAKAŞ A. ve CORUK Ö., 2011. Impact of Mass Movements in the Kocaeli Province, Turkey, *Geology Today*, 27, issue 2, 70-73.
- KAYMAKÇI Y., ve BEYAZIT S., 2013. Hasaney Köyü Mezarlık Yanı Heyelana Yönelik Jeoteknik rapor, Kocaeli Belediyesi Arşiv.
- KELAM A. A., M. K. KOÇKAR, H. AKGÜN, 2017. Sismik Aktivitenin ve Yağış Durumunun Heyelan Hareketlerine Etkisinin Fiber Optik Sistemlerle İzlenmesi ve Değerlendirilmesi, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- KESKİN Ş., ve YOLCU Y., 2015. Gölcük İlçesi, Mamuriye Mahallesi Heyelana Yönelik Jeolojik-Jeoteknik-Jeofizik Etüt Rapor, Kocaeli Belediyesi Arşivi.
- ÖZTÜRK K., 2002. Heyelanlar ve Türkiye’ye Etkileri, G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi Cilt 22, Sayı 2, 35-50.
- PLANSIZ ALANLAR İMAR YÖNETMELİĞİ, 1999. Resmî Gazete No:23804, Bölüm İki.
- SKRZYPCZAK I., KOKOSZKA W., KOGUT J., 2017. The Impact of Landslides on Local Infrastructure and the Environment, “Environmental Engineering” 10th International Conference, Vilnius Gediminas Technical University Lithuania, 27-28 April 2017.
- URL-1 T.C METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-veilceler-istatistik.aspx?m=Kocaeli, (Ziyaret tarihi: 2 Mart 2018).
- VARNES D. J., 1978. Slope Movement Types and Processes. In *Landslides: Analysis and Control*. Edited by R. L. Schuster and R. J. Krizek. Transportation Research Board, National Academy of Science, Special Report 176, Chapter 2, 11-33, Washington.

YAMLI M., ve AKGÜL O., 2012. Hamidiye Köy İçi Heyelana Yönelik Jeolojik Etüt Raporu, Kocaeli AFAD.

ZENGİNCE M, KARAKAŞ A, 2016. Gölcük (Kocaeli) Güney Köyleri Heyelan Tehlikesinin Değerlendirilmesi, Proceedings of International Symposium on Natural Hazards and Hazard Management (DAAYS'16), Karabük Üniversitesi, Karabük, 367-372

Araştırma Makalesi

İSTANBUL-KADIKÖY'DE KARAYOLU ALTINDAN GEÇEN ÇOK SIĞ BİR TÜNEL İÇİN ÖZEL BİR METOD

Special Method for a Very Shallow Tunnel Under Highway in the City of Istanbul - Kadıköy.

Yalçın EYİGÜN¹

ÖZET

Bu çalışmada Kadıköy-Kartal Metro Hattının Göztepe İstasyon ana konkorsunu E-5 (D100) karayolunun karşı tarafına birleştiren yaya alt geçit tünelinin son derece az bir örtü tabakası altında delme tünel olarak inşa edilebilmesi için uygulanan özel çözüm yöntemi irdelenmiştir. Aktif karayolu ana arteri altında 3 ila 7 m örtü tabakası altında tünel açmanın standart çözümü aç-kapa yöntemini kullanmaktır. Ancak bu, uzun süre şehrin en önemli arterlerinden birinde yol şeritlerinin kapatılmasına ve servis düzeyinin düşmesine yol açacaktır. Delme tünel olarak bu yaya bağlantısının inşası ise büyük risk anlamına gelmektedir. Yeni Avusturya Tünel Açma Yönteminde zor koşullar altında tercih edilen şemsiye kemer (umbrella arch) metodunun kullanılması halinde dahi yüzey deformasyonunun kabul edilebilir sınırlar içinde kalmayacağı yapılan analizle tespit edilmiştir. Alternatif bir ön tahkimat çözümü bulmak zorunluluğu sebebiyle ön tahkimat olarak aynanın desteklenmesi için klasik olarak 10 cm çapında ve 10-12 m boylarında süren boruları kullanmak yerine 60 cm çaplı ve birbirine eklenerek yekpare hale getirilen borular, itme boru sürme (pipe jacking) metoduyla aynaya sürülmüştür. Ayrıca tünel kazısı modifiye yöntemle ve kısa tutulan kazı adımlarıyla gerçekleştirilmiştir. Kazı boyunca tünel içi ve yüzeyde deformasyon değerleri ölçülmüş ve tünelde 16 mm, yüzeyde ise 9,5 mm olarak gerçekleşen deformasyon miktarları tercih edilen çözümün doğru olduğunu göstermiştir.

ABSTRACT

In this study, a special solution method which is used to construct the pedestrian underpass tunnel connecting the main concourse of Göztepe Station of Kadıköy-Kartal Metro Line to the opposite side of the highway E-5 (D100) in order to construct as bored tunnel under a very small cover layer, has been examined. The standard solution for tunnel excavation under the main road with a 3 to 7 m cover layer is to use cut and cover method. This, however, will lead to the closure of road lanes and the drop-in service level in one of the city's most important arteries for a long time. The construction of this pedestrian link as a bored tunnel is a great risk. The New Austrian Tunneling Method has been identified by analysis of which surface deformation is not to fall within acceptable limits even in the case of using the umbrella arch method preferred under difficult conditions. Due to the necessity of finding an alternative front support solution, instead of using pipes have 4 10 cm in diameter and 10-12 m length, the pipes have 60 cm diameter, which are made to be integrated with each other, are pushed by the pipe jacking method. Tunnel excavation was also carried out by modified methods and short excavation steps. preferred solution was a right solution. During the excavation, deformation values in the tunnel and on the surface were measured and deformation values of 16 mm in the tunnel and 9.5 mm in the surface showed that the preferred solution was a right solution.

GİRİŞ

İstanbul Metrosu sisteminin en önemli aşamalarından biri olan Kadıköy-Kartal Metro hattı 21,7 km hat ve 16 istasyondan oluşan önemli bir projedir. E-5 (D100) karayolu boyunca uzanan hattın 16

¹ Analitik Ulaşım Çözümleri San. ve Tic. AŞ. İçerenköy Mah. Çayır Cad. Partaş Center, No: 1/4 K.3, Ataşehir-İSTANBUL
e-mail: yalcineyigun1@gmail.com

*İlgili yazar / Corresponding author: yalcineyigun1@gmail.com

Gönderim Tarihi: 26.04.2018

Kabul Tarihi: 27.06.2018

istasyonu bu önemli ana arterin sağında veya solunda inşa edilen ana konkors yapısı ile karayolunun karşı tarafına yaya bağlantısını sağlayan ek yapıları içerir. Göztepe istasyonu, Kadıköy'den başladığında hattın beşinci istasyonudur. Ana yapı, gidiş istikametinde solda olup karayolunun diğer tarafına 6,8 m çapında bir yaya bağlantı tüneli tasarlanmıştır. İstasyon geometrisi ve arazi topoğrafyasının sonucu olarak E-5 karayolu altından geçecek olan bu bağlantı tünelinin üzerinde sadece 3-4 m kadar bir örtü tabakası bulunacaktır. Tünel üstünde kendi çapının ancak yarısı kadar bir örtü bulunan ve üstelik bu örtünün dolgudan ibaret olduğu düşünüldüğünde modifiye bir yöntemle dahi delme tünel seçeneğinin uygulanmasının ne kadar zor olduğu anlaşılabilir.

Aç-kapa yönteminin kullanılması karayolu ana arterini uzun süre olumsuz etkilemek anlamına geleceğinden delme tünelin nasıl mümkün olacağı sorusu çalışmanın esasını oluşturmuştur. Bu çalışma kapsamında; önce sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan Plaxis 3D (www.plaxis.com) programı kullanılarak tünelin Modifiye Yeni Avusturya Tünel Açma yöntemi ile tünel açılması halinde tünel üzerinde oluşacak deformasyon hesaplanmıştır. Kabul edilebilir sınırlar dışında çıkan hesap sonuçları, farklı bir çözümü zorunlu kılmıştır. Ön tahkimat elemanı olarak 10 cm çaplı ve 10-12 m boyunda çelik borular kullanmak yerine ön tahkimatı 60 cm ve 80 cm çaplı borulardan oluşturma ve boruları birbirine ekleyip zemine itme-boru sürme (pipe jacking) yöntemi ile uygulama seçeneği değerlendirilmiştir. Karayolunun her iki yanında oluşturulacak kazı çukurları arasındaki mesafe 80 metreyi bulduğundan bu boya kadar birbirine eklenerek yekpare haline getirilen ön tahkimat borularının istenen neticeyi sağlayacağı öngörülmüştür. Yapım işi süresince tünel içinde konverjans, yüzeyde ise oturma (tasman) değerleri ölçülerek durum kontrol edilmiştir.

UYGULAMA ALANININ JEOLojİK VE GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

Göztepe İstasyonu, E-5 (D100) karayolu boyunca uzanan hattın ana karakteristiğine uygun olarak peron katları delme tünel, yüzeye yakın teknik hacim ve konkors katı ise aç-kapa yöntemi ile inşaatı planlanmış bir yapıdır (Şekil 1). Yolun sol tarafında boş kamu arazilerine oturan ana yapının inşasında herhangi bir sorun ortaya çıkmamıştır. Ancak yolun karşı tarafına bağlantı sağlayan yaya tüneli gerek zemin yapısı ve gerekse örtü tabakasının yetersizliği sebebiyle riskli bir yapı görünümündedir.



Şekil 1. Göztepe istasyonu ve yaya alt geçit tüneli planı
Figure 1. Goztepe station and passenger underpass tunnel plan

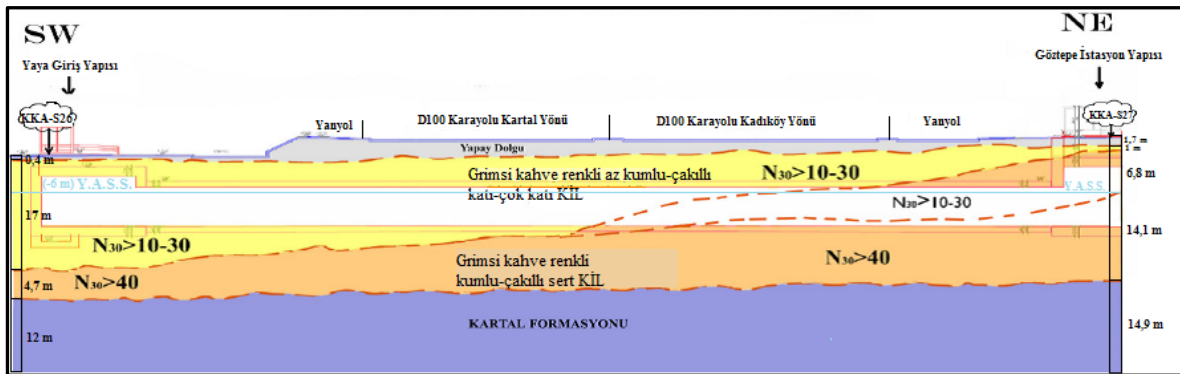
Göztepe İstasyonu Yaya Geçiş Tüneli İçin Yapılan Jeolojik-Geoteknik Çalışmalar

Göztepe İstasyon alanı yaya geçiş tüneli için ilk zemin araştırmaları 2005 yılında Metro inşaatının bu kısmını yapan yüklenici tarafından gerçekleştirilmiştir. Şekil 2’de lokasyon planı verilen toplam 4 adet sondajdan ZKS-13 numaralı sondaj 2005 yılında Anadoluray Ortak Girişimi tarafından, KKA-S25, KKA-S26 ve KKA-S27 numaralı sondajlar ise 2008 yılında Avrasya Metro Grubu tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu sondajlardan 34,1 m derinliğindeki KKA-S26 ve 38,5 m derinliğindeki KKA-S27 numaralı sondajlar, yaya geçiş tünelinin zemin profilini ortaya koymaktadır (Şekil 3).



Şekil 2. Göztepe İstasyon alanı araştırma sondaj lokasyonları.

Figure 2. Soil investigation borehole locations at Goztepe Station area.



Şekil 3. Göztepe İstasyonu yaya giriş tüneli ve portalı zemin profili.

Figure 3. Soil profile of Goztepe Station pedestrian entrance tunnel.

Bu sondaj verileri ışığında bu istasyonun yapılarının destekleme projelerine mahsus olarak Avrasya Metro Grubu tarafından hazırlanan “Göztepe İstasyonu Alanı Örtü Katmanı Özellikleri ve Jeolojik-Geoteknik Değerlendirme Raporu”nun (2009) yaya geçiş tüneline mahsus bulguları aşağıda özetlenmiştir.

- Yüzeyden itibaren kalınlığı 1-2 metreyi geçmeyen yapay dolgu tabakası bulunmaktadır.
- Dolgunun altında kalınlığı 22 metreyi bulan Kil tabakasına rastlanmıştır. Grimsi kahve renkli ve içeriğinde kum-çakıl bulunan bu tabakanın kalınlığı değişken olmak üzere derine doğru Standart Penetrasyon Sayısı (N_{30}) büyüyen iki seviyeye ayrıldığı söylenebilir.

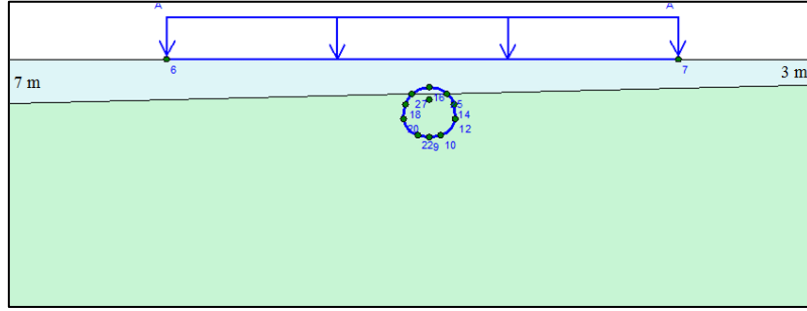
Kalınlığı KKA-S27 numaralı sondajda 1 metreden başlayıp KKA-S26 sondajında 17 metreye kadar ulaşan ve N_{30} değeri 10-30 arasında olan birinci seviyenin altında kalınlığı 4,7 m ile 14,1 m arasında değişen ve $N_{30} > 40$ değerine sahip ikinci kısım bulunmaktadır. Birinci kil seviyesinde kum çakıl yanında kısmen bitkisel kökenli organik özellikli ve siyahımsı gri renkli çökeller görülmüştür. Daha alt seviyedeki kilde ise çok köşeli kum çakıl boyutunda, çok ayrılmış ana kaya bileşenlerine daha çok rastlanmıştır.

- En derindeki ana kaya birimi Kartal Formasyonudur. Bu formasyonu Önalın (1987) genel olarak bol fosilli, sarımsı kahverengi şeylerden meydana gelen, birimin alt ve üst seviyelerinde yer yer karbonatça zengin ara seviyeler bulunan bir birim olarak tanımlar. Kartal Formasyonunun, litolojisi, içerdiği fosilleri ve laminalı yapısı göz önüne alındığında dalga tabanının altında, düşük enerjili, açık denizel bir ortamda çökeldiği anlaşılmaktadır Önalın (1987). Önalın (1987) ve Seymen (1995) bu birimi “Kartal Formasyonu” olarak isimlendirirken, Akyüz (1987) “Fosilli şeyli”, Kaya (1973) ise “Pendik Grubu” adı altında “Kartal, Kozyatağı formasyonları ve İçerenköy şeyli” biçiminde niteleme yapmıştır. Sondaj verileri bu tanımlarla uyumludur.

Geoteknik Raporda Tünel İnşası İçin Öneriler

1. Yaya giriş tüneli ve portalı; zayıf-orta dayanımlı kaya özellikli Kartal formasyonunun 8-12 m üzerinde bulunan kum-çakıl içeren kil içinde açılacaktır. Söz konusu kil tabakası $N_{30} > 10$ değerleri ile “Katı-çok katı-sert kil” özelliklidir. Araştırma sondajlarında yer altı su seviyesinin +6,00 m kotlarında görülmesine karşılık bu tabakada permeabilite değerleri çok düşüktür ve tünel kazısı için büyük ölçüde su gelişi ve stabilite sorunu yaratmayacaktır. Ancak araştırma sondajlarında karşılaşılmayan ve Kurbağalı dere alüvyonu içinde kum mercceklerinin potansiyel varlığı (Meriç ve diğ. 1989) nedeni ile “hapsedilmiş su” ile karşılaşılması potansiyel risk oluşturabilir. Bu koşullarda tünel kazı yüzeyinden “yatay drenaj delgileri” yapılarak risk azaltılabilir.
2. Yer altı su seviyesinin yüksekliği nedeni ile portal giriş yapısının kesişen kazıklı (perde) yapılması öngörülmelidir.
3. “Çok sığ tünel” şeklindeki “yaya giriş tüneli”nin açımında olası deformasyon risklerini önleyebilecek temel uygulama; tavan bölgesinin omuzlara kadar şemsiye kemer (umbrella arch) ile desteklenmesidir.
4. Tünelin tam kesit açılmaması durumunda, alt yarı kazısının en fazla 6,00 m gerisinden ring tamamlanarak ilerlemesi sağlanmalıdır.
5. Özellikle mevcut jeolojik koşullar altında; üst yarı kazısında omuz altı-ayaklar bölgesinden “tünel içine basma” şeklinde tanımlanabilen olası büyük mertebeli deformasyon potansiyeli söz konusudur. Bu olumsuzluğun birincil önlemi ringin en kısa sürede kapatılmasıdır.
6. Sürtünme yüzeylerini arttırmak amacıyla kaya bulonu delgi çapının 100 mm.den büyük seçilmesi ve kaya bulonu boylarının en az 4,0 m olması tercih edilmelidir.

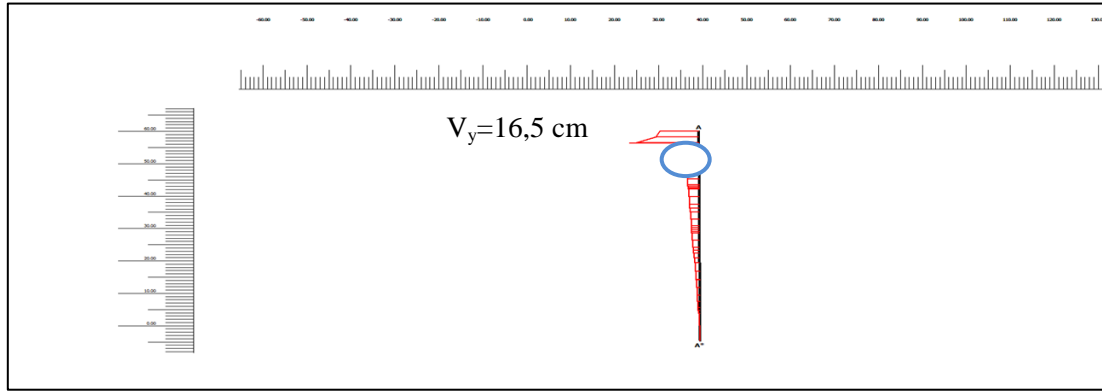
Yapılan sondajlar ve Geoteknik Rapor önerileri dikkate alınarak yaya geçiş tünelinin analizler için idealize edilmiş tünel kesiti, en elverişsiz koşullar için Şekil 4’de görülmektedir. Yapay dolgu tabakasının 3 m ile 7 m arasında değişmesi ve tünelin tam üzerinde 3-4 m kalınlığa sahip olması; Geoteknik Raporun önerisine binaen ön tahkimat elemanı olarak şemsiye kemer (umbrella arch) kullanılsa dahi kazının yapılabiliğini sorunlu hale getirmektedir.



Şekil 4. İdealize tünel kesiti ve üstündeki dolgu kalınlığı

Figure 4. Idealized tunnel section and fill layer thickness

Bu çalışma kapsamında yapılan sonlu analiz yöntemli deformasyon hesabında tünel ön tahkimat elemanı olarak önce geoteknik rapora uygun olarak 9 m boyunda ve 10 cm çapında şemsiye kemer elemanları kullanılmıştır. Ayna iki kademede açılmış ve tüm tahkimat elemanları yeterli rijitliği sağlayacak şekilde seçilmiştir. Plaxis 3D versiyonu kullanılan analiz sonunda tünel üzerinde meydana gelecek düşey deformasyon değerinin 16,5 cm olacağı bulunmuştur (Şekil 5).



Şekil 5. Plaxis 3D programı ile hesap edilen tünel üstü düşey deformasyon

Figure 5. Vertical deformation above tunnel calculated by Plaxis 3D software

Rankin (1988)'e göre binalarda açıl dönmenin 1/50'den veya yüzey oturmasının 7,5 cm'den büyük olması üstyapıda yüksek derece hasara sebep olabilmektedir. Boscardin ve Cording (1989) de benzer değerler vermiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Tünel üstündeki bina ve yüzeylerde kayma veya oturma hasarı risk değerlendirmesi (Rankin (1988), ve Boscardin ve Cording (1989)'e göre)

Table 1. Typical values for maximum building and ground slope or settlement for damage risk assesment According to Rankin (1988), and Boscardin and Cording (1989)

Risk kategorisi	Deformasyon veya tilt kriteri		Riskin Tanımı ve Öneriler
	Rankin (1988)'e göre	Boscardin ve Cording (1989)'e göre	
1	<1/500 <0.4"	<1/600	Dikkat, izlemeye devam et (önemsiz ile çok az arası: hasar ihtimali yok)
2	1/500-1/200 0.4"-2.0"	1/600-1/300	Azaltıcı önlemleri (enjeksiyon gibi) düşün ve uygula. İzlemeye devam et. Üstyapıda muhtemel zarar, yapısal hasar önemsiz derecede.
3	1/200/1/50	1/300-1/50	Azaltıcı önlemleri önceden planla ve

	2.0"-3.0"		tünel kazısı öncesinde uygula. İzlemeye devam et. Üstyapıda orta derece ile ciddi arasında hasar, binalarda yapısal zarar, rijit boru hatlarında hasar ihtimali var.
4	>1/50 >3"	>1/50	Azaltıcı önlemleri önceden planla ve tünel kazısı öncesinde uygula. İzlemeye devam et. Üstyapıda yüksek derecede hasar, binalarda yapısal zarar, rijit boru hatlarında hasar ihtimali var.

Tünel üstünde oluşacak deformasyon olarak hesaplanan 16,5 cm değeri, uluslararası kabul görmüş limitlerin çok üstündedir. Bu durumda yaya tüneline özel önlem almadan emniyetli bir şekilde açma imkânı yoktur.

TÜNEL AÇIMI İÇİN ÖNERİLEN ÖZEL YÖNTEM

Çalışma kapsamında yeterli ayna güvenliğini sağlamak üzere ön tahkimat elemanı olarak 60 cm çapında çelik boru sürülmesi önerilmiştir. Birbirine eklenerek yekpare çalışması sağlanacak çelik borular, 80 metreye ulaşarak çalışan karayolunun 3 m altında üstteki dinamik etkiden tünel faaliyetlerini koruyacak ya da tünel açımı sebebiyle yüzeye etkiyecek deformasyonu minimize edecektir.

Tünel kesitinin üst yarısını korumak üzere toplam 9 adet boru uygulanabileceği tespit edilmiştir. En üstte ve ortada yer alan borunun 80 cm çapında olması da stabiliteyi arttırmak için öngörülmüştür (Şekil 6). Boruların içinin C20 sınıf betonla doldurulması da çelik borunun üstyapıdan gelecek dinamik yük etkisi altında deformasyon riskini bertaraf için önerilmiştir.

Uygulama için yaya geçiş tüneline karşı tarafta başlayacağı ve boruların birbirine eklenerek istasyona doğru imal edilmeleri kararlaştırılmıştır. İstasyon duvarına rastlanacak noktada stabilite sorunu yaşanmaması için anılan duvarın 65 cm. çaplı teğet kazıklarla imal edilmesi ve tünel bu noktaya geldiğinde kazıkların tünel kesiti ile kesişen kısmının kırılarak alınması sistemi tamamlayan unsurlardan olmuştur.

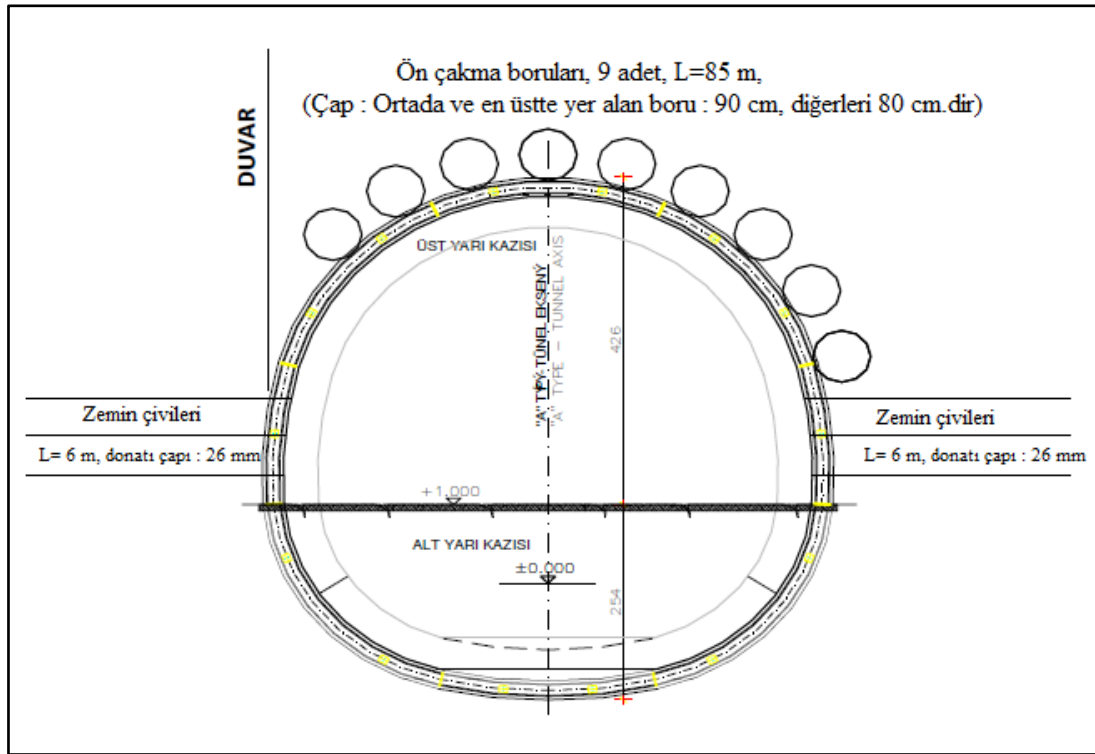
Tünel kazısının üst yarı ve alt yarı biçiminde iki parçalı yapılması, her bir kazı adımının 60 cm. olması ve üst yarı ile alt yarı arasında en çok 4 adım farka müsaade edilmesi öngörülmüştür. Üst yarıda 26 mm çaplı donatı elemanı kullanılarak 110 mm çaplı zemin çivisi uygulaması aynanın stabilitesi açısından önerilmiştir. Kabuğun yana bağlanması için ise üst yarı ve alt yarıda her iki yanda birer tane olmak üzere kesitte toplam 4 adet 8 veya gerektiğinde daha fazla) 6 m boyunda 26 mm çaplı zemin çivisi öngörülmüştür. Çizelge 2'de önerilen çözümün özeti verilmektedir.

Çizelge 2. Özel yöntemin uygulama içeriği
Figure 2. Application content of special method

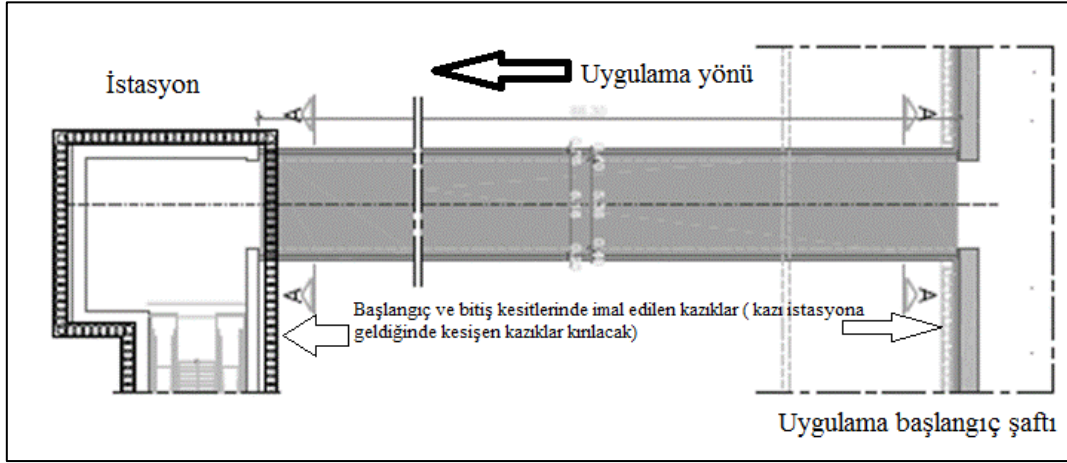
Uygulama İçeriği	Uygulamanın Niceliği
Tünel uygulama boyu	85 m.
Tünel çapı	6,8 m
Ön tahkimat boru adedi	9
Boru çapı	8 adet: 60 cm, 1 adet : 80 cm
Çelik boru et kalınlığı	6 mm
Boru içine beton uygulaması	C20 ile doldurulacak
Kazı adımı	60 cm
Kazı ardışımı	Üst yarı+alt yarı

Püskürtme beton ve kalınlığı	C25, 25 cm
Çelik profil	Tip: HEP160
Çelik hasır	Çift sıra Q 589/589
Aynada zemin çivisi	Φ26 çaplı demir, delik çapı 110 mm, L=6 m Üst yarıda
Yanlarda zemin çivisi	Φ26 çaplı demir, delik çapı 110 mm, L=6 m Üst yarı ve alt yarıda

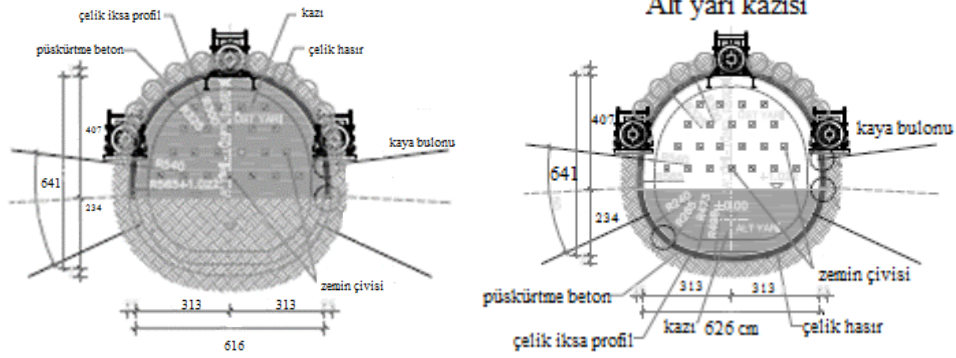
Şekil 6'da özel çözümün en önemli unsuru olan 60 cm çaplı sürme boru ile ön tahkimat uygulanan tünelin ayna kesiti görülmektedir. Şekil 7'de uygulamanın başlangıç şaftından istasyon ana konkors yapısına doğru uygulamanın yönünü gösteren plan, Şekil 8'de ise tünelin üst yarı ve alt yarı kazı kesitleri verilmektedir. Verilen planda başlangıç şaftında ve istasyona varış kesitinde imal edilen koruyucu kazıklar da görülmektedir.



Şekil 6. Boru sürme yöntemi ile teşkil edilen borular
Figure 6. Pipes formed by pipe-jacking method



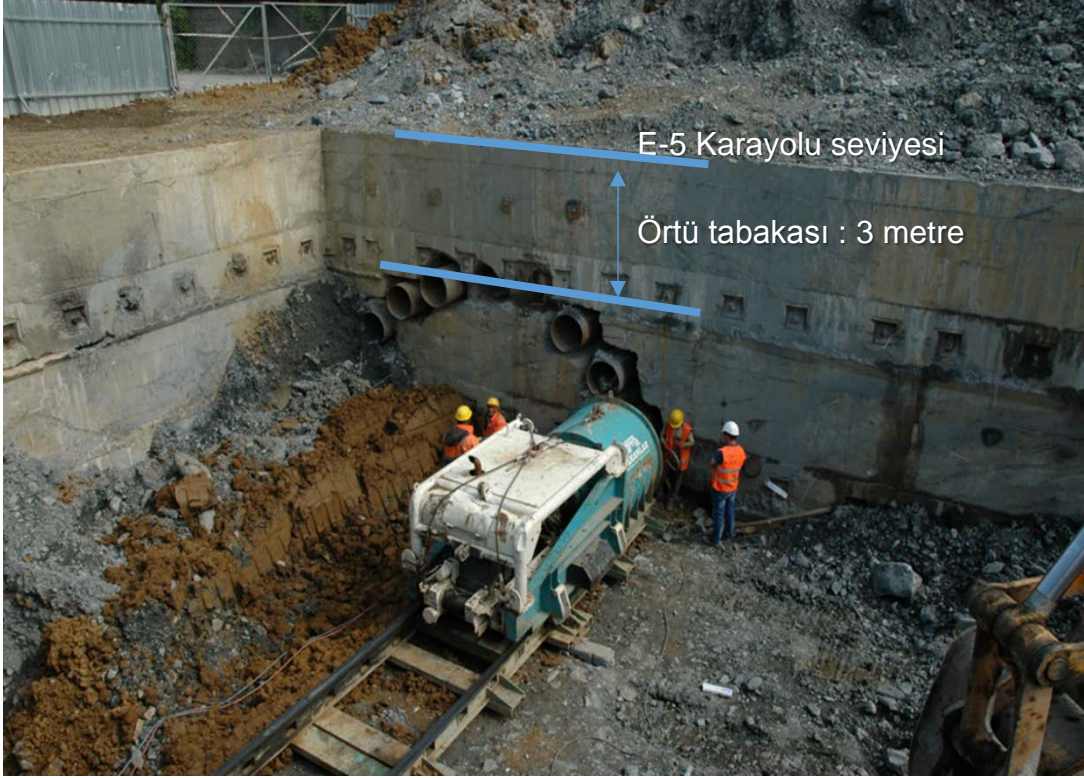
Şekil 7. Uygulamanın yönünü gösteren plan
Figure 7. Plan showing the direction of the application
Üst yarı kazısı



Şekil 8. Tünel üst yarı ve alt yarı kazı uygulama kesitleri
Figure 8. Tunnel arch and invert excavation application sections

UYGULAMA

Önerilen çözüm projesine göre uygulama yapılmıştır. Şaft yapısı diyafram duvar tekniği ile inşa edilmiştir. Şaftta 60 cm boruların (en üst kesitteki 80 cm) sürüleceği kota kadar yüzeyden kazı yapılmış, uygun kota gelindiğinde tabanda hidrolik itme kuvvetinin güç alacağı betonarme payanda yapısı imal edilmiştir. Boru sürme için özel ekipman temin edilmiştir (Şekil 9 a ve b).



(a)

Şekil 9. (a) Boru sürme uygulaması
Figure 9. (a) Pipe jacking application



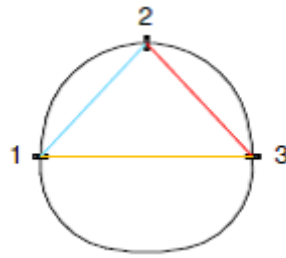
(b)

Şekil 9. (b) Tünel aynasından kazı işlemi
Figure 9. (b) Excavation process from tunnel face

Toplam boyu 85 m olan tünelde karayolunun altından geçen kısım 60 m'dir. Son 25 m'lik kısım istasyon inşaat şantiyesi alanı içinde kaldığından çevreye zarar verme riski bulunmamaktadır. Bu yüzden boru sürme ile açılan tünelin ilk 60 metresinde ölçüm ağı sık teşkil edilmiştir. Tünel içinde Çizelge 3'de görülen 9 noktada tünel içi optik konverjans ölçümü alınmıştır. Uygulamanın başladığı 25 Ağustos'tan tamamlandığı 3 Aralık gününe kadar ilk sıfır okuması yapılarak başlanan ölçüm işleri, 100 gün boyunca aksamadan sürdürülmüştür.

TÜNEL İÇİ DEFORMASYON ÖLÇÜMLERİ

Tünel kazısı süresince tünel içinde konverjans ölçümleri yapılarak kabuğun deformasyonu takip edilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Tünel içi deformasyon ölçümü (konverjans) şablonu

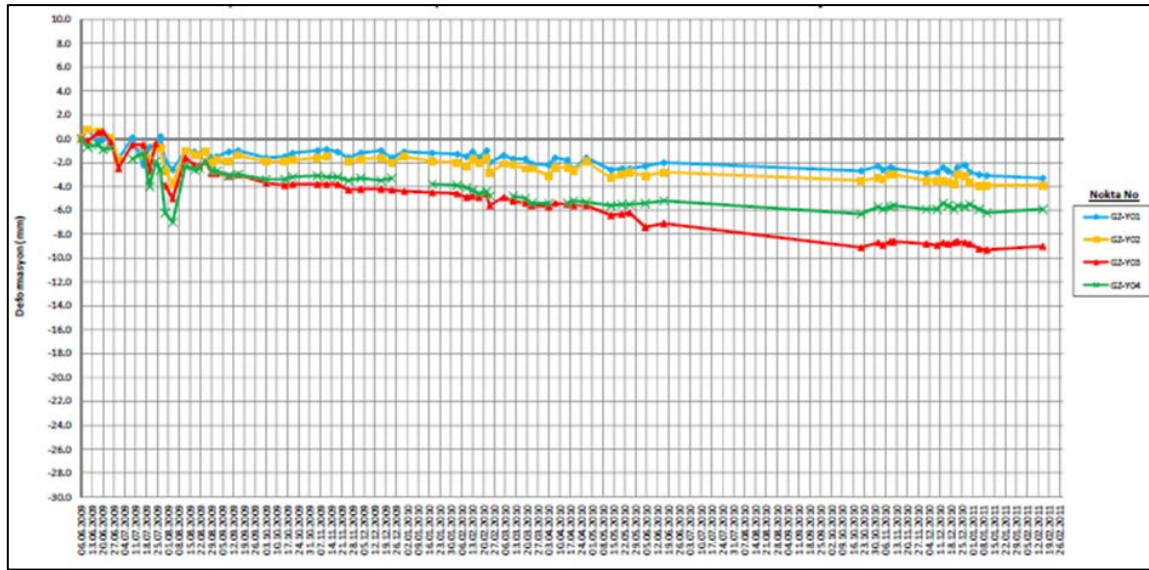
Figure 10. Tunnel deformation measurement (convergence) template

Çizelge 3. Tünel içi konverjans kilometreleri ve ölçülen maksimum konverjans değerleri

Table 3. Tunnel convergence kilometers and measured maximum convergence values

Nokta No	Nokta km.si	Ölçülen maksimum konverjans değeri (mm)
1	0+006	8
2	0+009	5
3	0+016	3
4	0+021	3
5	0+028	16
6	0+036	4
7	0+043	5
8	0+052	3
9	0+060	7

Şekil 11'de konverjans ölçümlerinin alındığı kesitlerden bir örnek noktanın (km 0+006) planda lokasyonu gösterilerek 100 gün boyunca alınan ölçümlerin grafiği verilmiştir.



Şekil 12. Yaya tünelinin üstünde yüzey oturma bulonlarından ölçülen deformasyon grafiği (km : 0+036 için)

Figure 12. Deformation graph measured from the surface deformation bolts above pedestrian tunnel (for km : 0+036)

SONUÇLAR

Bu çalışma örtü tabakası 3-4 m olan ve üstünden karayolu geçen bir metro yaya bağlantı tünelinin delme tünel olarak yapılabilmesi için geliştirilen özel bir çözümün uygulanmasını anlatmaktadır. Üzerinde kendi çapının yarısı kadar bir örtü bulunan ve bu tabakanın dolgudan ibaret olduğu tünelin zorlayıcı diğer unsurlar sebebiyle aç-kapa olarak inşası mümkün olmamıştır.

Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM)'nin modifiye uygulamaları, ön tahkimat elemanını 10 cm çaplı 9-12 m uzunlukta çelik boru seçmektir. Normal şartlarda bu, kötü zemin koşullarında yeterince konservatif sonuçlar vermektedir. Ancak 60 m'lik kesiminde aktif şehir içi ana arterin altından geçen ve şemsiye (umbrella) borusunun zemine soketlenme imkanının bulunmadığı tünel koşullarında bu değişikliğin yetersiz olması beklenen sonuç olmalıdır.

Bu çalışma kapsamında önce klasik modifiye tüm elemanlar sonlu elemanlar yazılımı ile modellenmiş ve modifiye koşullarda dahi yüzey deformasyonunun 16,5 cm olduğu hesaplanmıştır. Problem ilk kazının yapılması esnasında aynanın tutulmaması olmaktadır.

Çözüm olarak ön tahkimat için radikal bir değişiklik önerilmiştir. 10 cm ve 9-12 m uzunlukta borular yerine 60 cm çaplı (tavandaki 80 cm) ve birbirine eklenerek 80 metreyi yekpare olarak bulan borularla sadece ön tahkimat değil, tünelin kazısı boyunca stabilite sağlayacak koruyucu bir "çelik boru tavan" teşkil edilmiştir.

Kazı süresince tünel içi deformasyon ölçümlerinde alınan en büyük konverjans değeri 16 mm ve yüzey deformasyon bulonlarının en elverişsiz kesitte verdiği değer 9,5 mm olmuştur. Bu da önerilen çözü yönteminin istenen amacı emniyetle sağladığını gösteren bir doğrulama olmuştur.

Şehir içi çok sığ tünellerin karayolu altında yapılmasının en elverişli yolu, karayolu akışını rahatsız etmekle beraber aç-kapa yönteminin kullanılmasıdır. Karayolunun geçici olarak kapatılması veya servis yoluna aktarılmasının mümkün olmadığı haller için ön tahkimat elemanı olarak içi betonla doldurulmuş büyük çaplı çelik boruların zemine sürülmesi yoluyla "çelik boru tavan" elde edilmesi emniyetli bir alternatif çözümdür.

KAYNAKLAR

- AKYÜZ H. S., 1987. İstanbul Boğazı batısının jeolojisi, Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ANADOLURAY ORTAK GİRİŞİMİ, 2005. Kadıköy-Kartal Metrosu Zemin Sondajları ve Geoteknik Rapor 1, Özel Rapor.
- AVRASYA METRO GRUBU, 2008. Kadıköy-Kartal Metrosu Zemin Sondajları ve Geoteknik Rapor2, Özel Rapor.
- AVRASYA METRO GRUBU, 2009. Göztepe İstasyonu alanı örtü katmanı özellikleri ve jeoloji-jeoteknik değerlendirme raporu (2009), Özel Rapor.
- BOSCARDIN M.D., and CORDING E.J., 1989. Building response to excavation-induced settlement. ASCE Journal of Geotechnical Engineering Vol. 115, No. 1, pp. 750-757.
- KAYA O., 1973. Paleozoic of İstanbul, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitapları 40, İzmir.
- MERİÇ E., OKTAY R.Y., SAKINÇ M., TANER G., GÜLEN D.L., EDİGER V.Ş., MERİÇ, M., ÖZDOĞAN M., ve ÇETİN O., 1989. Kuşdili (Kadıköy-İstanbul) Kuvaternerinin sedimanter jeolojisi ve paleoekolojisi. Ahmet Acar Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana.
- ÖNALAN, M., 1987. İstanbul Devoniyen Çökellerinin Sedimenter Özellikleri ve Çökelme Ortamları, İst. Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, c. 6, 1-2, 92- 108.
- RANKİN W.J., 1988. Ground movements resulting from urban tunnelling: Predictions and Effects. Engineering Geology Special Publication No.5, pp. 79-92.
- SEYMEN İ., 1995. İzmit Körfezi ve çevresinin jeolojisi. İzmit Körfezi Kuvaterner İstifi (Ed: Engin Meriç), 1-21.

Araştırma Makalesi

KADIKÖY (İSTANBUL)'DE YIĞMA BİR BİNANIN DEPREM RİSKİNİN BELİRLENMESİ

Earthquake Risk Assessment of a Masonry Building in Kadıköy-İstanbul

Orhan CENİK^{1*}, H. Haluk SELİM² ve Kadir GÜLER³

ÖZET

Marmara Bölgesi'nde 1999 yılında yaşanan hasar yapıcı ve yıkıcı depremler nedeniyle mevcut yapı stoğunun gözden geçirilmesi can ve mal güvenliği bakımından önem taşımaktadır. Bu nedenle bundan sonraki süreçte olası İstanbul depremi için özellikle kırsal alandaki yapılaşma dikkate alınarak, yığma binaların mevcut statik durumlarının incelenmesi ve gerekli tedbirlerin alınması kaçınılmazdır.

Bu çalışmada katı elemanlar kullanılarak örnek yapının; üç boyutlu modeli oluşturulmuş, tasarım depremi altında yığma yapı elemanlarında meydana gelen gerilmeler analitik ve lineer yöntem ile hesaplanmıştır. Bilinen döşeme, hatıl, duvar kargir cinsi ve kalınlığı ele alınmış, binanın toplam ağırlığı ile eşdeğer deprem yükü metoduna göre binaya gelen deprem yükleri analitik ve mod birleştirmek suretiyle lineer hesap yöntemi ile bulunmuştur. Gelen yüklerle karşı taşıyıcı elemanlarda oluşan gerilmeler iki yönde hesaplanmış ve emniyet gerilmeleriyle karşılaştırılmıştır. Son olarak yapılan değerlendirme sonucunda yapının can güvenliği performans düzeyi belirlenmiştir.

ABSTRACT

Devastating 1999 earthquakes in the Marmara region proved that earthquake risk assessment of existing buildings has vital importance in order to ensure structural safety and to protect people's lives in future events. Regarding the high occurrence probability of an earthquake nearby Istanbul, earthquake performance evaluation of masonry buildings that are mostly present in rural areas is imperative for the mitigation of associated earthquake risks.

In this study, a three dimensional finite element model of a masonry building was designed using solid elements and the stresses in the structural elements of the building were calculated by analytical and linear method based on the effect of the earthquake, the time-history behavior and the performance under design earthquake. Types and dimensions of the slabs, lintels and walls were considered and the earthquake forces acting on the building were computed by utilizing analytical and linear methods according to the total weight of the building and equivalent earthquake load methods. Stresses in structural elements due to acting loads were calculated in two directions and compared to the allowable limits. Finally, life safety performance level was determined for the building.

1. GİRİŞ

Yığma binalar, insanlık tarihi boyunca yapım veya inşaa etme tekniği bakımından en eski ve geleneksel yapılardır. Yığma binalarda düşey yükler ve deprem gibi yatay yüklerin iletildiği duvarlar taşıyıcı olduğundan bu yapılar betonarme ve çelik binalara göre oldukça ekonomiktir. Bu binalar diğer taşıyıcı sistemli binalara oranla ekonomik olma üstünlükleri yanında genel olarak ağır olmaları nedeniyle, deprem etkisinde dinamik yüklemelere karşı dayanımlarının az olmasından dolayı depreme dayanıklılıkları sınırlıdır. Yığma binalarda duvarlar esas taşıyıcı görevini üstlendiğinden, duvarlarda oluşacak hasarlar tüm yapıyı doğrudan etkilemekte, betonarme karkas-çelik binaların aksine, hasarın

¹İstanbul Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Barbaros Bulvarı, No:137, Beşiktaş, İstanbul, orhan.cenik@csb.gov.tr

² İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34840, Küçükyalı, İstanbul, hselim@ticaret.edu.tr

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul, kguler@itu.edu.tr

*İlgili yazar / Corresponding author: orhan.cenik@csb.gov.tr

Gönderim Tarihi: 06.04.2018

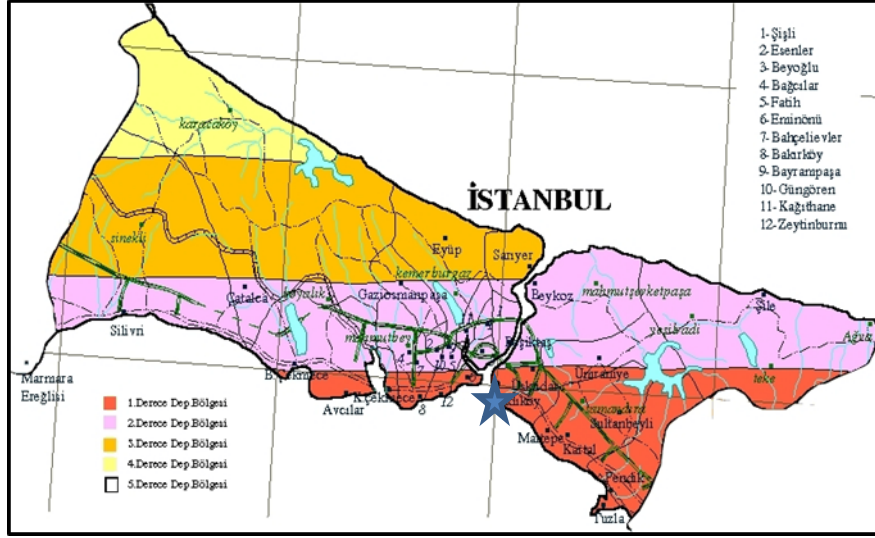
Kabul Tarihi: 15.05.2018

nerede olduğuna göre taşıyıcı sistem ve taşıyıcı olmayan sistem hasarı diye bir ayırım yapılamamaktadır.

Az gelişmiş ya da gelişmekte olan ülkelerdeki kırsal kesimlerde ve şehirlerin banliyö veya gecekondü bölgelerinde özellikle konut tipi yapılar; taş, kerpiç, briket ve pişmiş toprak tuğlalardan oluşan yığma yapı şeklinde inşa edilmektedir. Bu ülkelerde özellikle kırsal kesimlerde yığma yapılarıdaki çatı ahşap karkas üzerine toprak malzeme serilerek yapılmakta ve her mevsim bu çatılar, üzerine yeni toprak tabakası serilerek sıkıştırılmakta ve bina bu süreçte ağırlaşmaktadır. Bu ağır çatının deprem esnasında insanların üzerine çökmesi büyük felaketlere neden olabilmektedir. Aynı zamanda ülkemizde bu tip uygulamaların getirdiği denetimsizlik, birçok yanlış da beraberinde getirmiş, deprem nedeniyle birçok medeniyetin yerle bir ettiği tarihten silinmiş yerleşimler, şehirler, medeniyetler Anadolu'nun her yerinde görülmektedir. Yığma yapıların kolaylıkla yapılır-uygulanır ekonomik yapılar oluşu, Anadolu coğrafyasında deprem gerçeği nedeniyle meskûn binalarda genellikle hasar yapıcı ve yıkıcı mahiyette sonuçlar doğurmaktadır. Günümüz koşullarında ise, bu tip yapılar kırsal kesimlerde daha çok tercih edilmekte ve gayrimenkul sektöründe bir yatırım aracı olarak önem kazanmaktadır.

Anadolu yarımadasında büyük depremler üreten kuzeyde, yaklaşık doğu-batı uzantılı Kuzey Anadolu Fayı ve güneydoğuda ise Doğu Anadolu'dan – Akdeniz'e uzanan Doğu Anadolu Fayı olmak üzere iki aktif fay sistemi mevcuttur (Barka, 1981 ve 1992; Şengör, 1980). İlave olarak, hasar yapıcı ve yıkıcı büyüklükte deprem üreten diğer tali faylarla birlikte Türkiye'de yerleşim yerlerinin yaklaşık yüzde sekseninin (%80) ağır hasara yol açan büyük depremlerin tehdidinde olduğu anlaşılmaktadır. Bilhassa Anadolu kırsalında yığma binalar, kırsal yapı stoğunun çoğunluğunu temsil etmekte, genel olarak köy yerleşik alanlarında yeni bina inşaa etmenin imar mevzuatında ruhsatın kaldırılmış olması, yapı denetimi dışında işin fenni mesuliyet ile sınırlı tutulmuş olunması, deprem yaşamış bütünsel örnek projelendirmelerin takibinde örnek veri azlığını getirmektedir. Bu durum ülke ölçeğinde araştırma, değerlendirme ve sonuçlara ulaşılmasında zaaf oluşturmaktadır. Bu nedenle özellikle kırsal yerleşimlerde çoğunlukla uygulanmış olan depremlerin yatay kuvvetlerine oldukça dayanımsız zayıf yığma binalar, yeterli önlemlerin alınmaması ve bilimsel çalışmaların yapılmaması halinde, ülkemiz geleceğinde yeni kayıplar yaşanabilir.

Bu çalışma kapsamında örnek olarak seçilmiş dört katlı yığma bir binanın deprem riskinin belirlenmiştir. İncelenen örnek dört katlı yığma binanın bulunduğu parselin lokasyonu İstanbul Anadolu yakasında, İstanbul Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisindedir. Örnek yığma bina gibi il kırsalında yapı ruhsatının nadir olduğu fenni mesuliyet aranan bölgeler ve banliyö köy-mahallelerde yığma bina stoğu bulunmaktadır. 6306 sayılı Kentsel Dönüşüm Kanunu (2012) bu konudaki riski çözmek için çıkarılmıştır. Kuzey Anadolu Fay hattının yaklaşık 30 km yakınında bulunan ve 7 Temmuz 2003 tarihli İstanbul için deprem master planında (İBB, 2003) belirtildiği gibi bölge, önümüzdeki 30 yıl içinde yaklaşık %65 olasılıklı olarak hasar yapıcı ve yıkıcı deprem tehdidi altındadır. Türkiye Deprem Bölgeleri haritasına göre İstanbul ili, Kadıköy ilçesi, Acıbadem mahallesinde yer alan dört katlı yığma binanın bulunduğu parsel, 1. Derece deprem bölgesindedir (Şekil 1).



Şekil 1. Marmara Bölgesi'nin deprem risk haritası, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı (1996). (Yıldız Kadıköy'deki yaklaşık lokasyonu göstermektedir)

Figure 1. Earthquake risk map of Marmara Region, Ministry of Environment and Urban Planning (1996). (Star shows approximately location area in the Kadıköy)

Depreme dayanıklı yapı tasarımında bu çalışmadaki örnek yığma binanın, sahip olması gereken minimum dayanım (yatay yük taşıma kapasitesi), analitik ve tasarım mukabele spektrumuna göre incelenmiştir. Sonuç olarak incelenen yapı, Deprem Yönetmeliği (2007)'e göre birinci derece deprem bölgesi kriterlerine göre incelenmiş, ülkemiz deprem bölgelerine göre kat adetlerinin sınırlanmış olması ile örnek dört katlı yığma binanın kat fazlalığının hasar potansiyeli hesaplanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Bilindiği gibi yapı, 3194 sayılı imar kanunu (1985)'nda "*karada ve suda, daimi veya muvakkat, resmi ve hususi yeraltı ve yerüstü inşaatı ile bunların ilave, değişiklik ve tamirlerini içine alan sabit ve müteharrik tesislerdir*" olarak tanımlanmaktadır. Bina ise, yine imar kanununda "*kendi başına kullanılabilen, üstü örtülü ve insanların içine girebilecekleri ve insanların oturma, çalışma, eğlenme veya dinlenmelerine veya ibadet etmelerine yarayan, hayvanların ve eşyaların korunmasına yarayan yapılardır*" diye tarif edilmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın binaların aşınma pay oranını gösterir cetvelindeki (BKK, 1982) sınıflandırmaya göre binalar dört gruba ayrılmışlardır. Bunlar;

- Çelik karkas, betonarme karkas binalar
- Yığma kagir, yığma yan kagir binalar
- Ahşap, taş duvarlı gecekondular vasfında binalar
- Kerpiç ve diğer basit binalardır.

Oysa teknik olarak taşıyıcı sistem ve taşıyıcı sistemde kullanılan malzemeler bakımından binaları dört ayrı grupta toplamak mümkündür:

- Betonarme-çelik karkas binalar
- Yığma kagir binalar
- Ahşap karkas binalar
- Karma binalardır.

2.1. Yığma Kargir Binalarda Deprem Riskinin Tanımlanması

Deprem Yönetmeliği (2007)'e göre, şiddetli depreme karşı Bina Önem Katsayısı $I=1$ için, gelecek 50 yıllık bir süre içinde aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremi altında yıkılma veya ağır hasar görme riski bulunan binaların riskli olduğu belirtilmiştir.

Can güvenliği performansı ölçümünde inşa edilecek ve mevcut yığma binalarda ise, yürürlükteki Deprem Yönetmeliği (2007)'ne göre; ilk olarak binaya ait parselin durumu ve bina hakkında 6306 sayılı kanuna (2012) göre, yeterli düzeyde inceleme (bilgi düzeyi) yapılması gerekir. Bu yönetmeliğe uygun hesaplama ile tüm katlarda ve özellikle, rijitliği diğer katlara oranla çok küçük olan, yanal ötelenmesi zemin tarafından tutulmamış en alt bina katı olan kritik katta, gerilme sınır değerlerinin mukayesesi sonucu yönetmelikte belirtilen “can güvenliği” performansı aranmalıdır. Buna göre yığma binalar performans analizi algoritması,

- a. Mevcut yığma binanın, mevcut projesine uygun yapıлып yapılmadığının tespiti, değilse binanın yerinde taşıyıcı sistem rölevesinin yapılması,
- b. Yığma binalarda yerinde duvar parçası örneği alınarak malzeme özelliklerinin belirlenmesi,
- c. Bina temelinin oturduğu zeminde gerekli zemin etütleri yapılmalı, projelendirme hesaplarında tespit edilen zemin parametrelerinin (zemin sınıfı, yerel zemin grubu, zemin taşıma gücü, zemin yataklanma katsayısı, etkin yer ivme katsayısı, zemin spektrum karakteristik periyodu vb.) belirlenerek mevcut binada kullanılan zemin parametreleri ile uygunluğunun incelenmesi,
- d. Yığma binanın yapıldığı tarihteki deprem yönetmeliğine uyumu kontrol edildikten sonra, yönetmelikte belirlenen ve ilgili maddelerinde tanımlanan hesap yöntemlerinin uygulanması ile üç boyutlu analizler yapılması, deprem etkisi altında binada oluşması beklenen hasar durumuna göre eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ve yine bina performans seviyesi belirlenerek analiz giriş ve çıkış verilerinin tamamı ile analizi açıklayan ilgili çizelge ve şekillerin tümü risk raporunda bulunması adımlarından oluşur.

Deprem Yönetmeliği (2007)'ne göre yığma binalarda herhangi bir katta uygulanan deprem kuvvetleri doğrultusunda duvarların kesme dayanımı, uygulanan deprem etkileri altında oluşan kesme kuvvetlerini karşılamaya yeterli olma koşulunu sağlamayan duvarların kat kesme kuvvetine katkısı, 6306 sayılı kanunun (2012) “Kentsel Dönüşüm Kanunu Uygulama Yönetmeliği Eki Riskli Yapı Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar” kapsamında, %50'nin altında çıkarsa, binanın “Can Güvenliği Performans Düzeyini” sağladığı kabul edilecektir (Şekil 2 ve 3).

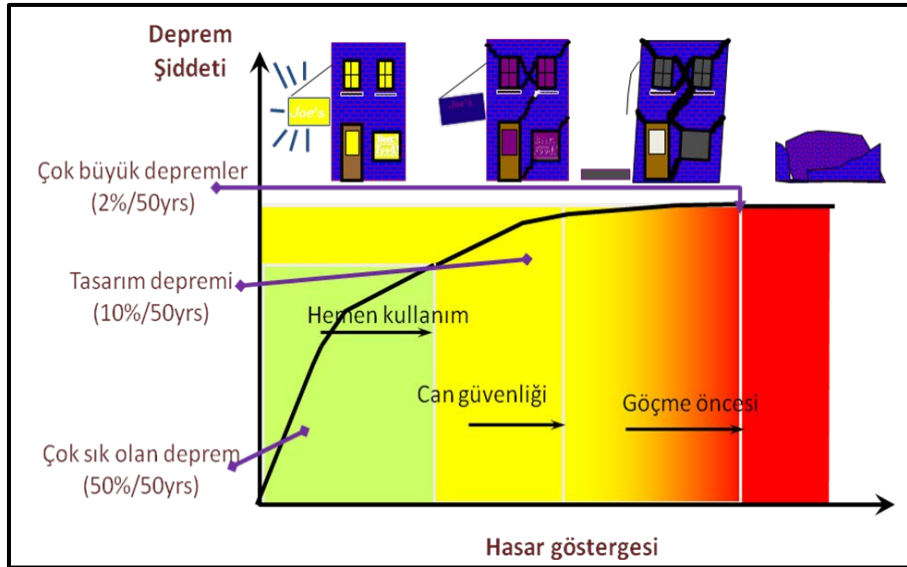
2007 yılı Deprem Yönetmeliğine göre Bina Türleri İçin Farklı Deprem Etkileri Altında Hedeflenen Performans Düzeyleri :

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, iletişim ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetimi merkezleri, vb.	HK	CG	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, mahkemeler, yurtlar, pansiyonlar, askeri konutlar, cezaevleri, müzeler, vb.	HK	CG	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	HK	CG	–
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	–	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	–	CG	–

Çok sık olabilecek küçük depremler	Tasarım depremi (orta - büyük depremler)	Seyrek olabilecek çok büyük depremler
Yeni yapılacak bina tasarım depreminin yarısı	Yeni yapılacak bina tasarım depremi	Yeni yapılacak bina tasarım depreminin 1,5 katı
50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumunun ordinatlarının yaklaşık yarısı olarak alınacaktır	Yeni yapılacak binalar ivme spektrumu 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem	50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme spektrumunun ordinatları ise spektrumun ordinatlarının yaklaşık 1,5 katı olarak kabul edilmiştir.

Şekil 2. Deprem Yönetmeliği (2007)'ne göre bina türleri için farklı deprem etkileri altında hedeflenen performans düzeyleri (Cısdık, 2012).

Figure 2. Targeted performance levels for building types under different earthquake impacts according to Earthquake Regulations (2007) (Cısdık, 2012).



Şekil 3. Depreme göre aranan performans kriteri (Cısdık, 2012).

Figure 3. Desired performance criteria according to an earthquake (Cısdık, 2012).

İnşa edilecek ve mevcut yığma binalarda bu yönetmelik koşulunun yani “Can Güvenliği Performans Düzeyi”nin sağlanması aranacaktır. Aksi durumda bina riskli bina olarak değerlendirilecek ve 6306 sayılı Kentsel Dönüşüm Kanunu (2012) kapsamında yıkılıp yeniden inşası veya güçlendirilmesi devletçe takip edilecektir. Diğer taraftan binalar, Deprem Yönetmeliği (2007)'ne uygun

projelendirildiklerinde yapım hatalarına karşı daha az hassasiyet gösterilebilir. Örneğin deprem kuvvetleri; $R_a=8$ katsayısı ile azaltılarak süneklik düzeyi yüksek olarak hazırlanmış betonarme-karkas taşıyıcı sistemli bir proje uygulama ve birleşim hatalarından dolayı deprem esnasında süneklik düzeyi normal bina ($R=4$) gibi davranabilir. Bu da örneğin 150 ton yatay kuvvete göre tasarlanmış kattaki yapı elemanlarının 300 ton yatay yük alması ile eşdeğer kötü sonuç oluşturabilir. Yığma binalarda ise deprem kuvvetleri $R_a=2$ katsayısı ile azaltılır. Bu katsayı yığma binaların uygulama ve birleşim hatalarına karşı güvenli tarafta kalınmasını sağlamıştır. Yığma binaların sünekliği ve dayanımı bina köşelerinde ve/veya duvar ara kesitlerine düşey hatlarla uygulanmasıyla artırılabilir.

Bu şekilde mevcut ve inşa edilecek binalarda riskin süreçleri şöyledir. Bu konuda yetkilendirilmiş Çevre Şehircilik Bakanlığı Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Hizmetleri Genel Müdürlüğü, “Riskli Yapı Tespit Analizi Raporu” denetiminde sırasıyla; belgeler, yapı genel bilgileri, yapıdan bilgi toplanması, riskli yapı tespit analizi, zemin etüt raporu ve yığma yapı analizi hazırlanmaktadır. Aynı yönetmelik ve ek esaslarda yığma binalar için hükmedilen risk unsurları ise;

- a. Deprem bölgelerinde müsaade edilen kat sayısından fazla kat yapılması,
- b. Duvar kalınlıklarının öngörülen kat sayısına göre yönetmelikte öngörülenden düşük kalınlıkta yapılmış olması-yeterli kalınlıkta olmaması,
- c. Duvar kerpiç-tuğla malzemelerinin, bağlayıcı harçlarının standart mukavemet özelliğinin düşük olması,
- d. Kargir malzemenin, tuğlanın yeterli standart (TSE) ve mukavemette olmaması,
- e. Büyük kapı pencere boşluklarının olması, belirlenen yönde dolu duvar uzunluğu oranının $(L_d/A)>0,2 \times I'$ dan büyük olması,
- f. Planda taşıyıcı duvarların simetrik olmaması durumunda her iki ekseninde kayma rijitlik merkezi ve kat burulma momentlerinin oluşması,
- g. Duvar-duvar ve duvar-döşeme bağlantılarının zayıf olması (bağlantıların bulunduğu yerde çatlak veya hasar olması, hatıl bulunmaması),
- h. Rijit diyafram davranışı gösteren bir döşeme olmaması (sadece betonarme döşemelere sahip yığma yapıların bu tip davranış gösterdiği kabul edilecektir),
- i. Yığma duvarlarda dışa doğru düzlem dışı deforme olması,
- j. Döşemelerin hatıl olmaksızın duvarlara mesnetlenmesi,
- k. Beşik örtü çatılarda kalkan duvarların hatılsız sonlanması,
- l. Çatının toprak tavan döşemesi kaplanması,
- m. Duvar altı temel olmaması,
- n. Kat yüksekliklerinin 3 m’den fazla olması,
- o. Bina köşeleri dışında pencere ve kapı boşlukları arasında kalan dolu duvar parçalarının plandaki uzunluğu birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde 1 m’den, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde 0.80 m’den az olması,
- p. Bina köşesine yakın pencere-kapı ile bina köşesi arasındaki mesafenin 3. ve 4.derece deprem bölgelerinde 1 m’den, 1.ve 2. derece deprem bölgelerinde 1,50 m’den az olması, olarak ifade edilmiştir.

Bu yönetmelikteki asıl amaç, büyük depremlerde (tasarım depreminde $M>6$) “Can Güvenliği Performans Düzeyi”nin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal-göçme durumunun önlenmesidir.

3. ÖRNEK 4 KAT YIĞMA YAPININ GENEL BİLGİLERİ

İncelenen örnek yığma bina; İstanbul ili, Kadıköy ilçesi, Acıbadem mahallesi, 154 pafta, 627 ada, 12 parselde bulunan, dört katlı ve 923 kimlik numaralı bir yapıdır (Şekil 4).



Şekil 1. İncelenen binanın önden görünüşü.
Front view of the masonry building.

Figure 4.

Analiz yapılan söz konusu riskli yığma bina, AFAD (2017) verisine göre, birinci derece deprem bölgesindedir ve yaklaşık 56 yaşındadır. Bina, bir zemin kat ve iki normal kat ile bir çatı katından oluşmaktadır. Binanın oturma alanı yaklaşık 135 m², toplam kullanım alanı ise 450 m² dir. Binadaki kat yükseklikleri zemin ve normal katlarda 2,80 m, çatı katında 2,50 m olmak üzere, yapının toplam yüksekliği 10,90 m'dir. Binanın tavan ve tavan döşeme durumu oldukça kötüdür (Şekil 5 ve 6). Ayrıca binanın taşıyıcı duvarları zayıf ancak içerisinde yer alan tuğla tipi taşıyıcı özellikleri bakımından oldukça iyidir (Şekil 7 ve 8). Yapının zemin (Çizelge 1) ve taşıyıcı sistem mekanik özellikleri aşağıda yer alır. Taşıyıcı sistem özelliklerini gösteren tüm katların röleveleri ve 3D görüntüsü de çıkarılmıştır (Şekil 9, 10, 11 ve 12).

- Binanın duvar kalınlıkları 20 cm'dir.
- Deprem yükü azaltma katsayısı olarak $R_a(T)=2$,
- Spektrum katsayısı $S(T)=2,5$,
- Betonarme döşemenin birim hacim ağırlığı 25 kN/m³,
- Duvarlarda kullanılan malzemenin yığma birim hacim ağırlığı 18 kN/m³, olduğu öngörülmüştür.
- Binanın betonarme plak döşeme kalınlığı 13 cm belirlenmiştir.
- Binada betonarme yatay hatıllar mevcut olup; 20x40 cm ebatlarındadır.

Binada kullanılan yığma malzemesi türü düşey delikli blok tuğla (delik oranı %35 ten az)'dır.



Şekil 2. Binanın tavan döşeme durumu.

5. Illustration of ceiling of headlining the masonry building.

Figure



Şekil 3. İncelenen yapının betonarme tavan görünümü.

6. Reinforced concrete ceiling of the masonry building.

Figure



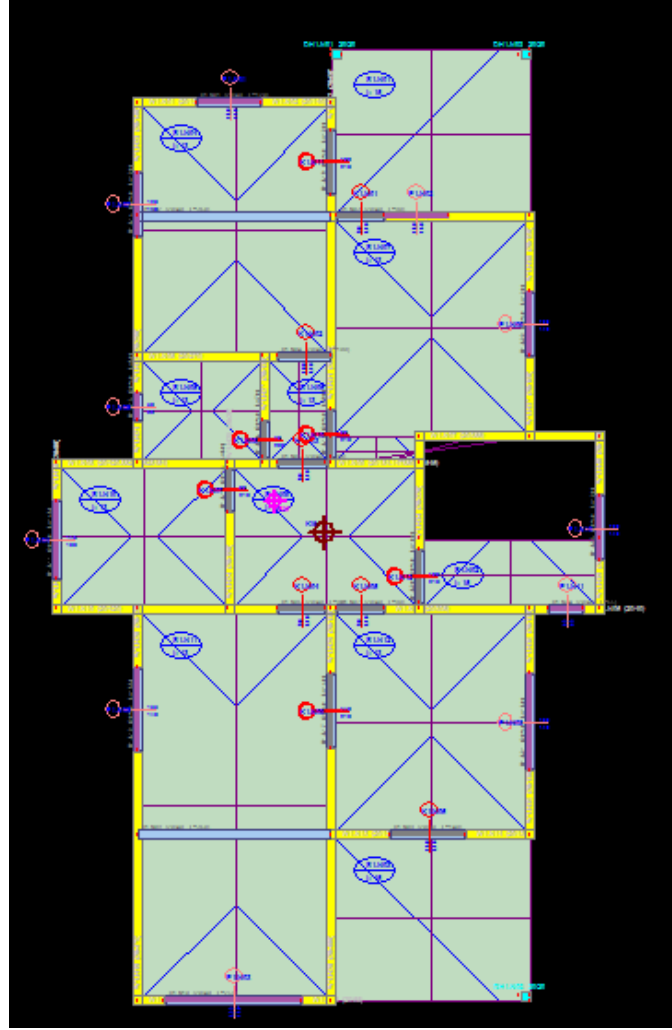
Şekil 4. İncelenen binada taşıyıcı duvar tespiti.
7. Determination of load-bearing wall in the masonry building.

Figure



Şekil 5. Yapıda kullanılan taşıyıcı tuğla tipinin görüntüsü.
8. View of load-bearing brick in the masonry building.

Figure



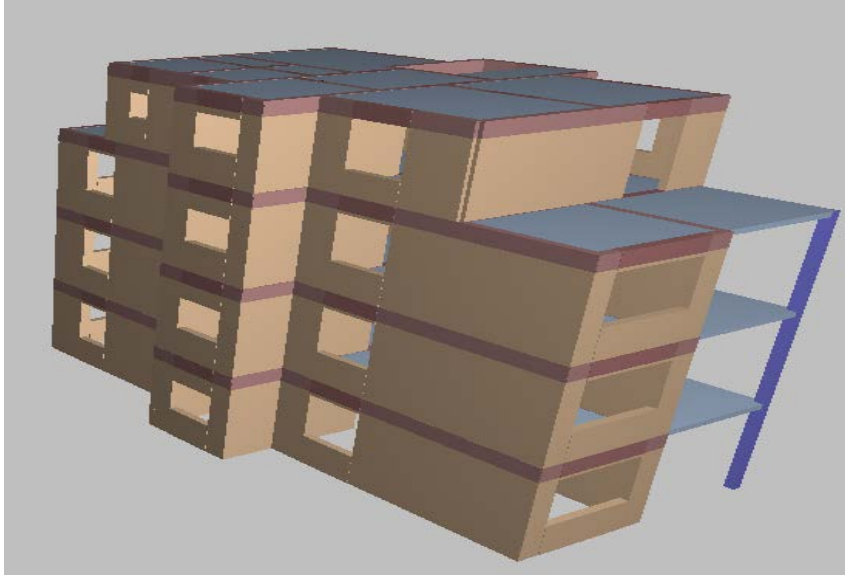
Şekil 6. Normal kat rölevesi
9. Relievo of typical floor.

Figure

Çizelge 1. İncelenen binanın zemin özellikleri.
1. Ground properties of the masonry building.

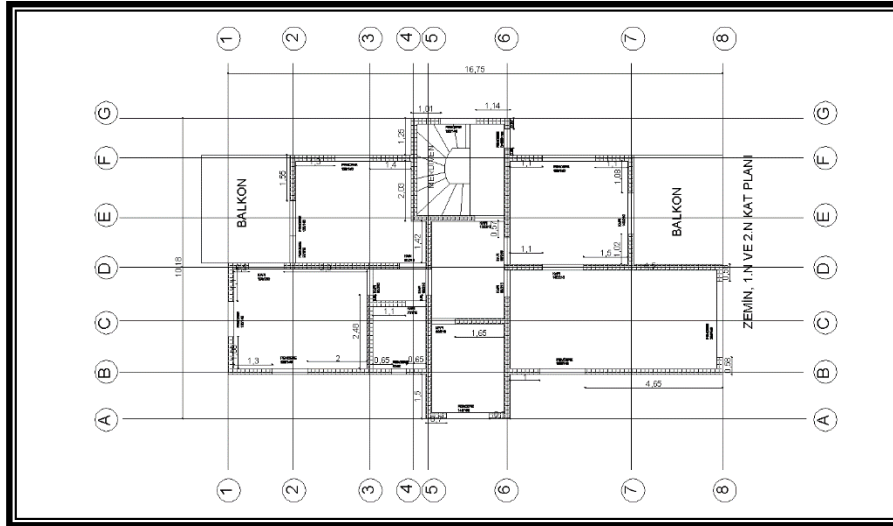
Table

Deprem bölgesi	1
Etkin yer ivmesi (A_0) (g)	0,4
Bina önem katsayısı (I)	1,0 (Konut)
Yerel zemin sınıfı	Z3 (C)
Spektrum karakteristik Periyotları (s)	TA=0,15 TB=0,60 To=0,40
Zemin yatak katsayısı (t/m^3)	2175
Zemin emniyet gerilmesi (t/m^2)	13,2



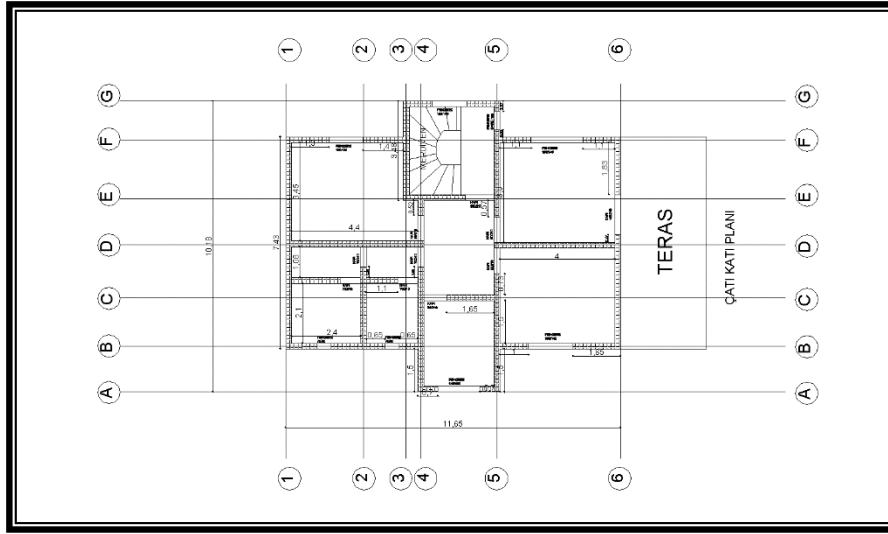
Şekil 7.Yapının 3D görünüşü (Ön ve sol cephe)
3D illustration of the masonry building (Front and left sides)

Figure 10.



Şekil 8. Zemin kat röleve planı
11. Relievo plan of ground floor.

Figure



Şekil 9. Çatı kat röleve planı
12. Relievo plan of roof floor.

Figure

İncelenen yığma yapının yapı analizi hesaplama yönteminde, taşıyıcı duvarlarının temellere yük aktarımından oluşan eksantrisitesi, tahkik amaçlı olarak analitik hesapta dikkate alınmamıştır. Yapının düşey yükler altında normal gerilmelerinin kontrolü, normal basınç gerilmeleri ile azaltılmış basınç emniyet gerilmelerinin karşılaştırması yapılmıştır. Yapının yatay yüklerle oluşan kayma gerilmeleri ise, kayma emniyet gerilmesiyle karşılaştırılmış ve bunların emniyet değerlerini aşıp aşmadığının kontrolü yapılmıştır. Taşıyıcı duvarların yük aktarımından gelen eksantrisite dikkate alınmadan yapılan hesaplamalar sonucunda; mevcut dört katlı yığma binanın Deprem Yönetmeliği (2007) ve riskli yapılar tespit tebliğine göre “Can Güvenliği Performans Düzeyi”ni sağladığı görülmüştür.

Yığma yapının STA4-CAD (13.1 sürüm-2015) paket programı yığma modülü ile yapı analizi için, STA4-CAD yığma bina analizi makro modelleme yöntemi kullanılır. Bu çalışmada aynı zamanda modellemede amaç dikkate alınarak TS500 (2000), TS498 (1997) standartlarına ve Deprem Yönetmeliği (2007)’ne uygun tasarım gerçekleştirilmiştir. Bina taşıyıcı duvarlarının temellere yük aktarımından oluşan eksantrisite, tahkik amaçlı olarak STA4-CAD yığma paket programı ile yapılan hesapta dikkate alınmıştır. Ayrıca yapılan hesaplarda temel zeminin Z3 zemin sınıfında olduğu kabul edilmiştir. Buna bağlı olarak zemine bağlı spektrum periyodu T_a/T_b 0.15/0.60 (Deprem Yönetmeliği, 2007) (Çizelge 2) olarak belirlenmiştir. Temel zeminin orta sıkılıkta kum olmasından dolayı zemin yatak katsayısı 2175 t/m³, zemin emniyet gerilmesi 13,2 t/m² olarak alınmıştır. Hareketli yük azaltma katsayısı ise konut için 1.00’dir.

Çizelge 2. Binanın yapı bilgisi

Table 2. Structural data of the masonry building.

KAT ADEDİ.....	: 4
Bir kattaki KOLON SAYISI.....	: 0
X yönlü aks sayısı.....	: 10
Y yönlü aks sayısı.....	: 8
DEPREM KATSAYISI.....(A ₀)	:0.4
YAPI TİPİ KATSAYISI.....(R)	:2.0
YAPI ÖNEM KATSAYISI.....(I)	:1.0
SPEKTRUM KAREKTERİSTİK PERİYODU.(T _a /T _b)	:0.15/0.6
HAREKETLİ YÜK KATSAYISI.....(n)	:0.3
SIFIR RÖLATİF HAREKET YÜKSEKLİĞİ (m)	:0.00
HAREKETLİ YÜK AZALTMA KATSAYISI.....(C _z)	:1.0
ZEMİN EMNİYET GERİLMESİ..... (t/m ²)	:13.2
ZEMİN YATAK KATSAYISI..... (t/m ³)	:2175.0
BETON YOĞUNLUĞU.....(t/m ³)	:2.5
GENLEŞME ISI FARKI.....(°C)	:0.0
STATİK ANALİZ YÖNTEMİ	:LINEER ANALİZ
DEPREM STANDARDI	:TDY2007 CODE
BETONARME HESAP YÖNTEMİ	:TAŞIMA GÜCÜ YÖNTEMİ TS500-2000
BETONARME KESİT DONATI HESAP YÖNTEMİ	:BRÜT KESİTE GÖRE
DEPREM HESABI YÖNTEMİ	:YARI DİNAMİK ANALİZ
TEMEL ANALİZ OPSİYONU.....	:TEMELLER DİKKATE ALINMADAN, YAPI ANALİZİ
Zemin gerilmesi hareketli yük azaltma değeri	:0.95
Zemin gerilmesi deprem artırım oranı.....	:0.50
Zemin gerilmesi rüzgar artırım oranı.....	:0.25
Kolonun oturduğu kiriş tesir çarpanı.....	:1.50
Kiriş & Kolon rijitlik bölgesi opsiyonu.....	: Yarı Sonsuz Rijit davranış
Kiriş uçlarında elastik ankastrelik opsiyonu	: Elastik ankastre
Çatlamış kesit opsiyonu.....	:I _{gb} = 0.4, I _{gc} =I _c ·(0.0+4·N _d /(A _c ·f _c))/3, 0.4<I _{gc} <0.8

Hesaplamalarda deprem bölgelerinde yapılan, yapay malzemeli taşıyıcı tuğla duvarlar ile oluşturulan yığma binaya yatay ve düşey yükler uygulanmıştır. Aynı zamanda bu binanın boyutlandırılması ve donatılması bu konuda yürürlükte olan ilgili standart ve yönetmeliklere uyularak yapılmıştır. Malzeme karakteristik özellikleri ile analizlerde dikkate alınan taşıma gücü malzeme ve yük katsayıları Çizelge 3 ve 4’de verilmektedir.

Çizelge 3. Binanın STA4-CAD programındaki yapı bilgisi.

Table 3. Structural data of the masonry building in STA4-CAD program.

BETON ve ÇELİK MALZEME BİLGİLERİ					(kg/cm ²)			
Yapı Elemanı	Malzeme	Elastisite Modülü E	G	Beton dayanım gerilmesi	Çelik akma gerilmesi (Genel)	gerilmesi (Etriye)	Birim Ağırlık t/m ³	
Plak/Nervür	E1	C20	285000	114000	200	4200	2.50	
HNP		C20	285000	114000	200	4200	2.50	
Temel		C20	285000	114000	200	4200	2.50	
Kiriş\Kolon	E1	C20	285000	114000	200	4200/ 5000	2.50	
Yığma Duvar	E2	Tuğla	8000	3200	f _{em} =10.0, τ _o =2.50	200	1.80	

UNP : Hazır Nervürlü Plak

Çizelge 4. Yapının taşıma gücü malzeme katsayıları.

Table 4. Material coefficients of bearing capacity of the masonry building.

TAŞIMA GÜCÜ MALZEME KATSAYILARI	BETON	ÇELİK
YENİ ELEMANLAR	1.50	1.15
PERFORMANS HESABI TUM ELEMANLAR	1.00	1.00
TAŞIMA GÜCÜ YÜK KATSAYILARI	SABİT YÜK	HAREKETLİ YÜK
	1.40	1.60

Kat kütleleri, rijitlik merkezi ve hesaplanan eşdeğer deprem kuvvetleri Çizelge 5 ve 6'da özetlenmiştir.

Çizelge 5. Yapının kat kütlesi, rijitlik merkezi ve deprem kuvveti.

Table 5. Floor mass, stiffness center and earthquake load of the masonry building.

KAT KÜTLESİ ve RİJİTLİK MERKEZİ (t)										
Kat (dyf)	H (m)	W _g	W _q	n	R _{Rx/Ry}	X _g (m)	X _r (m)	Y _g (m)	Y _r (m)	Σ W _k
4	10.90	108.17	18.19	0.30	2.	7.80	7.44	-3.67	-3.32	113.622
3	8.40	152.20	26.34	0.30	2.	8.08	8.40	-3.62	-3.38	160.101
2	5.60	153.30	26.34	0.30	2.	8.07	8.40	-3.61	-3.38	161.199
1	2.80	154.51	26.34	0.30	2.	8.07	8.40	-3.65	-3.38	162.410

ΣWt = 597.332

EŞDEĞER DEPREM FORMÜLÜ $F_{di} = (V_t - F_t) \frac{W_i \cdot H_i}{\sum W_i \cdot H_i}$

Çizelge 2. Yığma yapıdaki duvarların kat kesme kapasite kontrolü.

Table 6. Checking the shear capacity of masonry walls.

YIĞMA DUVARLARIN KAT KESME KAPASİTE KONTROLÜ (Ra=2)							Yetersiz kesme kapasite Oranı
KAT	ΣV _r	ΣV _e	ΣV _e (V _e >V _r)	ΣV _r	ΣV _e	ΣV _e (V _e >V _r)	
1	372.63	298.67	83.08	296.04	298.67	170.07	× Riskli kat %57>%50
2	321.00	264.20	73.62	253.90	264.20	152.19	× Riskli kat %58>%50
3	269.03	195.79	27.65	211.68	195.79	79.60	✓ Risksiz kat %41<%50
4	189.70	93.86	0.00	194.24	93.86	0.00	✓ Hemen kullanım

Yığma yapı performansı: Kritik Kat=2, (%57.6>%50) Riskli yapı kapsamına girmektedir. ×

Eşdeğer deprem yükleri altında hesaplanan kesme kuvvetlerine göre her kat için yığma duvarlardaki kesme kapasite kontrolleri Çizelge 7'de sunulmaktadır.

Çizelge 7. Yığma yapının performans raporu.

7. Performance report of the masonry building.

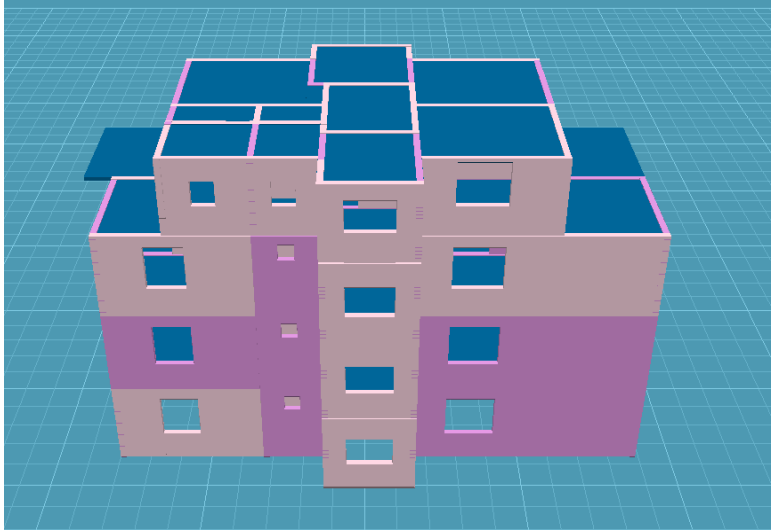
Table

YIĞMA YAPI PERFORMANS RAPORU

YAPI PERFORMANSI KONTROL YÖNTEMİ	: RİSKLİ BİNALARIN TESBİTİ YÖNETMELİĞİ
BINA BİLGİ DÜZEYİ KATSAYISI	: 0.9
HAREKETLİ YUK AZALTMA ORANI	: 0.3
TASARIM SPECTRUM CARPANI	: 1.0
(Deprem aşılma olasılığı, 50 yılda %10)	
YIĞMA DUVAR HESAPLAMA MODELİ	: DUVAR PARÇASI
YIĞMA DUVAR İKİ BOŞLUK ARASI YÜKSEKLİK OPSİYONU	: BOŞLUK YÜKSEKLİĞİ
YIĞMA DUVAR PARÇASI DİK DUVAR RİJİTLİK OPSİYONU	: 1.2 A / Hw
MEVCUT BETON MALZEMESİ	: E2: Tuğla $f_{cm}=10$ (kg/cm ²), $E=8000$ (kg/cm ²), $g=1.8$ (t/m ³)
YAPI LINEER KAPASİTE HESABINDA R=2 ALINARAK ÇÖZÜM YAPILMIŞTIR.	
PERFORMANS KAPASİTE HESAPLARI, MALZEME DAYANIM DEĞERLERİNE GÖRE YAPILMIŞTIR. (f_{ck}, f_{yk})	

Yığma yapılarıdaki malzeme seçimleri Deprem Yönetmeliği (2007)'ne bağlı kalınarak yapılmıştır. Yığma yapılar genel olarak taşıyıcı duvar ve taşıyıcı olmayan duvarlardan meydana gelir. Bu duvarların yapı elemanı olarak taşıyıcı tuğla tercih edilmiştir. Taşıyıcı duvarlar için malzeme sınıfı olarak E2 (8000 kg/cm²) ve $f_{cm}=10$ kg/cm² belirlenmiştir. Duvarlarda taşıyıcı tuğla tercih edilmiştir.

Mevcut, örnek dört katlı yığma binanın Deprem Yönetmeliği (2007)'ne göre "Can Güvenliği Performans Düzeyi"ni sağlamadığı görülmüştür. Koyu turuncu bölgeler Can Güvenliği Performans Düzeyi'nin aşıldığı bölgelerdir (Şekil 13).



Şekil 13. STA4-CAD programında riskli duvarların görünümü.
13. Illustration of risky walls on the STA4-CAD program.

Figure

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada İstanbul ili, Kadıköy ilçesi, Acıbadem mahallesi, 154 pafta, 627 ada, 12 parselde bulunan yığma teknikle inşa edilmiş örnek dört katlı yığma binanın, Deprem Yönetmeliği (2007) esaslarına göre performans analizi hem analitik yöntem ile hem de STA4-CAD paket programı yığma modülü ile yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Depremle oluşan yüklenmelere ilave olarak eksantrisite, rüzgâr, kar vb. yükleri dikkate almadan yapılan analitik hesapta bina sınıra yakın "Can Güvenliği Performans Düzeyi"ni sağlamış görünürken, eksantrisite deprem ve diğer tüm yüklenmelerin dikkate alındığı STA4-CAD yığma modülü ile yapılan hesaplama sonucunda, inceleme yapılan örnek dört katlı yığma binanın Deprem Yönetmeliği (2007)'ne göre "Can Güvenliği Performans Düzeyi"ni sağlamadığı görülmüştür.

Yine, Deprem Yönetmeliği (2007) madde 5.4.6.1'de, "*Bina köşesine en yakın pencere ya da kapı ile bina köşesi arasında bırakılacak dolu duvar parçasının plandaki uzunluğu birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde 1.5 m'den, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde 1.0 m'den az olamaz*" şartına göre, bina köşe duvarlarındaki uzunluk şartı sağlanamamıştır.

Deprem Yönetmeliği (2007) madde 5.4.6.2'e göre, "*Bina köşeleri dışında pencere ve kapı boşlukları arasında kalan dolu duvar parçalarının plandaki uzunluğu birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde 1.0 m'den, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde 0.80 m'den az olamaz*" şartı, zemin katın bazı duvarlarında sağlanamamıştır.

Deprem Yönetmeliği (2007) madde 5.2.2 şartı, 1. Derece Deprem bölgelerinde müsaade edilen kat sayısı 2 olması gerekirken, 4 kat yapılarak bu şart sağlanamamıştır.

Modelleme yapılırken üretilmiş olan röleve projeye birebir benzetilmeye çalışılmıştır. Yığma binalarda duvarlar taşıyıcı görevi gördüğünden ve yapıda döşeme hariç donatı kullanılmadığından, yapının süneklik düzeyi oldukça düşük çıkmaktadır. Deprem Yönetmeliği (2007)'nce de kontroller sağlandığında örnek dört katlı yığma bina göçme öncesi performans seviyesinde riskli yığma bina olarak tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmanın konusu olan dört katlı yığma binanın yapılan analizlerine göre deprem riskinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında, tek düze analitik yöntemin olabildiğince farklı bilimsel yöntemlerle kontrol edilmesi gerekmektedir. Yapılan kabullere bağlı olarak, analitik yöntemle "Can Güvenliği Performans Düzeyi" sağladığı öne sürülen binaların, eksantrisite, rüzgâr, deprem vd. yüklerin dikkate alındığı statik-dinamik bina hesapları-paket bilgisayar statik-dinamik bina program hesapları ile performanslarının doğrulanması gerekliliği görülmektedir. Buna göre özellikle deprem bölgelerindeki mevcut yığma binalar üzerinde gerekli performans analizleri birkaç yöntemi kapsayacak şekilde yapılmalı, performansı istenen seviyede olmayan binalar ya güçlendirilmeli ya da Deprem Yönetmeliği (2007)'nde belirlenen deprem bölgelerine uygun yapım koşullarında yeniden inşa edilmelidir.

KAYNAKLAR

- AFAD, 2017. Türkiye deprem bölgeleri haritası. Ulusal Deprem Araştırma Programı (UDAP), Ankara.
- BARKA, A.A., 1981. Seismo-tectonic aspects of the North Anatolian Fault Zone, University of Bristol, Thesis of PhD, 335s.
- BARKA, A.A., 1992. The North Anatolian Fault zone, Ann. Tectonicae, 6, 164-195.
- BKK, 1982. 02.12.1982 tarih 17886 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Bakanlar Kurulunun 8/5525 Sayılı Kararı.
- BAYINDIRLIK VE İSKÂN BAKANLIĞI, 1996. Deprem bölgeleri haritası. Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Ankara.
- CISDIK, M., 2012. Mevcut binalarda yapı güvenliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Ders Notları, Antalya.
- DEPREM YÖNETMELİĞİ, 2007. Afet bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik. Resmî Gazete, 26582, Ankara.
- İBB, 2003. İstanbul İçin Deprem Master Planı. İBB Planlama ve İmar Dairesi, Zemin ve Deprem İnceleme Müdürlüğü, 1344s, İstanbul.
- RYTE, 2013. Riskli yapıların tespit edilmesine ilişkin esaslar. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- ŞENGÖR, A.M.C., 1980. Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları. T.J.K konferans serisi, 2: 1-40.
- TS498, 1997. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri. Türk Standartları Enstitüsü, 2. Baskı, 24s., Ankara.
- TS500, 2000. Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, 1. Baskı, 75s., Ankara.
- 3194 SAYILI KANUN, 1985. İmar Kanunu. Resmi Gazete, Tertip 5, Cilt 24, 18749, Ankara.
- 6306 SAYILI KANUN, 2012. Afet riski altındaki alanların dönüştürülmesi hakkındaki kanun. Resmi Gazete, Tertip 5, Cilt 52, 28309, Ankara.

DENİZ SUYU BASINCINA KARŞI İNŞA EDİLECEK BİR YERALTI YAPISI: KABATAŞ AKTARMA MERKEZİ

An Underground Structure Constructed against Seawater Pressure: Kabataş Transfer Centre

Yalçın EYİĞÜN¹

ÖZET

Bu çalışmada İstanbul'da farklı toplu ulaşım modlarının kesiştiği bir kavşak noktası olan Kabataş Aktarma Merkezi yenilenmesi ve denizden dolgu marifetiyle alan kazanılması projesi incelenmiştir. İnşaat süresinde ve sonrasında karşılaşılabilecek hidrolik ve geoteknik sorunlar analiz edilmiş ve çözüm sunulmuştur. Deniz suyu seviyesinin yaklaşık 13 m altına kadar inen yapıda yolcu entegrasyon alanları, geçiş koridorları, bilet holleri, zorunlu ihtiyaçlar için ticari alanlar ve otopark alanları oluşturulacaktır. Bu yapının deniz suyunun sebep olacağı problemlere karşı emniyetli hale getirilmesi zorunludur. Proje alanının jeolojik ve geoteknik koşulları incelendiğinde ana kaya üzerinde yer alan ve kalınlığı 6,5 m ile 16,80 m arasında değişen güncel çökeller seddeyi oluşturacak dolgu için emniyetli tabanı oluşturmadığı, yapılan şev stabilite analizi ile tespit edilmiştir. Çözüm olarak jet grout kolonlarıyla güncel çökellerden oluşan zemin ortamın ıslahı önerilmiş ve bu durum analiz edilmiştir. Deniz suyunun sedde dolgu malzemesi içinden uzun vadede ilerlemesi riskine karşı; kayaya soketli teğet betonarme fore kazıklı bir bariyer çözümü önerilmiştir. Bu kazıkların imalatında düşeyden sapma ihtimaline karşı kazık aralarından sızmanın önlenmesi için ilave bir tıkaç elemanı olarak ön (deniz) ve arka (yeraltı yapısı) yüzlerinin kesişen teğet jet grout kolonlarıyla desteklenmesi öngörülmüştür.

ABSTRACT

In this study, the reconstruction and acquiring space by means of filling from the sea Project of the Kabataş Transformation Center, an intersection point of different modes of public transportation in Istanbul, have been examined. Hydraulic and geotechnical problems that may be encountered during and after the construction are analyzed and solutions are presented. Passenger integration areas, passage corridors, ticket halls, commercial areas for compulsory needs and parking areas will be established in the building which is about 13 m below sea level. It is necessary to make this structure safe from the problems caused by sea water. When the geological and geotechnical conditions of the project area are examined, it is determined by the slope stability analysis that the current sediment layer, which is located on the bedrock and has a thickness ranging from 6.5 m to 16.80 m, does not constitute a safe base for filling. As a solution, improvement of this layer with jet grout columns was proposed and analyzed. Against the risk of sea water intrusion through the filling material in the long period; a barrier solution with bored piles has been proposed that is rock socketed tangential reinforced concrete. It is envisaged that the front (sea side) and rear (underground structure side) faces of the piles will be supported by cross tangential jet grout columns as an additional plug element to prevent sea water intrusion due to possibility of vertical deviation during the construction of piles.

GİRİŞ

İstanbul'da farklı toplu ulaşım modlarının en önemli kavşak noktalarından birisi Kabataş'tır. Kabataş'ta karayolu ana arterinin iki tarafında olmak üzere deniz ulaşımı, belediye otobüsü ve taksi durakları, Kabataş-Bağcılar tramvayı ve Taksim-Kabataş Füniküler sistemi kesişmektedir (Şekil 1). İnşaatı devam eden Kabataş – Mahmutbey Metrosunun ilk istasyonu da burada hizmete açılacaktır. Mevcut durumda son derece dar bir alana sıkışmış, konforu düşük olan bu ulaşım entegrasyon noktası;

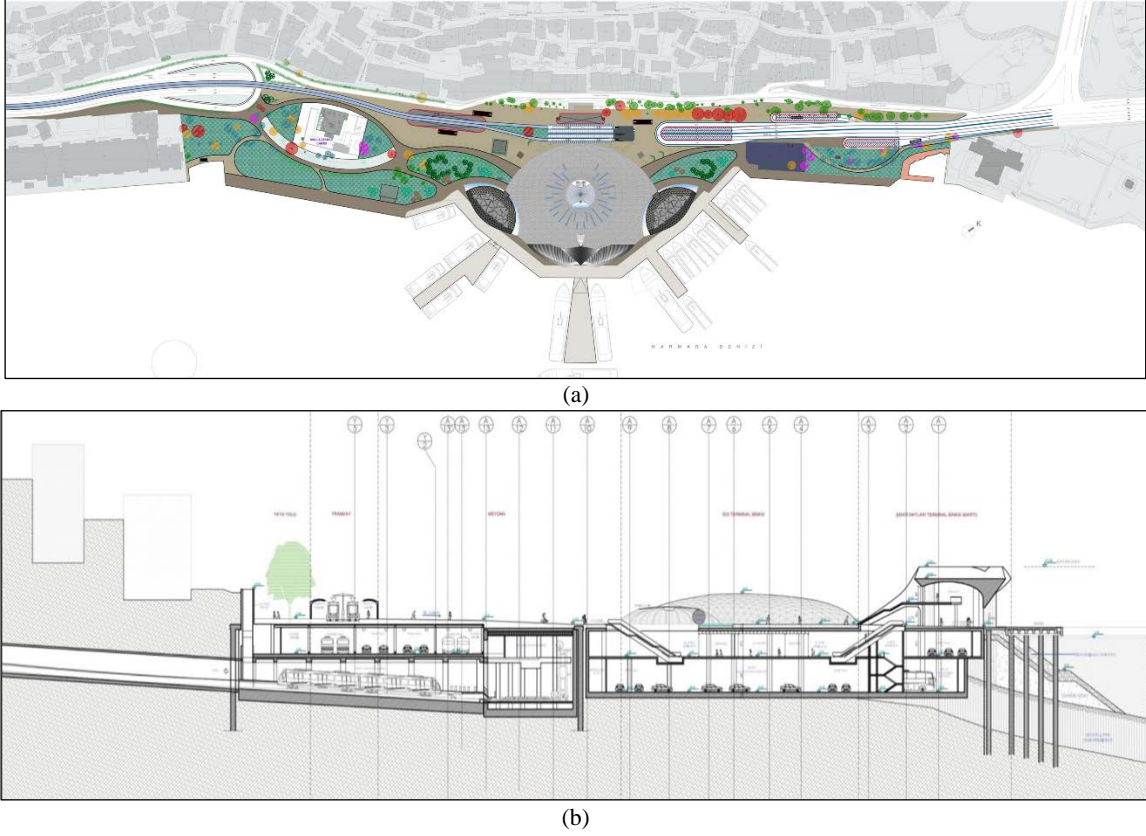
¹ Analitik Ulaşım Çözümleri San. ve Tic. AŞ. İçerenköy Mah. Çayır Cad. Partaş Center, No: 1/4 K.3, Ataşehir-İSTANBUL

e-mail: yalcineyigun1@gmail.com

*İlgili yazar / Corresponding author: yalcineyigun1@gmail.com

Gönderim Tarihi: 23.04.2018

Kabul Tarihi: 17.05.2018



Şekil 2. Kabataş Aktarma Merkezi projesi: (a) Plan görünüşü, (b) Enine kesit görünüşü (Kıran H. Mimarlık, 2016)

Figure 2. Kabataş Transfer Center: (a) Plan view (b) Cross section view (Kıran H. Mimarlık, 2016)

PROJENİN DENİZ TARAFININ KOŞULLARI

Dalga ve Akıntı Koşulları

Proje sahasındaki dalga ve akıntı şartlarını belirlemek için İTÜ (2012) tarafından yapılan çalışmada lodos fırtınalarında dalga yükseklikleri nedeniyle bölgedeki mevcut tesislerde operasyonların durmak zorunda kaldığı ifade edilmiştir. Bölge açıklarında, belirgin yükseklik cinsinden 1,0 metre dalga yüksekliği ilgili çalışmada dile getirilmiştir. Fırtına durumunda bu değer iki katına yaklaşan yükseklikte dalgaların gözlenmesi söz konusu olabilecektir. Proje bölgesinde akıntı hızları olarak 1,0 knota ulaşan değerler verilmiştir.

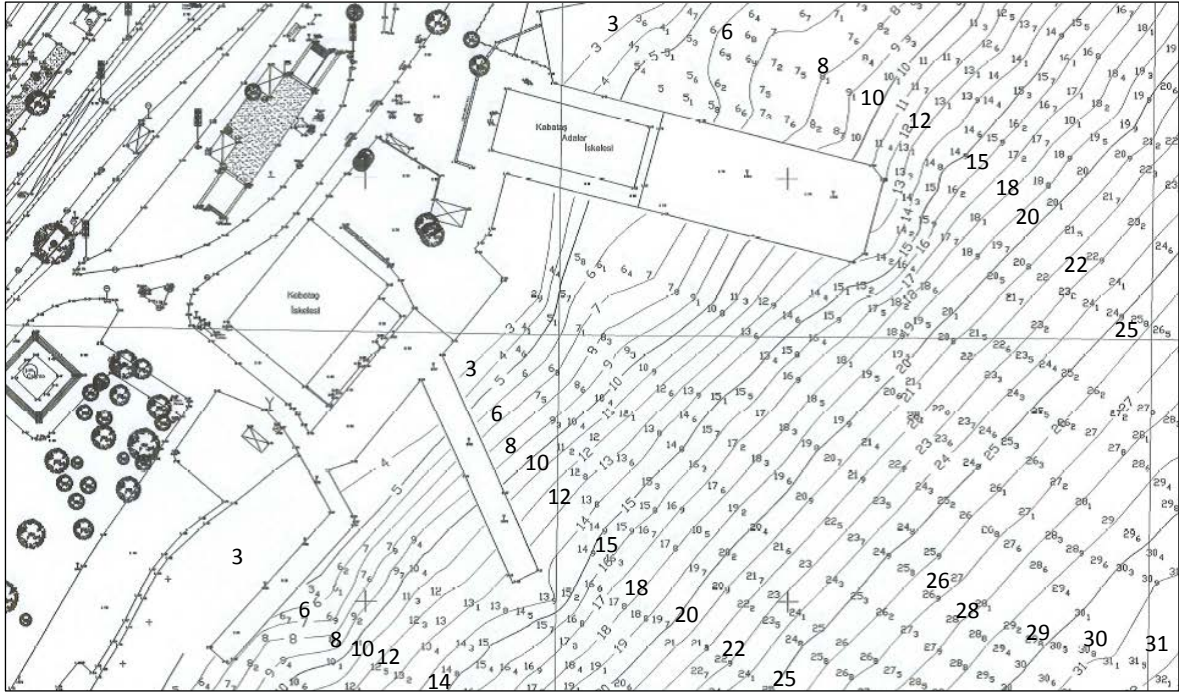
Bu çalışma kapsamında sahada çekilen dalga fotoğrafları Şekil 4'de verilmektedir. Operasyonel problemlerin en aza indirilmesi için dalga yansıma etkilerinin azaltılması gerekmektedir. Buna göre, kıyı boyunca dalga emici yapı sistemleri tercih edilmesi gereklidir. Proje sahasında su derinlikleri dalga yüksekliklerine oranla büyük olduğundan, dalga kırılması ve kırılma kaynaklı yüksek yüklenme halleri beklenmemektedir.

Batimetri

Proje sahasının 07.11.2011 tarihinde yapılmış detaylı bir batimetrik ölçümü bulunmaktadır (Şekil 5). Proje sahasının merkez bölgesinde hızlı derinleşme ve dik taban eğimleri görülmekte, sahanın kenar bölgelerinde ise daha yumuşak taban eğimleri gözlenmektedir. Yapılacak rıhtım hattı boyunca su derinlikleri 10 metrenin altındadır ancak iskelelerin uç bölümlerinde 25 metre derinliklerine ulaşılmaktadır. Tesisi kullanacak olan teknelerin su kesimi ihtiyaçları herhangi bir tarama ihtiyacı

Deniz Suyu Baskısına Karşı Koyarak İnşa Edilecek Bir Yeraltı Yapısı: Kabataş Aktarma Merkezi
An Underground Structure Constructed Against Seawater Pressure: Kabataş Transfer Centre

Şekil 4. Kabataş Aktarma Merkezi proje alanından çekilen dalga fotoğrafları
Figure 4. Wave photographs taken from Kabataş Transfer Center project area

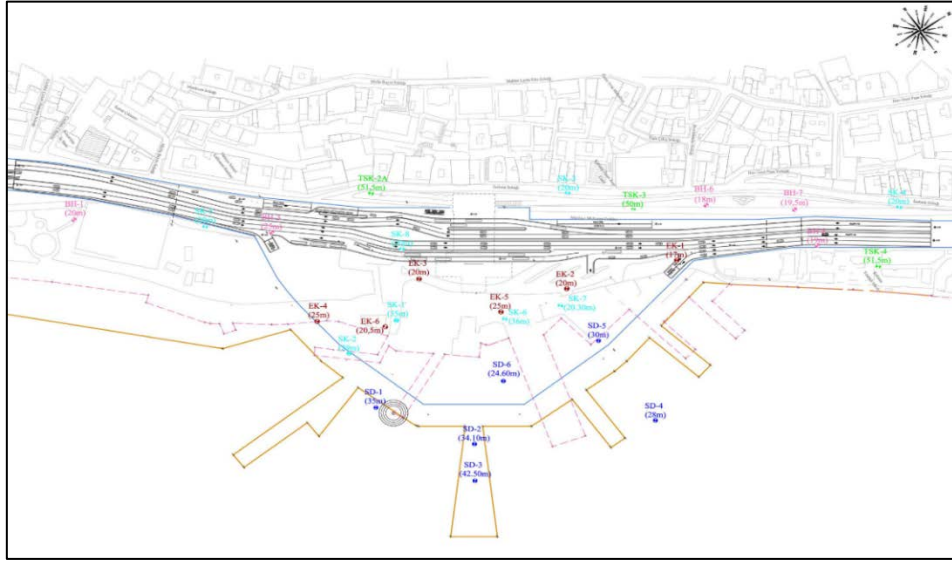


Şekil 5. Kabataş İskelesi ve yanaşma alanı için batimetri haritası (STFA, 2011a)
Figure 5. Bathymetry map (STFA, 2011a) for Kabataş quay and docking area

PROJENİN KARA TARAFININ KOŞULLARI

Jeolojik ve Geoteknik Özellikler

Aktarma Merkezi yeraltı yapısı denizden bakıldığında kabaca 150 m yarıçaplı bir yarım daireye benzemektedir. Kapsamdaki karayolu ana arteri ise başlangıç ve bitiş noktaları itibariyle yaklaşık 700 m'lik bir güzergahı ilgilendirmektedir. Denizde maksimum iskele boyu 97 m'dir. Tüm bu alanları kapsamak üzere bugüne kadar sahada toplam 28 adet sondaj yapılmıştır. Boyları 17 m ile 51,50 m arasında değişen sondajlarla ilgili bilgiler Çizelge 1'de, lokasyon planı ise Şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6. Yapılan sondajların lokasyon planı (STFA, 2011b)

Figure 6. Location plan of drilled boreholes (STFA, 2011b)

Çizelge 1. Sondaj bilgi tablosu (STFA, 2011b)

Table 1. Borehole information table (STFA, 2011b)

Sıra No	Sondaj No	Sondaj Derinliği (m)
1	SK-1	35
2	SK-2	29
3	SK-3	20
4	SK-4	20
5	SK-5	20
6	SK-6	36
7	SK-7	20,3
8	SK-8	20
9	SD-1	35
10	SD-2	34,10
11	SD-3	42,50
12	SD-4	28
13	SD-5	30
14	SD-6	24,60
15	TSK-2A	51,50
16	TSK-3	50
17	TSK-4	51,50
18	BH-1	20
19	BH-3	25
20	BH-6	18
21	BH-7	19,50
22	BH-8	19
23	EK-1	17
24	EK-2	20
25	EK-3	20
26	EK-4	25
27	EK-5	25
28	EK-6	20,50

Deniz Suyu Baskısına Karşı Koyarak İnşa Edilecek Bir Yeraltı Yapısı: Kabataş Aktarma Merkezi
An Underground Structure Constructed Against Seawater Pressure: Kabataş Transfer Centre
Sondajlardan elde edilen bulgulara göre idealize zemin profili şöyledir:

- Yüzeyden itibaren dolgu tabakası: Kalınlığı 4-5 m
- Bunun altında kalınlığı 6,50 m ile 16,80 m arasında değişen gri renkli, gevşek-orta sıkı kabuklu, çakıllı kum tabakasından oluşan güncel çökeller (deniz tabanında ilk rastlanan bu tabakadır)
- Taşıyıcı Anakaya: Kumtaşı-çamurtaşı aralanmalı yer yer diyabaz dayklı. Bunlar İstanbul'un taşıyıcı anakayasını Trakya formasyonunun litolojileridir (Toğrol ve diğ., 2011; Eyigün, 2014; Meriç, 1990, Özür, 1975)

Dolgu, genç çökeller ve taşıyıcı ana kayanın geoteknik parametreleri ise Çizelge 2'de özetlenmiştir.

Karadaki SK3 numaralı sondaj ile bunun hizasında denizdeki en derin noktada yapılmış SD3 numaralı sondaj-arasındaki sondajlarla yapılan korelasyon-Şekil 7'de verilmiştir. Bu kesit, proje alanının tipik zemin profilini göstermektedir.

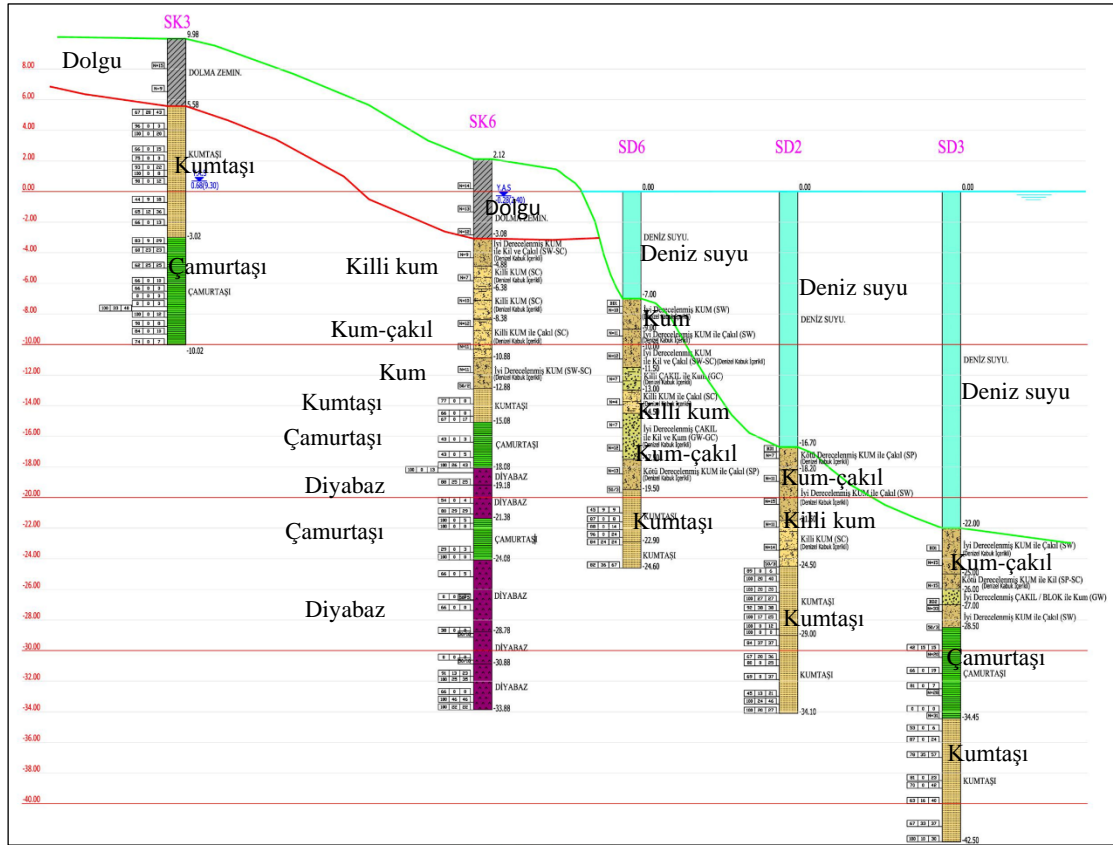
Çizelge 2. Zemin ve kaya ortamların geoteknik parametreleri (STFA, 2016)

Table 2. Geotechnical parameters of soil layers and rock mass (STFA, 2016)

Birim	Kalınlık	SPT-N ₃₀ değeri	γ (kN/m ³)	E (kPa)	Φ (°)	c (kPa)
Dolgu	4-5 m	8	18	10.000	28	-
Güncel çökel	6,5- 16,80 m	12	19	13.500-20.000	30	5
Kumtaşı- çamurtaşı	-	-	21	400.000	35	5

Aktarma Merkezi yapısının denizden dolgu yapılarak alan kazanılması suretiyle inşa edilmesinin çözülmesi gereken mühendislik problemleri 3 maddede sıralanabilir. Bunlar;

1. Denizde dolgu ile oluşturulacak seddenin stabilite analizi,
2. Seddenin içinde veya hemen arkasında deniz suyunun zemin altı yapısına basıncını ve nüfuzunu kesecek bir "sızdırmazlık" çözümü,
3. Sedde dolgunun oturacağı gevşek güncel çökel tabakasının iyileştirilmesi.



Şekil 7. Yapılan sondajlar yardımıyla oluşturulan zemin profili
Figure 7. Soil profile created by boreholes

SEDDE YAPISI VE STABİLİTE ANALİZLERİ

Önerilen sedde yapısının işlevleri; geri saha işleri için geçirimsiz bariyerin oluşturulması ve deniz tarafında dalga emici görevi üstlenmesidir.

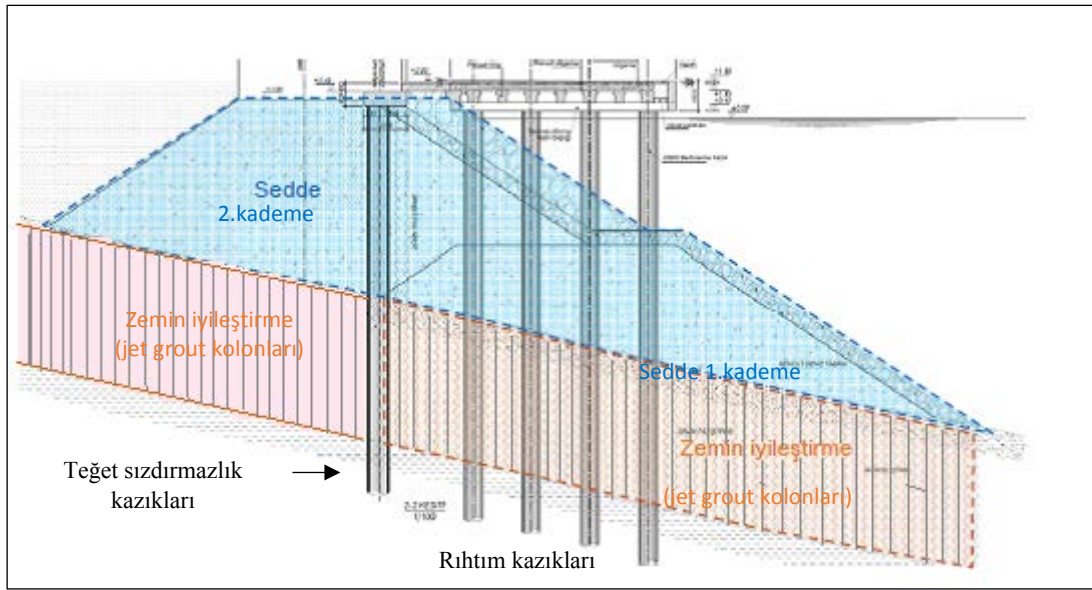
Bu işlemlere uygun olarak, sedde inşaatı denizde kullanılmaya uygun taş dolgu malzeme ile oluşturulacaktır. Taş dolgunun dış tarafı dalga yüklerine karşı kaplama (anroşman) tabakası ile korunacaktır. Seddenin tip kesiti Şekil 8’de gösterilmektedir. Kesitte görülen zemin (güncel çökel) iyileştirme ve sızdırmazlık çözümü teğet kazıklar aşağıda anlatılmaktadır.

Sedde yapısının oturacağı zeminin taşıma gücünün sınırlı olmasından dolayı oturma ve deprem durumunda sıvılaşma riskinin bulunup bulunmadığı ilk soru olarak ortaya çıkmaktadır. Statik hal için basitleştirilmiş Bishop metodu kullanan sonlu elemanlar yazılımı Rockscience Slope (<https://www.rocscience.com/solutions/slope-stability>) ile yapılan analizde önce tabanda topuk ve sonra bunun üzerine 2. kademe ile yapılan dolgu modellenmiştir. Zeminde herhangi bir iyileştirme öngörülmemiştir. Analiz sonunda seddenin ve oturduğu deniz tabanının stabil olduğu görülmüş, göçmeye karşı güvenlik sayısı 1,5 olarak bulunmuştur (Şekil 9).

Aynı analiz deprem hali için tekrarlandığında ise güvenlik sayısı 0,8 olarak bulunmuştur (Şekil 10). Bu durum dolgunun mevcut hali ile depremde göçme riski bulunduğunu göstermiştir. Bunun sebebi, deniz tabanının üst bölümündeki gevşek kum seviyelerinin deprem durumunda sıvılaşacağıdır. Bu sonuç; sedde altındaki düşük dayanımlı zeminin (güncel çökel tabakası) iyileştirilmesi gerektiği anlamına gelmektedir.

Deniz Suyu Baskısına Karşı Koyarak İnşa Edilecek Bir Yeraltı Yapısı: Kabataş Aktarma Merkezi
An Underground Structure Constructed Against Seawater Pressure: Kabataş Transfer Centre
Bu bulgunun olası olumsuz etkileri şu şekilde özetlenebilir:

- Deprem durumunda kazıklı temellerin bu tabakalardan direnç alma durumu ortadan kalkacaktır.
- Geri sahada yer alan ve bu tabakalara oturan yapılarda (sedde gibi) büyük oturmalar gözlenebilecektir.
- Oluşabilecek yatay deformasyonlar imal edilecek istinat yapılarında yük artışına neden olabilecektir.
- Toptan göçme riskleri deniz yapılarına önemli mertebede yanal yüklemelere neden olabilecektir.



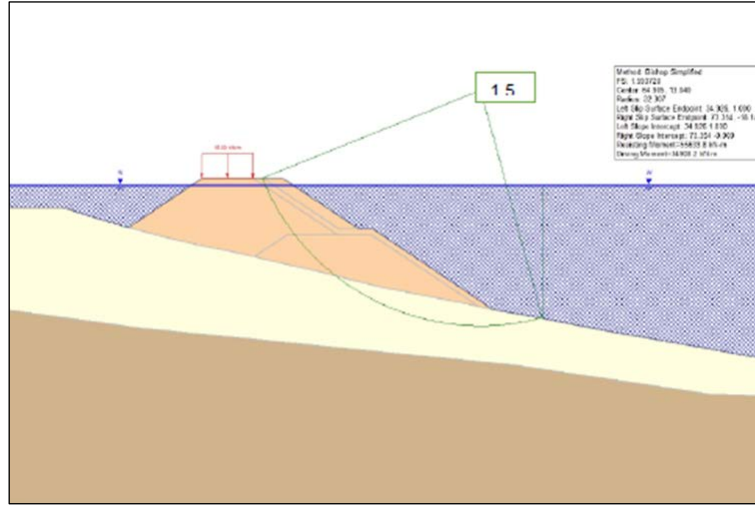
Şekil 8. Tipik sedde kesiti

Figure 8. Typical embankment section

İyileştirme yöntemi olarak, taşıma gücü düşük tabakaların değiştirilmesi (taranması ve nitelikli malzeme ile yer değiştirilmesi) ya da jet grout/beton enjeksiyonu gibi yöntemlerle güçlendirilmesi seçenekleri mevcut koşullar altında düşünülebilecek alternatiflerdir.

Projedeki çeşitli kısıtlar nedeniyle taşıma gücü düşük tabakaların taranması ve nitelikli dolgu malzemesiyle değiştirilmesi yönteminin tercih edilmesi mümkün olamamaktadır:

- Tarama sırasında önemli çevresel etkiler gözlenecektir,
- Taranacak malzemenin bertarafı önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır,
- Tarama miktarı su içinde oluşacak şevlere bağlı olacaktır ve geri sahada geniş bir alanda tarama nedeniyle etkiler oluşacaktır,
- Tarama işi denizden yapılacağından bu işlem sırasında diğer aktivitelerin yürütülmesi güç görünmektedir.



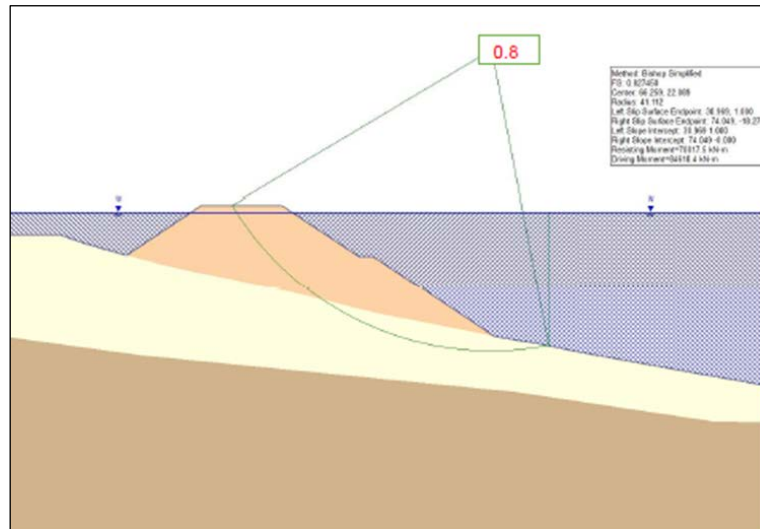
Şekil 9. Statik durumda seddenin stabilite analizi

Figure 9. Stability analysis of the embankment for static situation

Sıralanan nedenlerle, düşük dayanımlı tabakaların (güncel çökel) güçlendirilmesi yöntemi tercih edilmiş ve belirli bir kareyaj sistemine uygun olarak sedde dolgusunun oturacağı riskli güncel dolgu tabakası, planda dolgunun oturum tabanından en az 8 m daha fazla bir alanda olmak üzere kolonlar oluşturulmak suretiyle düşük dayanımlı tabakaların kesme dayanımlarının arttırılması hedeflenmiştir. İyileştirme elemanı olarak 60 cm çaplı ve birbiriyle 10 cm girişimle keşişen jet grout kolonları seçilerek analiz kesiti oluşturulmuştur.

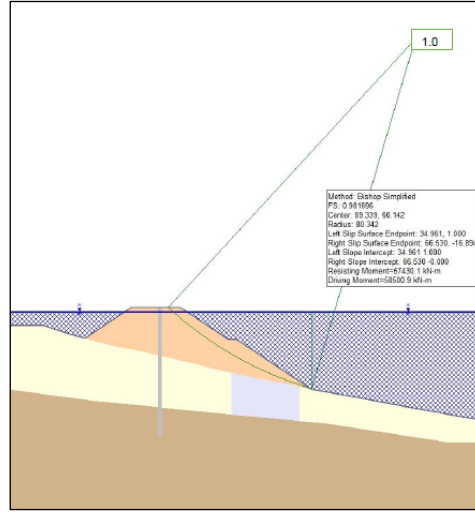
Seddeyi oluşturan dolgunun merkezinde kil içeren karışık çekirdek ile geçirimsizlik sağlanması öngörülmekle beraber, geri tarafta inşa edilecek olan zemin altı yapısının deniz suyuna karşı mutlak korunması amacıyla çekirdek dolgunun ortasından teğet imal edilecek betonarme fore kazıklarla geçirimsizlik perdesi teşkil edilerek “susuzlaştırma”nın sağlanması da öngörülmüştür.

Be elemanlardan oluşan model kurularak su içindeki topuk altında yapılacak iyileştirmeler ile deprem koşulları altında sedde stabilitesi basitleştirilmiş Bishop metodu sonlu elemanlar yazılımı ile yeniden hesaplanmıştır. Analiz sonuçları çıktısı Şekil 11’de verilmiştir. Buna göre sedde, güncel çökelin iyileştirilmesi ile “güvenli” hale gelecektir.



Şekil 10. Depremlı durumda seddenin stabilite analizi (zemin iyileştirilmesi yapılmadan)

Figure 10. Stability analysis of embankment for earthquake case (without soil improvement)



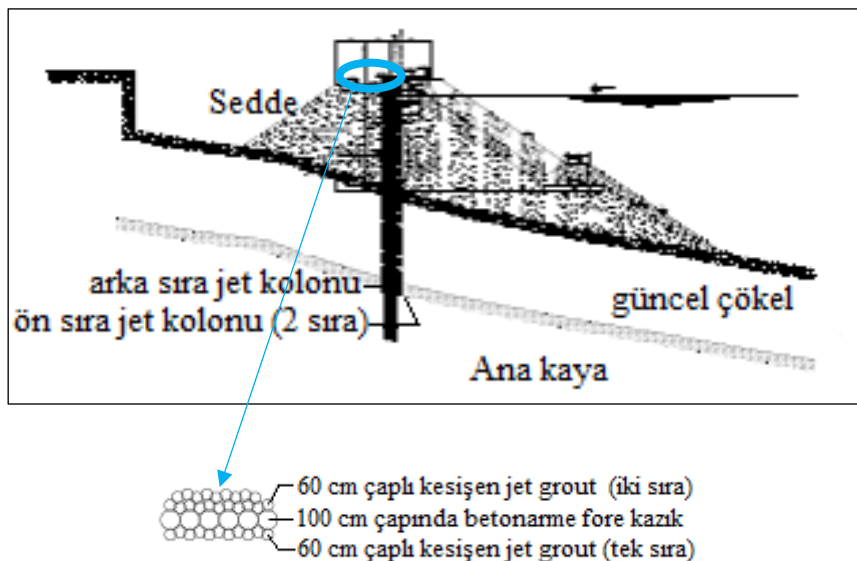
Şekil 11. İyileştirilmiş zemine oturan seddenin depremli durumda stabilite analizi

Figure 11. Stability analysis of the embankment on the improved soil for earthquake case

Seddenin Geçirimsizliğini Sağlamak İçin Öngörülen Çözüm

Sedde kesitinin ortasında teşkil edilecek geçirimsizlik yapısının teğet imal edilecek kayaya 8 m (diyabaz daykına rastlanırsa en az 5 m) soketli betonarme fore kazık olarak seçilmesi uygun çözüm olarak önerilmiştir (Arıoğlu ve diğ., 2007; Tomlinson ve Woodward, 2008). Kıyı yapılarında alternatif bir yöntem olan palplanş sistemleri bu açıdan uygulanabilir bulunmamıştır. Tesisin kara yapıları inşa edilirken bu duvarın gerisinde kısmi kazılar yapıldığında, kayaya soketli kazıkların kendi dayanımı ve rijitliği ile stabil kalabilmesi de önemli bir gereklilik ve avantaj olacaktır. Bu nedenle, geriye ankrajlanma ihtiyacı duyulmadan inşaatı izin veren bir duvar sistemi (teğet kazıklı geçirimsizlik duvarı) öngörülmüştür (Şekil 12).

Diğer yandan bu kazıkların düşeyden sapma ihtimaline karşı sızdırmazlığı garanti etmek için kazıkların deniz tarafında çift sıra ve yeraltı yapısı tarafında tek sıra olmak üzere 60 cm çaplı kesişen jet grout önlemi ilave tedbir olarak önerilmiştir (Burke, 2004).



Şekil 12. Sızdırmazlık için öngörülen teğet kazıklar ile ön (deniz tarafı) ve arkasında (kara tarafı) jet grout çözümü

Figure 12. Tangent piles for sealing and jet grout solution in front (sea side) and back (land side)

DENİZ SUYU BASINCINA KARŞI ÖNERİLEN TEDBİRLER

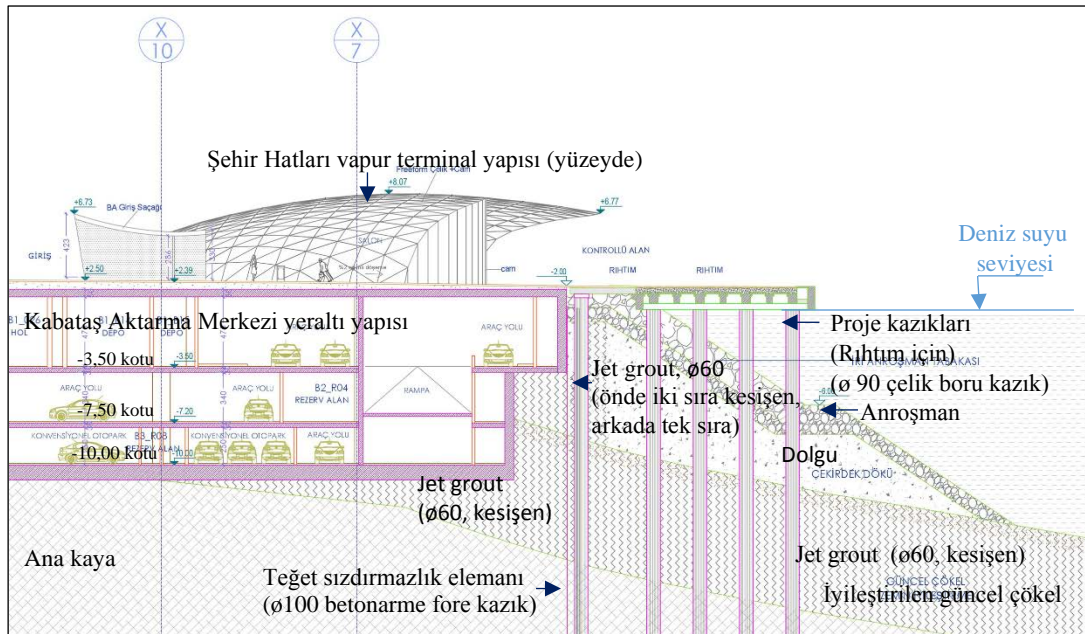
Bu çalışma kapsamında yukarıda analiz ve izah edilen tüm tahkimat ve iyileştirme tedbirleri özet olarak Çizelge 3’de verilmektedir.

Çizelge 3. Önerilen yöntemin özeti

Table 3. Summary of proposed method

Sorun/İhtiyaç	Önerilen Çözüm
Denizde alan kazanılması ihtiyacı	Dolgu ile sedde teşkili
Seddenin geçirimsizliği	ø100 cm çaplı, kayaya soketli betonarme teğet fore kazık
Teğet fore kazıklar arasından deniz suyu sızması riski	ø60 cm çaplı Jet grout kolonları. (Önde (deniz tarafında) iki sıra kesişen, Arkada (bina tarafı) tek sıra kesişen)
Dolgunun oturduğu güncel çökel tabakasının taşıma gücünün artırılması	Dolgu tabanı boyunca ø60 cm çaplı Jet grout kolonları ile iyileştirme

Şekil 13’de ise dolgu ile kazanılacak alanda deniz suyu baskısına karşı yeraltı yapısının emniyetli şekilde inşası için yapılan analizler sonucu çalışmada önerilen tipik yapı ve tahkimat elemanları en kesiti yer almaktadır.



Şekil 13. Aktarma Merkezi yapıları ve deniz suyu basıncına karşı önerilen tahkimat elemanları tipik kesidi

Figure 13. Transfer Center structures and typical support elements for sea water pressure

Böylece örneğine nadir rastlanan koşullarda denizden kazanılan bir alanda yeraltı yapısı inşası suretiyle Aktarma Merkezini teşkil etmek mümkün hale gelmiş olmaktadır.

SONUÇLAR

Bu çalışmada denizden alan kazanılarak inşa edilmesi planlanan Kabataş Aktarma Merkezinin deniz suyu seviyesi altında emniyetli şekilde inşa edilebilmesi için lüzumlu olan geoteknik tedbir ve çözümler analiz edilmiştir.

Yapılacak deniz dolgusunun ana kayaya değil taşıma gücü düşük güncel çökellere oturması sebebiyle herhangi bir zemin iyileştirmesi uygulanmadan yapılan şev stabilitesi analizinde seddenin deprem durumunda stabil kalmayacağı görülmüştür. Analizler, güncel çökel tabakasının 60 cm çaplı ve birbiriyle 10 cm kesişen jet grout kolonlarıyla iyileştirilmesi kabulüyle tekrarlanmış ve güvenli hale ulaşılmıştır.

Sedde arkasına deniz suyunun ilerlemesini önlemek ve aktarma Merkezinin uzun süreli dayanım ve duraylılığını desteklemek amacıyla sedde kütlesi merkezine 100 cm çaplı, kayaya 8 m soketli betonarme teğet fore kazıklar önerilmiştir.

Kazıkların arasından olası deniz suyu girişimini önlemek amacıyla kazıkların ön (deniz) tarafında iki sıra 60 cm çaplı/10 cm kesişmeli, arkada (yeraltı yapısı tarafı) ise tek sıra 60 cm çaplı/10 cm kesişmeli jet grout kolonu önerilmiştir.

KAYNAKLAR

- ARIOĞLU, E., YILMAZ, A. O. ve TUNÇDEMİR, H. 2007. Kayaya gömülü fore kazıklar. Evrim Yayınevi, İstanbul.
- BURKE, G.K., 2004. Jet Grouting Systems: Advantages and Disadvantages. Geo Support 2004: Drilled Shafts, Micropiling, Deep Mixing, Remedial Methods, and Specialty Foundation Systems. Geotechnical Special Publication No. 124, American Society of Civil Engineers, Reston, pp 875-886.
- EYİGÜN Y., 2014. İstanbul Grovalarına Soketlenen Fore Kazıkların Taşıma Kapasitesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- İTÜ GEMİ VE DENİZ TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ, 2012. İstanbul Boğazı Nümerik Akım Modeli ve Numerik Gemi Manevraları Simülasyon Raporu.
- KIRAN H. MİMARLIK VE YAPI HİZMETLERİ A.Ş., 2016. Kabataş Aktarma Merkezi Uygulama Projesi.
- MERİÇ E., 1990. İstanbul Boğazı Güneyi ve Haliç'in Genç Kuvaterner (Holosen) Dip Tortulları. İstanbul Teknik Üniversitesi Vakfı yayını.
- ÖZÜER, A. B., 1975. Çatlaklı grovak ve killi şistlerin mühendislik özellikleri. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- STFA TEMEL ARAŞTIRMA VE SONDAJ A.Ş., 2011a. Kabataş İskeleleri Fikir Projesi Uygulama Projesi dolgu imar planına esas özel hidrografik ölçme raporu, Rapor No: 2011-06-048.
- STFA TEMEL ARAŞTIRMA VE SONDAJ A.Ş., 2011b. Kabataş İskeleleri Fikir Projesi Uygulama Projesi dolgu imar planına esas jeolojik-jeoteknik etüt raporu, Rapor No: 2011-06-047.
- STFA TEMEL ARAŞTIRMA VE SONDAJ A.Ş. VE ARTI PROJE DANIŞMANLIK İNŞ. TUR. LTD. ŞTİ., 2016. Kabataş Aktarma Merkezi deniz yapıları sistem seçim raporu. Rapor No: MTM-DET-TRP-001
- TOĞROL E., EYİGÜN Y., KÜMAN S. ve YILDIRIM Ü.E., 2011: Haliç'in Zemin Özellikleri-Yeni bir değerlendirme. İTÜ Dergisi/d Mühendislik, Cilt:10, Sayı: 4, 81-90.
- TOMLINSON M., ve WOODWARD J., 2008. Pile Design and Construction Practice (5th ed.). New York :Taylor & Francis Group Publication.