

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ

Journal of Geological Engineering

Cilt - Volume 34

Sayı - Number 2

ISSN 1016 - 9172

Aralık / December 2010



TMMOB JEOLOJİ MÜHENDİSLERİ ODASI
Chamber of Geological Engineers of Turkey

EDİTÖR

Tamer TOPAL

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Jeoloji Mühendisliği Bölümü

06531, Ankara

Tel: 0 312 2102690

Faks: 0 312 2105750

E-Posta: topal@metu.edu.tr

TEKNİK EDİTÖR

Yavuz KAYA

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Yazışma Adresi

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası

PK 464 Yenışehir, 06444 Ankara

Tel : 0312 434 36 01

Fax : 0312 434 23 88

E-Posta : jmo@jmo.org.tr

Baskı : Mattek Matbaacılık Bas.

Yay. Tan. San. Tic. Ltd. Şti.

Adakale Sokak No:32/27

Kızılay/Ankara

Tel: 0312 433 23 10

Yayın Kurulu / Editorial Board

Erhan ALTUNEL (Osman Gazi Üniversitesi)

Can AYDAY (Anadolu Üniversitesi)

Serdar BAYARI (Hacettepe Üniversitesi)

Zeki ÇAMUR (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Hasan ÇETİN (Çukurova Üniversitesi)

Vedat DOYURAN (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Mehmet EKMEKÇİ (Hacettepe Üniversitesi)

Nusret EMEKLİ (İller Bankası)

Yavuz ERGİNTAV (Karayolları Genel Müdürlüğü)

Candan GÖKÇEOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)

Nilgün GÜLEÇ (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Fikret KAÇAROĞLU (Cumhuriyet Üniversitesi)

Remzi KARAGÜZEL (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Nurkan KARAHANOGĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Muazzez Çelik KARAKAYA (Selçuk Üniversitesi)

K. Erçin KASAPOĞLU (Hacettepe Üniversitesi)

Recep KILIÇ (Ankara Üniversitesi)

Mehmet Yalçın KOCA (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Ayhan KOÇBAY (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü)

Halil KUMSAR (Pamukkale Üniversitesi)

İlkay KUŞÇU (Muğla Üniversitesi)

Mahmut MUTLUTÜRK (Süleyman Demirel Üniversitesi)

Cengiz SOYLU (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı)

Mehmet Lütfi SÜZEN (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Şakir ŞİMŞEK (Hacettepe Üniversitesi)

Atiye TUĞRUL (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Necdet TÜRK (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Asuman TÜRKMEÑOĞLU (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Taner ÜNLÜ (Ankara Üniversitesi)

Namık YALÇIN (İstanbul Üniversitesi)

Ali Bahadır YAVUZ (Dokuz Eylül Üniversitesi)

Hasan YAZICIGİL (Orta Doğu Teknik Üniversitesi)

Işık YILMAZ (Cumhuriyet Üniversitesi)

Erdoğan YÜZER (İstanbul Teknik Üniversitesi)

Jeoloji Mühendisliği Dergisi Makale ve Dizin Özleri

SCOPUS, ULAKBİM, GeoREF ve Geobase/Geo Abstracts

Uluslararası İndeksler tarafından taranmaktadır.

Journal of Geological Engineering is indexed and abstracted by

SCOPUS, ULAKBİM, GeoREF and Geobase/Geo Abstracts.

Jeoloji Mühendisleri Odası Chamber of Geological Engineers Yönetim Kurulu / Executive Board

Dündar ÇAĞLAN

Hüseyin ALAN

Çetin KURTOĞLU

Hakkı ATIL

Aliye YILMAZ GÜLER

Özcan DUMANLILAR

Necdet ARDA

Başkan / President

İkinci Başkan / Vice President

Yazman / Secretary

Sayman / Treasurer

Mesleki Uygulamalar Üyesi / Member of Professional Activities

Yayın Üyesi / Member of Publication

Sosyal İlişkiler Üyesi / Member of Social Affairs

Jeoloji Mühendisliği Dergisi JMO yayını olup para ile satılmaz.

İçindekiler / Contents

Araştırma Makaleleri / Research Articles

Editörden

71- **Nihat DİPOVA**

Boğaçay (Antalya) Kıyı Ovası'nın Mühendislik Jeolojisi Değerlendirmeleri

Engineering Geological Evaluations of Boğaçay (Antalya) Coastal Plain

85- **Aykut AKGÜN, Necdet TÜRK**

İki ve Çok Değişkenli İstatistik ve Sezgisel Tabanlı Heyelan Duyarlılık

Modellerinin Karşılaştırılması: Ayvalık (Balıkesir, Kuzeybatı Türkiye) Örneği

Comparison of Bivariate and Multivariate Statistical and Heuristic-Based Landslide

Susceptibility Models: an Example From Ayvalık (Balıkesir, Northwestern Turkey)

113- **Mutluhan AKIN, Aydın ÖZSAN**

Eskipazar Sarı Travertenleri İçin Kütleli Bozunma ve Bozunma Sınıflaması

Rock Mass Weathering and Weathering Classification for Eskipazar Yellow Travertines

133- **Emre SAVAŞ, Mustafa KORKANÇ**

Kırıkkale Katı Atık Deponi Alanı'nın Jeolojik-Jeoteknik İncelemesi

Geological-Geotechnical Investigation of the Kırıkkale Solid Waste Landfill Area

EDITÖRDEN

Değerli Okurlarım,

İnsan ve Yerküre arasındaki etkileşimi esas alarak insanlığa hizmet eden Jeoloji Mühendisliği mesleğinin gelişmesinin ve yaygınlaşmasının bir aracı konumunda olan Jeoloji Mühendisliği Dergisi (JMD), mesleğimiz ile ilgili gelişmeleri “yaşam boyu öğrenme” yaklaşımı çerçevesinde meslektaşlarımıza aktarmayı hedeflemektedir.

1977 Şubatında yayın hayatına başlayan Jeoloji Mühendisliği Dergisi, yıllar içerisinde yaşanan bazı farklılıklara rağmen, süreli yayıncılık anlayışı çerçevesinde çizgisini her zaman korumaya özen göstermiştir. Son on yıldır da bu anlayışından ödün vermeden yayın hayatına devam etmektedir. Özgün ve uygulamaya dönük Türkçe yayınlara (makale, eleştirel inceleme, teknik araştırma notu, vb.) yer verilen dergide, meslektaşlar arasında bilimsel ve teknik iletişimin sağlanması esas alınmıştır.

2006–2010 (sayı 30/1 - 34/1) yılları arasında, JMD editörlük görevini Prof. Dr. Abidin Temel, Prof. Dr. Mehmet Şener ve Doç. Dr. Yurdal Genç yapmışlardır. Dergi için yaptıkları zorlu ve özverili çalışmalarından dolayı önceki Editörlere, Yardımcı Editörlere ve Yayın Kurulu'na çok teşekkür ederim. JMD için Editörlük görevini, yeni sayı itibarıyla (34/2) ben üstleniyorum. Makalelerin, iki veya üç hakem tarafından değerlendirileceği yeni yayın döneminde, yılda iki sayı olarak basılacak olan derginin Teknik Editörlüğü'nü Araş. Gör. Yavuz Kaya yapacaktır. Yeni oluşturulan Yayın Kurulu, bu sayının zamanında çıkmasını sağlayabilmek için oldukça yoğun ve özverili bir çaba sarf etmiştir. Dergiye yayın gönderen ve gerekli düzeltmeleri zamanında yapan yazarlarımıza da ayrıca teşekkür etmek isterim.

Halen çeşitli ulusal ve uluslararası indeksler tarafından taranmakta olan derginin gerek içeriği gerekse zamanında basılması çok önem arz etmektedir. Dergi basımını zamanında yapabilmek için, yayımlar ile ilgili tüm işlemler e-posta ile yapılmaya başlanmıştır. Bu uygulama hakkında yazarlar oldukça olumlu görüşler bildirmişlerdir. Derginin bilimsel seviyesini yükseltmek ise, hepimizin görevi olacaktır. Bu çerçevede, dergi amaç ve kapsamına uygun olan çalışmalarınızın tüm meslektaşlarımıza iletilebilmesi için sizlerden yeni yayımlar beklemekteyim. Yayın amaçları, kuralları ve yayına kabul ilkeleri, bu sayıda verilmiştir. Yazım kılavuzuna ve JMD'nin eski sayılarına, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası'nın web sitesinden (www.jmo.org.tr) ulaşabilirsiniz. Hedefimiz, derginin bilimsel seviyesini daha da yükseltmek, mesleğimizle ilgili bilimsel gelişmeleri meslektaşlarımıza zamanında aktarabilmek ve dergiyi diğer önemli uluslararası indekslerce taranabilecek bir seviyeye çıkartmaktır. Uzun ince bir yol olduğunu düşündüğüm bu süreçte tüm okurlarımızın öneri ve katkılarını beklediğimi de belirtmek isterim.

Ayrıca, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu'na, verdikleri destekten dolayı teşekkür ediyorum. Derginin, mesleğimize katkı sağlaması dileğiyle!

Saygılarımla

Prof. Dr. Tamer TOPAL
Jeoloji Mühendisliği Dergisi Editörü

Boğaçay (Antalya) Kıyı Ovası'nın Mühendislik Jeolojisi Değerlendirmeleri

Engineering Geological Evaluations of Boğaçay (Antalya) Coastal Plain

Nihat DİPOVA

Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kampüs, ANTALYA

ÖZ

Kıyı ovalarında kentleşme amaçlı yapılan mühendislik faaliyetlerinin doğal yapıya ve jeolojik süreçlerin kent üzerine etkileri mühendislik jeolojisinin önemli konularındandır. Kıyı ovaları; taşkın, kıyı erozyonu, deprem, sediman birikmesi ve yeraltısuyu değişimleri gibi doğal olayların etkisi altında kalmaktadır. Bu çalışmada, Boğaçay (Antalya) kıyı ovasında kentleşme açısından dikkate alınması gereken mühendislik jeolojisi konuları irdelenmiştir. Ovanın jeolojik yapısı ortaya çıkarılmış, jeolojik birimlerin mühendislik özellikleri tanımlanmış, ovada kentleşmeyi etkileyebilecek doğal etkenler belirlenmiş, kentleşme faaliyetlerinin doğal yapıya uygunluğu irdelenmiş ve arazi kullanımına yönelik çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Boğaçay kıyı ovası, turistik, doğal, tarımsal ve ekonomik değerleri ile Antalya'nın önemli bölgelerinden biridir. Bölgede yapılaşma yerlerinde zemin kaynaklı sorunlar yaşanmıştır. Zemin yapısı oldukça karmaşık olup lagüner çökellerden oluşmaktadır. Yüksek katlı yapılaşmaya izin verilmesi ve uygulamadaki mühendislik hataları, sorunların diğer nedenleridir. Bölge, üç diri fay kuşağının arasında yer almaktadır. Zemin kalınlığının fazlalığı ve zeminin yumuşaklığı nedenleri ile deprem şiddeti kayaya göre daha fazla hissedilecektir. Bölgedeki kum, çakıl ve taş ocakları doğal yapıya zarar vermiş ve çevre sorunlarına yol açmıştır. Ayrıca aşırı malzeme alımı Konyaaltı Plajı'nın sediman kaynağını azalttığından kıyı erozyonuna neden olmuştur. Çevresinde dik topoğrafyası olan ve anlık yüksek yağış alan bir düzlükte, sel ve taşkın riski bulunmaktadır. Mühendislik jeolojisi kriterleri değerlendirildiğinde; mevcut imar planının bazı sakıncalar içerdiği, yoğun yapılaşmanın büyük risk taşıdığı, imar planının jeolojik veriler ışığında revize edilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Antalya, Boğaçay Ovası, Kent jeolojisi, Lagüner çökeller, Mühendislik jeolojisi.

ABSTRACT

Effects of engineering works on the natural system during urbanization on a coastal plain, and effects of geological processes on a city are the research areas of engineering geology discipline. Coastal plains are under effect of natural processes such as flood, coastal erosion, earthquake, sediment accumulation and groundwater level change. In this study, engineering geological issues which should be considered for a coastal plain were examined for Boğaçay coastal plain (Antalya) case. Geology of the plain was defined, engineering properties of the geological units were explained, natural processes which may affect residential areas were determined, residential facilities were examined in accordance with the natural conditions, and solutions were recommended for the purpose of land-use. Boğaçay coastal plain is one of the most attractive region of Antalya for its touristic, natural, agricultural, and economical values. Some foundation problems were encountered on buildings constructed on the plain. Soil profile in lagoonal

deposits is complex. Allowance of high rise buildings and engineering mistakes are the other problems. The plain is located in the middle of three active fault zones. Due to the existence of very thick and soft soil near the surface, the earthquake intensities will be greater on the soil surface as compared to rock the strata lying at greater depths. Sand, gravel and rock quarries in the area destroyed the nature and caused some environmental problems. Excessive quarrying has resulted in reduction of sediment supply to Konyaaltı beach and thus promoting coastal erosion. There is high flood risk on the plain due to the existence of steep topography and high rainfall rates in the surrounding area. Based on engineering geological criteria, it is required to revise the current urban plans due to problems of the existing residential plans and high risk for densely populated areas.

Key Words: Antalya, Boğaçay plain, Urban geology, Lagoonal soils, Engineering geology.

GİRİŞ

Kıyı ovaları; akarsularla taşınan taneli malzemenin, dalga, akıntı, deniz seviyesi hareketleri gibi kıyı olayları ile kıyı bölgelerine yerleştirilmesi ile oluşan, deniz seviyesine yakın yükseltiyeye sahip düzlüklerdir. Her ne kadar deniz seviyesinin üzerinde kara parçaları olsalar da, bu alanlar taşkın, kıyı erozyonu, sediman birikmesi, yeraltısuyu değişimleri gibi doğal süreçlerin yoğun olarak etkisi altında kalan bölgelerdir. Kıyı bölgelerinde kentleşme söz konusu olduğunda bu doğal süreçlerin kent yaşamına etkilerinin araştırılması ve çözümlerin üretilmesi mühendislik jeolojisinin konusu haline gelmektedir. Kıyı ovalarında kentleşme sırasında doğal dengeyi bozacak mühendislik faaliyetleri veya kent üzerine olumsuz etkileri önceden kestirilmeyen doğal süreçler nedeni ile can ve mal kaybı yaşanmaktadır. Kıyı ovalarında doğal yapıya ve kent gelişimine olumsuz etkileri en düşük seviyede tutabilmek için mühendislik jeolojisi çalışmalarının yapılması ve planlamaların bu doğrultuda yürütülmesi gerekmektedir.

Boğaçay kıyı ovası, dünyaca ünlü Konyaaltı Plajı'na sahip, Antalya'nın önemli bir turistik bölgesidir (Şekil 1). Buna ek olarak limanın ve serbest bölgenin bu bölgede bulunması, ovanın

kuzeyindeki tarım alanlarına yakınlığı, Kemer yolu üzerinde olması nedenleri ile ovada yapılaşma talebi ortaya çıkmıştır. Sonuçta, sulak alan ve narenciye bahçesi durumundaki araziler zamanla imara açılmıştır. 1995'e kadar yaklaşık %30'u yapılaşan ovada, bu tarihten sonra yapılaşma hızı düşmüştür. Bunun en önemli nedenlerinden biri yapılarda zeminden kaynaklanan hasarların ortaya çıkmasıdır. Duvarlarda çatlamlar ve yapının tümüyle eğilmesi gibi sorunlarla sık sık karşılaşmıştır. 2000'li yıllara gelindiğinde bazı hasarlı yapılar temel takviyesi yöntemleri ile onarılmış, ancak büyük bir kısmı sorunlu olarak kullanılmaya devam edilmiştir. Diğer yandan sel riski, kıyı erozyonu, deprem açısından zayıf zeminlerin bulunması, arıtma tesisinin ve malzeme ocaklarının yol açtığı çevresel sorunlar da bölge halkını rahatsız etmiştir.

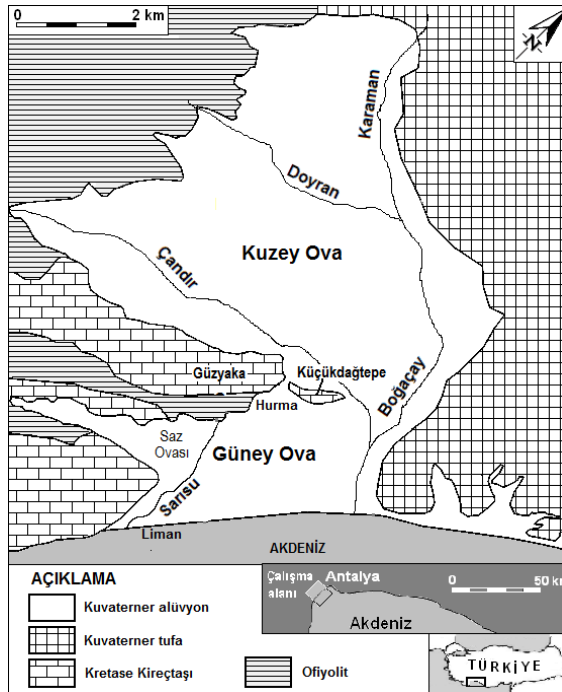
Bu çalışmanın amacı Antalya Boğaçay Ovası'nın jeolojik yapısını ortaya çıkarmak, jeolojik birimlerin mühendislik özelliklerini tanımlamak, ovada kentleşmeyi etkileyebilecek doğal süreçleri belirlemek, kentleşme faaliyetlerinin doğal yapıya uygunluğunu irdelemek ve çözüm önerilerinde bulunmaktır.

JEOLOJİ

Antalya bölgesi batı Toroslar'ın güney kenarında bulunmaktadır. Bölgenin hakim kaya birimleri otokton ve allokton olarak iki gruba ayrılabilir. Platform tipi karbonat çökellerden oluşan Anamas-Akseki görelî otoktonu (Kambriyen-Eosen) ve Beydağları görelî otoktonu (Jura-Miyosen), allokton birimlerin yerleşeceği ve genç otokton birimlerin çökeleceği ana kaya görevi görürler. Genç otokton birimler ise; kumtaşı, çakıltaşı, kireçtaşı ve kilaşından oluşan Antalya Miyosen havzası çökelleri, Üst Miyosen-Pliyosen havzası çökelleri ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı tufa (traverten) dir. Antalya napları bölgenin allokton birimlerini oluşturur (Akay vd., 1985).

Boğaçay Ovası'nı çevreleyen kaya birimleri Jura-Kretase kireçtaşları, Geç Kretase yaşlı

ofiyolitik birim ve Pliyo-Kuvaterner tufadır (Şekil 1). Ovanın batısı Jura-Kretase kireçtaşları ile çevrilidir. Dik kayalıklar halinde gözlenen birim, kendi içinde yanıl atımlı faylarla kesilmiş olarak bulunur. Gri-koyu gri, ince taneli ve masif görünümlü birim içinde süreksizlikler ve erime boşlukları yaygındır. Kireçtaşının üzerine bindirme ile yerleşen birim Üst Kretase ofiyolitik birimidir. Birim, serpantin ve radyolarit ağırlıklıdır. Ovanın doğu bölümünde taban kayası tufadır. Karasal çökelim ürünü olan tufa, inceleme alanında deniz seviyesinin yükselmesi sonucu deniz ve ovanın altında kalmıştır. Düzlük alanlar, Boğaçay ve kollarının taşıdığı malzemeler ve lagün içi otojenik çökelim ürünü olan kil ve siltten oluşmuştur. Alüvyonun kalınlığı değişkenlik göstermekle birlikte 80 m'ye kadar çıkabilmektedir (Dipova, 1997).



Şekil 1. Boğaçay kıyı ovası ve çevresinin jeoloji haritası.

Figure 1. Geological map of the Boğaçay coastal plain and its surroundings.

Ovanın Jeolojik Evrimi

Bölgenin jeolojik evriminde tektonik kuvvetler önemli rol oynamıştır. Anadolu yarımadasındaki tektonik etkilerle Anadolu bloğu batıya doğru hareket etmiş ve sıkışma sonucu oluşan yükselme, Aksu Havzası'nın yarı graben şeklinde açılmasını sağlamıştır. Böylece Holosen öncesinde, kıtanın batıda alçalmasını, doğuda ise yükselmesini sağlamıştır (Glover ve Robertson, 1998a). Eski Antalya şehri (Kaleiçi) merkez kabul edilirse, Teke Yarımadası'nı içine alan batı bölüm boğulmuş (batmış) kıyı yapılarından oluşur. Doğu bölümde ise östatik deniz seviyesi artışı, karanın yükselmesi ile karşılanmış ve sınırlı birkaç alan dışında lagün oluşumu gerçekleşmemiştir.

Holosen sonrası jeomorfolojik evrim ise daha çok östatik ve relatif deniz seviyesi değişimleri, buna bağlı lagün oluşumları ve dolgu ile düzlüklere dönüşümleri şeklinde kendini göstermiştir. Son 15.000 yılda deniz seviyesinin yaklaşık 100 m yükselmesi ve tektonik gerekçeli batma sonucu günümüzden 6000 yıl önce Teke Yarımadası'ndaki eski kara topoğrafyası, boğulmuş kıyı yapıları ile koy ve körfezlere dönüşmüştür (Öner, 1997). Bu koy ve körfezlere akarsuların taşıdığı alüvyonlarla deniz dolmaya başlamış, lagünler meydana gelmiş, sonuç olarak, yer yer bataklık olan kıyı ovaları oluşmuştur.

Bölgenin evrimine paralel olarak, Boğaçay Ovası'nın bulunduğu bölgede son buzul çağı sonrası deniz seviyesinin yükselmesi ile akarsuların getirdiği malzemeler delta şeklinde dolgu oluşturmaya başlamıştır. Bu granuler malzeme dolgusu kıyı oku şeklinde günümüzde limanın bulunduğu bölgeye kadar ilerleyerek kuzeyinde kalan körfez parçasını lagüne dönüştürmüştür. Günümüzde Sarısu Deresi ise lagünün muhtemel çıkış ağzı olmalıdır. Lagün

içindeki sedimentasyonun ise başlıca iki kaynağı vardır. Birincisi; yeraltısuyu ile beslendiğinden kısmen tatlı su gölü niteliği kazanan lagün içinde mikro canlıların yaşamsal faaliyetlerinin yan ürünü olarak ortaya çıkan otojenik kil, taşınmış kil ve siltten oluşan ince taneliler, ikincisi ise taşkın dönemlerinde yamaçlardan ve kuzeydeki boğazdan taşınan granuler malzemedir.

Bölgede deniz seviyesi yükselmesi Milat yıllarına kadar sürmüştür, bundan sonra fazla bir jeomorfolojik değişim gözlenmemiştir. Sedimentasyon durduktan sonra Saz Ovası batısı ve Hurma Köyü çevresinde yamaç sürüntüsü ve taşkın malzemelerinden oluşan alüvyon yelpazelerinin ortasında sulak alan niteliğinde suya doymun zeminler kalmıştır. Ovayı denizden ayıran kum-çakıl bariyeri, Boğaçay'ın taşıdığı malzemelerle denize doğru gelişimini sürdürmüş, geçmişte lagün ağzı olan bölüm ise Sarısu Deresi olarak, karstik kaynaklardan ve yeraltısuyundan beslenen bir akarsu kanalı halini almıştır. Çakıl bariyeri kuzeybatıya doğru da gelişip tufanın önünü kapatarak Konyaaltı Plajı'nı oluşturmuştur. Bu ilerleme, Milat yıllarına kadar devam etmiştir. Plaj dolgusu, bir tufa kanyonu içine kurulu liman kenti olan Olbia'nın liman işlevini yitirmesine neden olmuş ve Olbia halkı Attelia'nın (eski Antalya) kuruluşuna katılmıştır (Çevik, 1994). 20. yüzyılın başlarında bir sulak alan niteliğindeki ovada kanallar açılarak çeltik tarımı yapılmaya başlanmıştır. Sulak alan niteliğini koruyan bölgelerde 1970'li yıllara kadar yabani kuş avcılığı yapıldığı bilinmektedir.

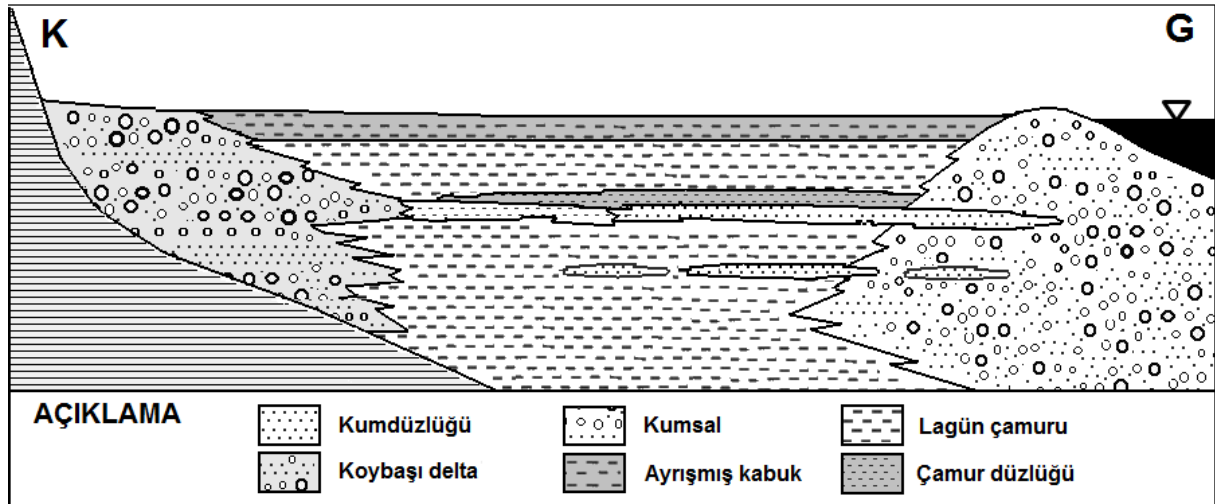
ZEMİNLERİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

Boğaçay Ovası'nın kuzey bölümü alüvyon ve taşkın ovası niteliğinde iken, güney ova daha karmaşık bir yapı sunar. Kuzey ovanın imara açık olmaması ve jeoteknik verinin yetersiz

olması nedeni ile çalışmanın bu bölümünde güney kesim üzerine yoğunlaşmıştır. Yapılan araştırmalarda (Dipova, 1997, 2010) ovanın lagün kökenli olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca, 6 ayrı fasiyes karmaşık bir şekilde yerleşmiştir. Zeminler, çökeltim sonrası oluşan fiziksel-kimyasal değişimler sonucu son derece karmaşık bir yapıya sahip olmuşlardır. Şekil 2’de gösterildiği gibi, ovanın deniz tarafı kıyı bariyerinden (kumsal) ve kuzey kesimi ise koybaşı delta olarak tanımlanabilecek iri taneli zeminlerden oluşur. Orta kesimde ise lagün çamuru hakim olmakla birlikte ilk 3-4 m’lik üst kesimler ıslanma-kuruma evreleri ile ayrışma geçirerek göreceli olarak sert bir kabuk halini almıştır. Zemin profilinin 8-10 m derinliklerinde kum düzlüğü ve yer yer turbaya rastlanmaktadır.

Ova zeminlerinin ayrıntılı jeoteknik değerlendirmesi Dipova (2010)’da verilmiştir. Burada kısa bir özet yapılarak zeminlerin mühendislik özellikleri hakkında bilgi verilecektir.

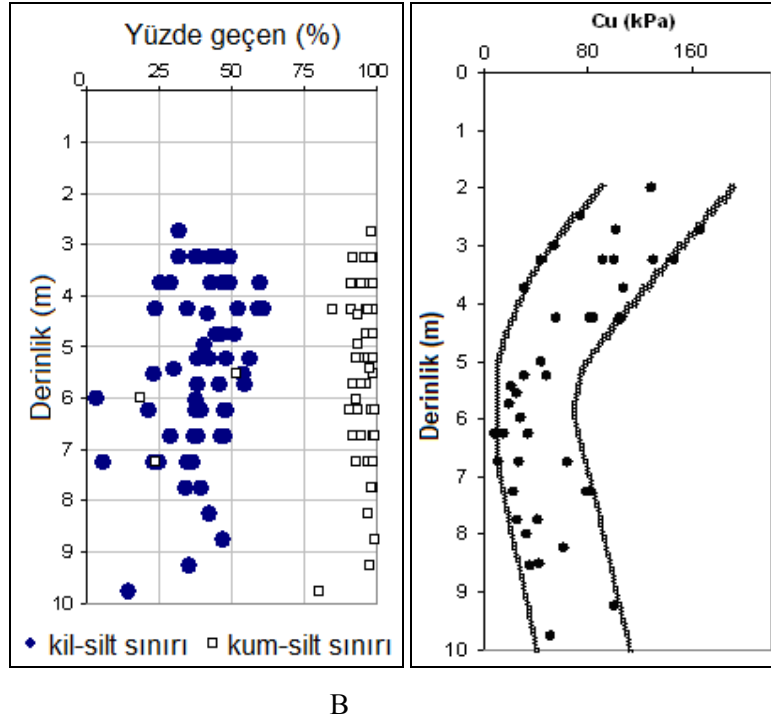
Jeoteknik sorunların en fazla yaşandığı lagün çamuru (mavi-yeşil kil) birim üzerinde yapılan tane boyu dağılımı analiz sonuçları Şekil 3A’da gösterilmiştir. Kum oranı % 10’u geçmezken, kil ve silt oranı yaklaşık olarak eşittir. Tane boyu verilerinde derinlikle birlikte fazla değişim görünmezken, Şekil 3B’de görüldüğü gibi dayanım özelliklerindeki farklılık dikkat çekicidir. Bunun nedeni fasiyes farklılığı ve çökeltim sonrası oluşan değişimlerdir.



Şekil 2. Güney ovadaki jeolojik fasiyeslerin yatay yönde kesiti (ölçeksiz).

Figure 2. Cross-section of the geological facies of the south plain (not to scale).

Dipova

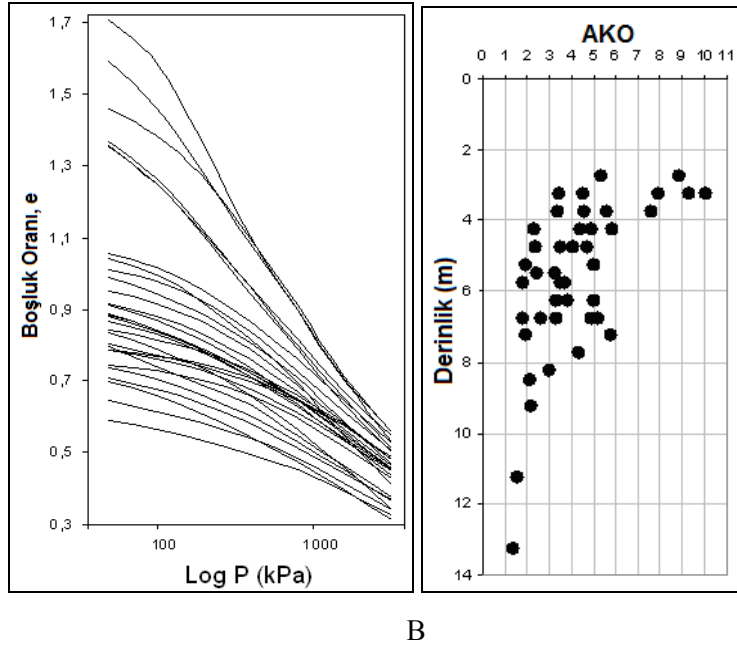


Şekil 3. A) Tane boyu-derinlik ilişkisi, B) Drenajsız makaslama dayanımı-derinlik ilişkisi.

Figure 3. A) Grain size-depth relationship, B) Undrained shear strength-depth relationship.

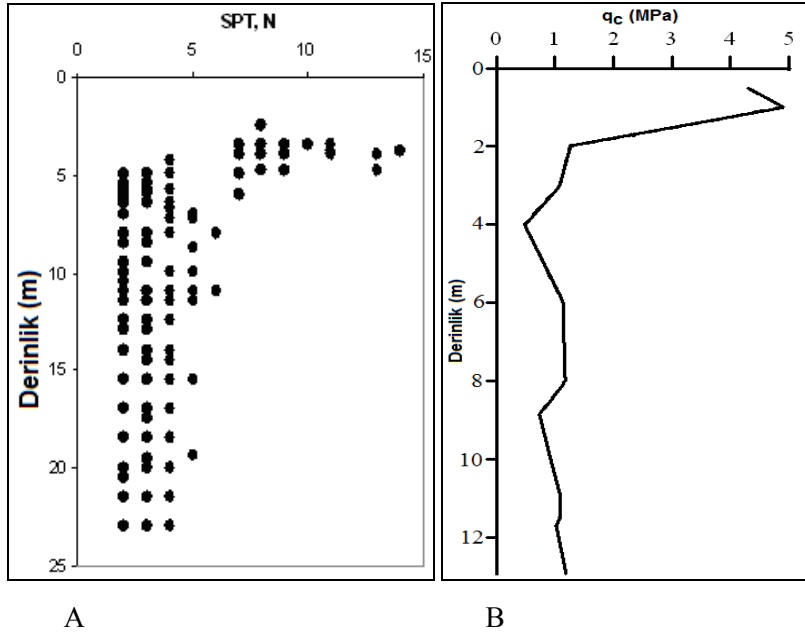
Zeminlerin konsolidasyon özellikleri Şekil 4A'da gösterilmektedir. Boşluk oranı 1.3'ün üzerindeki zeminlerde organik malzeme içeriği olmasına karşın, lagün çamurundan alınan numunelerde de davranış farklılıkları dikkat çekicidir. Bu durum Aşırı Konsolidasyon Oranı (AKO)-derinlik ilişkisine de yansımaktadır. Zemin, üst kotlarda ıslanma-kuruma kaynaklı görünür AKO nedeniyle yüksek dayanıma sahipken, alt kotlara inildikçe normal konsolide kil halini almaktadır (Şekil 4B). Görünür aşırı konsolide durum arazi deneylerinde de kendini göstermektedir. SPT ve CPT deneylerinde

derinlikle birlikte sayısal değişim önemli büyüklüklere ulaşmaktadır. Yeraltı suyu seviye değişimleri sonucu ortaya çıkan görünür aşırı konsolide durum nedeniyle üst kotlarda dayanım yüksek olmakta ve buna paralel olarak da SPT-N ve CPT uç direnci (q_c) değerleri yüksek çıkmaktadır. Derinlikle birlikte görünür aşırı konsolidasyon etkisi azaldığından SPT-N ve q_c değerlerinde de azalma gözlenmektedir. Belirli bir derinlikten sonra zemin tekrar normal konsolide duruma dönüşmekte ve değerler artmaya başlamaktadır (Şekil 5).



Şekil 4. A) Boşluk oranı-Log P ilişkileri, B) AKO-Derinlik ilişkisi.

Figure 4. A) Void ratio-Log P relationship, B) OCR-depth relationship.



Şekil 5. A) SPT (N)-derinlik ilişkisi, B) CPT uç direnci (q_c)'nin derinlikle değişimi.

Figure 5. A) SPT (N)-depth relationship, B) CPT tip resistance-depth relationship.

Dipova

Boğaçay Ovası'ndaki zeminlerin karmaşık yapısına ilave olarak, zemin etüdlerinin gerekli ayrıntıda yapılmamış olması, buna bağlı olarak uygun olmayan projelendirme ve imar planında yüksek katlı yapılaşmaya izin verilmesi, jeoteknik kaynaklı sorunların boyutunu artırmıştır. Dayanım ve konsolidasyon parametrelerinin kolay yoldan belirlenmesi ve parametre sayısının artırılması amacı ile Kılıcı (2005), Cangir (2008) ve Dipova ve Cangir (2010) indeks parametreler yardımı ile dayanım ve konsolidasyon parametresi tahminleri için yöntemler araştırmışlardır.

SU KAYNAKLARI

Ovanın yüzey su kaynakları Boğaçay ve Sarısu'dur. Boğaçay, Konyaaltı Bölgesi'nin batısından gelen Doyran ve Çandır Çayları ile, kuzeyden gelen Karaman Çayı'nın birleşmesinden oluşmuştur. Çandır ve Doyran Çayları ancak yağışlı mevsimlerde akmaktadır. Karaman Çayı'nda ise sürekli akım olup, su debisi kış ve ilkbahar aylarında yüksek değerlere ulaşmaktadır. Yaz aylarında ise Karaman, Doyran ve Çandır Çayı sularının çok azalması nedeniyle, Boğaçay akımları ancak traverten kaynaklarının boşalımları ile sürmektedir. Boğaçay yaklaşık 25 km uzunluğunda yatağı ile 833 km²'lik bir alanı drene etmektedir. Günümüzde havza yağış rejimine bağlı olarak zaman zaman taşkınlara neden olan, çevresi düzenlenmemiş bir durumdadır. Sarısu Çayı ise ovanın güneybatısında yer almakta, kireçtaşlarından süzülen Hurma kaynakları ile beslenerek, kısa bir akımdan sonra denize dökülmektedir. Kolu olan Gökdere Çayı ile birleşerek bahar aylarında 500-600 l/s civarında debiye sahip olan Sarısu Çayı'nın kurak dönemlerde yalnızca yeraltısuyu drenajı halini aldığı gözlenmektedir.

Ovada yeraltısı seviyesi yaz sonunda 1.5-2.0 m arasındadır. Bahar aylarında su seviyesi ovanın orta kesimlerinde doğal zemin kotuna kadar çıkmakta, ovanın batı kesimindeki Saz Ovası ise yer yer sulak alan görünümü kazanmaktadır. İnce taneli zeminlerin hakim olduğu orta bölümleri yeraltısuyu kullanımı için uygun değildir. Ancak zemin içindeki kum bantlarından süzülme sureti ile sınırlı bir su elde edilebilmektedir. Kayalıklara yakın bölgelerde ayrılmış kaya içinden su alınabilmektedir. Hurma Köyü civarında bulunan iri taneli zeminlerden oluşan delta çökellerinde, Boğaçay yatağına yakın yerlerde ve Saz Ovası'nda alüvyonun altındaki kireçtaşlarına kadar uzanan kuyularda yeraltısuyu elde edilebilir. Kuzey ovada tufa-alüvyon sınırında, güney ovada kireçtaşı-alüvyon sınırında olmak üzere çok sayıda kaynak bulunmaktadır. Bu kaynaklar, Antalya içme suyu temini için kullanılmaktadır.

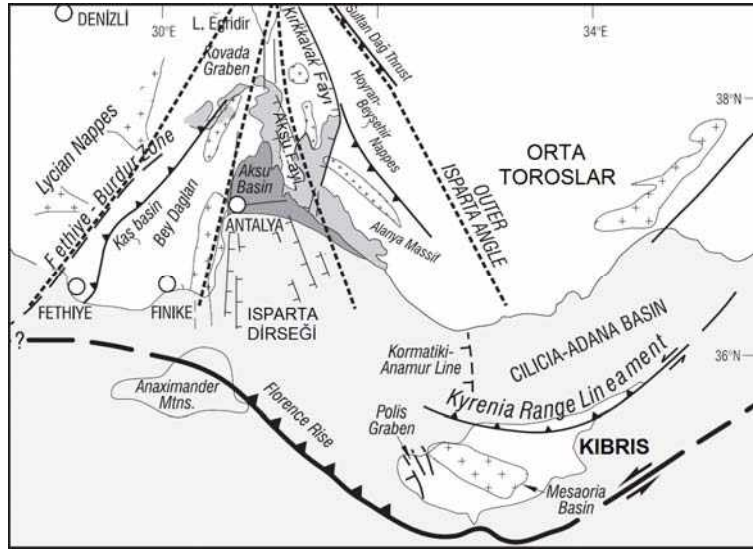
DEPREMSELLİK

Antalya ve çevresi, (1) Fethiye-Burdur Fay Zonu, (2) Helenik-Kıbrıs Fayı'nın Antalya Körfezi'nde uzanan bölümü (3) Kırkkavak Fayı ve Aksu Fayı boyunca uzanan fay zonundan etkilenmektedir (Şekil 6). Büyük depremler genellikle Helenik-Kıbrıs Yayı boyunca yoğunlaşmaktadır. Bununla birlikte Antalya Körfezi içerisinde ve Boğaçay Ovası'nı da içine alan karasal bölgede yoğun mikro deprem etkinliği gözlenmektedir. En yakın deprem kaynağı 20 km uzakta bulunan Aksu Fay Zonu'dur. Çalışma alanı Aksu Havzası'nın batı sınırında bulunmaktadır. Şenel (1997) ve Glover ve Robertson (1998a) Aksu Havzası'nın batı sınırını normal fay ile açıklamaktadır. Çalışma alanında bu tezi destekleyecek bulgular elde edilmiştir. Hurma kuzeyindeki Güzyaka Dağı ve Küçükdağtepe'yi birbirinden ayıran dokanağın

bir oblik fay olduğu düşünülmektedir. Küçükdağtepe'nin enişelon yapısı yanıl atım bileşeninin belirtisi olarak kabul edilmiştir. Benzer bir yapı Hurma'nın 8.5 km kuzeyindeki Karaman Boğazı'nda da gözlenmektedir.

Çalışma alanını merkez kabul eden 100 km yarıçaplı daire içinde $M=4.0-6.4$ büyüklüğünde

1900-2010 tarihleri arasında 212 deprem kaydedilmiştir. Anakaya derinliğinin fazlalığı ve zeminin yumuşaklığı nedenleri ile deprem şiddeti kayaya göre daha fazla hissedilecektir. Kil oranı % 10'un altında silt veya ince kum tabakalarına rastlanmadığından sıvılaşma riskinin düşük olduğu söylenebilir.



Şekil 6. Çalışma alanını etkileyebilecek deprem kaynakları (Glover ve Robertson 1998b'den değiştirilerek).

Figure 6. Earthquake sources which may affect the study area (Modified from Glover and Robertson 1998b).

TAŞKIN

Antalya merkezde 1200 mm dolayında olan yıllık ortalama yağışın %54'ü kış aylarında düşer (Yılmaz, 2008). 2001 yılında ise 1892 mm yağış ile 1969 yılındaki 1914 mm değerinin ardından son 100 yılın ikinci büyük yağışı kaydedilmiştir. Daha dikkat çekici olanı ise bu yağışın 1390 mm'sinin (yıllık toplamın % 74'ü) kasım ve aralık aylarında gerçekleşmiş olmasıdır (Dipova, 2009). Boğaçay Havzası yağış alanının %14'ü 1500 m kotu üzerinde olup, denize 27 km yatay mesafede kot 2000 m'ye çıkmaktadır. Havzada kireçtaşı ağırlıklı olmakla birlikte ofiyolit türü

geçirimsiz kayalar da bulunmaktadır. Yüksek eğim ve anlık yüksek yağış Boğaçay'ın "boğa" gibi hızlı ve korkutucu akmasına neden oluştur ki halk çaya Boğaçay ismini vermiştir.

Boğaçay Havzası'ndaki yerleşim yerleri her zaman sel ve taşkın riski altında kalmıştır. Tarım arazisinde su birikmeleri ve sel sularının getirdiği taş, çakıl, moloz gibi malzemelerin geniş bir alana yayılması çok kez tekrar etmiştir. Bölgenin imara açılması ile sel ve taşkın hasarlarının boyutu daha da büyümüştür. 2003 aralık ayında meydana gelen fırtına sonrasında Boğaçay mansabında bulunan karayolu köprüsü büyük

hasar görmüştür. Köprüde meydana gelen hasar, fırtına sırasında bu çayın taşkın debisinin köprü ayağı temellerinde meydana getirdiği yerel oyulmadan kaynaklanmıştır. 260 m genişliğindeki çay kanalının tümüyle dolduğu,

köprü ayakları kazık temelle inşa edilen kuzeydeki diğer köprüünün tabliye seviyesine kadar suyun yükseldiği, yer yer de yatak dışına taşıdığı ve imar alanlarını bastığı görülmüştür (Şekil 7).



Şekil 7. Bir taşkın döneminde Boğaçay'ın taşması.

Figure 7. Overflow of Boğaçay stream during a flood period.

KIYI EROZYONU

2000'li yıllarda Boğaçay Köprüsü doğu kesiminde kıyı erozyonu sorunları ortaya çıkmıştır. Yol ve kaldırımlarda gözlemlenen hasarlar taş dolgu (anroşman) yapılarak geçici olarak çözülmüştür. 2004 kışında meydana gelen fırtına sonrasında Konyaaltı Plajı'nda plaja paralel Antalya-Kemer karayolunun deniz tarafı, kıyı duvarları ve anroşmanda plaj boyunca özellikle Gürsu sahili civarında hasarlar oluşmuştur. Bunun üzerine plajın yaklaşık 800 m'lik kesimine dairesel yüzeyli kıyı duvarı inşa edilmiştir.

Kıyıdaکی erozyonun büyüklüğünü araştırmak için Harita Umum Müdürlüğü

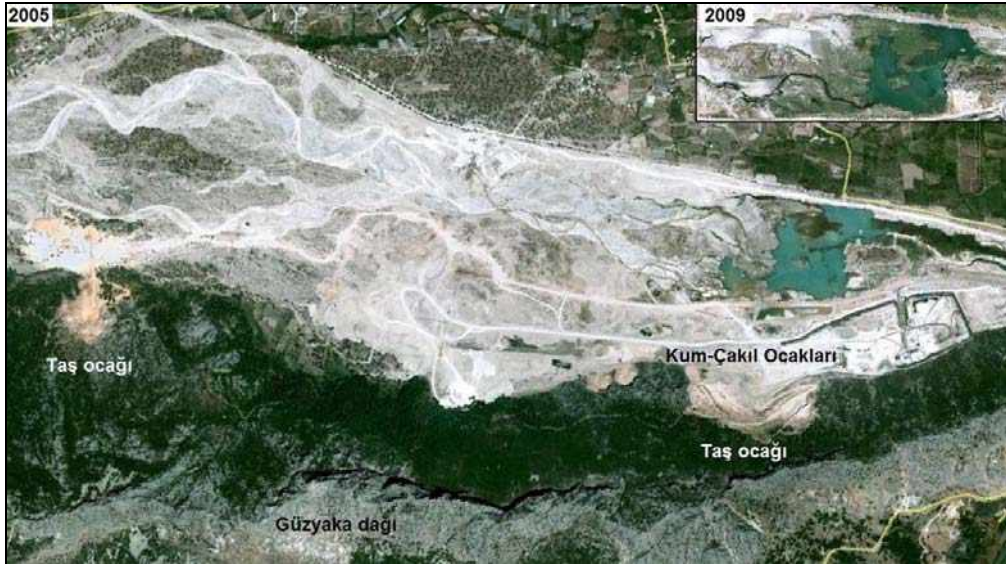
tarafından 1934 tarihinde yapılan 1:25000 ölçekli topografik harita 2010 tarihli uydu görüntüleri ile karşılaştırılmıştır. Arazide dik yarlar ve kanyonlar bulunduğundan çakıştırma ve karşılaştırma işlemi güvenilir bir şekilde yapılabilmektedir. Şekil 8'de görüldüğü gibi limanın doğu kesiminde erozyon belirgin olarak görülürken (kırmızı bölgeler), limanın batısında birikme gözlenmektedir (sarı bölge). Bu değişimde liman büyük mendireği önemli rol oynamıştır. Ancak kırmızı bölgenin sarı bölgeden fazla oluşu başka gerekçelerin de rol aldığını göstermektedir. Bunun sebebinin, plajı besleyen sediman kaynağında ortaya çıkan azalma olduğu düşünülebilir.

Konyaaltı Plajı'nın ana sediman kaynağı Boğaçay'dır. Boğaçay'da uzun yıllar sürdürülen agrega alımı sediman kaynağını azaltarak kıyı dengesini olumsuz yönde değiştirmiştir. Şekil 8'deki kıyı çizgisi farklarından, Boğaçay çıkış ağzı civarında 70 m, kıyı duvarı inşa edilmek zorunda kalınan Gürsu sahilinde ise 50 m'ye ulaşan gerilemeler ölçülmüştür. Günümüzde Boğaçay'dan malzeme alımı durdurulmuş olmasına rağmen, işletme sırasında oluşan

çukurlar dolup çay yatağı eski haline gelinceye kadar sediman eksikliği yaşanacaktır. Şekil 9'daki büyük resimde, 2005 yılında çay yatağında malzeme alımı sonucu ortaya çıkan göl görülmektedir. Sağ üst köşedeki küçük resim ise 2009 tarihli uydu görüntüsü olup, ocakların kapalı olduğu dönemde gölün dolmaya ve hacminin azalmaya başladığını göstermektedir. Çay yatağından malzeme alımı yapılmadığı sürece doğa kendini tamir edecektir.



Şekil 8. 1934 ve 2010 yıllarına ait kıyı çizgilerinin karşılaştırması.
Figure 8. Comparison of shorelines of 1934 and 2010 years.



Şekil 9. Güzyaka Dağı kuzeyindeki malzeme ocakları.
Figure 9. Quarries at the north of Güzyaka Mountain.

MALZEME OCAKLARI

Antalya ilinde nüfus artışı ve turizm yapılaşmasına paralel olarak, 1980'li yılların sonundan itibaren büyük oranda agrega ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu talep şehir merkezine en yakın olan Boğaçay Havzası'ndan karşılanmıştır. Bu süreçte Maden Kanunu kapsamında çalışan firmalar, Valilik izni ile çalışan kurumlar, yerel yönetimler ve kaçak olarak çalışan firmalar tarafından malzeme alımı yapılmıştır. Ancak bu süreç içinde uygulamada birçok olumsuzluk yaşanmıştır.

İşletme kusurları, Boğaçay Havzası'nın yakınlarında kurulu olan yerleşim birimlerinde olumsuz çevresel etkiler yaratmıştır. Geniş alanlardan malzeme alınması, çay yatağının yer değiştirmesine neden olmuştur. Ocak sınırlarına uyulmadan malzeme alındığı, Özel İdare'ce 5 m derinlikten malzeme alınmasına müsaade edildiği halde, ocakların 10 m derinliğe kadar işletilip malzeme alındığı gözlenmiştir. Aşırı kot düşürülmesinden dolayı göllenmeler oluşmuştur (Şekil 9). Yıkama ve eleme tesislerinde yıkamadan kaynaklanan siltli atık suların doğrudan mecraya verildiği, aşağı kotlarda ilkel olarak yapılan sedde ile atık sudaki siltin çökeltilmeye çalışıldığı ancak, feyezana dönemlerinde biriken siltin doğrudan denize taşındığı ve Konyaaltı Plajı'nda büyük kirlenmeye yol açtığı gözlenmiştir. İşletmelerdeki elek üstü malzemelerinin düzensiz olarak bırakıldığı da görülmüştür.

Agrega alımına ek olarak Güzyaka Dağı'nın kuzeydoğuya bakan kireçtaşı mostralarında kırma taş ve öğütme tesisleri kurulmuştur (Şekil 9). Taş ocakları galeri patlatma yöntemiyle işletildiğinden tesislerin yoğun şekilde toz bulutları yaydığı gözlenmiştir. Yine patlama ile

Hurma yeraltısuyu kaynaklarının etkilendiği yöre halkı tarafından iddia edilmiştir.

KENT JEOLJİSİ

Yürürlükteki imar planına göre ovanın güney kısmını içine alan yaklaşık 13 km²'lik bir alan imara açıktır. 42 km²'lik kuzey bölüm ise henüz yapılaşmaya açık olmamakla birlikte, yöre halkının bu konuda talepleri olduğu bilinmektedir. İmara açık güney kısımda 90'lı yıllarda sınırsız kat ve yüksek emsal uygulamaları ile çok katlı yapılaşmaya izin verilmiş ve sonuçta 15 kata kadar inşaatlar yapılmıştır. İmar planı hazırlanırken jeoloji bilgilerinin mevcut olmadığı veya dikkate alınmadığı anlaşılmaktadır. Konyaaltı Belediyesi'nin kaya üzerine oturan mahallelerinde en fazla 4 katlı yapılara izin verilirken, yumuşak kil kalınlığının en fazla olduğu bölümlerde 15 kata kadar yapıların bulunması bunun en önemli kanıtıdır. Özellikle ovanın orta kesimlerindeki yapı hasarları, yapıya uygun olmayan bir zemine temel mühendisliği çözümleri uygulanmaksızın inşaat yapılması sonucunda ortaya çıkmıştır.

Statik stabilite sorunlarına ek olarak çok katlı yapılaşma, deprem riski açısından da sakıncalıdır. Anakaya derinliğinin fazlalığı ve zeminin yumuşaklığı nedenleri ile deprem şiddeti, kayaya oturan yapılara göre daha fazla hissedilecektir. Yapılar inşa edilirken zemin iyileştirmesi veya kazık temel uygulaması yapılabilmektedir. Ancak bu tedbirler statik taşıma kapasitesinin artırılmasına dönük olarak projelendirilmekte ve büyük çoğunlukla da anakayaya ulaşmadan yüzer vaziyette kalmaktadır. Bölgedeki yapılar için olası bir deprem durumunda hasar riski büyüktür.

Taşkın riski imar alanlarını etkileyebilecek bir diğer doğal problemdir. DSİ Antalya Şubesi

tarafından yapılan hesaplara göre 1000 yıllık tekrarlanma aralığı için taşkın durumunda hemen hemen tüm imar alanının sular altında kalacağı rapor edilmiştir (DSİ, 1997). Ancak uygulamada 500 yıllık tekrarlanma aralığına göre debi alınarak Boğaçay yatak genişliği 260 m olarak belirlenmiştir. Bu durum Boğaçay Ovası'ndaki yerleşim alanları için taşkın riskinin bulunmakta olduğunu göstermektedir. İmar planı hazırlanmadan önce bu konuların değerlendirilmiş olması, çay yatağının geniş tutulması ve Boğaçay kıyısındaki bölgelerde yoğun yapılaşmaya izin verilmemiş olması gerekirdi.

Kentsel gelişime paralel olarak ihtiyaçlar da artmaktadır. Antalya'ya yapılması düşünülen ikinci bir yat limanı için Boğaçay yatağı öngörülmektedir. Çay yatağının kazılarak derinleştirilmesi, denizin yatağa girmesinin sağlanması ve bu yolla bir yat limanı elde edilmesi düşünülmektedir. Bu proje için önemli sakıncalardan birisi yeraltı su kaynaklarının tuzlanması ve kirlenmesidir. Diğer bir sakınca ise Boğaçay'ın taşıdığı sedimanın sürekli olarak limanı dolduracağı ve işletme maliyetini artıracaktır. Biriken sedimanın taranarak çıkarılmasının maliyeti bir yana, Konyaaltı Plajı'nın sediman kaynağında azalma olacak ve kıyı erozyonu sorunu ortaya çıkacaktır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Boğaçay Ovası, akarsularca taşınmış granuler malzemeler ile lagüner kökenli ince taneli zeminlerden oluşmuştur. Ovanın özellikle orta bölümleri "yeşil-koyu mavi, yumuşak kil" ağırlıklıdır. Boğaçay Ovası'nın kuzey bölümü alüvyon ve taşkın ovası niteliğinde iken, güney ova daha karmaşık bir yapı sunar. Zeminin zayıf ve karmaşık karakterine ilave olarak, zemin etüdlerinin gerekli ayrıntıda yapılmamış olması,

buna bağlı olarak uygun olmayan projelendirme ve imar planında yüksek katlı yapılaşmaya izin verilmiş olması jeoteknik kaynaklı sorunlara neden olmuştur.

Ovanın yüzey su kaynakları Boğaçay ve Sarısu'dur. Ovada yeraltı suyu seviyesi yaz sonunda 1.5-2.0 m arasındadır. Kış aylarında su seviyesi ovanın orta kesimlerinde doğal zemin kotuna kadar çıkmakta, ovanın batı kesimindeki Saz Ovası civarında ise yer yer sulak alan görünümü kazanmaktadır. İnce taneli zeminlerin hakim olduğu orta bölümleri yeraltı suyu kullanımı için uygun değildir.

Antalya ve çevresi, Fethiye-Burdur Fay Zonu, Helenik-Kıbrıs Fayı'nın Antalya Körfezi'nde uzanan bölümü ile Kırkkavak Fayı ve Aksu Fayı boyunca uzanan fay zonunun etkisi altındadır. Anakaya derinliğinin fazlalığı ve zeminin yumuşaklığı nedenleri ile deprem şiddeti, bu alanlardaki yapılarda kayada bulunan yapılara göre daha fazla hissedilecektir.

Konyaaltı Plajı'nda erozyon nedeni gerileme sonucunda Antalya-Kemer karayolunun deniz tarafı, kıyı duvarları ve anroşmanda fırtına dönemlerinde hasarlar oluşmuştur. Kıyı erozyonunun bir nedeni Antalya Limanı büyük mendireğinin sediman taşınmasına engel olmasıdır. Diğer bir gerekçe ise plajı besleyen sediman kaynağında ortaya çıkan azalmadır. Boğaçay'da uzun yıllar sürdürülen agrega alımı sediman kaynağını azaltarak kıyı dengesini olumsuz yönde değiştirmiştir

Boğaçay'ndaki kum çakıl ocaklarında yıkamadan kaynaklanan siltli atık suların doğrudan mecraya verildiği, siltin denize taşındığı, işletmelerdeki elek üstü malzemelerinin düzensiz olarak bırakıldığı, derinden malzeme alınarak göllenmelere neden olduğu, taş ocaklarının galeri açıp patlatılmasıyla işletildikleri kırma tesislerinin de

yoğun şekilde toz bulutları yaydığı ve patlama ile yeraltısuyu kaynaklarının olumsuz etkilendiği gözlenmiştir.

Ova imara açılırken jeoloji bilgilerinin mevcut olmadığı veya dikkate alınmadığı anlaşılmaktadır. Bölgede inşa edilen yapılarda gözlenen limitlerin üzerinde oturma ve eğilmeler, kil zeminin sıkışma potansiyelinin yüksekliğinden, kil katmanının kalınlığından ve zemin profilinin heterojenliğinden kaynaklanmaktadır. 1000 yıllık tekrarlama debisinde bir taşkın durumunda hemen hemen tüm imar alanının sular altında kalacağı rapor edilmiştir. Mühendislik jeolojisi kriterleri değerlendirildiğinde, özellikle ovanın güney bölümünün orta kesimleri için mevcut yoğun yapılaşmanın büyük risk taşıdığı ve mevcut imar durumunun jeolojik veriler ışığında revize edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Boğaçay Ovası'nda gelecekte yapılacak projelerde de mühendislik jeolojisi değerlendirmeleri yapılarak uygulamaya geçilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Akay, E., Uysal, Ş., Poisson, A., Cravatte, J., ve Müller, C., 1985. Antalya Neojen havzasının stratigrafisi. T.J.K. Bülteni, 28 (2), 105-121.
- Cangir, B., 2008. Hurma ve Sarısu (Antalya) bölgelerindeki zeminlerin geoteknik özelliklerinin araştırılması. Akdeniz Üniversitesi FBE, İnşaat Müh. Ana Bl. Dalı.
- Çevik, N., 1994. Localisation of Olbia at the north of Pamphilia, Lykia, Anadolu-Akdeniz Arkeolojisi, Akdeniz Üniversitesi Likya Araştırma Merkezi ve Arkeoloji Bölümü Süreli Yayını.
- Dipova, N., 1997. Assessment of soil behaviour in the Konyaaltı region (Antalya), M.S.Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Dipova, N., 2009. Preliminary assessments on the modes of instability of the Antalya (SW-Turkey) coastal cliffs. Environmental Earth Sciences, 59 (3), 547-560.
- Dipova, N., 2010. Geotechnical characterization and facies change detection of the Bogacay coastal plain (Antalya, Turkey) soils. Environmental Earth Sciences, DOI: 10.1007/s12665-010-0575-6
- Dipova, N., Cangir, B., 2010. Lagün kökenli kil-silt zeminde sıkışabilirlik özelliklerinin regresyon ve yapay sinir ağları yöntemleri ile belirlenmesi. İMO Teknik Dergi, 21 (3), 5069-5086.
- DSİ, 1997. Boğa Çayı Taşkın Raporu, DSİ 13. Antalya Bölge Müdürlüğü.
- Glover, C.P., Robertson, A.H.F., 1998a. Role of regional extension and uplift in the Plio-Pleistocene evolution of the Aksu Basin, SW Turkey. Journal of Geological Society, London, 155, 365-387.
- Glover, C.P., Robertson, A.H.F., 1998b. Neotectonic intersection of the Aegean and Cyprus tectonic arcs: extensional and strike-slip faulting in the Isparta Angle, SW Turkey. Tectonophysics, 298, 103-132.
- Kılıcı, R.E., 2005. Antalya Liman Mahallesi'ndeki killi zeminin geoteknik özelliklerinin belirlenmesi, Akdeniz Üniversitesi FBE, İnşaat Müh. Ana Bl. Dalı.
- Öner, A., 1997. Teke yarımadası (Antalya) güneyinde kıyı-kenar çizgisi değişimleri, I. Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları, Ulusal Konferansı Bildiriler Kitabı, Ankara.
- Şenel, M., 1997. 1:100.000 Türkiye Jeoloji Haritası, Antalya L11 Paftası. MTA Yayınları, Ankara.
- Yılmaz, F.K., 2008. Antalya'nın günlük yağış özellikleri ve şiddetli yağışların doğal afetler üzerine etkisi, Sosyal Bilimler Dergisi, 10 (1), 19-65.

İki ve Çok Değişkenli İstatistik ve Sezgisel Tabanlı Heyelan Duyarlılık Modellerinin Karşılaştırılması: Ayvalık (Balıkesir, Kuzeybatı Türkiye) Örneği

Comparison of Bivariate and Multivariate Statistical and Heuristic-Based Landslide Susceptibility Models: an Example From Ayvalık (Balıkesir, Northwestern Turkey)

Aykut AKGÜN¹, Necdet TÜRK²

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, TRABZON

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İZMİR

ÖZ

Heyelanlar, ülkemizde ve dünyada depremlerden sonra en fazla sıklıkla meydana gelen ve en çok zarar verici potansiyele sahip doğal afetlerden birisidir. Mühendislik açısından, heyelan zararlarının en aza indirilmesi amacıyla, heyelan olayının önceden tahmin edilmesi büyük önem taşımakta olup, olasılığa dayalı yöntemlerle heyelana duyarlı alanların belirlenmesi, özellikle son yirmi yılda, gerek dünyada gerekse ülkemizde oldukça yaygınlaşmıştır. Bu çalışma kapsamında, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında en fazla kullanılan yöntemlerden iki ve çok değişkenli istatistik yöntemler ile sezgisel yöntemin karşılaştırması yapılmıştır. Amaca yönelik olarak, Ayvalık ilçesi (Balıkesir) ve yakın çevresi inceleme alanı olarak seçilmiş ve toplam 45 heyelan haritalanmıştır. Morfolojik, jeolojik ve arazi kullanımı verileri, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kapsamında mevcut topoğrafik ve ilgili tematik haritalar kullanılarak üretilmiştir. Çalışma alanında, heyelana neden olan parametreler olarak; yamaç eğimi ve yönelimi, litoloji, kayaların ayrışma durumu, akarsu gücü indeksi (AGİ), topoğrafik nemlilik indeksi (TNI), drenaj ağından uzaklık, yapısal unsurların yoğunluğu, arazi ve bitki örtüsü yoğunluğu dikkate alınmıştır. Bu heyelan parametreleri, bulanık üyelik fonksiyonları yardımıyla ortak bir ölçekte standartlaştırılmıştır. Daha sonra, her bir parametrenin heyelan oluşumuna katkısı; benzerlik oranı, mantıksal regresyon ve analitik hiyerarşi yöntemleri kullanılarak incelenmiş ve bu parametrelerin ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Her bir yöntemle belirlenen ağırlık değerleri dikkate alınarak heyelan duyarlılık haritaları üretilmiş, üretilen haritaların performansları, mevcut heyelan lokasyonları ile karşılaştırılarak Eğri Altındaki Alan (EAA) yaklaşımıyla sınanmıştır. Buna göre, EAA değerleri sırasıyla benzerlik oranı yöntemi için 0.76, mantıksal regresyon için 0.77 ve analitik hiyerarşi yöntemi için 0.89 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre inceleme alanı için en başarılı heyelan duyarlılık değerlendirmesinin, analitik hiyerarşi yöntemi ile olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Analitik hiyerarşi, Ayvalık, Benzerlik oranı, Heyelan, Mantıksal regresyon.

ABSTRACT

Landslides are one of the most destructive natural hazards which frequently occur after earthquakes in our country and in the world. From engineering point of view, prediction of landsliding before its occurrence has a great importance to mitigate the landslide related damages, and determination of landslide prone areas by the methods, based on probability, has spread out both in our country and in the world in the last two decades. In this study, a comparison of the most common landslide susceptibility mapping methods, namely bivariate, multivariate statistical and heuristic methods, were carried out. For this purpose, Ayvalık (Balıkesir) and its near vicinity were selected as study area, and in total 45 landslides were mapped. Morphologic, geologic and land-use data were produced in Geographical Information Systems (GIS) by using available topographical and relevant thematic maps. In the area, slope gradient and aspect, lithology, weathering conditions of the rocks, stream power index (SPI), topographical wetness index (TWI), distance from drainage, density of structural features, land-cover and vegetation cover density were considered as the parameters causing the landslides. All of the parameters were standardized in a common scale by using fuzzy membership functions. Then, the contribution of each of these parameters for the landslide occurrence were investigated by likelihood ratio, logistic regression and analytical hierarchy methods, and the weight values of the parameters were calculated. Considering the weight values determined by each method, landslide susceptibility maps were produced, and the performances of the produced maps were tested by comparing landslide locations using Area Under Curvature (AUC) approach. Based on this, the AUC values were determined to be 0.76, 0.77 and 0.89 for likelihood ratio, logistic regression and analytical hierarchy models, respectively. According to these results, analytical hierarchy model was considered to be the best landslide susceptibility method for the study area.

Key Words: Analytical hierarchy, Ayvalık, likelihood ratio, Landslide, Logistic regression.

GİRİŞ

Heyelanlar, genel olarak bir yamaç ya da sevi oluştururken toprak ya da kaya malzemesinin suyun taşıyıcı etkisi olmaksızın, yerçekimine bağlı olarak yamaç aşağı doğru hareketi olarak tanımlanmaktadır (Crozier, 1986). Soeters ve van Westen (1996) ise heyelanları daha ilişkisel bir tanımlama ile yamaç duraysızlığı sürecinin yerel jeomorfoloji, hidrojeoloji ve jeolojik durum ile bunların jeodinamik süreçler, bitki örtüsü, arazi kullanımı ve insan aktiviteleri gibi yan etkilerle kontrol edilmesinin yanı sıra, yağış ve sismik aktivite gibi faktörlerle tetiklenen bir ürün olarak ifade etmişlerdir.

Son 30 yıldır toplumlarda heyelan problemleriyle ilgili baş gösteren acil çözüm ihtiyaçları, pek çok araştırmacıyı bu konu ile ilgilenmeye teşvik etmiştir. Heyelan duyarlılığı ile ilgili araştırmacıların son 20 yıl içindeki eğilimleri ve heyelan duyarlılık analizinde kullanılan yöntem ve seçilen değerlendirme parametrelerine ilişkin genel bir değerlendirme van Westen (1993) (Çizelge 1) ve Chacon vd. (2006) ve tarafından verilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak gerçekleştirilen heyelan duyarlılık değerlendirmesi üzerine literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalara bakıldığında, büyük çoğunluğunun olasılıksal modeller kullanılarak yapıldığı görülmektedir (Lee ve Min, 2001; Baeza ve Coronimas, 2001;

Çevik ve Topal, 2003; Gökçeoğlu vd., 2005; Lee ve Dan, 2005; Komac, 2006; Clerici vd. 2006; Akgün ve Bulut, 2007; Akgün ve Türk, 2010). İstatistiksel yöntemlerden biri olan mantıksal regresyon, en sıklıkla kullanılan çok değişkenli istatistik yöntemlerin başında gelmektedir (Atkinson ve Massari 1998; Süzen ve Doyuran 2004; Ohlmacher ve Davis 2003; Lee, 2005; Yeşilnacar ve Topal, 2005; Lee ve Sambath 2006; Tunusluoglu vd., 2007; Akgün vd. 2008; Lamelas vd., 2008; Nefeslioğlu vd., 2008; Kıncal vd., 2009; Yılmaz, 2010). Heyelan duyarlılık değerlendirmesinde yeni bir yaklaşım olarak kabul edilen bulanık mantık, yapay sinir

ağları, karar ağacı gibi veri madenciliği yöntemleri de son yıllarda sıklıkla kullanılan yöntemler arasında yerini almaktadır (Ercanoğlu ve Gökçeoğlu 2002;Ermini, 2005; Castellanos Abella ve Van Westen 2007; Pradhan ve Lee 2007; Lee ve Pradhan, 2007 Chen vd., 2009; Yılmaz, 2009; Nefeslioğlu vd., 2010). Bu çalışmada, verilmiş olan referans çalışmalardan farklı olarak, istatistiksel değerlendirme yöntemlerinden iki ve çok değişkenli istatistik yaklaşımlar ile olasılıksal yöntemler içerisinde gösterilen sezgisel tabanlı uzman görüşüne dayalı yöntemlerin bir karşılaştırılması yapılmış ve sonuçları irdelenmiştir.

Çizelge 1. Heyelan zarar ve duyarlılık zonlamasındaki yaygın yaklaşımlar (van Westen, 1993).

Table 1. Common approaches at landslide hazard and susceptibility zonations (van Westen, 1993).

Duyarlılık Analiz Türü	Temel Özellikler
1. Dağılım Analizi	Geçmişte olan erozyon ve heyelan alanlarının yerlerini gösteren harita formatında bilgi.
2. Kalitatif Analiz	Doğrudan veya yarı-doğrudan yaklaşım kullanan, kullanıcı deneyimine dayalı birçok haritanın birleştirilmesiyle elde edilen yöntem.
3. İstatistiksel Analiz	Bir seri parametre haritasından yararlanarak elde edilen ve istatistik yöntemler kullanarak olasılık sonuçları elde edilen dolaylı yöntemler.
4. Deterministik Analiz	Stabilite analiz sonuçlarını içeren parametre haritalarının birleştirilmesi yöntemini kullanan dolaylı yöntemler.
5. Frekans Analizi	Belirli bir frekanstaki sınır değerlerini elde etmek için bilinen lokasyonlar ile deprem, yağış gibi olayların korelasyonun kullanılması.

İnceleme alanında yüzeylenen kayalarda gözlenen yoğun ayrışma, yüksek eğimli yamaçların varlığı, yamaçlarda yapılan kazılar ve iklimsel etkiler gibi nedenlerden, bölgede yoğun bir erozyon gelişimi ile birlikte heyelan gelişimini de kolaylaştırmaktadır. Bu nedenlerden dolayı inceleme alanının heyelan duyarlılık açısından değerlendirilmesine karar verilmiş ve bu kapsamda yukarıda bahsedilen üç farklı yöntem kullanılarak üç ayrı heyelan duyarlılık haritası üretilerek doğruluk değerlendirmesi amacıyla bunların bir karşılaştırması yapılmıştır.

İNCELEME ALANI VE JEOLojİSİ

Çalışma alanı Türkiye'nin Kuzeybatı Anadolu kısmında yer almakta olup, Balıkesir iline bağlı Ayvalık ilçesi ile İzmir iline bağlı Bergama ilçeleri arasında bulunmaktadır (Şekil 1). İnceleme alanı güneyden kuzeye doğru

yaklaşık 40 km, doğudan batıya ise ortalama 10 km olup toplam çalışma alanı olarak yaklaşık 424 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Yarı-nemli Akdeniz ikliminin görüldüğü inceleme alanı, uzun yıllar yağış ortalamasına göre (1961-2000) 700-800 mm yağış alan bir bölgede yer almaktadır. İnceleme alanında topoğrafik yükseltiler 30-513 m arasında olup, yamaç eğim değerleri 25 derece ortalama ile 3-47 derece arasında değişmektedir. Yamaçlar genel olarak güneybatı yönelimli olup, yoğun bitki örtüsüne sahip yamaçlar çoğunlukla düşük eğimli yamaçları kaplarken, yüksek eğimli yamaçlarda bitki örtüsünün oldukça seyrek olduğu görülmektedir. Çalışma alanı Biga Yarımadası ile Menderes Masifi ve Kozak Plütunu arasında kalan kısımda yer almakta olup (Şekil 1), bölgesel anlamda otokton olarak Alt Triyas'tan Kuvaterner'e kadar çökel, magmatik ve metamorfik kayaların yüzeylendiği görülmektedir.

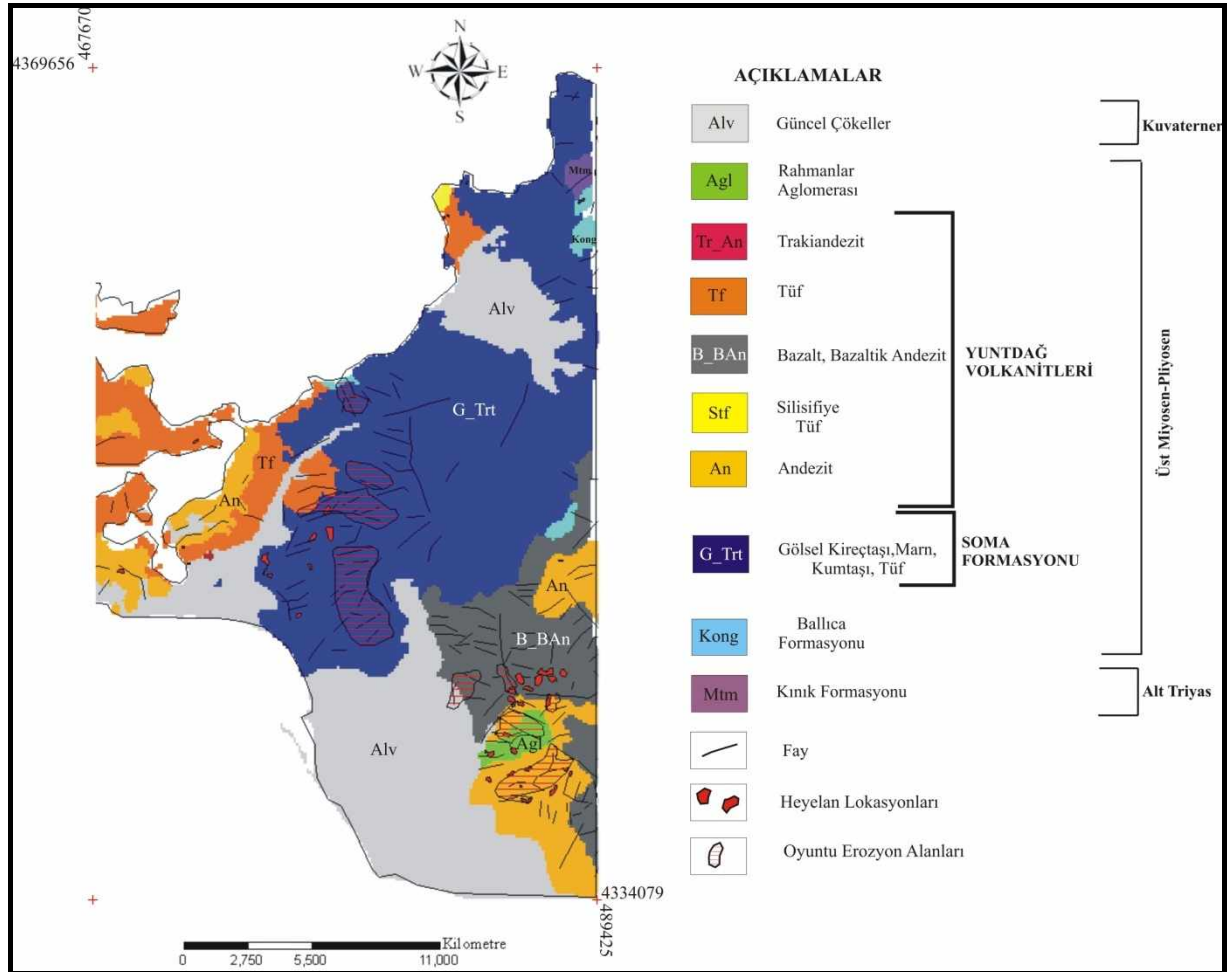


Şekil 1. İnceleme alanına ait yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

İnceleme alanında yüzeyleyen litolojik birimler alttan üste doğru; metamorfik bir seri olan Kınık formasyonu, andezit, bazalt, trakiandezit, trakit, dasit ve riyodasit birimlerini içeren Yuntdağ volkanitleri, konglomeratik bir seviye ile ifade edilen Ballica formasyonu, gösel tortulardan oluşan Soma formasyonu, andezitik

volkanizma ürünü aglomeralardan oluşan Rahmanlar aglomerası ile alüvyon olarak ayırtlanmıştır. Birimlerin inceleme alanındaki dağılım ve ilişkileri 1:25.000 ölçekli jeoloji haritasında gösterilmiş olup (Şekil 2), kaya birimleri ile bunlara ait özellikler genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesitte verilmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. İnceleme alanına ait genel jeoloji haritası (Akyürek, 1989'dan değiştirilerek hazırlanmıştır).

Figure 2. Geological map of the study area (Modified from Akyurek, 1989).

Sistem	Seri	Formasyon	Litoloji	Tanımlama
Kuvaterner		Güncel Tortullar		Güncel kıyı ve akarsu sedimanları
		Tersiyer	Üst Miyosen-Pliyosen	Rahmanlar
Soma Yuntdağ	Gösel kireçtaşı, marn, kil ve siltaşı, tuf ve kumtaşı			
	Andezit, bazaltik andezit, bazalt, tuf, silisifiye tuf, trakiandezit, trakit, dasit ve riylit içeren volkanik seri			
Balhca	Orta-kötü boylanmış, andezit, bazalt, riylit, riyo dasit, trakiandezit çakılları içeren konglomera			
Triyas	Alt Triyas	Kimik		Metaçamurtaşı, metakumtaşı, metavolkanitten oluşan metamorfik seri

Şekil 3. İnceleme alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesit (Ölçeksiz) (Akyürek, 1989).

Figure 3. Generalized stratigraphical columnar section of the study area (Not to scale) (Akyürek, 1989)

VERİ VE YÖNTEMLER

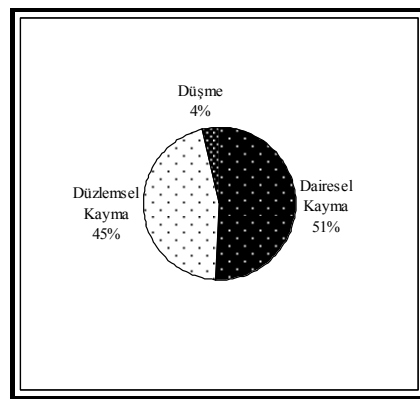
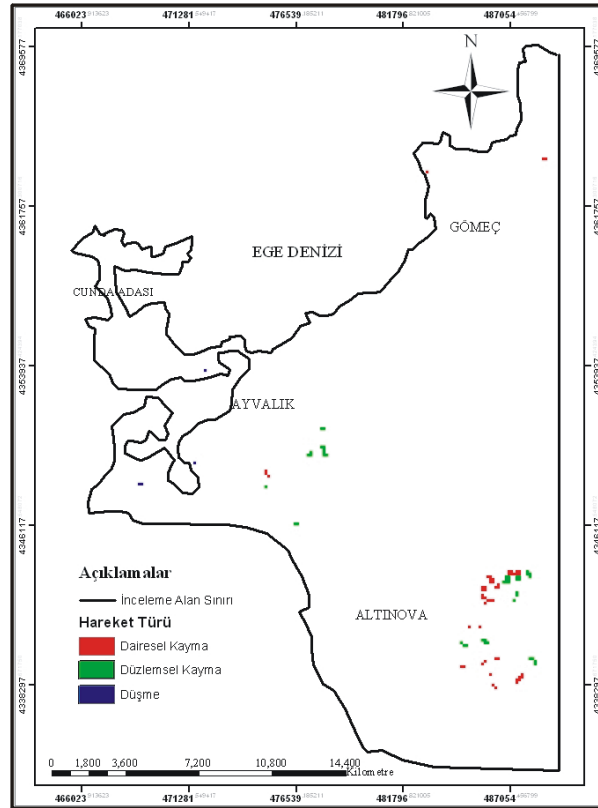
Girdi Verilerinin Hazırlanması

Heyelan duyarlılık değerlendirmesindeki en önemli verilerin başında detaylı bir şekilde hazırlanmış heyelan envanter verisi gelmektedir. Bu maksatla inceleme alanında meydana gelen kütle hareketleri, ayrıntılı arazi gözlemleri, 1/35.000 ölçekli 1995 yılına ait stereo pankromatik hava fotoğrafları ve 15 m yersel çözünürlüklü, 2004 yılına ait Aster 3A01 uydu görüntüsü kullanılarak haritalanmıştır. Envanter haritalaması yapılırken hareketin türü, Varnes

(1978) tarafından önerilen kütle hareketi sınıflamasına göre sınıflandırılmıştır. Buna göre inceleme alanında haritalanan 45 kütle hareketi, dairesel kayma, düzlemsel kayma ve düşme olarak ayırtlanmıştır. Hareket alanlarının harita üzerine aktarılması sırasında heyelan kütlelerinin esas ayna (main scarp) yüzeyi ve yan kayma yüzeylerinden itibaren 50'şer metrelik bir zon dikkate alınmış, düzlemsel kayma ve düşme türü hareketlerin haritalanmasında ise hareketin meydana gelmiş olduğu yüzeyden itibaren yine 50 m'lik bir zon göz önüne alınmıştır. Buna göre ayırt edilen heyelanların %51'inin dairesel kayma, %45'inin düzlemsel kayma ve %4'ünün

ise düşme türü kütle hareketi olduğu görülmüştür (Şekil 4). Üretilen heyelan envanter haritasındaki heyelan lokasyonlarından rastgele seçilen 30 tanesi model oluşturulmasında, geri kalan 15

lokasyon ise doğruluk değerlendirmesinde kullanılmıştır.

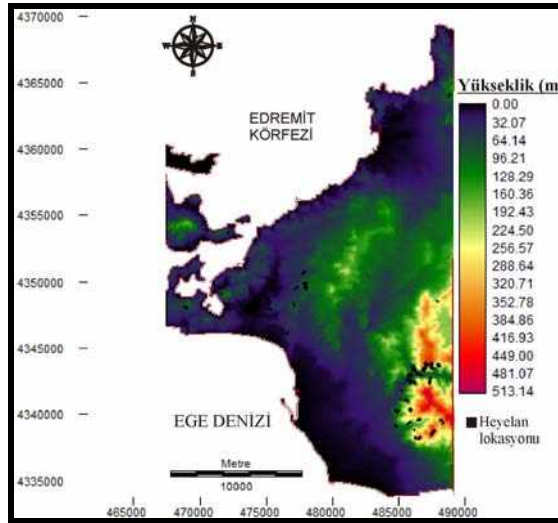


Şekil 4. İnceleme alanında haritalanan heyelan lokasyonlarını gösteren heyelan envanter haritası.

Figure 4. Landslide inventory map showing the landslide locations mapped in the study area.

Heyelan duyarlılık değerlendirmesinde kullanılan morfometrik verilerden yamaç eğimi, yamaç yönelimi, akarsu güç indeksi (Moore vd., 1991) ve topoğrafik nemlilik indeksi verileri (Moore vd., 1991), 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritaların sayısallaştırılması ve buna Düzensiz Üçgen Ağları (TIN) uygulanmasıyla elde edilen sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanılarak üretilmiştir (Şekil 5) (Akgün ve Türk, 2010). Litoloji verisi, arazide doğrulaması yapılan 1:25.000 ölçekli jeoloji haritasının sayısallaştırılmasıyla elde edilmiştir. Ayrışma derecesi haritası yine arazide 1:25.000 ölçekli olarak yapılmış ve elde edilen harita sayısal formata dönüştürülmüştür. Bu aşamada, kayaların ayrışma durumları değerlendirilirken ISRM (1981) tarafından önerilen arazi değerlendirme ölçütleri dikkate alınmıştır. Arazi ve bitki örtüsü verileri, 16 Ekim 2001 tarihinde çekilen Landsat 7 ETM+ görüntüsü kullanılarak elde edilmiş olup görüntüye ait görünür ışık bantları 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita baz alınarak 0.5526 piksel doğruluğunda jeo-

referanslanmıştır. Bu değer, tolere edilebilir maksimum Ortalama Karekök Hata (RMSE) değeri olarak bilinmektedir (Jensen, 2000). Jeoreferanslanan bantlar, Yapay Sinir Ağı Yöntemi (Huang ve Jensen, 1997) kullanılarak %94.77 Kappa doğruluk indeksi değeri ile sınıflandırılmış ve arazi örtüsü verisi elde edilmiştir. Aynı görüntünün Kıızıl Ötesi (KÖ) ve Kırmızı bantları ile normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi (NBÖİ) algoritması (Gupta, 2003) kullanılarak da bitki örtüsü yoğunluk verisi üretilmiştir. 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita üzerinden drenaj hatları sayısallaştırılmış, sayısallaştırılan veri ArcGIS 8.2 (ESRI, 2002) yazılımı kullanılarak drenaj hattı yoğunluk haritası elde edilmiştir. Benzer şekilde, gerek arazi gözlemleriyle, gerekse 15 m yersel çözünürlüklü Aster uydusunun görünür kıızıl ötesi bantlarından elde edilen kompozit görüntüler kullanılarak inceleme alanında belirlenen çizgisellikler sayısallaştırılmış ve bu veriden çizgisellik yoğunluk haritası elde edilmiştir.



Şekil 5. İnceleme alanına ait sayısal yükseklik modeli (SYM).

Figure 5. Digital elevation model of the study area.

Verilerin Bulanık Küme Üyelik Derecelendirmesine Göre Standartlaştırılması

Çalışmanın bu aşamasında, duyarlılık değerlendirmesi yapılan faktörlerin standart puanlara dönüştürülmesi amacıyla her bir faktöre ait kural oluşturulması hedeflenmiştir. Kural tabanlı bir bulanık modelde anlam çıkarmak için sonuç çıkarıcı bir fonksiyona ihtiyaç vardır. Bu fonksiyon “eğer-o zaman (if-then)” veya bir bulanık durum ifadesi olarak adlandırılmaktadır (Alvarez Grima, 2000). Bulanık bir küme, bir üye çiftleri kümesi olup, bu üyeler için “güven” veya “dayanak”ın derecelerinden oluşmaktadır. “Yaklaşık 7” kavramı için bir bulanık küme örneği (0.1/5, 0.7/6, 1/7, 0.7/8, 0.1/9) olarak ifade edilebilir. Bir bulanık küme notasyonunda bölüm (/) işaretinden sonra gelen üyeler kümenin üyeleri, bölme işaretinden önce gelen sayılar ise kümeye ait üyelerin o kümeye aitlik derecelerini ifade etmektedir. Dilsel terimleri ifade etmek için bulanık kümelerin kullanımı, söz konusu şeyin tutarlı ve daha doğru bir şekilde ifade edilmesini sağlamaktadır (Juang vd., 1992). Değerleri kelimeler, ifadeler veya cümleler olan dilsel değişkenler, bulanık bir kümenin etiketleri olarak kabul edilmektedir (Zadeh, 1973). Bu noktadan hareketle, heyelan duyarlılık değerlendirmesinde kullanılan parametrelerin bulanık mantık yöntemiyle bulanıklaştırılarak standart bir tip veri oluşturulması amaçlanmıştır. Bu aşamada, duyarlılık analizinde kullanılan eğim, yamaç yönelimi, ayrışma, jeoloji, bitki örtüsü, arazi örtüsü, drenaj yoğunluğu, drenaj ağlarına yakınlık, akarsu güç indeksi ve topoğrafik nemlilik indeksi parametrelerinin her biri için heyelana en çok ve en az duyarlı oldukları değerleri dikkate alınarak bir kural oluşturulmuştur. Bu kurallar oluşturulurken, her bir parametre grubu için heyelan oluşum frekansı değerleri ve arazi gözlemleri dikkate alınmıştır.

Bu kurallarda göz önünde bulundurulmuş ifadeler aşağıdaki biçimde düzenlenmiştir.

Kural 1 (Eğim faktörü için)

1. Eğer yamaç eğimi düşük (3°) veya orta derecede dikse (15°), heyelan duyarlılığı düşüktür.
2. Eğer yamaç eğimi yüksekse ($>15^{\circ}$) heyelan duyarlılığı yüksektir.

Kural 2 (Yamaç Yönelim faktörü için)

1. Eğer yamaçlar Kuzeybatı'ya eğimli ise heyelan duyarlılığı yüksektir.
2. Eğer yamaçlar Kuzeybatı'ya doğru eğimli değilse heyelan duyarlılığı düşüktür.

Burada yamaç yönelimlerinin kuzeybatıya alınmasındaki amaç, inceleme alanındaki yıllık en fazla hakim yağış ve rüzgar alım yönünün kuzey batı olmasıdır.

Kural 3 (Ayrışma faktörü için)

1. Eğer kayaların ayrışma derecesi çok düşükse heyelan duyarlılığı çok düşüktür.
2. Eğer kayaların ayrışma dereceleri orta, yüksek ve çok yüksekse heyelan duyarlılığı yüksektir.

Kural 4 (Bitki yoğunluk faktörü için)

1. Eğer bitki yoğunluğu yüksek ise heyelan duyarlılığı düşüktür.

Akgün ve Türk

2. Eğer bitki yoğunluğu düşükse ve tamamen örtüsüz bir arazi ise heyelan duyarlılığı yüksektir.

Kural 5 (Drenaj yoğunluk faktörü için)

1. Eğer drenaj yoğunluğu düşükse heyelan duyarlılığı düşüktür.
2. Eğer drenaj yoğunluğu yüksekse, heyelan duyarlılığı yüksektir.

Kural 6 (Drenaj hatlarına uzaklık faktörü için)

1. Eğer drenaj hatlarına uzaklık 50 metreden fazla ise heyelan duyarlılığı düşüktür.
2. Eğer drenaj hatlarına olan mesafe 50 metreden az ise heyelan duyarlılığı yüksektir.

Kural 7 (Jeoloji faktörü için)

1. Eğer litolojik birimler, konglomera, aglomera, silisifiye tuf, metamorfik, trakiandezit ve güncel çökeller ise heyelan duyarlılığı düşüktür.
2. Eğer litolojik birimler andezit, bazalt ve bazaltik andezit, tuf ve göl sel tortulları ise heyelan duyarlılığı yüksektir.

Burada kural oluşturulurken güncel heyelan oluşumlarının en çok hangi birimler içerisinde yer aldığı dikkate alınmıştır.

Kural 8 (Arazi örtüsü faktörü için)

1. Arazi örtüsü örtülü, tarım ve zeytin tarımı yapıyorsa, sulak alansa ve su kütlesi bulunuyorsa heyelan duyarlılığı düşüktür.

2. Arazi örtüsüz ve yerleşim alanı ise heyelan duyarlılığı yüksektir.

Kural 9 (Akarsu güç indeksi faktörü için)

1. Akarsu güç indeksi değeri düşükse heyelan duyarlılığı düşüktür.
2. Akarsu güç indeksi değeri yüksekse heyelan duyarlılığı yüksektir.

Yukarıda verilen kurallar ışığında her bir parametre haritası için bulanıklaştırma kuralları oluşturulduktan sonra hangi bulanık küme fonksiyonun seçilmesi gerektiği konusu gündeme gelmiştir. Bu amaçla, sigmoidal ve kullanıcı tanımlı üyelik fonksiyon türleri kullanılmış (Akgün ve Türk, 2010) ve heyelana neden olan parametre haritaları 0-1 arasında bir ölçekte standart puanlara dönüştürülmüştür.

Yöntemler**İki Değişkenli İstatistik Değerlendirmesi**

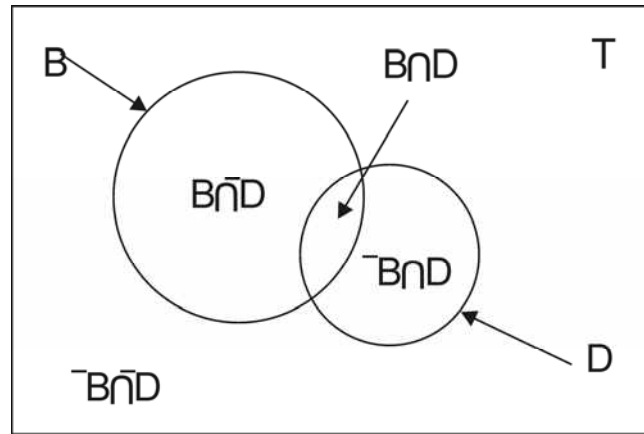
Genel olarak, heyelanların oluşumunu tahmin etmek için geçmişte, heyelana neden olduğu düşünülen faktörlerden dolayı meydana gelmiş bir heyelanın, gelecekte aynı faktörlerden dolayı yeni heyelanların meydana gelmesi konusuna ışık tutacağı kuralı temel alınmaktadır (Chung ve Fabbri, 1999). Bu yaklaşıma bağlı olarak, heyelanın meydana geldiği alanlar ile bu alanlardaki heyelana neden olan faktörler arasındaki ilişki, geçmişte heyelan olmamış alanlar ile heyelana neden olan faktörler arasındaki ilişkilerden ayırt edilebilir (Lee vd., 2004). Sayısal olarak bu ayrımı göstermek için sıklıkla kullanılan yöntemlerden birisi de olasılık-benzerlik oranı yöntemidir. Bu oran, belirli bir doğal olayın meydana gelmesinin,

aynı olayın meydana gelmemesine oranının olasılığını ifade etmektedir (Bonham-Carter, 1996). Söz konusu doğal olayın heyelan olması durumunda, eğer heyelan olma olayını D ve heyelan neden olduğu düşünülen parametreleri de T olarak gruplandırarsak, D'deki olasılık-benzerlik oranı, şartlı olasılık olacaktır. (Eşitlik 1 ve Eşitlik 2).

$$P\{D|B\} = P\{D \cap B\} / P\{B\} = P\{D\} * P\{B|D\} / P\{B\} \quad (1)$$

$$P\{D|\bar{B}\} = P\{D \cap \bar{B}\} / P\{\bar{B}\} = P\{D\} * P\{\bar{B}|D\} / P\{\bar{B}\} \quad (2)$$

Burada $P\{D\}$, D olayının meydana gelme olasılığını, $P\{B\}$ söz konusu olayı denetleyen deseni göstermektedir. Benzerlik oranını bir Venn diyagramı üzerinde Şekil 6'da gösterildiği gibi ifade etmek de mümkündür.



Şekil 6. Benzerlik oranını ifade eden Venn diyagramı (T: Tüm alan, B: Denetleyici desen var, \bar{B} : Denetleyici desen yok, D: Heyelan olayı var, \bar{D} : Heyelan olayı yok).

Figure 6. Venn diagram to show the likelihood ratio (T: Total area, B: Conditioning pattern present, \bar{B} : Conditioning parameter absent, D: Landslide occurrence present, \bar{D} : Landslide occurrence absent).

Eğer benzerlik oranı 1'den büyük olursa, heyelan ve heyelana neden olan parametre arasındaki ilişki o kadar yüksek, tersine, 1'den ne kadar küçük olursa bu ilişki o kadar düşük olacaktır. Bu yaklaşımdan hareketle, olasılık-benzerlik oranı değerlerini hesaplamak için mevcut heyelan verileri ve ilgili parametre ilişkileri kullanılarak bir olasılık çizelgesi hazırlanmıştır (Çizelge 2). Benzerlik oranı yönteminde izlenen işlem adımlarına ait bir iş akım şeması Şekil 7'de verilmektedir.

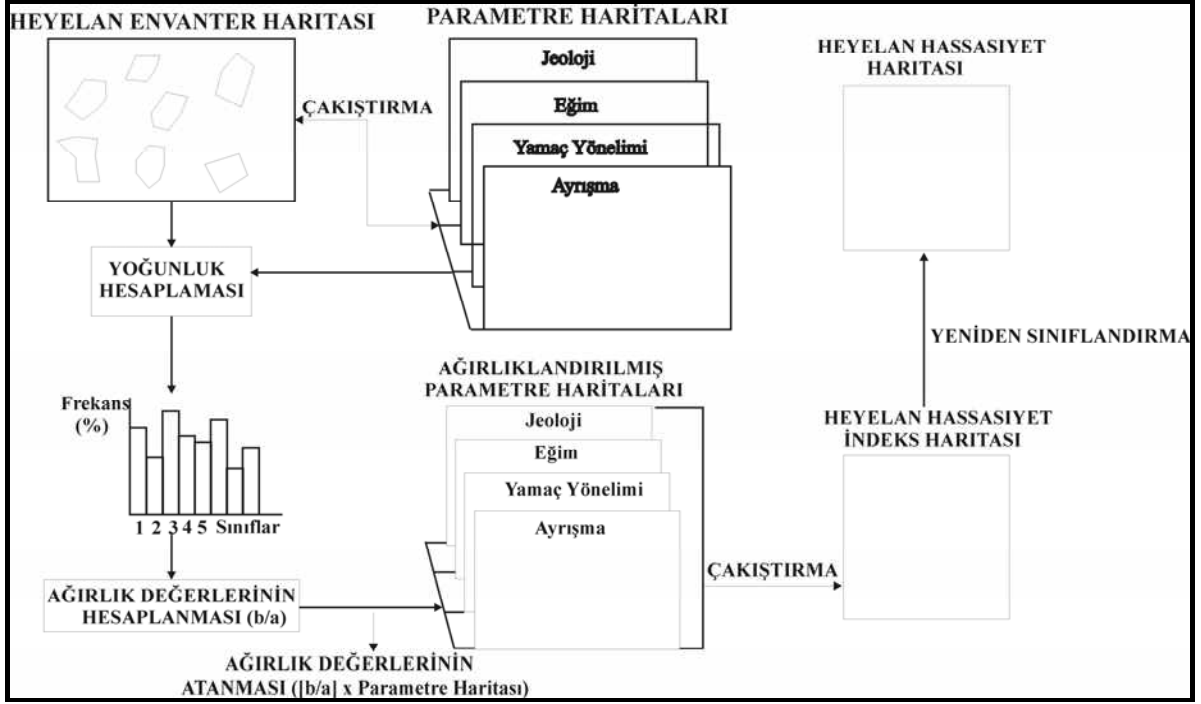
Çizelge 2'de, her bir parametreye ait alt parametre sınıfındaki piksel sayıları ve bunların yüzde değerleri (a) ve bu alt parametre alt

sınıflarında meydana gelen heyelanlı alanlara ait piksel sayıları ve bunların yüzde değerleri (b) hesaplanarak, elde edilen a ve b değerlerinden olasılık-benzerlik oranı $[(b/a)]$ oranları hesaplanmıştır. Elde edilen bu olasılık-benzerlik değerlerine göre her bir parametre haritası yeniden sınıflandırılmış ve yeniden sınıflandırılan parametre haritaları birbirleri ile toplanarak bir heyelan duyarlılık indeks haritası elde edilmiştir. Bu harita, heyelan duyarlılık durumunun daha kolay yorumlanabilmesi için eşit aralık yöntemiyle yeniden sınıflandırılmış ve sonuçta çok düşük duyarlılık derecesinden, çok yüksek duyarlılık derecesine kadar beş heyelan duyarlılık sınıfı ayırt edilmiştir (Şekil 8). Bu

Akgün ve Türk

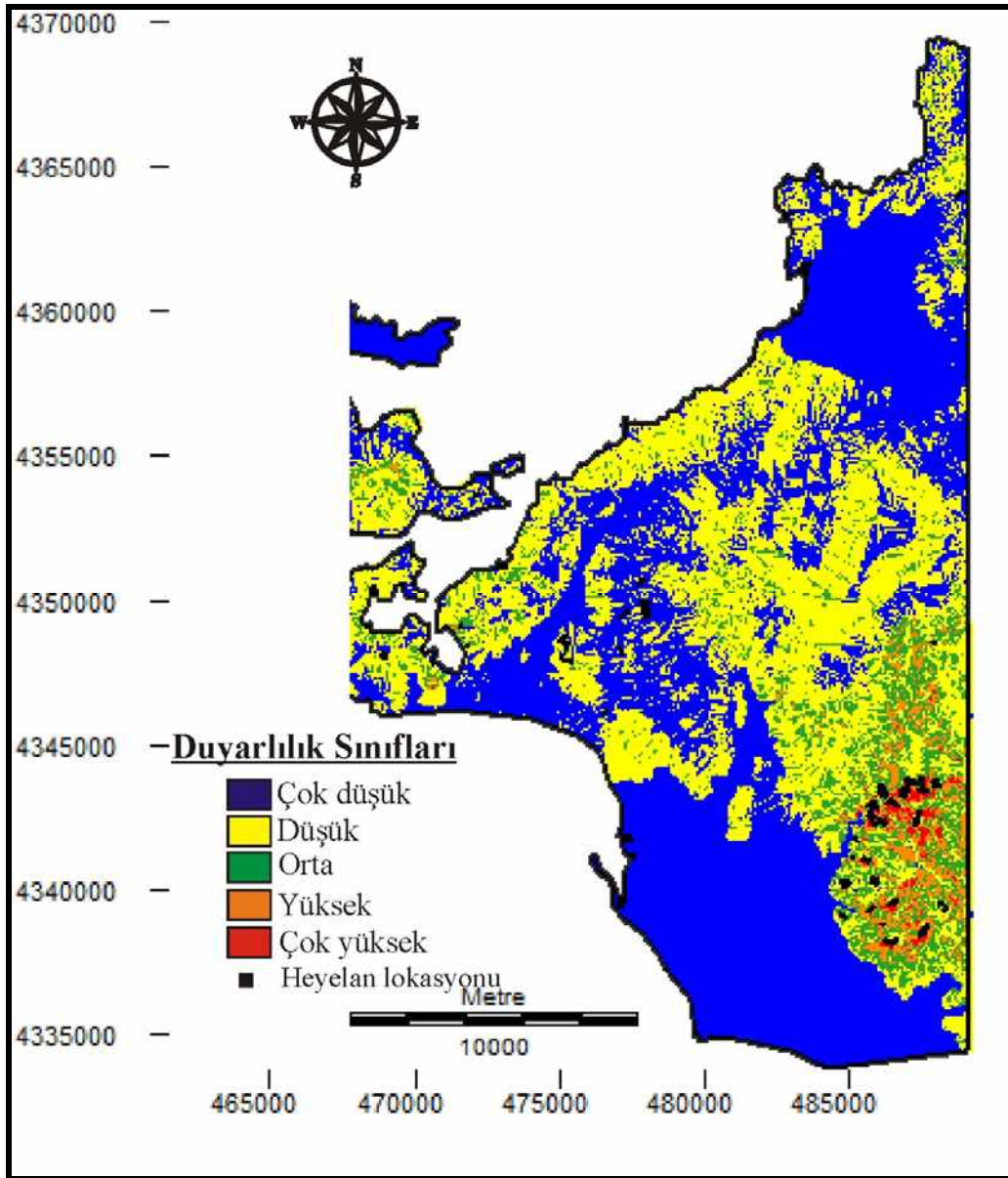
duyarlılık haritasına göre inceleme alanının % 34.27'si çok düşük duyarlılık, % 52.44'ü düşük duyarlılık, % 9.84'ü orta derece duyarlılık, %

2.73'ü yüksek duyarlılık ve % 0.72'si ise çok yüksek duyarlılık sınıfında olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Benzerlik Oranı yönteminde izlenen iş akım şeması.

Şekil 7. Flow chart followed for the likelihood ratio model.



Şekil 8. İki değişkenli istatistik yöntemle elde edilen heyelan duyarlılık haritası.

Figure 8. Landslide susceptibility map obtained from bivariate statistical model.

Çizelge 2. Olasılık-benzerlik oranı değerleri ve hesaplamada kullanılan parametre ilişkileri.

Table 2. Relationships between the likelihood-frequency ratio values and considered parameters.

PARAMETRE	DEĞER	HEYELANSIZ ALAN		HEYELANLI ALAN		(b/a)
		PİKSEL SAYISI	ORAN (%) ^(a)	PİKSEL SAYISI	ORAN (%) ^(b)	
Eğim (°)	0-10	340165	87.36	646	39.12	0.44
	10-20	38985	10.01	357	21.26	2.15
	20-30	8679	2.22	481	29.13	13.12
	30-40	1077	0.27	166	10.05	37.22
	40-50	154	0.03	1	0.06	2
	>50	290	0.07	0	0	0
	Yamaç Yönelimi (°)	0	29842	7.66	0	0
0-45		31104	7.98	112	6.78	0.85
45-90		25164	6.46	77	4.66	0.72
90-135		25860	6.64	130	7.87	1.18
135-180		36762	9.44	299	18.11	1.91
180-225		58518	15.02	413	25.01	1.66
225-270		73729	18.93	242	14.65	0.77
270-315		63380	16.27	219	13.26	0.81
315-360		44991	11.55	159	9.63	0.83
Litoloji		Alüvyon	102011	26.2	0	0
	Tüf	36851	9.46	79	4.78	0.5
	Andezit	48465	12.44	417	25.25	2.02
	Silisifiye Tüf	582	0.14	0	0	0
	Gösel Tortullar	151021	38.78	353	21.38	0.55
	Bazalt	41963	10.77	655	39.67	3.68
	Konglomera	3112	0.79	20	1.21	1.53
	Aglomera	3689	0.94	127	7.69	8.18
	Metasedimanter-Metavolkanik	1541	0.39	0	0	0
	Trakiandezit	115	0.02	0	0	0

Çizelge 2. Devamı.

Table 2. Continued.

PARAMETRE	DEĞER	HEYELANSIZ ALAN		HEYELANLI ALAN		a/b
		PİKSEL SAYISI	ORAN(%) ^(a)	PİKSEL SAYISI	ORAN(%) ^(b)	
Ayrışma	Taze	1518	0.38	9	0.54	1.42
	Az Ayrışmış	20376	5.23	470	28.46	5.44
	Orta Derece	10694	2.74	18	1.09	0.39
	Ayrışmış					
	Yüksek Derece	74361	19.09	750	45.42	2.37
	Ayrışmış					
	Tamamen Ayrışmış	145338	37.32	389	23.56	0.63
	Alüvyon Zemin	137063	35.2	15	0.9	0.02
Bitki Yoğunluğu	Örtüsüz	157516	40.45	611	37	0.91
	Çok Az	129623	33.29	469	28.4	0.85
	Az	85238	21.89	545	33.01	1.5
	Yüksek	15806	4.05	26	1.57	0.38
	Çok Yüksek	1167	0.29	0	0	0
Drenaj Yoğunluğu	Az	222065	57.03	529	32.04	0.56
	Orta	117323	30.13	380	23.01	0.76
	Yüksek	49962	12.83	742	44.94	3.5
Drenaj Hatlarına Uzaklık (m)	0-100	58320	14.97	458	27.74	1.85
	100-200	49802	12.79	414	25.07	1.96
	200-300	44213	11.35	260	15.74	1.38
	300-400	37235	9.56	94	5.69	0.59
	>400	199780	51.31	425	25.74	0.5
Arazi Örtüsü	Yerleşim+Örtüsüz	195854	50.3	674	40.82	0.81
	Arazi					
	Örtüsüz Arazi	101082	25.96	416	25.19	0.97
	Örtülü Arazi	52975	13.6	468	28.34	2.08
	Sulak Alan	2063	0.52	12	0.72	1.38
	Tarım Arazisi	16490	4.23	25	1.51	0.35
	Su Kütlesi (Deniz+Göl)	2910	0.74	0	0	0
	Zeytin Tarım Arazisi	17979	4.61	56	3.39	0.73

Akgün ve Türk

Çizelge 2. Devamı.

Table 2. Continued.

PARAMETRE	DEĞER	HEYELANSIZ ALAN		HEYELANLI ALAN		a/b
		PİKSEL SAYISI	ORAN(%) ^(a)	PİKSEL SAYISI	ORAN(%) ^(b)	
Akarsu Güç İndeksi	0-10	246418	63.28	420	25.43	0.4
	10-20	61349	15.75	351	21.25	1.34
	20-30	26170	6.72	152	9.2	1.36
	30-40	13015	3.34	111	6.72	2.01
	40-50	7885	2.02	87	5.26	2.6
	50-60	5304	1.36	68	4.11	3.02
	60-70	3873	0.99	51	3.08	3.11
	70-80	2933	0.75	52	3.14	4.18
	80-90	2339	0.6	62	3.75	6.25
	90-100	20064	5.15	297	17.98	3.49
Topoğrafik Islaklık İndeksi	1-4	3389	0.87	136	8.23	9.45
	4-8	211825	54.4	1379	83.52	1.53
	8-12	157839	40.53	128	7.75	0.19
	12-16	15455	3.96	8	0.48	0.12
	16-20	833	0.21	0	0	0
	20-24	9	0.002	0	0	0

Çok Değişkenli İstatistik Değerlendirmesi

İnceleme alanına ait heyelan duyarlılık değerlendirmesinde kullanılan ikinci yöntem, çok değişkenli istatistik yöntemlerden olan mantıksal regresyondur. Mantıksal regresyon, bağımlı bir değişken ile incelenen olayın (heyelan, erozyon, çığ düşmesi vb. gibi) olasılık durumunu etkileyebilecek bağımsız birden fazla değişken arasında çok değişkenli bir regresyon ilişkisi oluşturmaya imkan tanıyan bir yöntemdir. Lee ve Min, (2001), Atkinson ve Masari, (1998), ve Dai vd. (2001)'e göre, incelenen değişken ikili bir çıktıya (1 ve 0 gibi) sahipse, tahmin edici değişkensiz en iyi yöntem mantıksal regresyondur. Mantıksal regresyonun başarısının değerlendirilmesi ile ilgili değişik yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunlardan birisi ikili, sıralı veya çok sayıda kategorik veri içeren bağımsız değişkenin doğru ya da yanlış sınıflandırılıp sınıflandırılmadığını gösteren sınıflandırma tablosunun kullanılmasıdır (Afifi ve Clark, 1998). Menard (1995) mantıksal regresyon modelinin veri setine ne kadar uygun olup olmadığını belirlemek amacıyla $1 - (\ln L / \ln L_0)$ değerinden hesaplanan psödo R^2 değeri kullanmayı önermiştir. Psödo R^2 değeri 1'e eşit olması mükemmel bir uyumu, 0'a eşit olması ise hiç bir ilişki olmadığını göstermektedir. Psödo R^2 'nin 0.2'den büyük olması durumu göreceli olarak iyi bir uyumu ifade etmektedir (Clark ve Hoskin, 1986). Bu yöntemlere alternatif bir yaklaşım da elde edilen modelin gerçek anlamda bağımlı değişkeni nasıl tahmin ettiğiidir. Bu durum, "Göreceli Çalıştırma Karakteristiği (Relative Operating Characteristic (ROC))" yöntemi ile de yorumlanmaktadır. Bu yöntem, Boolean formatında olan "heyelan var/yok" haritası ile olasılık haritasını karşılaştırmaktadır. ROC değeri 0.5 ile 1 arasında değişmekte olup 1 değeri mükemmel uyumu, 0.5 ise rastgele bir uyumu işaret etmektedir (Ayalew ve Yamagishi,

2005). Bu çalışmada mantıksal regresyon metoduyla elde edilen heyelan duyarlılık haritasının performansının test edilmesinde de psödo R^2 ve ROC değerleri kullanılmıştır. Bu kapsamda, ilk adımda, heyelan envanter haritası olarak hazırlanan ve mantıksal regresyon işleminde bağımsız değişken olarak yer alan veri girilmiştir. Daha sonra, heyelan gelişimine katkıda bulunduğu düşünülen jeolojik, jeomorfolojik ve ayrışma derecesi olarak tanımlanan bağımlı değişkenler girdi veri olarak tanıtılmıştır. Kontrol parametreleri olarak, tabakalandırılmış rastgele örnekleme yöntemi seçilmiş ve örnekleme oranı %10 olarak alınmıştır (Eastman, 2004). İşlem sonucunda iki tür veri elde edilmiştir. Birincisi, heyelan duyarlılık tahmin değerlerinin gösterildiği olasılık verisi, ikincisi ise mantıksal regresyon sırasında elde edilen istatistiksel veri gruplarıdır (Çizelge 4). Bu işlemler sonucunda elde edilen regresyon denklemi de aşağıda verilmiştir:

$$\text{logit(heyelan)} = -8.3514 - 0.003681 * YY - 0.004523 * A + 0.009711 * BY + 0.001479 * DHU + 0.001067 * DY + 0.014592 * YE + 0.005673 * JE - 0.000781 * AÖ + 0.002566 * AGİ \quad (3)$$

Burada YY: Yamaç yönelimi, A: Ayrışma, BY: Bitki yoğunluğu, DHU: Drenaj hatlarına uzaklık, DY: Drenaj yoğunluğu, YE: Yamaç eğimi, JE: Jeoloji, AÖ: Arazi örtüsü ve AGİ: Akarsu güç indeksi kavramlarını ifade etmektedir.

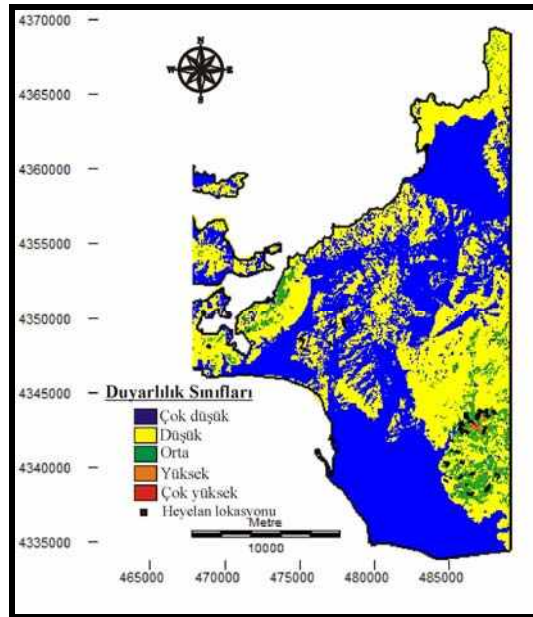
Eşitlik 3'te yer alan bağımsız değişkenlere ait katsayılar, ait oldukları bağımsız değişkenin, heyelan gelişimindeki görece ağırlık değerini ifade etmektedir.

Çizelge 3'te verilen değerlere bakıldığında bu çalışma için ROC değeri 84.57 (%) olarak

belirlenmiştir. Bu değer 0.5'ten, diğer bir ifadeyle % 50'den büyük ve 1'e yakın olduğu için elde edilen heyelan duyarlılık haritalamasının başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Mantıksal regresyon yöntemiyle olasılık haritasının elde edilmesinden sonra da bu haritanın anlamlandırılması ve heyelan duyarlılık derecelerinin verilmesi amacıyla yeniden sınıflandırılması gerekmektedir. Sürekli değerlerden oluşan bu tür verilerin sınıflandırılması amacıyla literatürde araştırmacılar değişik yöntemler önermişlerdir (Sturges, 1926; Emerson ve Hoaglin, 1983; Scott, 1992). Süzen (2002), bu yöntemlerin büyük çoğunluğunun bazı olumsuz tarafları olduğunu belirtmiş, bunları gidermek amacıyla kullanılan parametrelerin her birinin kaynak hücrelerinin persantillerini (yüzdeler) kullanarak yeniden sınıflandırma yöntemini önermiştir. Guzzetti vd. (1999), Lee ve Min (2001),

Ohlmacher ve Davis (2003) ve Ayalew ve Yamagishi (2005) de bu amaçla değişik yöntemler önermiş, bu yöntemlerde doğal kırılım, kantil (seri ayracı), eşit aralık ve standart sapmaya bağlı yöntemler kullanmıştır. Standart sapma yöntemi, sınıf eşik değerlerini oluşturmak için ortalamayı kullanarak olasılık haritasını duyarlılık değerlerine bölmeyi mümkün kılmaktadır (Ayalew ve Yamagishi, 2005). Bu çalışmada eşit aralık yaklaşımı kullanılarak yeniden sınıflandırma yapılmış ve lojistik regresyon yöntemiyle belirlenen heyelan olasılık haritası, heyelan duyarlılık haritasına dönüştürülmüştür (Şekil 9).

Üretilen heyelan duyarlılık haritasına bakıldığında, inceleme alanının % 13'ünün çok düşük, % 36'sının düşük, % 43'ünün orta, % 6'sının yüksek ve % 2'sinin çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 9. Çok değişkenli istatistik yöntemle elde edilen heyelan duyarlılık haritası.

Figure 9. Landslide susceptibility map obtained from multivariate statistical model.

Çizelge 3. Mantıksal regresyon istatistik sonuçları.

Table 3. Statistical results of the logistic regression.

İstatistik Sonuçları	
Toplam Gözlem Sayısı	389350
İnceleme Alanındaki 0 sayısı	387699
İnceleme Alanındaki 1 sayısı	1651
İnceleme Alanındaki 0 Yüzdesi	99.5760
İnceleme Alanındaki 1 Yüzdesi	0.4240
Otomatik Gözlemlenmiş Örneklem Sayısı	38847
Örneklem Alanındaki 0 Sayısı	38694
Örneklem Alanındaki 1 sayısı	153
Örneklem Alanındaki 0 Yüzdesi	99.6061
Örneklem Alanındaki 1 Yüzdesi	0.3939
-2logL0	1999.7023
-2log(benzerlik)	1540.4105
Psödo R ²	0.2297
Uyum İyiliği	43302.9414
Model Ki-kare	459.2917
ROC (Göreceli Çalıştırma Karakteristiği) (%)	84.57

Sezgisel Tabanlı Yöntem Değerlendirmesi

Sezgisel tabanlı değerlendirme yöntemi olarak Analitik Hiyerarşi İşlemi (AHI) olarak bilinen yöntem kullanılmıştır (Malczewski, 1999). Bu yöntem, bir oran matrisi oluşturmak için ikili karşılaştırmaları kullanmaktadır (Malczewski, 1999; Eastman, 2004). Yöntem, girdi veri olarak ikili karşılaştırmaları alır ve çıktı olarak bunların göreceli ağırlıklarını üretir. İkili karşılaştırma yöntemi üç temel adımı içermektedir. Bunlar: a) İkili karşılaştırma matrisinin geliştirilmesi, b) Parametre ağırlıkların hesaplanması ve c) Tutarlılık oranının tahmin edilmesidir. Bu bilgiler ışığında, heyelan duyarlılık değerlendirmesinde kullanılan parametrelerin ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuş (Çizelge 4), her bir parametreye ait ağırlık değeri hesaplanmış (Akgün, 2006; Akgün ve Türk, 2010) ve elde edilen ağırlık değerinin

tutarlılık oranı aşağıda verilen eşitlik 4 ve eşitlik 5 kullanılarak belirlenmiştir.

$$CR = CI/RI \quad (4)$$

Burada CR tutarlılık oranı, RI ise rastgelelik indeksidir ve karşılaştırılan elemanların sayısına bağlıdır. Eğer, $CR < 0.10$ ise, ikili karşılaştırmadaki tutarlılığın kabul edilebilir bir seviyede olduğu söylenebilir. Buna karşın şayet $CR > 0.10$ ise, oran değerleri tutarsız hükümlerin verildiğini işaret etmektedir (Saaty, 1980; Malczewski, 1999). CI değeri ise aşağıda verilen eşitlik kullanılarak belirlenmektedir:

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n-1) \quad (5)$$

Burada CI; tutarlılık indisini, λ_{\max} karar matrisinin en büyük özvektörünü, n matrisin derecesini, CI ise tutarlılıktan sapmanın ölçüsünü göstermektedir (Saaty, 1980).

Akgün ve Türk

Bu çalışmada oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinin ve hesaplanan parametre ağırlık değerlerinin mantıklı ve tutarlı olup olmadığının ölçütü olan “Tutarlılık Oranı” (CR) değeri 0.04 olarak hesaplanmış (Çizelge 4), bu değer literatürde de belirtildiği üzere 0.1’den küçük olması nedeniyle üretilen matrisin ve hesaplanmış ağırlık değerlerinin tutarlı olduğu görülmüştür. Elde edilen ağırlık değerleri, heyelana neden olduğu düşünülen parametre haritaları ile çarpılmış ve böylece ağırlıklandırılmış parametre olarak isimlendirilen veri seti elde edilmiştir. Elde edilen

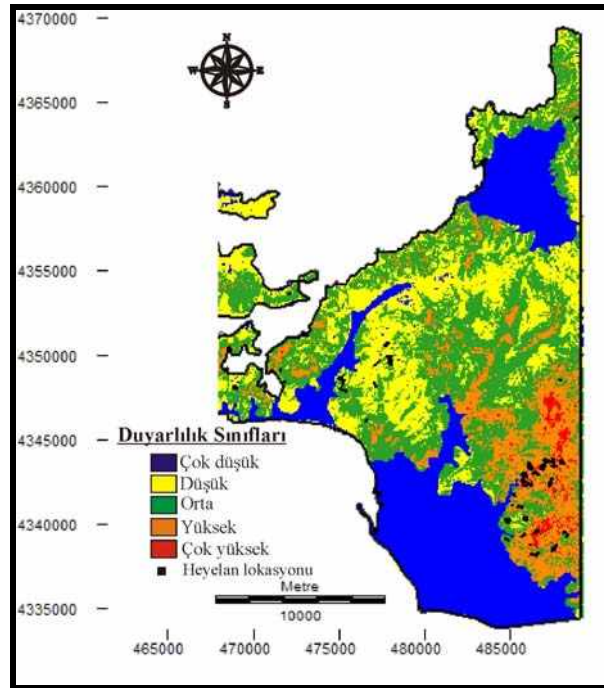
ağırlıklandırılmış parametre haritaları üst üste toplanmış ve bir heyelan duyarlılık indeks haritası elde edilmiştir. Elde edilen bu indeks haritası, iki ve çok değişkenli istatistik değerlendirmelerinde elde edilen heyelan duyarlılık indeks haritaları gibi eşit aralık yöntemi kullanılarak yeniden sınıflandırılmış ve heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir (Şekil 10). Üretilen bu haritaya göre, inceleme alanının % 54.20’sinin çok düşük, % 24.64’ünün düşük, % 15.97’sinin orta, % 4.74’ünün yüksek ve % 0.45’inin ise çok düşük duyarlılığa sahip olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4. Heyelan duyarlılık analizi için “Analitik Hiyerarşi” yöntemiyle hesaplanan parametre ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı (CR: Tutarlılık Oranı, AGİ: Akarsu Güç İndeksi, TNİ: Topoğrafik Nemlilik İndeksi).

Table 4. Parameter weight values, calculated by “Analytical Hierarchy” method, and consistency ratio for landslide susceptibility analysis (CR: Consistency ration, SPI: Stream Power Index, TWI: Topographical Wetness Index).

Parametre	Yamaç Yönelimi	Ayrışma	Bitki Örtüsü	Drenaj Yoğunluğu	Drenaj Hatlarına Uzaklık	Eğim	Litoloji	Arazi Örtüsü	AGİ	TNİ	Ağırlık Değerleri
Yamaç Yönelimi	1										0.0348
Ayrışma	5	1									0.1716
Bitki Örtüsü	1/3	1/5	1								0.0296
Drenaj Yoğunluğu	2	1/3	2	1							0.0472
Drenaj Hatlarına Uzaklık	2	1/3	2	2	1						0.0501
Eğim	7	3	6	4	5	1					0.2840
Litoloji	5	1/2	4	3	4	1/3	1				0.1424
Arazi Örtüsü	2	1/3	2	2	2	1/6	1/3	1			0.0595
AGİ	3	1/3	3	2	3	1/3	1/2	2	1		0.0991
TNİ	3	1/2	2	2	2	1/3	1/2	2	2	1	0.0818

T.O = 0.04 < 0.1



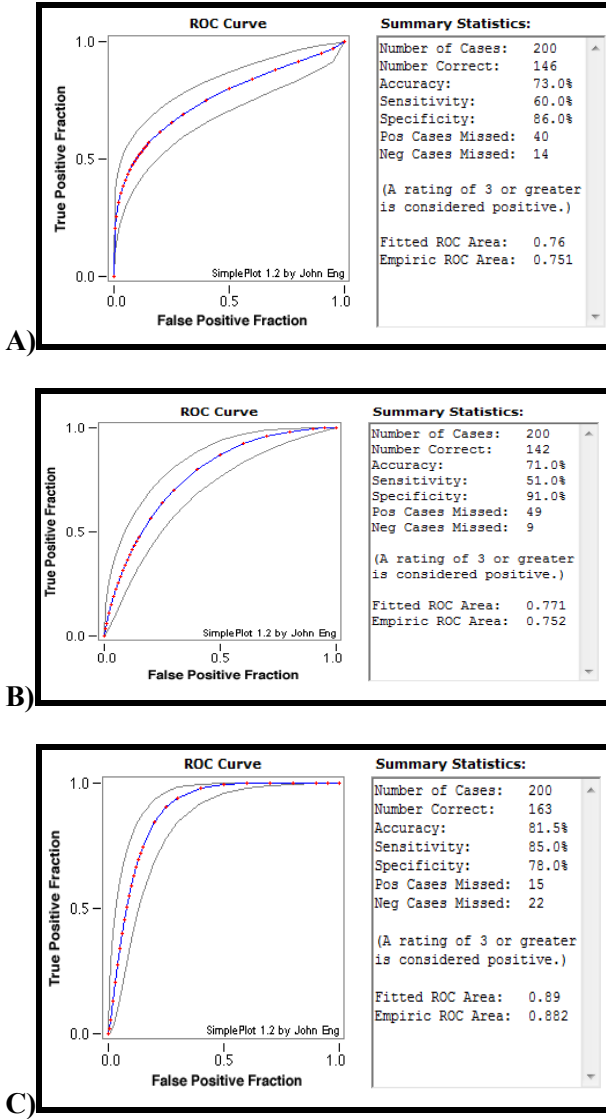
Şekil 10. Sezgisel tabanlı Analitik Hiyerarşi İşlemine göre üretilen heyelan duyarlılık haritası.

Figure 10. Landslide susceptibility map obtained from heuristic based Analytical Hierarchy Process.

ÜRETİLEN DUYARLILIK HARİTALARININ DOĞRULUK DEĞERLENDİRMESİ

Bu çalışmada, doğruluk değerlendirmesi amacıyla seçilen heyelan envanter verisi üretilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğunu test etmek için kullanılmıştır. Bu amaçla, İşlem Karakteristik Eğrisi (ROC) altında kalan alan (EAA) yöntemi kullanılmıştır (Lee, 2005). EAA yöntemi, bir olayın meydana gelme ya da gelmeme durumunu güvenli bir biçimde tahmin etme yeteneğini tanımlayarak oluşturulan modelin kalitesini ifade etmektedir (Yeşilnacar ve Topal, 2005; Nandi ve Shakoor, 2009; Yılmaz, 2010). İdeal model, EAA değerinin 1'e yakın olduğu durumu gösterirken, 0.5'e yakın bir değer, söz konusu modelin doğruluğunun oldukça az olduğunu işaret etmektedir (Fawcett,

2006). EAA yöntemini inceleme alanında uygulamak amacıyla, heyelan oluşmuş ve heyelan oluşmamış alanlardan rastgele seçilen pikseller kullanılarak hazırlanmış temsil edici bir veri seti kullanılmıştır. Bu işlem sonucuna göre, ROC eğrisinin altında kalan alan iki değişkenli istatistik bazlı heyelan duyarlılık haritası için 0.76, çok değişkenli istatistik tabanlı heyelan duyarlılık haritası için 0.77 ve sezgisel yaklaşıma dayalı Analitik Hiyerarşi İşlemi sonucu elde edilen duyarlılık haritası için 0.89 olarak belirlenmiştir (Şekil 11). Bu değerlere göre her üç haritanın doğruluk performanslarının kabul edilebilir seviyede olduğu, buna karşın diğerlerine göre en iyi performansın ise AHİ yöntemi ile elde edildiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 11. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluk değerlendirmesinde kullanılan AUC eğrileri ve istatistik sonuçları (A: İki değişkenli istatistik yöntem sonucu, B: Çok değişkenli istatistik yöntem sonucu, C: Sezgisel tabanlı yöntem sonucu)

Figure 11. AUC curves used for validation of produced landslide susceptibility maps and the statistical results (A: Bivariate statistical model result, B: Multivariate statistical model result, C: Heuristic based model result).

TARTIŞMALAR VE SONUÇLAR

Günümüze kadar yapılan heyelan duyarlılık analizi çalışmalarında, genel olarak değerlendirme yöntemlerinden birisi seçilmiş ve benzer sayı ve nitelikteki girdi verileri ile analizler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan farklı olarak, birden fazla yöntem kullanılarak, bu yöntemlerin etkinliği ve performansı açısından karşılaştırma yapılmış olan çalışmalar da son yıllarda yaygınlaşmıştır (Süzen, 2002; Ercanoğlu, 2002; Lee, 2005; Ayalew vd., 2005; Akgün ve Bulut, 2007; Akgün vd., 2008; Yalçın, 2008; Yılmaz, 2009; Yılmaz, 2010). Bu çalışma kapsamında da, literatürde önerilmiş olan veriye dayalı istatistik yöntem ile uzman görüşüne dayalı sayısal analiz yöntemleri karşılaştırılmış ve bu yöntemlerin uygulamadaki sınırlamaları da tanımlamaya çalışılmıştır. İlk olarak istatistiksel analiz yöntemlerinden, çok değişkenli istatistik yöntemlerinden biri olan mantıksal regresyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile heyelan duyarlılık haritası üretimi üzerine son 5 yılda birçok çalışma yapılmış olması, bu yöntemin etkinliği açısından önemlidir. Ancak uygulama aşamasında, birtakım sorunlarla karşılaşılması da mümkündür. Örneğin, mantıksal regresyon yönteminde, bağımsız değişkenlere ait sınıfların seçiminde tartışma yarattığı için, kullanılan bağımsız değişkenlerin sürekli veriler olması istenmesine karşın Atkinson ve Massari (1998), Dai vd. (2001), Lee (2005), Ayalew vd. (2005), Akgün ve Bulut (2007), Kıncal vd. (2009) kategorik verilerin de mantıksal regresyon analizinde kullanılabileceğini göstermiştir. Bu çalışma sırasında, mantıksal regresyon analizinde kullanılan parametreler genellikle bulanık matematikte kullanılan üyelik dereceleri kullanılarak standartlaştırılmış ve veriler sürekli hale dönüştürülmüştür. Bir diğer önemli sorun, mantıksal regresyon sırasında gerçekleştirilen örnekleme veya kontrol spesifikasyonlarının

uygulanmasıdır. King ve Zeng (2001), olağan mantıksal regresyon yönteminin, (1) olayının, (0) olayına göre çok az sayıda yer aldığı durumlarda olasılık değerinin net bir şekilde tahmin edilemediğini ifade etmiştir. Bu durum, literatürde “nadir olay (rare event)” olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında da aynı sorun ile karşılaşmıştır. Çünkü 424 km² olan inceleme alanının 389350 piksel ile ifade edilmesine karşılık, heyelanlı alanlar (diğer bir ifadeyle 1 durumu) sadece 1651 piksel ile ifade edilmektedir ki bu durumda 0/1 oranı oldukça yüksektir ve nadir olay durumuna örnek teşkil etmektedir. Eechaut vd. (2006) yaptıkları çalışmada, söz konusu bu sorunun giderilmesi için veri setinin, King ve Zeng (2001) tarafından önerilen seviyelendirilmiş örnekleme (stratified sampling) yöntemiyle düzeltilmesini önermişlerdir. Bu yaklaşımda, temsil edici örneklemede eşit sayıda heyelanlı ve heyelansız piksel seçilmesi yerine, 1 heyelanlı piksele karşılık 5 heyelansız piksel seçilmesini, diğer bir ifadeyle % 20 örnekleme oranını önermiştir. Bu çalışma kapsamında da tabakalandırılmış örnekleme yöntemi kullanılmış ve örnekleme oranı olarak daha duyarlı bir değerlendirme yapılabilmesi amacıyla % 10 oranı seçilmiştir. Mantıksal regresyon ile heyelan duyarlılık analizinde benzer soruna Çan vd. (2005)'in yaptığı çalışmada da değinilmiştir. Bu çalışmada, sığ derinlikli akma zonlarının bölgesel ölçekte (1/25.000) haritalanması mümkün olmadığından, harita üzerine nokta ile işaret edildiği, bundan dolayı akma alanlarının, akma olmayan alanlara göre çok az sayıda piksel ile ifade edilmesini zorunlu kıldığını belirtmiştir. Bu sorunun çözümü için farklı 0/1 oranlarını seçmiş, dikkate aldığı her bir oran için farklı duyarlılık haritaları üretmiş ve elde ettiği bu haritaların performans analizlerini gerçekleştirmiştir. Bu analizlerde, duyarlılık haritalarının yüksek doğruluk performansı göstermesini ve en az duyarlılıktan

en yüksek duyarlılığa kadar tüm akma duyarlılığı sınıflarını içermesini karar kuralı olarak seçmiştir. İkinci yöntem olarak iki değişkenli istatistik yöntemlerinden olan benzerlik oranı yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, heyelan duyarlılık analizi için dikkate alınan parametrelere ait her bir alt parametre sınıfı ile heyelan lokasyonları karşılaştırılmış ve her bir sınıfa ait heyelan meydana gelme olasılık değeri hesaplanmıştır. Her bir sınıf için hesaplanan olasılık değerlerinin toplanması ile o sınıfların ait olduğu ana parametrelerin de ağırlık değeri elde edilmiş olmaktadır (Lee ve Min, 2001). Bu yöntem, öznel karar verme durumunu ortadan kaldırdığı için heyelan duyarlılık analizinde uygun bir yöntem olarak görülmektedir (Süzen ve Doyuran, 2004; Lee vd., 2004; Lee, 2005, Akgün vd., 2008; Yılmaz, 2009). Ancak, Süzen (2002), bazı parametre ağırlık değerlerinin, diğerlerine göre çok daha yüksek çıkması durumu söz konusu olabileceği için, parametre harita değerlendirmelerinin duyarlı bir şekilde yapılması gerektiğine dikkat çekmiştir. Üçüncü yöntem olarak, uzman görüşünün göreceli olarak daha baskın olduğu, sezgisel bir yöntem olan Analitik Hiyerarşi İşlemi (AHİ) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ilk aşamada, uzman görüşüne dayalı olmasından dolayı öznel kararların verildiği ve dolayısıyla heyelan duyarlılık değerlendirmesinde kullanım açısından sakıncalı bir yöntem olarak düşünülebilir. Ancak AHİ yöntemi, kullanmış olduğu matematiksel ilişkiler nedeniyle yöntemin olası öznelliğinin ortadan kalkmasına olanak sağlamaktadır. Analitik hiyerarşi için oluşturulan ikili parametre karşılaştırma gruplarının birbirlerine göre önem derecelerinin verilmesi, ayrıntılı bir arazi gözlemi ile heyelan ve ilgili parametre arasındaki ilişkilerin de fiziksel olarak iyi tanımlanmış olmasını gerektirmektedir. Özellikle AHİ yöntemi uygulanarak yapılan heyelan duyarlılık haritalaması ile ilgili çalışmalarda bu konunun

öneminin vurgulanmamış olduğu da görülmektedir. Dolayısıyla bu yöntemin, istatistiksel bir başka yöntem ile birlikte kullanılmasının daha yararlı olabileceği açıktır.

Bu tartışmalar ışığında, Ayvalık ve yakın çevresinin heyelan duyarlılığı, üç farklı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiş, elde edilen üç farklı duyarlılık haritasından hangisinin en başarılı şekilde olasılık tahmininde bulunduğu incelenmiştir. Bu çerçevede elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

1. Ayvalık ve yakın çevresinde meydana gelmiş olan 45 adet heyelan lokasyonunda yapılan ayrıntılı arazi gözlemleri, 1999-2001 ve 2004 yıllarına ait uydu görüntüleri yardımıyla da haritalanmış ve coğrafi bilgi sistemleri ortamında depolanmıştır. Tanımlanan heyelanların % 70'ten fazlası dairesel ve düzlemsel kayma şeklinde olup kayan malzemenin, çok-tamamen ayrıışmış veya aglomera türü, zayıf çimentolu litolojiler içinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Kalan kısım ise yine orta-yüksek derece ayrıışmış litolojiler içinde meydana gelmiş kaya düşmesi ve devrilme şeklinde yenilmelerdir.

2. İnceleme alanı için heyelanların oluşmasında tetikleyici ana faktörlerin yüzey suları (yağış) ve sismisite olduğu, heyelana neden olan diğer faktörlerin ise kayalarda gözlenen etkin ayrıışma, topoğrafik eğim ve kontrolsüz arazi kullanımı (antropojenik etkiler) olduğu belirlenmiştir.

3. İki değişkenli istatistik yaklaşım ile üretilen heyelan duyarlılık haritasına göre inceleme alanının % 34.27'si çok düşük, % 52.44'ü düşük, % 9.84'ü orta, % 2.73'ü yüksek ve % 0.72'si çok yüksek heyelan duyarlılık sınıfında bulunmaktadır.

4. Çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemi olarak kullanılan "Mantıksal Regresyon" yöntemi sonucuna göre, inceleme alanının % 13'ü çok düşük, % 36'sı düşük, % 43'ü orta, % 6'sı yüksek ve % 2'si çok yüksek heyelan duyarlılığına sahiptir. Orta, yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı olan alanların, inceleme alanının güneydoğusundaki andezit, bazalt, trakiandezit, riyodasit lav ve piroklastik kayalarını içeren alanlar içerisinde yoğunlaştıkları gözlenmektedir. Bu alanların, aynı zamanda süreksizlik hatlarının ve drenaj dokusunun yoğun olduğu alanlarla örtüştüğü de görülmektedir.

5. Sezgisel yöntem olarak uzman görüşüne dayalı sayısal analiz yöntemi olan "Analitik Hiyerarşi İşlemi"ne göre inceleme alanının % 54.20'si çok düşük, % 24.64'ü düşük, % 15.97'si orta, % 4.74'ü yüksek ve % 0.45'i ise çok düşük duyarlılığa sahiptir.

6. Üç değişik yöntem ile elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının birbirleriyle olan uyumları ve arazide gözlenen heyelan lokasyonları ile uyumları karşılaştırılmıştır. Buna göre oluşturulan üç heyelan duyarlılık haritasındaki orta, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanların, güncel heyelan lokasyonları ile uyumlu oldukları, dolayısıyla üretilen heyelan duyarlılık haritalarının başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Kullanılan yöntemlerin başarı sıralaması ise güncel saha koşullarını yansıtan en uyumlu sonuçtan başlamak üzere Analitik Hiyerarşi İşlemi, mantıksal regresyon ve benzerlik-frekans oranı yöntemi olarak tespit edilmiştir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Rektörlüğü, Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 02. KB.FEN.052 numaralı proje ile

desteklenmiştir. Yazarlar, makalenin ilk nüshasının düzeltilmesinde değerli katkıları bulunan Prof. Dr. Işık Yılmaz'a ve diğer anonim hakeme teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Affifi, A.A., Clark, V., 1998. Computer aided multivariate analysis. Chapman-Hall, London, 455p.
- Akgün, A., 2006. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında Çok Ölçütlü Karar Analizi (ÇÖKA) yönteminin kullanımı: Ayvalık (Balıkesir) Örneği. *Geosound*, 48-49, 87-101.
- Akgün, A., Bulut, F., 2007. GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. *Environmental Geology*, 51, 1377-1387.
- Akgün, A., Türk, N., 2010. Landslide susceptibility mapping for Ayvalık (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. *Environmental Earth Sciences*, 61 (3), 595-611.
- Akgün, A., Dağ, S., Bulut, F., 2008. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environmental Geology*, 54, 1127-1143.
- Akyürek, B., 1989. 1:100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi: Ayvalık G 3 Paftası. M.T.A. Genel Müd. Yayınları.
- Alvarez Grima, M., 2000. Neuro-fuzzy Modelling in Engineering Geology. Balkema, Rotterdam, 244 p.
- Atkinson, P.M., Massari, R., 1998. Generalized linear modelling of susceptibility to landsliding in the central Appennines, Italy. *Computers and Geoscience*, 24 (4), 373-385.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology* 65, 15-31.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., Kanno, T., 2005. Landslide in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparison of results from two methods and verifications. *Engineering Geology*, 81, 432-445.
- Baeza, C., Corominas, J., 2001. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1251-1263.
- Bonham-Carter, G.F., 1996. *Geographic Information Systems for Geoscientists, Modelling with GIS*. Pergamon Press, Canada, 398p.
- Castellanos Abella, E.A., Van Westen, C.J., 2007. Generation of a landslide risk index map for Cuba using spatial multi-criteria evaluation. *Landslides*, 4, 311-325.
- Chacon, J., Irigaray, C., Fernandez, T., El Hamdouni, R., 2006. Engineering geology maps: landslides and geographical information systems. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 65, 341-411.
- Chen, C.H., Ke, C.C., Wang, C.L., 2009. A back-propagation network for the assessment of susceptibility to rock slope failure in the eastern portion of the Southern Cross-Island Highway in Taiwan. *Environmental Geology*, 57, 723-733.
- Chung, C.F., Fabbri, A.G., 1999. Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65 (12), 1388-1399.
- Clark, W.A.V., Hoskin, P.L., 1986. *Statistical Methods for Geographers*. New York: John Wiley and Sons, 528p.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C., Vescovi, P., 2006. A GIS-based automated procedure for landslide susceptibility mapping by the Conditional Analysis method: the Baganza valley case study (Italian Northern Apennines). *Environmental Geology*, 50, 941-961.

- Crozier, M.J., 1986. Landslides: Causes, Consequences and Environment. Croom Helm, London, 245p.
- Çan, T., Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Duman, T.Y., 2005. Susceptibility assessment of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three subcatchments by logistic regression analyses. *Geomorphology*, 72, 250–271.
- Çevik, E., Topal, T., 2003. GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology*, 44, 949–962.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Xu, Z.W., 2001. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology*, 40 (3), 381-391.
- Eastman, J.R., 2004. IDRISI Kilimanjaro: Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs, Clark University, Worcester, USA, 328p.
- Eechaut, M.V.D., Vanwallegem, T., Poesen, J., Govers, G., Verstraeten, G., Vandekerckhove, L., 2006. Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: A case-study in the Flemish Ardennes (Belgium). *Geomorphology*, 76, 392-410.
- Emerson, J.D., Hoaglin, D.C., 1983. Stem and leaf displays. In: *Understanding Robust and Exploratory Data Analysis*. Hoaglin, D.C., Mosstelier, F. and Tukey, J.W., Wiley and Sons, New York.
- Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C., 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental Geology*, 41, 720–730.
- Ermimi, L., Filippo, C., Casagli, N., 2005. Artificial Neural Networks applied to landslide susceptibility assessment. *Geomorphology*, 66, 327-343.
- ESRI, 2002. Getting to start ArcGIS. ESRI Books, USA, 250p.
- Fawcett, T., 2006. An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27, 861-874.
- Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Nefeslioğlu, H.A., Duman, T.Y., Çan, T., 2005. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. *Engineering Geology*, 81, 65-83
- Gupta, R.P., 2003. *Remote Sensing Geology*, 2nd edition. Springer, Berlin, 655p.
- Guzetti, F., Carrarra, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multiscale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, 181-216.
- Huang, X., Jensen, R., 1997. A machine-learning approach to automated knowledge-base building for remote sensing image analysis with GIS data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, 1185–1194.
- ISRM, 1981. Rock characterization, testing and monitoring—ISRM suggested methods. Brown E.T. (ed.). Pergamon Press, Oxford. 211p.
- Jensen, J.R., 2000. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, Inc., 319p.
- Juang C.H., Lee, D.H., Sheu, C., 1992. Mapping slope failure potential using fuzzy sets. *Journal of Geotechnical Engineering*, 118, 475–494.
- Kıncal, C., Akgün, A., Koca, M.Y., 2009. Landslide susceptibility assessment in the Izmir (West Anatolia, Turkey) city center and its near vicinity by the logistic regression method. *Environmental Earth Sciences*, 59, 745-756.
- King, G., Zeng, L., 2001. Logistic regression in rare events data. *Political Analysis*, 9, 137-163.
- Komac, M., 2006. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. *Geomorphology*, 74, 17-28.

- Lamelas, M.T., Marinoni, O., Hoppe, A., Riva, J., 2008. Doline probability map using logistic regression and GIS technology in the central Ebro Basin (Spain). *Environmental Geology*, 54, 963–977.
- Lee, S., 2005. Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 26, 1477-1491.
- Lee, S., Min, K., 2001. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology*, 40, 1095-1113.
- Lee, S., Dan, N.T., 2005. Probabilistic landslide susceptibility mapping in the Lai Chau province of Vietnam: focus on the relationship between tectonic fractures and landslides. *Environmental Geology*, 48, 778–787.
- Lee S, Sambath, T., 2006. Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *Environmental Geology*, 50, 847–855.
- Lee, S., Pradhan, B., 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia, using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*, 4, 33–41.
- Lee, S., Choi, J., Min, K., 2004. Landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 2037-2052.
- Malczewski, J., 1999. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley & Sons, Inc. USA, 392p.
- Menard, S., 1995. *Applied Logistic Regression Analysis*. Sage university paper series o quantitative applications in social sciences, vol. 106. Thousand Oaks, California, 98p.
- Moore, I.D., Grayson, R.B., Ladson, A.R., 1991. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrological Processes*, 5, 3-30.
- Nandi, A., Shakoor, A., 2009. A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses, *Engineering Geology*, 110, 11–20.
- Nefeslioğlu, H.A., Duman, T.Y., Durmaz, S., 2008. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). *Geomorphology*, 94(3–4), 401–418.
- Nefeslioğlu, H.A., Sezer, E., Gökçeoğlu, C., Bozkır, A.S., Duman, T.Y., 2010. Assessment of Landslide Susceptibility by Decision Trees in the Metropolitan Area of İstanbul, Turkey. *Mathematical Problems in engineering*, doi:10.1155/2010/901095.
- Ohlmacher, G.C., Davis, C. J., 2003. Using multiple regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA. *Engineering Geology*, 69, 331-343.
- Pradhan, B., Lee, S., 2007. Utilization of optical remote sensing data and GIS tools for regional landslide hazard analysis by using an artificial neural network model at Selangor, Malaysia. *Earth Science Frontiers*, 14, 143–152.
- Saaty, T.L., 1980. *The Analytical Hierarchy Process*. McGraw Hill, New York. 350p.
- Scott, D.W., 1992. *Multivariate Density Estimation*. John Wiley, New York, 90p.
- Soeters, R., van Westen, C.J., 1996. Slope instability recognition analysis and zonation. In: Turner K.T., Schuster, R.L. (eds.). *Landslides: investigation and mitigation*. Transportation Research Board National Research Council, Special Report No: 247, Washington, DC, 129-177.
- Sturges, H.A., 1926. The choice of a class interval. *Journal of the American Statistical Association*, 21, 65-66.
- Süzen, M.L., 2002. *Data Driven Landslide Hazard Assessment Using Geographical Information Systems and Remote Sensing*, Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Science, Ankara.
- Süzen, M.L., Doyuran, V., 2004. Data driven bivariate landslide susceptibility assessment

- using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu Catchment, Turkey. *Engineering Geology*, 71, 303-321.
- Tunusluoğlu, M.C., Gokceoğlu, C., Nefeslioğlu, H.A., Sonmez, H., 2007. Extraction of potential debris source areas by logistic regression technique: a case study from Barla, Besparmak and Kapi mountains (NW Taurids, Turkey). *Environmental Geology*, 54, 9–22.
- van Westen, C.J., 1993. Application of geographic information systems to landslide hazard zonation. ITC Publication no: 15. International Institute for Aerospace and Earth Resources Survey, Enschede, The Netherlands, 245p.
- Varnes, D.J., 1978. Slope movement types and processes. In: Schuster, R.L., Krizek, R.J. (Eds.), *Landslides Analysis and Control*. Special Report, vol. 176. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, New York, 12-33.
- Yalçın, A., 2008. GIS-based Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process and Bivariate Statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of Results and Confirmations. *Catena*, 72, 1-12.
- Yeşilnacar, E., Topal, T., 2005. Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology*, 79, 251-266.
- Yılmaz, I., 2009. A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by Artificial Neural Networks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68 (3), 297-306.
- Yılmaz, I., 2010. Comparison of landslide susceptibility mapping methodologies for Koyulhisar, Turkey: Conditional Probability, Logistic Regression, Artificial Neural Networks, and Support Vector Machine. *Environmental Earth Sciences*, 61 (4), 821-836.
- Zadeh, L.A., 1973. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*, 3 (1), 28-46.

Eskipazar Sarı Travertenleri için Kütleli Bozunma ve Bozunma Sınıflaması

Rock Mass Weathering and Weathering Classification for Eskipazar Yellow Travertines

Mutluhan AKIN¹, Aydın ÖZSAN²

¹Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Müh. Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zeve Kampüsü, VAN

²Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ANKARA

ÖZ

Kalsiyum karbonat bileşimli kimyasal sedimanter bir kaya türü olan traverten, diğer birçok kaya türü ile kıyaslandığında güncel olarak kabul edilebilecek bir oluşum yaşına sahiptir. Ancak fiziksel yapısı ve kimyasal bileşimi sebebiyle travertenlerde bozunma kısa zaman aralığında etkili olabilmektedir. Traverten yapıtaşı sektöründe yoğun olarak kullanılmakla birlikte, bu kayanın kütleli ölçekteki bozunma davranışı bugüne kadar araştırılmamıştır. Bu çalışmada, Türkiye’de traverten sektöründe yoğun bir kullanım alanına sahip olan ve Anıtkabir inşaatında da kullanılmış Eskipazar sarı travertenleri araştırma malzemesi olarak seçilmiştir. Araziye farklı bozunma derecelerine sahip yüzlelerde yapılan gözlemsel incelemeler ve kütleli ölçümler ile sarı travertenlerin bozunma mekanizması ortaya konmuştur. Bu çalışmalar sonucunda bozunmanın değerlendirilmesine yönelik tanımlayıcı ölçütler hazırlanarak, nesnel ve pratik bir bozunma sınıflaması önerilmiştir. Buna göre, sarı travertenlerde kütleli ölçekte taze, az bozunmuş, orta derecede bozunmuş ve ileri derecede bozunmuş olmak üzere dört adet bozunma sınıfı ayırtlanmıştır. Sarı travertenler için hazırlanan bu sınıflamanın mermercilik sektöründe bu kaya için yapılacak yeni araştırmalara ve travertenlerin genelini kapsayan bozunma çalışmalarına ışık tutacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bozunma, Bozunma sınıflaması, Eskipazar, Traverten.

ABSTRACT

Travertine, which is a type of chemical sedimentary rock and is composed of calcium carbonate, has a relatively recent formation age when compared to most rocks. Nevertheless, weathering in travertines may be quite effective in short time span due to their physical structures and chemical compositions. Despite the intensive use in building stone market, the weathering of travertine in rock mass scale has not been investigated yet. In this study, the Eskipazar yellow travertine having an intensive usage in travertine industry in Turkey as well as employed in the construction of Anıtkabir is selected as study material. The weathering mechanism of the yellow travertines is revealed through observational studies and mass measurements on exposures with different degrees of weathering in the field. As a consequence of these studies, an objective and practical weathering classification is proposed by preparing descriptive criteria. Accordingly, four different weathering classes - fresh, slightly weathered, moderately weathered and highly weathered - are distinguished for the yellow travertines in rock mass scale. It is thought that the

M.Akin

E-Posta: mutluhanakin@gmail.com

proposed classification for the yellow travertines will guide new researches on this rock in marble industry and weathering studies including the entire travertine types.

Key Words: *Weathering, Weathering classification, Eskipazar, Travertine.*

GİRİŞ

Kalsiyum karbonat (CaCO_3) bileşimli kimyasal sedimanter bir kaya olan ve çoğunlukla tektonik açıdan aktif bölgelerde oluşan traverten, kolay işlenebilmesi, güzel renkli ve dekoratif dokusu gibi nedenlerle eski çağlardan günümüze kadar yapıtaşı olarak yaygın şekilde kullanılmıştır (Pentecost, 2005). Başta ülkemiz ve İtalya olmak üzere, dünyada travertenin yapıtaşı olarak kullanıldığı birçok tarihi esere rastlamak mümkündür. Yoğun kullanımına rağmen travertenler, makro ve mikro ölçekteki gözenekli yapısı ile kimyasal bileşimi sebebiyle bozunma etkilerine karşı duyarlıdır. En önemli bozunma etkenlerinden biri olan su, travertenlerin makro ve mikro gözenekleri içerisinde kolaylıkla hareket edebilmektedir. Travertenlerin CaCO_3 bileşiminde olması, bünyesine aldığı suyun etkisiyle çözünmesine yol açmakta, bunun yanı sıra ortamda bulunan sülfürdioksit (SO_2) gibi bileşiklerle de kolayca tepkimeye girmesine olanak sağlamaktadır (Schneider vd., 2008; Török, 2008). Karbonatlı kayaların asidik etkilerle hızlı bir bozunma sürecine girdiği de birçok bilimsel çalışmada ortaya konmuştur (Tuğrul ve Zarif, 1999; Mahmutoğlu vd., 2003).

Travertenlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile yapıtaşı olarak kullanılabilirliklerinin belirlenmesine yönelik özellikle ulusal alanda çok sayıda bilimsel çalışma olmasına rağmen (Ayaz ve Karacan, 2000; Ayaz, 2002; Yalçın ve Özçelik, 2004;

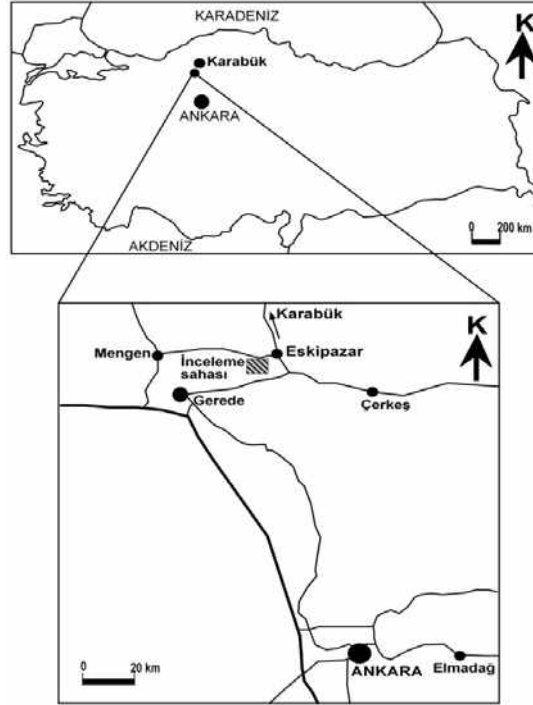
Kahraman vd., 2005; Kılıç vd., 2005; Uz vd., 2005; Yalçınalp vd., 2008; Dehghan vd., 2010), bu kaya türünün kaya malzemesi ölçeğinde bozunma mekanizmasının incelendiği çalışmalar daha sınırlıdır (Török, 2006; 2008; Sidraba vd., 2004; 2006; Akın, 2010; Akın ve Özsan, 2010). Öte yandan, bozunmanın travertenlerin kütleli özellikleri üzerindeki olumsuz etkisi neredeyse hiç incelenmemiştir. Bu nedenle travertenlerin kütleli ve malzeme ölçeğinde bozunma mekanizmasının araştırılması, gerek yapıtaşı sektörü için gerekse mühendislik hizmetleri sırasında bu kaya türü ile karşılaşılması durumunda faydalı olacaktır. Travertenin bozunma davranışının ortaya konması bu malzemenin yapıtaşı olarak seçimi ve kullanımı sırasında dikkat edilecek noktaların tespitinin yanı sıra, travertenin yapıtaşı olarak kullanıldığı yapılarda da koruma ve iyileştirme yöntemlerinin belirlenmesi açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, Eskipazar (Karabük) civarında yapılan arazi çalışmaları sırasında farklı bozunma derecelerine sahip traverten yüzleklerindeki gözlemsel incelemeler ve kaya kütle özelliklerinin belirlenmesine yönelik ölçümler ile sarı travertenlerin kütleli bozunması araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmalar sonucunda sarı travertenler için kütleli ölçekte pratik bir bozunma sınıflaması oluşturulmuştur.

Ulu önder Atatürk'ün ebedi istirahatgâhı olan Anıtkabir'de kullanılan sarı travertenlerin tamamı Eskipazar (Karabük) yakınındaki taş ocaklarından çıkartılmıştır. Bölge, rezervin fazla

olması sebebiyle özellikle sarı traverten işletmeciliği açısından yıllar boyu önemli bir yere sahip olmuştur. Eskipazar, Ankara'ya yaklaşık 190 km uzaklıkta olup, inceleme alanına ait yerbulduru haritası Şekil 1'de sunulmaktadır. Araştırma sahası içerisinde kalan Hadrianapolis

antik kentinde son yıllarda yapılan kazılarda, sarı travertenlerin hamam türü yapılarda yapıtaşı olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu antik kentin, o dönemde bölgedeki sıcak su kaynaklarının zengin olması nedeniyle sağlık merkezi olarak kullanıldığı tahmin edilmektedir.



Şekil 1. İnceleme alanına ait yerbulduru haritası

Figure 1. Location map of the study area

İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

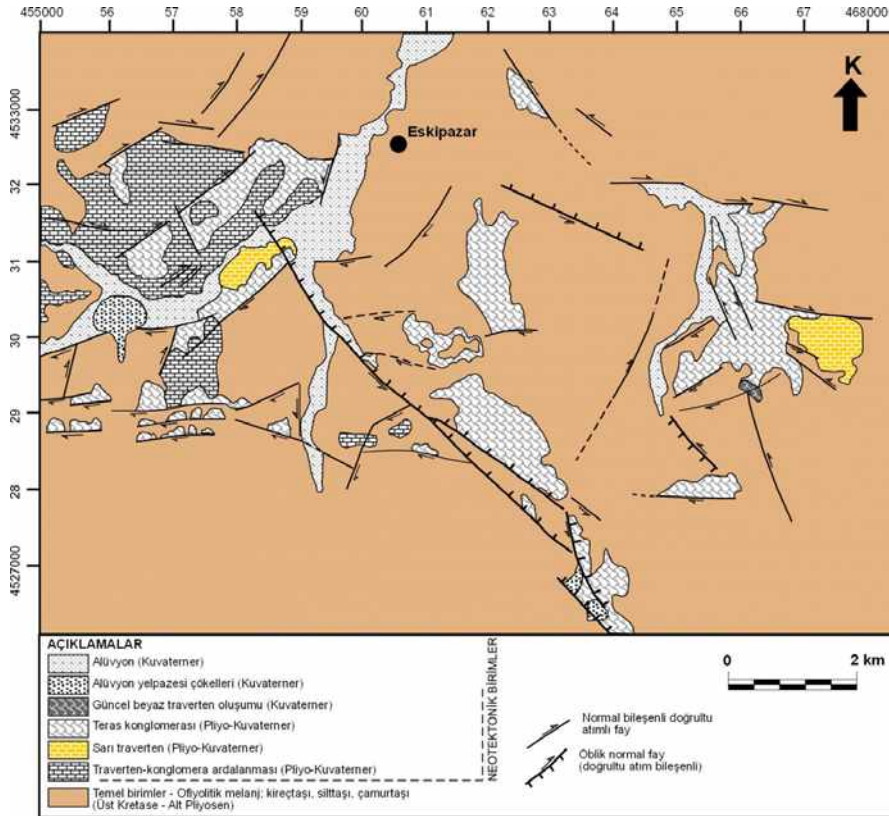
Eskipazar, Kuzey Anadolu Fay Zonu'na 10 km uzaklıktadır. Saha, Kuzey Anadolu Fay Zonu'na verev uzanımlı, normal ve verev atımlı fayların kontrol ettiği bir açılma havzası karakterindedir. Bölgede yer alan faylar, travertenlerin oluşumu açısından gerekli olan sıcak su boşalımları için en önemli kaynak lokasyonlarıdır. Bölgedeki traverten oluşumları

hafif engebeli bir topoğrafya sunarken, daha yaşlı birimlerde arazi dikleşmektedir.

Bölgenin jeolojisi Şaroğlu vd. (1995), Biryol (2004) ve Kuterdem (2005) tarafından yapılan çalışmalarda incelenmiştir. Buna göre, yörede genellikle sedimanter birimlerin hakim olduğu görülmektedir. Bölgedeki en yaşlı temel birim Üst Kretase yaşlı ofiyolitik melanajdır. Bu formasyon; sedimanter, metamorfik ve volkanik kaya gruplarını içermektedir (Biryol, 2004).

Ofiyolitik temel üzerine uyumsuz olarak Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı kireçtaşı, silttaşı ve çamurtaşı gibi farklı sedimanter kaya gruplarının ardalanmasından oluşan formasyon gelmektedir. Neotektonik dönemde, bölgede farklı özelliklerde traverten çökelimleri meydana gelmiştir. Eskipazar ve yakın çevresindeki traverten oluşumlarının yaşı Biryol (2004) tarafından Pliyo-Kuvaterner olarak belirtilirken, Şaroğlu vd. (1995) ve Kuterdem (2005)'e ait araştırmalarda Erken Pliyosen olarak ifade edilmiştir. Eskipazar ve yakın çevresindeki traverten oluşumlarını gösteren jeolojik harita Şekil 2'de verilmiştir.

Bölgedeki fay zonları boyunca yeryüzüne çıkan sıcak suların, içerdikleri CO₂ gazını kaybetmesi ile çökelen travertenlerde düşey ve yanal yönde değişimler gözlenmektedir. Bu nedenle travertenler mühendislik özellikleri açısından da heterojen ve anizotrop bir karakter sunarlar. Bu değişken yapının oluşmasındaki en önemli nedenler arasında; sıcak su çıkışlarının depolanma ortamına göre konumları, taban topoğrafyası, traverten çökmesine neden olan suların bileşimi ve organik faaliyetler yer almaktadır (Özkul vd., 2002). Öte yandan, çökme şartlarındaki değişkenliğe bağlı olarak Eskipazar yöresindeki travertenlerde renk, görünüm, tabakalanma, gözenek, doku ve bileşim açısından da farklılıklar görülmektedir.

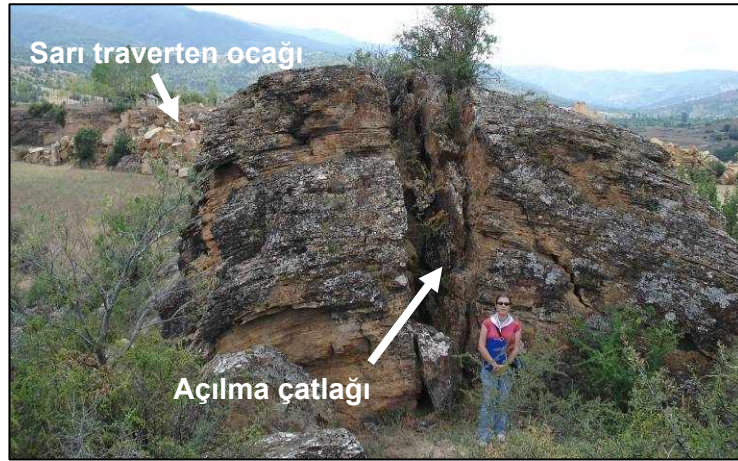


Şekil 2. İnceleme alanındaki farklı traverten çökelimlerini gösteren jeolojik harita (Biryol, 2004'ten değiştirilerek)

Figure 2. Geological map showing different travertine depositions in the study area (modified from Biryol, 2004)

Eskipazar bölgesindeki sarı travertenler, morfolojik görünümü açısından (Özkul vd., 2002) sırt tipi traverten grubuna girmektedir. Sırt depolanma ortamında oluşan bu travertenlerde merkezi açılma çatlakları boyunca çıkan karbonatlı sular yamaç eğimi boyunca akarak çökeltmektedir. Sırt yapısının oluşumuna neden olan merkezi bir açılma çatlağının iki kenarındaki farklı eğim yönü ve derecesine sahip kanatlar Şekil 3'te görülmektedir. Öte yandan Altunel ve Hancock (1993)'e göre sınıflandırıldığında, çökeltme şekli bakımından sarı travertenler tabaka yapısına sahiptir. Tabakaların eğimi ve yönelimi, açılma çatlaklarının konumuna göre farklılık

gösterebilmektedir. Karbonatlı su çıkışlarında sıcaklıktaki ve mineralojik bileşimdeki değişimin sonucu olarak traverten tabakalarında farklı renkte laminalar oluşmaktadır. Demir oranındaki artış, sarı travertenlerdeki rengi kontrol eden en önemli unsurdur. Bununla birlikte, su sıcaklığının artması sarı travertenlerin içeriğindeki organik madde miktarının azalmasına neden olmaktadır. Çünkü ortamda bulunan organizmalar, yüksek sıcaklıktaki mineralli sularda yaşayamamaktadır. Arazide yapılan incelemeler sırasında Eskipazar sarı travertenlerinin bulunduğu bölgede farklı oluşum mekanizmalarına neden olan çok sayıda ikincil açılma çatlağına rastlanmıştır.



Şekil 3. Sarı travertenlerdeki açılma çatlaklarından bir görünüm

Figure 3. A view from fissure ridge in the yellow travertines

SARI TRAVERTENLERDE KAYA KÜTLESİ DEĞERLENDİRMELERİ

Araştırma kapsamında sarı travertenlerin bulunduğu bölgelerde taze ve farklı bozunma derecesindeki yüzlekler araştırılmıştır. Bu çalışmalar sırasında farklı süreksizlikler incelenerek, süreksizlik özellikleri ortaya

konmuştur. Yakın zamana kadar işletilmiş olan taş ocakları, taze yüzeylerin incelenmesi açısından oldukça faydalı olmuştur.

Travertenler oluşum koşullarına bağlı olarak farklı litofasiyes özellikleri sunabilmektedir. Çökeltim ortamındaki bitkisel faaliyetin fazla oluşu travertenlerin kütleli özelliklerini

etkileyebilmektedir (Pentecost, 2005). Yoğun organik kökenli malzeme içeren travertenler daha zayıf ve pekişmemiş özelliktedir ve yapıtaşı olarak kullanılamazlar. Bu tür zonlar arazide bozunma açısından da yanlış değerlendirmelere yol açabilir. Bu nedenle travertenlerin bozunmasına yönelik araştırmalarda söz konusu zonların dikkatli olarak incelenmesi gerekir. Arazi çalışmaları kapsamında yapılan gözlemler, Eskipazar sarı travertenlerinin ilksel çökelim ortamında bitkisel faaliyetin fazla olmadığını göstermektedir. Organik madde içeriğinin yoğun olduğu zonlar arazide çok azdır. Bu litofasiyeler

bozunma değerlendirmesinde dikkate alınmamıştır.

Travertenlerin oluşum sürecinde bölgesel tektonizma önemli bir faktördür. Eskipazar ve çevresi normal faylar tarafından kontrol edilen bir çöküntü havzası özelliğindedir. Güncel olarak kabul edilebilecek bir oluşum zamanına sahip sarı travertenlerde ilksel (kaya oluşumu ile eş zamanlı) süreksizlikler, traverten oluşum sürecindeki tektonik faaliyetlerin (çekilme gerilmeleri) birer ürünü olan açılma çatlaklarıdır (Şekil 4). Bu açılma çatlaklarından yükselen sıcak mineralli sular yeni traverten kütlelerinin oluşmasını sağlamaktadır.



Şekil 4. Sarı travertenlerdeki açılma çatlakları

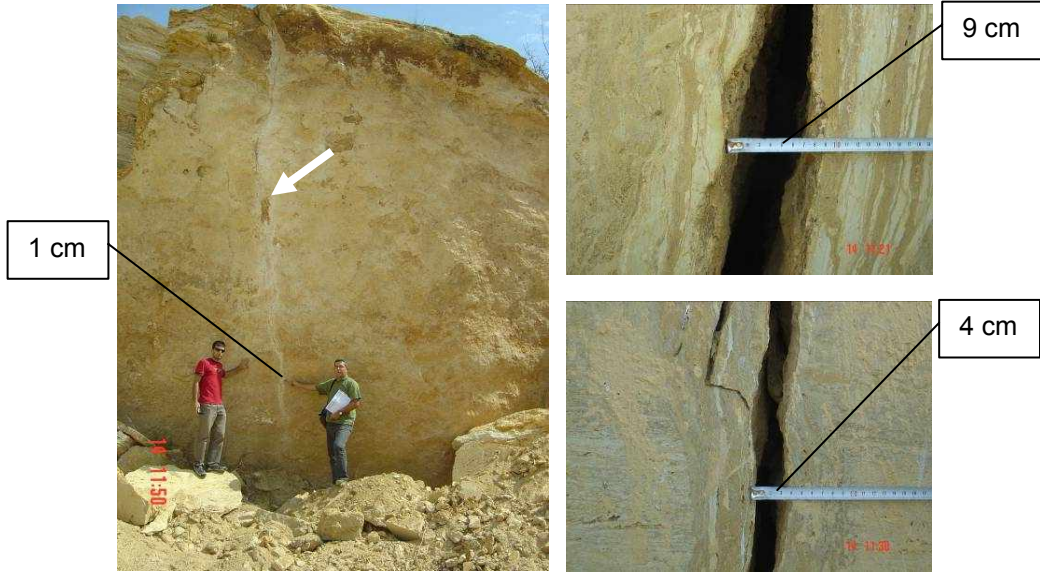
Figure 4. Fissure ridges in the yellow travertines

Açılma çatlaklarının izlerine arazide rastlamak zordur. Taş ocaklarında işletme aynalarındaki taze yüzeyler, bu süreksizliklerin özelliklerinin belirlenmesi açısından iyi bir ortam oluşturmaktadır. Sarı travertenlerindeki açılma

çatlaklarının özellikleri arazideki 5 farklı gözlem noktasında 10 adet süreksizlik üzerinde ISRM (1981) tarafından önerilen tanımlamalarla incelenmiştir.

Taze travertenlerde açılma çatlaklarının aralıkları 5 m ile 40 m arasında değişmektedir. ISRM (1981)'e göre açılma çatlakları, çok geniş - aşırı geniş aralıklı süreksizlikler sınıfındadır. Travertenleri oluşturan sıcak suların yüzeye çıkmasını sağlayan açılma çatlaklarına arazide

çok sık rastlanmaz. Süreksizlik açıklıkları çoğunlukla 10 cm ile 30 cm arasındadır. Açıklığın 1 cm'ye kadar düştüğü ve 70 cm'ye kadar yükseldiği de gözlenebilmektedir. Genel olarak, açılma çatlakları çok geniş - aşırı geniş açıklıklıdır (Şekil 5).



Şekil 5. Sarı travertenlerdeki açılma çatlaklarında açıklık değerleri
Figure 5. Aperture values of the fissure ridges in the yellow travertines

Açılma çatlaklarının devamlılığı, taş ocaklarındaki taze kesilmiş yüzeylerde yapılan incelemelere göre çoğunlukla 20 m'nin üzerinde olup, ISRM (1981)'e göre çok yüksek devamlı olarak sınıflandırılmışlardır. Açılma çatlaklarının geniş açıklığa sahip olması ve sıcak mineralli suları yüzeye taşınması nedeniyle genellikle kalsit türü dolgu gözlenir. Bu süreksizliklerde yer yer ince taneli siltli-killi malzeme birikimine de rastlanmaktadır. Açılma çatlaklarındaki süreksizlik yüzeyleri genelde pürüzlü ve basamaklıdır. Bu yüzeyler ISRM (1981)'e göre çıkıntılı ve basamaklı olarak sınıflan-

dırılmışlardır. Yüksek devamlılığa sahip açılma çatlakları geniş ölçekte, genellikle dalgalı ve kavisli, bazen de kıvrımlı bir yapı sergilerler. Dalga boyları 1 m ile 5 m, dalga yükseklikleri de 0.1 m ile 1 m arasında değişmektedir (Şekil 6). Arazide açılma çatlaklarındaki yüzeylerin bozunma durumu incelendiğinde, süreksizlik yüzeylerinde genel olarak bir renk değişimi olduğu ve yüzeylerin grimsi renk tonları kazandığı gözlenmektedir. Buna göre, sadece renk değişimi olması sebebiyle, açılma çatlaklarının az bozunmuş olduğu kabul edilebilir.



Şekil 6. Açılma çatlaklarındaki dalgalılık

Figure 6. Waviness in the fissure ridges

Taze yüzeylerin yanı sıra, arazide bozunmuş traverten yüzleklerinde de açılma çatlaklarına rastlamak mümkündür. Şekil 7’de geniş bir açılma çatlağının sırt noktası görülmektedir. Burada açılma çatlağının genişliği 50 cm’ye yaklaşmaktadır. Bu çatlağın içerisinde düşey akma izlerine sahip ikincil traverten oluşumları

mevcuttur ve ana açılma çatlağının devamlılığı 30 m civarındadır. Bozunma izlerinin rahatlıkla gözlenebildiği bu traverten kütesinde ilksel yapı kaybolmaya başlamıştır. Eskipazar travertenleri güncel bir oluşum sürecine sahip olduğundan, açılma çatlakları haricinde tektonik kökenli ikincil süreksizliklere rastlanmaz.



Şekil 7. Bozunmuş sarı traverten yüzleklerindeki açılma çatlağından bir görünüm

Figure 7. A view from the fissure ridge in the weathered yellow travertine outcrops

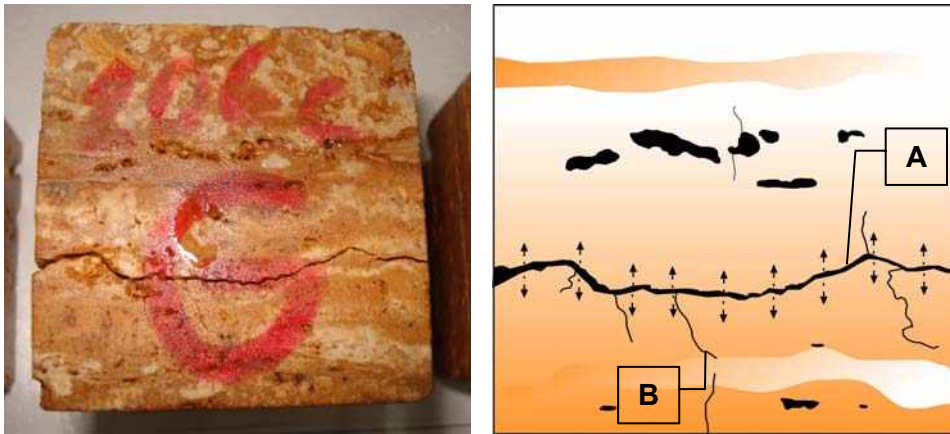
Eskipazar sarı travertenlerinde gözlenen diğer bir süreksizlik türü, bozunmanın etkisiyle zaman içinde akma (lamina) düzlemleri boyunca gelişen süreksizliklerdir (Şekil 8). Travertenlerin mikro ve makro gözenekli yapısı, kayanın yağış suları ile temasını artırarak söz konusu süreksizliklerin oluşumuna yardımcı olmakta ve bu süreksizlikler akma düzlemlerine paralel

konumda gelişmektedir. Laboratuvar ortamındaki araştırmalar, sarı travertenlerdeki en önemli zayıflık düzlemini laminalı yapının oluşturduğunu ortaya koymuştur (Akın ve Özsan, 2010). Yapılan tuz kristallenmesi deneyleri sonucunda kristallenme basınçları altında taze sarı travertenlerde laminalı yapıya paralel olarak ana çatlaklar gelişmiştir (Şekil 9).



Şekil 8. Laminalanma eksenine paralel yönde gelişen akma süreksizlikleri

Figure 8. Flow discontinuities developed parallel to the lamination axis



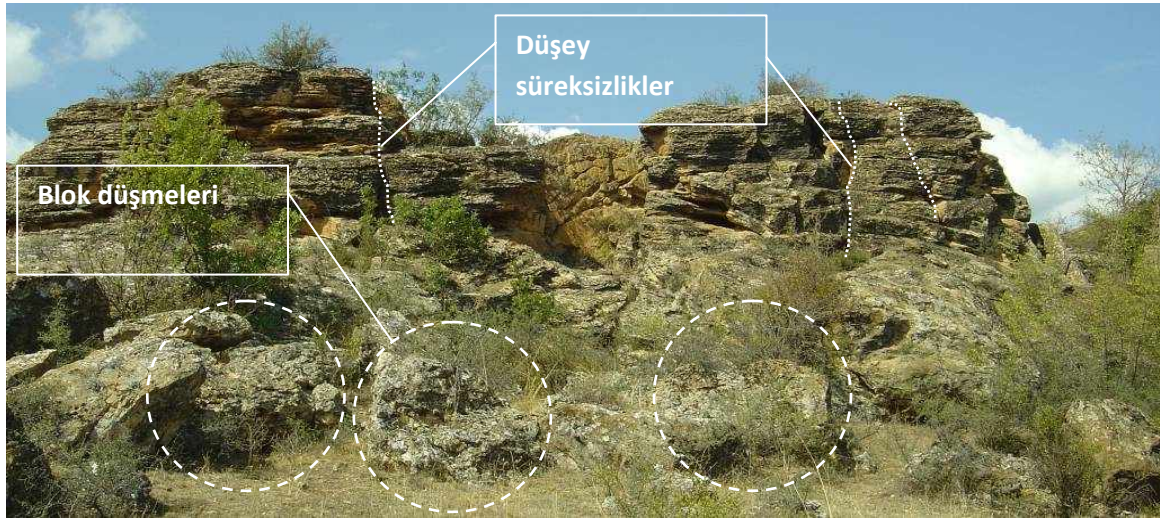
Şekil 9. Tuz kristallenmesi basınçları sonucunda sarı travertenlerde gelişen çatlaklar (A: laminaya paralel yönde gelişen ana çatlak, B: düzensiz yönelimli ikincil çatlaklar) (Akın ve Özsan, 2010)

Figure 9. Fracture formation in the yellow travertines after salt crystallization tests (A: main fracture parallel to lamination axis, B: secondary random microfractures) (Akın and Özsan, 2010)

Akma süreksizliklerinin özellikleri ISRM (1981)'in önerdiği ölçütlere göre arazide 10 ayrı noktada 52 adet süreksizlik üzerinde belirlenmiştir. Süreksizlik aralıkları 1 - 50 cm arasında değişmektedir. Arazide farklı derecede bozunmuş sarı travertenlerde yapılan ölçümlerde süreksizlik aralığı 2 - 6 cm olarak belirlenmiş olup, bu değere göre süreksizlikler çok yakın aralıklı olarak tanımlanmaktadır. Ancak, düşey yönde süreksizlik aralıkları değişkenlik gösterebilmektedir. Travertenlerdeki akma yapıları genellikle dar süreksizlik açıklığına sahiptir. Süreksizlik açıklıkları, 0.6 cm ile 2 cm arasında değişmektedir. Bazı seviyelerde bozunmanın da etkisiyle 10 cm'ye yaklaşan açıklıklar da ölçülmüştür. Akma süreksizlikleri, devamlılıkları 10 m ile 20 m arasında değiştiğinden, yüksek devamlı olarak sınıflandırılmışlardır. Genellikle dolgu içermeyen bu süreksizliklerde bozunmaya bağlı yüzey sıvaması şeklinde limonitleşme ve alg türü organizmalar gözlenmektedir. Çok ender olarak

kil dolguya da rastlanmıştır. Süreksizlik yüzeyleri küçük ölçekte incelendiğinde, yüzeylerin pürüzlü olduğu görülmektedir. Geniş ölçekte yapılan değerlendirmede bu süreksizliklerin düzlemsel veya az dalgalı olduğu belirlenmiştir. Gözlemsel olarak süreksizlik yüzeylerinin orta derecede bozunduğu saptanmıştır.

Kaya kütle incelemeleri sırasında akma yönüne paralel olarak gelişen bu süreksizlikleri kesen ve aralıkları 3 m ile 10 m arasında değişen düşey süreksizlikler de gözlenmiştir (Şekil 10). 8 adet düşey süreksizlik üzerinde yapılan incelemeler sonucunda, diğer süreksizlik özellikleri açısından akma süreksizliklerine benzedikleri belirlenmiştir. Arazi çalışmaları sonucunda sarı travertenlerde belirlenen üç ayrı süreksizlik sisteminin (açılma çatlakları, akma süreksizlikleri, düşey süreksizlikler) kesişmesi sonucu travertenlerde yer yer bloklar oluşmuş ve bu bloklarda düşmelere rastlanmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Sarı travertenlerdeki düşey süreksizlikler ve blok düşmeleri

Figure 10. Vertical discontinuities and block falls in the yellow travertines

Öte yandan, sarı travertenlerde artan bozunmayla birlikte ileri derecede bozunmuş yüzlekler de bulunmaktadır. Akma süreksizliklerinin izlerinin yer yer görüldüğü ve ilksel bütünlüğün tamamen kaybolduğu bu travertenlerde, malzeme ufalanmaya ve zemin özelliği kazanmaya başlamıştır. Kayanın rengi daha açık ve parlak sarıya dönüşmüştür. Kaya, çekiç darbeleri ile kolaylıkla kazılabilmektedir. Erimenin neden olduğu boşluklu yapılar

gözlenebilmektedir (Şekil 11). Erime boşlukları, sarı travertenlerin su ile yoğun temasta olabilecek bölümlerinde daha çok gelişmiştir.

Arazide sarı traverten yüzlekleri üzerinde yapılan kütle ve süreksizlik incelemelerinden elde edilen bulgular, farklı bozunma dereceleri için ayrı ayrı değerlendirilmiş olup, sarı travertenler için kütleli ölçekte pratik bir bozunma sınıflaması hazırlanmıştır.



Şekil 11. Sarı travertenlerde zemin özelliği kazanan yüzlekler

Figure 11. Soil-like outcrops in the yellow travertines

SARI TRAVERTENLER İÇİN ÖNERİLEN KÜTLESEL BOZUNMA SINIFLAMASI

Kayaların bozunma derecelerinin arazide tanımlanabilmesine yönelik çok sayıda sınıflama geliştirilmiştir. Bununla birlikte, sedimanter kayalara yönelik bozunma sınıflamaları daha sınırlı sayıdadır (Chandler, 1969; Bacciarelli, 1993). Kimyasal bozunmanın egemen olduğu

travertenlerin bozunmasına yönelik araştırmalar ise yok denecek kadar azdır (Sidraba, 2006). Bu doğrultuda kimyasal sedimanter bir kaya türü olan travertenlerin kütleli bozunma mekanizmasının araştırılması ayrı bir önem taşımaktadır. Bu amaçla, farklı traverten kütleleri üzerinde yapılan araştırmalarla travertenlerdeki değişik bozunma derecelerini yansıtan kesitler incelenmiştir. Bozunmaya bağlı olarak sarı

traverten kütlelerindeki değişimler, diğer bir ifadeyle sarı travertenlerin fiziksel ve kütle özellikleri kütleli bozunma sınıflamasının oluşturulmasında esas alınmıştır.

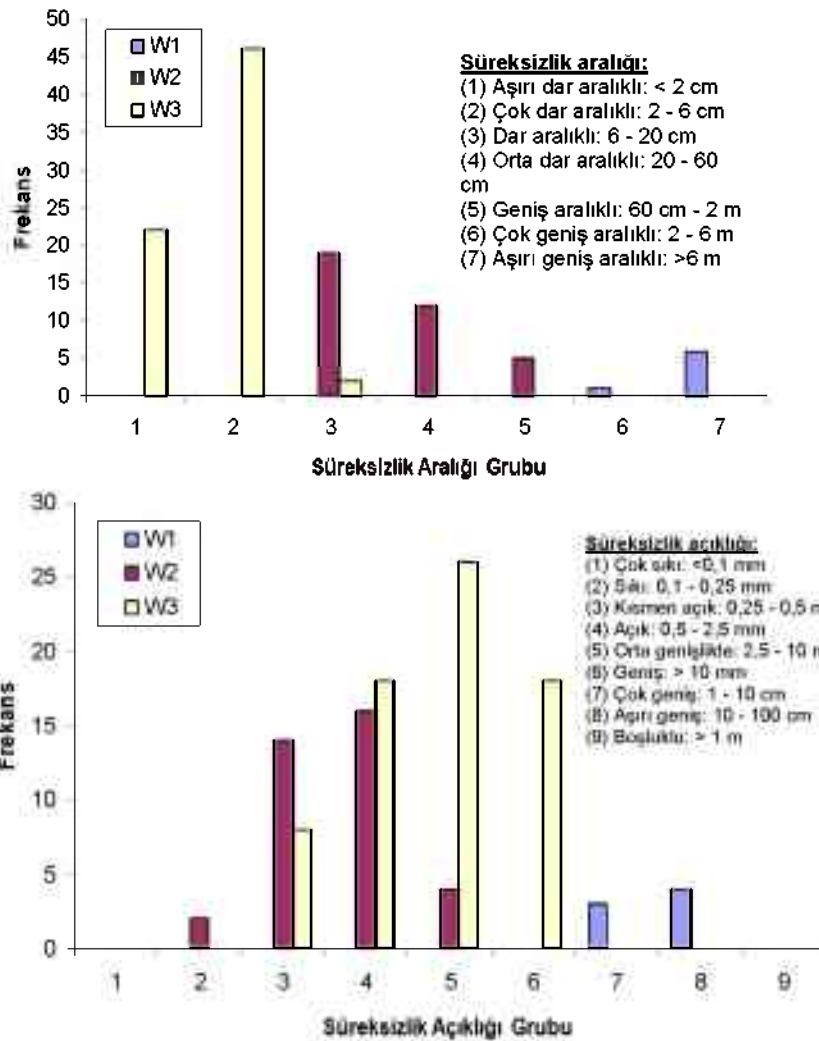
Sarı travertenler için önerilen kütleli ölçekteki bozunma sınıflaması, tüm traverten türlerini kapsamamaktadır. Önerilen kütleli bozunma sınıflaması ile olası mühendislik projelerinde bu kaya ile karşılaşılması durumunda travertenlerin bozunma davranışları hakkında bilgi sunmak ve ileride bu konuda yapılacak çalışmalara ışık tutmak amaçlanmıştır.

Kayalar için geliştirilen kütleli bozunma sınıflamaları genellikle gözlemsel tanımlamalar içerdiğinden çoğu zaman öznelidir. Öznelliğin ortadan kaldırılabilmesi veya en aza indirilmesi için incelenen kayaya ait çeşitli fiziksel veya mekanik özelliklerin sayısal olarak ifade edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, bugüne kadar yapılan çalışmalarda genellikle basit arazi deneylerinden (Schmidt çekici vb.) veya süreksizlik özelliklerinden (süreksizlik aralığı vb.) faydalanılmıştır. İçerdikleri iri gözenekli yapı sebebiyle sarı travertenlerde Schmidt çekici deneyinin yapılması hatalı sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle, bunun yerine sarı travertenlerin bozunma sınıflarının oluşturulmasında süreksizlik özellikleri dikkate alınmıştır. Böylelikle gözlemsel tanımlayıcı özelliklerle birlikte, sayısal veriler de kütleli bozunma sınıflamasına dahil edilmiştir.

Sarı traverten kütlelerindeki değişik bozunma profilleri farklı yapısal özellikler sunmaktadırlar. Bu sınıflamada, her bir bozunma derecesindeki renk, doku, gözeneklilik vb. gibi fiziksel özelliklerin yanı sıra, süreksizlik özellikleri de değerlendirilmiştir. Buna göre, Eskipazar sarı travertenleri için arazi çalışmaları sonucunda 4 farklı kütleli bozunma derecesi belirlenmiştir.

- a) Bozunmamış (taze) traverten (W1)
- b) Az bozunmuş traverten (W2)
- c) Orta derecede bozunmuş traverten (W3)
- d) İleri derecede bozunmuş traverten (W4)

Arazide süreksizlik incelemeleri sonucunda genel olarak; açılma çatlakları taze travertenlerde, akma süreksizlikleri ve bunlara dik veya eğimli yönde gelişen düşey süreksizlikler de W2 ile W3 bozunma derecelerindeki sarı travertenlerde gözlenmiştir. Farklı bozunma profillerindeki bu süreksizliklere ait aralık ve açıklık özellikleri ISRM (1981)'e göre tespit edilmiş olup, bu özelliklerin farklı bozunma derecelerindeki frekans dağılımları Şekil 12'de verilmektedir. Yüksek devamlılıktaki değişken özellikler sunan bazı süreksizlik yüzeyleri üzerinde birden fazla ölçüm yapılmıştır. Öte yandan, süreksizlik devamlılığı bozunma için ayırt edici bir özellik olmadığından (W1 bozunma sınıfında açılma çatlakları sebebiyle yüksek devamlılık izlenebilir) frekans dağılımı olarak değerlendirmeye alınmamış, ancak hazırlanan sınıflamada farklı bozunma derecelerindeki süreksizlik devamlılıkları irdelenmiştir.



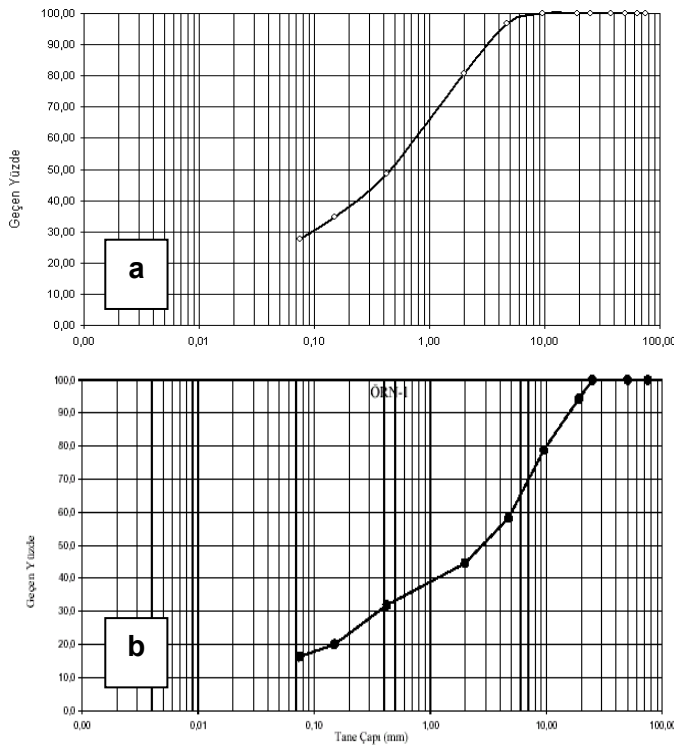
Şekil 12. Farklı bozunma derecelerindeki sarı travertenlerde ölçülen süreksizlik özelliklerinin frekans dağılımı
Figure 12. Frequency distribution of discontinuity properties for the yellow travertines in different weathering grades

Şekil 12'deki grafiklerden de görüleceği üzere, taze travertenlerdeki (W1) süreksizlikler ISRM (1981)'e göre çok geniş-aşırı geniş aralıklıdır. Öte yandan taze travertenlerdeki süreksizlikler çok geniş-aşırı geniş açıklıklıdır. Taze travertenlerdeki bu süreksizlik özellikleri açılma çatlaklarını temsil etmektedir. Önceden de ifade edildiği gibi, taze travertenlerde açılma çatlakları dışında genelde başka süreksizlik bulunmamaktadır. Az bozunmuş travertenlerde (W2), zayıflık düzlemlerini oluşturan laminalara

paralel yönde süreksizlikler gelişmeye başlamıştır. Bu süreksizliklerin aralıkları 10 cm ile 1 m arasında değişen geniş bir dağılım sergilemektedir. Buna göre az bozunmuş travertenlerdeki süreksizlikler dar-geniş aralıklıdır. Süreksizliklerin oluşum süreçleri bu bozunma aşamasında başladığından süreksizliklerin açıklıkları düşüktür. Açıklıklar 0.25 mm ile 1 cm arasında olup, ISRM (1981)'e göre sıkı-orta genişliktedir.

Orta derecede bozunmuş travertenlerde (W3) süreksizlik aralıkları azalmaktadır. Yapılan ölçüm sonuçlarına göre W3 bozunma derecesindeki travertenlerde süreksizlikler aşırı dar-dar aralıktır. Süreksizlik aralıkları genelde 5 cm civarındadır. Ancak, düşey yönde gelişmiş olan diğer süreksizliklerin aralıkları daha geniştir (>30 cm). Bu süreksizlikler, yoğun olarak rastlanmadığı için, bu bozunma sınıfında ikincil öneme sahiptirler. Akma yönüne paralel süreksizliklerde açıklıklar bozunmanın etkisiyle artmıştır. Ortalama süreksizlik açıklıkları 0.5-10 mm aralığındadır. Bazı seviyelerde bozunmanın da etkisiyle açılan süreksizliklerde 10 mm'yi geçen açıklıklar da tespit edilmiştir.

W4 bozunma derecesindeki travertenlerde süreksizlikler artık belirginliğini kaybettiğinden özellikleri tespit edilemez. İleri derecede bozunmuş traverten kütlelerinde kütleli bütünlük tamamen kaybolarak malzeme ufalanmaya başlamıştır. Çekirdek taşlarının oranı %50'nin üzerine çıkmıştır. Bu seviyelerden alınan toprak örneği üzerinde, bozunmuş malzemenin tane boyu dağılımının belirlenmesi amacıyla, laboratuvarında kuru ve ıslak elek analizleri yaptırılmıştır (Şekil 13). İleri derecede bozunmuş sarı travertenlerde bozunma ürünü genellikle siltli kum (SM) olup, ince tane oranı kuru elek analizinde %16, ıslak elek analizinde %28 olarak saptanmıştır.



Şekil 13. İleri derecede bozunmuş (W4) sarı travertenlerde bozunma ürünü malzemenin tane boyu dağılımı (a: ıslak elek analizi, b: kuru elek analizi)

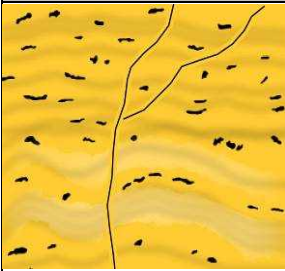

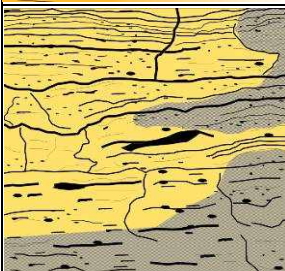
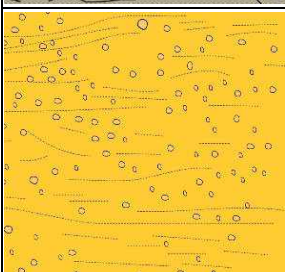
Figure 13. Grain size distribution of the weathered material in the highly weathered (W4) yellow travertines (a: wet sieve analysis, b: dry sieve analysis)

Çözünme türü kimyasal bozunmanın hakim olduğu sarı travertenlerde, tamamen bozunarak topraklaşmış kalın kütlelere rastlamak, malzemenin su etkisiyle kolayca taşınabilmesi nedeniyle zordur. Elde edilen süreksizlik verileri

ve bozunma profillerinin renk, doku vb. fiziksel özellikleri birlikte değerlendirilerek sarı travertenler için hazırlanan kütleli bozunma sınıflaması ve bozunma derecelerinin tüm tanımlayıcı özellikleri Çizelge 1’de sunulmuştur.

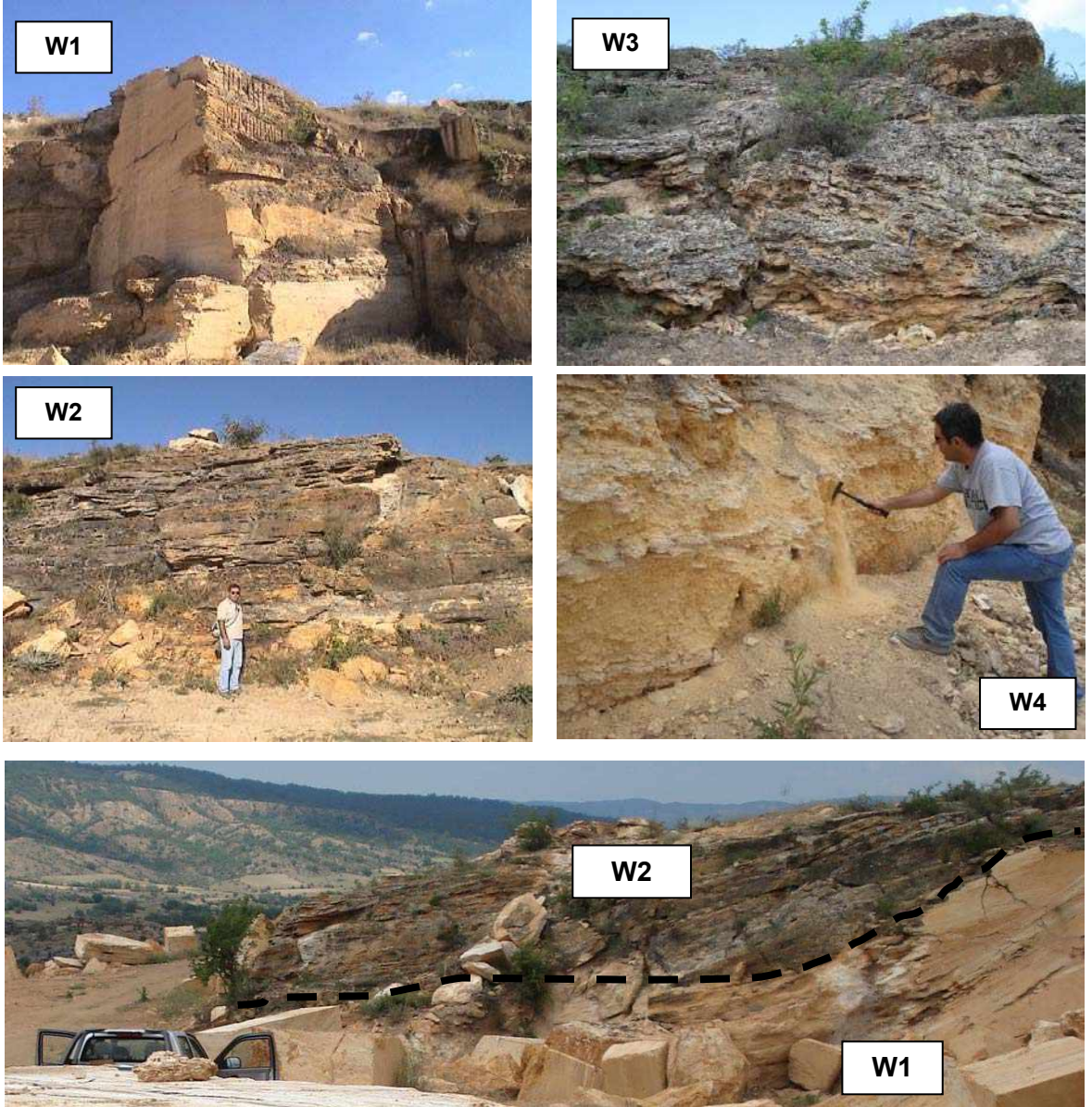
Çizelge 1. Sarı travertenler için önerilen kütleli bozunma sınıflaması

Table 1. Proposed rock mass weathering classification for the yellow travertines

Yüzlek Görünümü	Bozunma Tanımı	Bozunma Derecesi	Tanımlayıcı Özellikler
	Bozunmamış (Taze)	W1	Kaya kütlesi sarı-bej renklidir. Açık süreksizliklerde ve atmosferle temasta olan yüzeylerde renk açık - koyu griye dönüşmektedir. İnce laminalı akma izleri gözlenmektedir. Yer yer açılma çatlakları mevcuttur. Açılma çatlaklarının aralıkları çok geniş (5-40 m), açıklıkları geniş-çok geniş (10-30 cm) ve devamlılıkları yüksek-çok yüksektir (15-20 m). Kayada merceksi makro gözenekler vardır. Kayadan çekiçle parça koparmak zordur.
	Az bozunmuş	W2	Kaya rengi yer yer açık kahverengi - açık griye dönüşmüştür. Kayada laminalanmaya ve mevcut gözeneklere paralel süreksizlikler oluşmaya başlamıştır. Süreksizlikler dar - orta dar aralıklı (10-30 cm), açık - kısmen açık (0.25-2.5 mm) ve düşük - orta devamlıdır (1-5 m). Sert çekiç darbeleri ile kayadan parça koparmak mümkündür.
	Orta derecede bozunmuş	W3	İlksel doku kaybolmuştur. Kayanın dış rengi koyu gri, iç rengi ise parlak sarıya dönüşmüştür. Laminaya paralel süreksizlikler daha belirgin hale gelmiştir. Süreksizlikler aşırı - çok dar aralıklı (1-6 cm), geniş - çok geniş açıklıklı (0.5-10 cm) ve yüksek - çok yüksek devamlıdır (15-20 m). Kaya içerisindeki merceksi gözenekler kaybolmaya başlamıştır. Kaya, sağlam kaya özelliğini kaybetmeye başlamıştır. Kaya/zemin oranı %50’den fazladır.
	İleri derecede bozunmuş	W4	Kaya kütlesi ilksel bütünlüğünü kaybederek ufanmaya başlamıştır. Kaya dokusu kaybolmuştur. Kaya rengi limonitleşmenin de etkisiyle parlak sarıya dönmüştür. Kalıntı süreksizlik izleri yer yer bellidir. Kaya kütlesi çekiçle kolaylıkla kazılır. Çekirdek taşlarının oranı %50’den fazladır. Çözünmenin etkisiyle kayada boşluklu bir yapı egemen olmuştur.

Çizelge 1’de sunulan farklı fiziksel ve kütleli özellikler, kaya kütlesi boyutunda sarı travertenlerin arazide bozunma derecelerinin belirlenmesinde kullanılabilir. Eskipazar sarı

travertenlerinde, arazi çalışmaları sonucunda belirlenmiş olan dört ayrı kütleli bozunma derecesine ait bozunma profillerinden çeşitli görünüm Şekil 14’te verilmiştir.



Şekil 14. Sarı travertenlerde farklı bozunma derecelerine ait görüntüler
Figure 14. Views from the yellow travertines in different weathering grades

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bozunmanın sarı travertenlerin kütleli özellikleri üzerine olan etkisinin ortaya konmasının hedeflendiği bu çalışmada, Anıtkabir’de de yapıtaşı olarak kullanılmış olan Eskipazar sarı travertenleri araştırma malzemesi olarak seçilmiştir. Yapılan arazi çalışmaları ve ölçümleri sonucunda sarı travertenlere yönelik pratik bir kütleli bozunma sınıflaması önerilmiştir. Buna göre sarı travertenlerde 4 ayrı kütleli bozunma sınıfı ayrılanmıştır. Bu sınıflar taze (W1), az bozunmuş (W2), orta derecede bozunmuş (W3) ve ileri derecede bozunmuş (W4) travertenleri içermektedir.

Travertenlerin oluşum sürecindeki en önemli yapı olan ve travertenlere anizotropik bir yapı kazandıran laminalanma, sarı travertenlerdeki en önemli zayıflık düzlemidir. Artan bozunma derecesine bağlı olarak sarı travertenlerde laminaya paralel yönde süreksizlikler oluşmaya başlar ve bu süreksizliklerin açıklığı bozunma ile artar. Bunun sonucunda artan yüzey oranına bağlı olarak travertenlerde bozunma hızlanmaktadır. Çözünme türü kimyasal bozunmanın egemen olduğu sarı travertenler, ileri derecede bozunmayla birlikte boşluklu bir yapı kazanır. Öte yandan, bozunmayla birlikte sarı traverten kütlelerindeki renk değişimi de bozunma derecesinin belirlenmesinde önemli bir ayırt edici özelliktir.

Yapıtışı sektöründe önemli bir yeri olan sarı travertenler için hazırlanan bu sınıflama, sarı travertenler için gerçekleştirilecek arazi çalışmalarına ışık tutacaktır. Sınıflamada açıklanan tanımlayıcı özellikler sarı travertenlere ait olup, önerilen sınıflamanın başka travertenler için doğrudan kullanılmaması önerilir. Öte

yandan, bu sınıflama travertenlerin bozunmasına yönelik ileride yapılacak bilimsel çalışmalara da yardımcı olacaktır. Daha çok sayıdaki traverten türü ve daha fazla sayıda araştırma noktası ile travertenler için daha kapsamlı bozunma sınıflamaları geliştirilebilir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, bu çalışmaya arazi incelemelerindeki katkılarından dolayı Prof. Dr. Baki Varol’a teşekkür eder. Bu çalışma Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğü’nün 2006-0745044 kodlu projesi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akın, M., 2010. A quantitative weathering classification system for yellow travertines. *Environmental Earth Sciences*, 61 (1), 47-61.
- Akın, M., Özsan, A., 2010. Evaluation of the long-term durability of yellow travertine using accelerated weathering tests. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, (article online), DOI 10.1007/s10064-010-0287-x.
- Altunel, E., Hancock, P.L., 1993. Morphology and structural setting of Quaternary travertines at Pamukkale-Turkey. *Geological Journal*, 28, 335-346.
- Ayaz, M.E., Karacan, E., 2000. Sivas batısındaki traverten oluşumlarının yapı ve yüzey kaplama taşı olarak kullanılabilirliklerinin incelenmesi. *Jeoloji Mühendisliği*, 23-24 (1), 87-99.
- Ayaz, M.E., 2002. Travertenlerin değerlendirilmesinde yapılması gerekli incelemeler ve kullanım yeri seçimi. *Cumhuriyet Üni. Mühendislik Fak. Dergisi, Seri A-Yerbilimleri C.19* (1), 11-20.

- Bacciarelli, R., 1993. A revised weathering classification for Mercia mudstone (Keuper Marl), The Engineering Geology of Weak Rock. Proc. of the 26th Annual Conf. of the Eng. Group of the Geo. Society, 169-174.
- Biryol, C., 2004. Neotectonics and evolution of the Eskipazar basin, Karabük-Turkey, Middle East Technical University The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, M.Sc. thesis, 124 p (unpublished).
- Chandler, R.J., 1969. The effect of weathering on the shear strength properties of the Keuper Marl. Geotechnique, 19, 321-334.
- Dehghan, S., Sattari, G., Chehreh Chelgani, S., Aliabadi, M.A., 2010. Prediction of uniaxial compressive strength and modulus of elasticity for travertine samples using regression and artificial neural networks. Mining Science and Technology (China), 20 (1), 41-46.
- ISRM, 1981. Rock characterization, testing and monitoring. International Society of Rock Mechanics Suggested Methods, Pergamon Press, Oxford, 211 p.
- Kahraman, S., Günaydın, O., Fener, M., 2005. Determination of some physical properties of travertines from ultrasonic measurement. Proceedings of 1st International Symposium on Travertine, Özkul, M., Yağız, S. and Jones, B. (eds.), Denizli, 231-234.
- Kılıç, R., Ulaş, K., Varol, B., Gökten, E., Koçbay, A., 2005. Geotechnical assessment of the travertine (Kırşehir, Turkey). Proceedings of 1st International Symposium on Travertine, Özkul, M., Yağız, S. and Jones, B. (eds.), Denizli, 256-262.
- Kuterdem, N.K., 2005. Eskipazar (Karabük güneyi) ve Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) arasındaki bölgenin morfo-tektonik özelliklerinin coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Yüksek Lisans tezi, 94 s (yayımlanmamış).
- Mahmutoğlu, Y., Yüzer, E., Suner, F., Eriş, I., Eyüboğlu, R., 2003. Deterioration and conservation of the Dolmabahçe Palace (İstanbul) building stones. Proceedings of Industrial Minerals and Building Stones, IMBS 2003, 343-352.
- Özkul, M., Varol, B., Alçiçek, M.C., 2002. Denizli travertenlerinin petrografik özellikleri ve depolanma ortamları. MTA Dergisi, 125, 13-29.
- Pentecost, A. 2005. Travertine. Springer, 446 p., The Netherlands.
- Schneider, C., Ziesch, J., Bauer, J., Török, A., Siegesmund, S., 2008. Bauwerkskartierung zur Analyse des Verwitterungszustands an den Außenmauern des Schlosses von Buda (Budapest, Ungarn). Schriftenreihe Dt Geol Ges (SDGG), 59, 219-235.
- Sidraba, I., Normandin, K.C., Cultrone, G., Scheffler, M.J., 2004. Climatological and regional weathering of Roman travertine. Architectural and sculptural stone in cultural landscape. Prikryl, R., Siegel, P. (eds), Carolinum Press, Prague, 211-228.
- Sidraba, I., 2006. Weatherability of Roman travertine. Faculty of Material Science and Applied Chemistry, Institute of Silicate Materials, Riga Technical University, Latvia, Ph.D. thesis, (unpublished).
- Şaroğlu, F., Herece, E., Sarıaslan, M., Emre, Ö., 1995. Yeniçağa-Gerede-Eskipazar arasındaki jeolojisi ve Kuzey Anadolu Fayı'nın genel özellikleri. MTA Derleme No: 9873 (yayımlanmamış).
- Török, A., 2006. Hungarian travertine: weathering forms and durability. Heritage weathering and conservation, Fort R, Alvarez de Buego M, Gomez-Heras M, azquez-Calvo C (eds), (1). Taylor & Francis, London, 199-204.
- Török, A., 2008. Black crusts on travertine: factors controlling development and stability. Environmental Geology, 56, 583-584.

- Tuğrul, A., Zarif, İ.H., 1999. Research on limestone decay in a polluting environment, İstanbul-Turkey. *Environmental Geology*, 38(2), 149-158.
- Uz, B., Özdamar, Ş., Ketenci, F., Yıldırım, H., 2005. Geological, petrographical, and physical characteristics of Düzköy (Ulus, Bartın) travertine occurrences and their utilization in view of marbling. *Proceedings of 1st International Symposium on Travertine*, Özkul, M., Yağız, S. and Jones, B. (eds.), Denizli, 197-200.
- Yalçın, A., Özçelik, M., 2004. Kurna Deresi (Burdur) travertenlerinin fiziko-mekanik özellikleri ve yapı taşı olarak kullanılabilirlikleri. *KAYAMEK 2004, Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu*, Sivas, Türkiye.
- Yalçınalp, B., Ersoy, H., Ersoy, A.F., Keke, C., 2008. Bahçecik (Gümüşhane) travertenlerinin jeolojik ve jeoteknik özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 31 (2) - 32 (1), 25-34.

Kırıkkale Katı Atık Deponi Alanı'nın Jeolojik-Jeoteknik İncelemesi

Geological-Geotechnical Investigation of the Kırıkkale Solid Waste Landfill Area

Emre SAVAŞ¹, Mustafa KORKANÇ²

¹Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, NİĞDE

²Niğde Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, NİĞDE

ÖZ

Hızlı nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme, çevre sorunlarını oluşturan en önemli unsurlar olarak bilinmektedir. Ülkemizdeki önemli çevre sorunlarından biri de katı atıklardan kaynaklanan sorunlar olup, nüfus artışına koşut olarak üretilen çöp miktarı da artmaktadır. Gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de düzenli deponi alanlarının gerekliliği, çevre ve insan sağlığı açısından oldukça önemlidir. Bu çalışma, alternatif alanlar arasından seçilen Kırıkkale ili Bedesten mevkiindeki eski kil ocaklarının bulunduğu alanın düzenli depolama alanı olarak değerlendirilebilmesi için yapılan ayrıntılı jeolojik ve hidrojeolojik araştırmaları kapsamaktadır. Bölgenin temel zeminini, İncik ve Kızılırmak formasyonları'na ait CL-CH zemin sınıfında yer alan birimler oluşturmaktadır. Katı atık düzenli deponi alanı olarak seçilen bölgenin eski bir kil ocağı olması, ek bir kazı maliyeti gerektirmemesi, temel zemininin nispeten geçirimsiz olması ve alanda sızıntı suyu drenajının kolaylıkla yapılabilmesi yer seçiminde belirleyici olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Düzenli depolama, Katı atık, Kırıkkale, Yer seçimi.

ABSTRACT

Rapid growth of population, urbanization and industrialization are known as the most important elements that constitute environmental problems. One of the most important environmental problems in our country is the problem originated from solid wastes, and also garbage amounts increases with the increasing population. The need for the landfill areas is important for the environment and human health in our country like in the developed countries. In this study, detailed geological and hydrogeological investigations were carried out to determine the solid waste landfill area in old clay mines in the city of Kırıkkale, Bedesten locality chosen from the alternative areas. The main lithology of the landfill area consists of CL-CH soils belonging to the İncik and Kızılırmak formations. The site is preferred because the selected landfill site is an old clay mine, practically impervious, easy to drain the leaking water and requires no extra excavation cost.

Key Words: Landfill, Solid waste, Kırıkkale, Site selection.

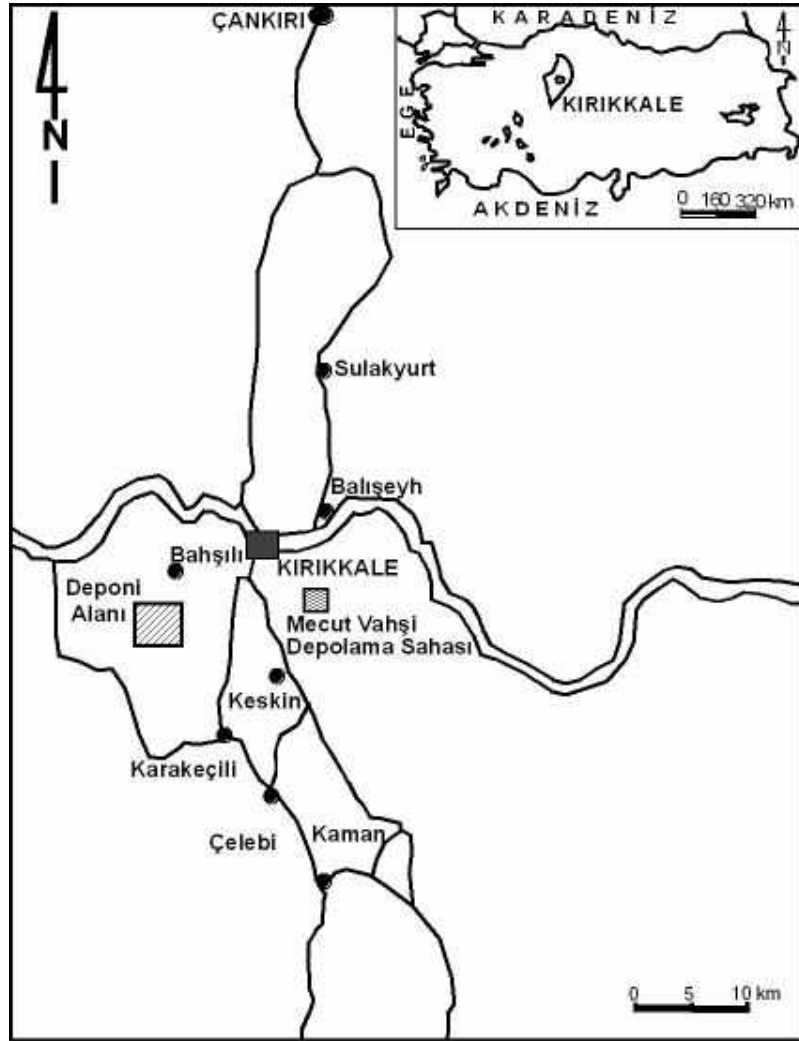
GİRİŞ

Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde (KAKY) atık tanımları şu şekilde yapılmaktadır. **Katı atık:** Üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeleri ve arıtma çamurunu (iri katı atık, evsel katı atık, bu Yönetmelikte "katı atık" olarak anılmaktadır), **İri katı atık:** Buzdolabı, çamaşır makinesi, koltuk gibi evsel nitelikli eşyalardan oluşan ve kullanılmayacak durumda olan çoğunlukla iri hacimli atıkları, **Evsel katı atık (çöp):** Konutlardan atılan tehlikeli ve zararlı atık kavramına girmeyen, bahçe, park ve piknik alanları gibi yerlerden gelen katı atıkları ifade etmektedir.

Son yıllarda katı atıklardan kaynaklanan sorunlar, ülkemizin önemli çevre sorunlarının başında gelmektedir. Hızlı nüfus artışına, kentleşmeye ve sanayi faaliyetlerine paralel olarak, kişi başına üretilen katı atık miktarı da artmaktadır. Bu artışın devam etmesi ve düzensiz katı atık döküm alanlarının sağlıksız olması nedeniyle, son yıllarda katı atıkların sağlıklı ve ekonomik bir biçimde uzaklaştırılması konusu, geçmiş yıllara nazaran daha da önem kazanmıştır (Yeşilnacar vd., 2005). Atıkların çevreye zararsız hale getirilmesinde ve deponi alanlarının seçiminde bölgenin jeolojik-hidrojeolojik özelliklerinin bilinmesi oldukça önemlidir (Karagüzel ve Mutlutürk, 2005). Diğer önemli kriterler; taşıma mesafesi, yasal sınırlamalar ve yersel-çevresel faktörler, mevcut arazi potansiyeli ve arazi kullanımı, ulaşım, nüfus yoğunluğu, topografya ve zemin yapısı, iklim ve yüzey suyu hidrolojisidir (Tchobanoylus ve Kreith, 2002).

Bu çalışmada, Kırıkkale katı atık deponi alanı olarak seçilen eski kil ocaklarının bulunduğu Bahşili ilçesi Bedesten mevkii ve çevresinin jeolojik, hidrojeolojik ve temel zemininin mühendislik özellikleri araştırılmıştır. Seçilen alan, Kırıkkale ili mücavir alan sınırları içerisinde ve şehrin güneybatısında yer almaktadır (Şekil 1). Katı atık deponi alanı için öngörülen alan, 285.575 m² olup, bunun 30.000 m²'lik kısmının sabit tesisler için kullanılması planlanmakta, sağlık koruma bandı ile birlikte toplam 580.107 m²'lik bir alanı kaplamaktadır. Seçilen alan, il merkezine yaklaşık 12 km mesafede ve en yakın yerleşim alanı olan Bahşili'ye 1034 m uzaklıkta olup, şehrin gelişim yönünün aksi istikametinde yer almaktadır (Şekil 1).

Araştırma kapsamında, deponi alanındaki temel zeminin jeoteknik özellikleri ile yeraltı suyu durumunun belirlenmesi amacıyla 5 noktada her biri 20 metre derinlikte toplam 100 metre araştırma sondajı yapılmıştır. Bu sondajlara ek olarak 5 farklı noktada her biri 15 metre derinlikte toplam 75 metre zemin sondajı daha yapılmış ve 2 noktada da sismik ölçümler alınmıştır. Bu sondajların açılması sırasında, temel zeminin mühendislik özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla standart penetrasyon deneyleri (SPT) yapılmıştır. Sondaj kuyularından örselenmiş ve örselenmemiş örnekler alınmıştır. Zeminin geçirgenliğinin belirlenmesi amacıyla her sondaj kuyusunda 5 metrede bir basınçsız su (sızma) deneyi yapılmıştır. Sondajlardan alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin örnekleri üzerinde, TS 1900-1 ve TS 1900-2 (2006) standartlarına uygun olarak doğal su içeriği, Atterberg limitleri, tane boyu dağılımı, birim hacim ağırlık, serbest basınç ve üç eksenli basınç direnci deneyleri yapılmıştır.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

Figure 1. Location map of the study area

Yapılan bu çalışmalar sonucunda katı atık düzenli depolama alanı olarak öngörülen bölgenin jeolojik, hidrojeolojik ve diğer ölçütlere göre düzenli depolama alanı olabilmesi yönünden uygunluğu araştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve uygunluk ölçütlerinin oluşturulması aşamasında, daha önce yapılmış çalışmalardan ve KAKY'den yararlanılmıştır (Çevre ve Orman Bakanlığı, 1991; Baran, 1995; Yeşilnacar, 2000; Amin, 2000; Şimşek, 2002;

Tchobanoylus ve Kreith, 2002; Mutlutürk ve Karagüzel, 2004; Karagüzel ve Mutlutürk, 2005; Yeşilnacar ve Çetin, 2005; Yeşilnacar vd., 2005; Tay, 2005; Türkmen ve Tağa, 2005; Akkurt, 2006; Tınmaz ve Demir, 2006; Nas ve Bayram, 2006; Bayram ve Nas, 2007; Karaca vd., 2007).

Deponi Alanının Çevresel Özellikleri ve Atık Öngörüsü

Kırıkkale'de üretilen katı atıklar, 7 km uzaklıkta Arpalık Tepesi olarak adlandırılan 4-5 hektarlık bir alanda düzensiz bir şekilde, vahşi depolama yoluyla uzaklaştırılmaktadır. En yakın yerleşim yerine uzaklığı 1200 m olan depolama sahası, 1981 yılından beri kullanılmaktadır. Bölgede düzensiz bir şekilde depolanan çöpler, tepeler oluşturmuştur. Mülkiyeti, Hazine Müsteşarlığı'na ait olan vahşi depolama sahasında, evsel, endüstriyel ve tıbbi atıklar birlikte depolanmaktadır (Kayalak, 2007). Düzensiz depolama alanında çevre ve insan sağlığı açısından görülmesi beklenen tüm olumsuzluklar görülmeye başlanmıştır. Şehrin yüksek tepelerinden görülebilen bu alanda yaz aylarında sürekli çöplerin yandığı görülmektedir. Ayrıca, sahada başıboş hayvanlar da gezinmekte ve hiçbir önlem alınmamaktadır. Saha, çöp depolama alanı ile birlikte yaklaşık olarak 80 hektar büyüklüğündedir (Kayalak, 2007).

Kırıkkale İl Çevre ve Orman Müdürlüğü tarafından 2006 yılında hazırlanan Çevre Durum Raporu'nda 2004 yılı için günde 70-80 ton civarında katı atık tespiti yapılmıştır. İlin 2004 yılı merkez nüfusuna göre katı atık üretimi 0.4 kg/kişi-gün olarak tanımlanmıştır. Katı atık depolama sahası Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Raporu'nda, hizmet edilen nüfusün 320.000 ve kişi başına atık üretiminin ortalama 0.88 kg/kişi-gün olduğu belirtilmiştir. Aynı raporda toplam atığın % 78'i evsel, % 20'si ticari ve kurumsal, % 2'sinin ise endüstriyel olduğu öngörülmüştür (MGS, 2006). Bu bilgiler ışığında Tchobanoglous ve Kreith (2002)'ye göre, çalışma alanı, katı atık türüne göre sınıflanan düzenli depolama tiplerinden "Tanımlanmış atıklar" (Depolama sınıfı II) sınıfına girmektedir.

Yer alternatifleri arasında ilk belirlenen alan, merkez ilçe sınırları içinde bulunan ve 1981 yılından beri çöp dökümü yapılan düzensiz çöp depolama alanının bitişiğindeki bölge olmuştur (Şekil 1). Bu alanın yerleşim merkezine uzaklığı yaklaşık 1200 m'dir. Söz konusu alternatif alan, bir tepenin üzerinde yer alması, kokunun kolaylıkla şehre ulaşma olasılığının bulunması, yamaç eğiminin yüksek olmasının yanı sıra depolama kapasitesinin de çok sınırlı olması nedeniyle KAKY'de belirtilen ölçütlere uygun değildir. Bu alanın yerine, merkez ilçeye 12 km mesafede yer alan Bahşılı ilçesi, Bedesten mevkiindeki eski kil ocaklarının bulunduğu alanın, katı atık düzenli deponi tesisine uygunluğu ayrıntılı olarak araştırılmıştır.

Yapılan arazi incelemelerinde, atık alanı olarak düşünülen bölgede ve yakın çevresinde yüzeysel su kaynağına rastlanmamıştır. Proje sahası ve yakın çevresinde hiçbir özel koruma alanı, milli park, sulak alan, tabiat koruma alanı, sit alanı, turizm alanı vs. yer almamaktadır.

İNCELEME ALANININ JEOLJİSİ

İnceleme alanı ve yakın çevresinde en yaşlı birimi, çakıltası, kumtaşı, kıltaşı ardalması ile yer yer kireçtaşları ve andezit bloklarının gözlendiği Kasımağa formasyonu olarak adlandırılan birim oluşturmaktadır. Deponi alanı olarak düşünülen bölgede, İncik ve Kızılırmak formasyonlarına ait birimler yüzeylemektedir. Bölgede yer alan birimlerin jeolojik özelliklerine ait veriler aşağıda açıklanmıştır (Şekil 2).

Kasımağa Formasyonu

Bölgede gabro, bazalt, diyabaz, tüf, kırmızı renkli kireçtaşı, radyolarit ve çamurtaşı gibi kayalardan oluşan birim Ankara Melanjı'na

dahil edilmektedir. Söz konusu birim, Keskin'in güneydoğusunda Kasımağa Köyü civarında en iyi şekilde görüldüğü için Bilgin vd. (1986) tarafından Kasımağa formasyonu olarak adlandırılmıştır. Aynı birim, Baykal (1941) tarafından "serpantin radyolaritli seri", Ketin (1955) tarafından ise "Üst Kretase volkanik serisi" olarak adlandırılmıştır. Birim, alttan üste doğru siyah renkli bazalt, bazaltları besleyen diyabaz daykları ve siyahımsı-gri bazaltik tüf, spilit, çörtlü pelajik kireçtaşı, kumtaşı, kırmızı çamurtaşı araldanması ve bazaltlar içinde beyaz renkli holokristalen mermer bloklarından oluşmaktadır. Birimdeki litolojilerin tabaka kalınlıkları değişkenlik sunmakla birlikte, tüfler daha kalın, pelajik kireçtaşları ve kumtaşları ince-orta tabakalı, diyabaz daykları ise en çok 5 m kalınlık sunmaktadır (Bilgin vd., 1986).

Dizilitaşlar Formasyonu

Çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı araldanmasından ve bunlar içinde aynı yaşlı resifal kireçtaşı ve andezit bloklarından meydana gelen bu birim ilk kez Norman (1972) tarafından Dizilitaşlar formasyonu olarak tanımlanmıştır. Haritalama alanı dışında, Hacıbalı Köyü batısında en iyi görüldüğü Dizilitaşlar mevkiğine istinaden adlandırılmıştır. Çalışma alanı yakınında, Bedesten Deresi'nin her iki yakasında yüzeyler. Dizilitaşlar formasyonu, çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı, resifal kireçtaşı ile andezit bloklarından oluşmaktadır.

Çakıltaşları, andezit, trakiandezit, riyodasit türü volkanik birimler ile kireçtaşı, radyolaryalı çört, gabro bazalt ve serpantin çakıllarından oluşmaktadır. Kıltaşları açık ve koyu yeşil, koyu gri renktedir. Genellikle kumtaşı çakıltaşlarıyla araldanmalı olarak yer alır. Kıltaşları zaman zaman masif görünüm kazanmakta, aralarında

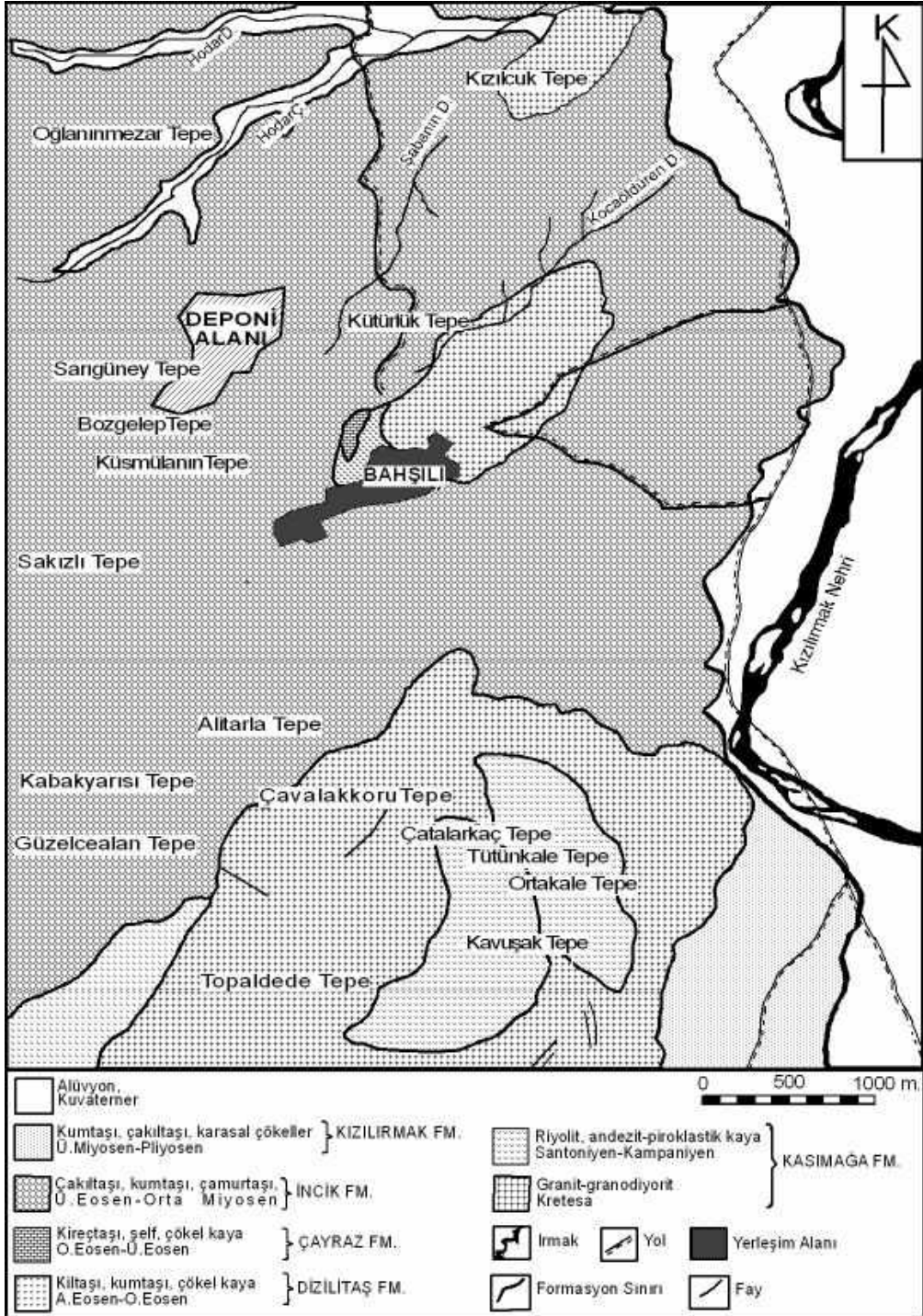
çok ince kumtaşı katmanları yer almaktadır. Dizilitaşlar formasyonu içerisindeki birimler kendi aralarında yanal ve dikey yönde geçiş gösterirler.

Çalışma alanı civarında birim, Kızılırmak formasyonu tarafından uyumsuz olarak üstlenir (Bilgin vd., 1986). Aynı araştırmacılar, Dizilitaşlar formasyonunun alt ve üst sınırlarının belirgin olmadığını ve kendi içinde ekaylı bir yapıda olması yüzünden kalınlığının ölçülemediğini belirtmişlerdir. Birimin kalınlığının yaklaşık 700 m olduğu önceki araştırmacılar tarafından belirtilmiştir.

Çayraz Formasyonu

Schmidt (1960) ve Yüksel (1970) tarafından Çayraz formasyonu olarak tanımlanan birimin tip yeri Haymana Havzası'dır. Sarımsı rengi ve bol Nummulites içeriği ile kolayca ayırt edilebilen birim, kireçtaşı ve marn araldanmasından oluşmaktadır. Deponi alanının güneydoğusunda Bahşılı yöresinde, daha çok haritalama alanı dışında, Dereköy, Günalan, Karaali ve Karahasanlı köyleri dolaylarında Çayraz formasyonunun geniş yüzleklerine rastlanılır. Formasyonun kaya türünü kireçtaşı, marn araldanması oluşturmakla birlikte birkaç düzeyde çakıltaşı bantlarını da içermektedir. Kalın tabakalı, bol fosilli biyostromal kireçtaşı yaygın kayalık türünü oluşturmaktadır. Bu kireçtaşları arasında yer yer kumlu düzeylerin bulunduğu, merccekler şeklinde kumlu kireçtaşı ara bantları da yer almaktadır. Kireçtaşları arasında yine bol fosilli yeşil-sarı renkli marnlar bulunmaktadır. Kireçtaşı ve marnlar birbirleriyle yanal ve dikey olarak tedrici geçişlidir. Çayraz formasyonu'nun yaşı fosil içeriğine göre Kuviziyen-Lütesiyen olarak belirlenmiştir (Bilgin vd., 1986).

Savaş ve Korkanç



Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası (Bilgin vd., 1986).

Figure 2. Geological map of the study area (Bilgin et al., 1986).

İncik Formasyonu

Regresif özellikli, evaporitli, kırmızı-kahve, gri renkli, paralel çapraz tabakalı, az köşeli/köşesiz taneli, orta-iyi-yer yer gevşek tutturulmuş karasal çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı ar dalanmasından oluşan birim, Birgili vd. (1975) tarafından İncik formasyonu olarak adlandırılmıştır. İncik formasyonunun alt kesimleri, orta-iyi tutturulmuş, ince-orta-kalın paralel katmanlı kumtaşları ile ar dalanmalı jips-anhidrit ve çamurtaşlarından, orta-üst düzeyleri ise çamurtaşları ile ardışıklı ve üste doğru artan oranda çapraz katmanlı çakıltası ve kumtaşlarından oluşur.

İncik formasyonu çalışma alanı dışında Lütésiyen yaşlı Kocaçay formasyonu (Birgili vd., 1975) ve Çayraz formasyonunun eşleniği olan Çadırılıhacıyusuf formasyonu üzerinde uyumlu olarak yer alır (Kara ve Dönmez, 1990). Üst dokanağı ise Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı İç Anadolu Grubu çökelleri tarafından uyumsuz olarak örtülür. Ağaçalı ve İncik formasyonunun kalınlığı, çalışma alanın kuzeyinde (Çankırı-Çorum Havzası'nda) 3100 metreye ulaşır (Birgili vd., 1975). Yaş verecek fosil bulgusu saptanamayan birimin, altında ve üstünde yer alan formasyonların stratigrafik konumlarına göre Geç Eosen-Oligosen yaşlı olduğu kabul edilmiştir.

Bayındır Üyesi

Bayındır üyesi göl ortamında oluşmuş, kumtaşı, kıltaşı, marn, anhidrit ve jips ar dalanmasından oluşmaktadır. Birimde boylanma ve derecelenme oldukça belirgin olarak izlenebilmektedir. Birimler karbonat çimentosu ile tutturulmuş olup, tabakalanması oldukça düzenlidir. Tabaka kalınlığı birkaç cm'den 2 m'ye kadar değişebilmektedir. Anhidrit

seviyeleri, jips seviyelerine oranla daha yaygın olup, kalınlıkları 75 cm'ye kadar çıkabilmektedir. Genellikle beyaz renkte olmalarına karşın içlerinde çamur ve killerin bulunması nedeniyle kirli, sarımsı beyaz renklere de görülebilmektedir (Bilgin vd., 1986).

Kızılırmak Formasyonu

Formasyon kumtaşı, çamurtaşı ve yer yer jips ara seviyeleri ve merceklerinden oluşmaktadır. Ayrıca, bazı kesimlerde tuf ve kireçtaşı seviyeleri de içerir. Birgili vd. (1975) tarafından Çankırı-Çorum Havzası'nda Kızılırmak formasyonu olarak adlandırılmıştır. Kızılırmak formasyonu çalışma alanında karasal koşullarda oluşmuş en genç birimi oluşturur. Formasyon, akarsu ve gölsel ortamlarda çökelmiştir. Yamaçlarda, bolca çamur içerisinde, çakıltaşlarından kum boyutuna kadar malzemeyi kapsamaktadır. Çamurun rengi kırmızı olduğundan birim genelde kırmızı renklidir. Çakıllar yöreye göre üzerinde buldukları eski birimlerden türemişlerdir. Havza ortasında gölsel fasiyeslere geçilmektedir. Buralarda gevşek kumtaşı, genellikle çamurtaşı ve bunlarla ara katkılı jips ve bazı yerlerde tuf ve kireçtaşı seviyeleri görülmektedir. Tabaka yapıları gölsel fasiyeslerde belirginleşmekte, boylanma ve derecelenme izlenebilmektedir. Ayrıca, birimde yer yer kalış oluşukları da izlenebilmektedir. Birimin içindeki yamaç molozu, akarsu ve gölsel fasiyesler, kendi aralarında yanal geçişlidir (Birgili vd., 1975)

Kızılırmak formasyonu alttan İncik formasyonu ile dereceli geçişlidir. Topoğrafyanın yüksek kesimlerinde, özellikle asidik magmatik kayalar ve diğer yaşlı birimler üzerine uyumsuz olarak gelir. Üstte ise güncel oluşuklar (alüvyonlar) tarafından uyumsuzlukla örtülürler.

Savaş ve Korkanç

Birgili vd., (1975), birimin yaklaşık 100 metrelik bir kalınlığa sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Düzenli katı atık depolama alanı olarak sınırlandırılan bölge, ince taneli birimlerden oluşan İncik formasyonu ile Kızılırmak formasyonu üzerinde yer almaktadır. Üst seviyelerde genellikle gri renkli, plastisitesi yüksek killi seviyelerin, alt seviyelerinde ise yer yer çakıl ve kum bantları içeren gri, kahverengi siltli killi seviyelerin yer aldığı gözlenmiştir.

İNCELEME ALANININ HİDROJEOLJİSİ

İklim ve Hidroloji

Kırıkkale ili ılıman iklim kuşağında yer almaktadır. Ancak, bulunduğu alanın denizden uzak oluşu, günlük sıcaklık farkının fazla olması nedeniyle karasal iklim etkileri daha baskındır. Genellikle hakim rüzgar yönü sonbaharda doğu-kuzeydoğu, kış aylarında güneybatı, ilkbaharda ve yaz aylarında kuzeydoğudur. Yıllık ortalama esme sayısına göre ise kuzeydoğu, hakim rüzgar yönüdür. Bölgeye en fazla yağış nisan ve mayıs aylarında düşerken, en az yağış ise temmuz, ağustos ve eylül aylarında düşmektedir. 30 yıl boyunca en fazla yağışlı ay 52.2 mm ile mayıs ayı olurken, en az yağışlı ay ise 8.7 mm ile ağustos ayı olmuştur. Son 30 yıllık ölçümlere göre yıllık ortalama toplam yağış miktarı 377.9 mm, yıllık ortalama sıcaklık 12.5 °C'dir. Yörede aylık ortalama bağıl nem miktarı, aralık ayında % 78 iken yaz aylarında % 5'e kadar düşmektedir. Son 30 yıllık ölçümlere göre yıllık ortalama bağıl nem % 64 olarak ölçülmüştür. 16 yıllık ölçümler sonucunda buharlaşmanın en fazla temmuz ayında 309.9 mm olarak gerçekleştiği belirlenmiştir (MGS, 2006).

İnceleme alanı ve yakın çevresinde yüzey suyu bulunmamaktadır. Deponi alanının bulunduğu bölge hidrojeolojik açıdan incelendiğinde, yeraltısuyunun çok derinde olduğu, bu bölgelerde yapılabilecek katı atık depolama alanının yeraltısuyu kirliliği açısından çok büyük bir risk oluşturmayacağı düşünülmüştür. İçme ve kullanma suyu yakın çevreden sondajlarla temin edilebilecektir. Düzenli depolama alanına, dışarıdan yağmur suyu girmesine izin verilmeyecektir. Bu nedenle alanın üst kotlarındaki yamaçlardan gelebilecek yağmur suları, uygun drenaj önlemleri ile toplanarak bölgeden uzaklaştırılmalıdır.

Temel Zeminin Geçirimsizliğinin İncelenmesi

Düzenli depolama yapılacak alanın, zemin özellikleri bakımından uygun olup olmadığını belirlemeye yönelik en önemli parametre temel zemininin geçirimsizliğidir. Deponi sahasında açılan sondaj kuyularında, temel zemininin geçirimsizliğinin belirlenmesi için her sondaj kuyusunda, 0.00-20.00 metre arasında her 5 metrede bir basınçsız su (serbest sızma) deneyi yapılmıştır. Deney sırasında kuyuya 5'er dakika süreyle 4 kez (toplam 20 dakika) su verilmiştir. Her 5 dakika için verilen su değerleri litre cinsinden kaydedilmiş ve ortalama su kaybı belirlenmiştir. Arazide yapılan sızma deneyleri sonucunda $9.8 \cdot 10^{-9}$ - $1.43 \cdot 10^{-8}$ m/s arasında değişen geçirimsizlik katsayısı değerleri elde edilmiştir (Çizelge 1). Çevre ve Orman Bakanlığı (1991), Katı Atık Kontrolü Yönetmeliği'nde deponi alanı olarak kullanılacak alanlarda temel zemininin geçirimsizliğinin en az $1 \cdot 10^{-8}$ m/sn olması istenmektedir. İnceleme alanından elde edilen geçirimsizlik değerleri, belirtilen sınır değerlere uygundur.

Çizelge 1. Zeminlerin geçirimsizlik katsayılarına göre sınıflandırılması

Table 1. Classification of the soils according to hydraulic conductivities

Sondaj No	Geçirimsizlik Katsayısı, K (m/s)	Sınıfı (Terzaghi ve Peck, 1967)
Sk-1	$8.3 * 10^{-9}$	Geçirimsiz
Sk-2	$9.8 * 10^{-9}$	Geçirimsiz
Sk-3	$1.2 * 10^{-8}$	Çok az geçirimli
Sk-4	$1.33 * 10^{-8}$	Çok az geçirimli
Sk-5	$1.43 * 10^{-8}$	Çok az geçirimli

Düzenli depolama yapılacak alanın, zemin özellikleri bakımından uygun olup olmadığını belirlemeye yönelik en önemli parametrenin zeminin geçirimsizliği olduğu unutulmamalıdır.

İncelenen deponi alanı killi birimler üzerine inşa edilmesi nedeniyle çok az geçirimli veya geçirimsizdir. İnceleme alanının yakın çevresinde yüzey suyu ve kuru dere yatağı yer almaktadır. Bölgede yapılan sondaj çalışmalarında (20 metre derinlik) yeraltısuyunun daha derinde olması ve temel zemininin de killi birimlerden oluşması nedeniyle yeraltısuyunun kirlenmesine yönelik olumsuz doğrudan ilişki düşünülmemiştir.

Deponi alanının killi birimler üzerine inşa edilmesine rağmen çakıllı, kumlu, kil mercceklerinin gözlemlendiği alanların olması nedeniyle zemin geçirimsizliğinin sağlanabilmesi için 60 cm kalınlığında kil serilmesi, istenilen geçirimsizliğin kil ile sağlanamaması durumunda ise jeo-membran kullanılması, ÇED raporunda önerilmiştir. Yine aynı raporda, oluşan sızıntı sularını toplamak amacıyla sıkıştırılmış kil

tabakası üzerine drenaj borularının yerleştirileceği belirtilerek, kil tabakasının üzerine 30 cm çakıl dren tabakası inşa edilmesi önerilmiştir. Sızıntı sularının toplanması amacıyla en fazla 100 m aralıklarla yarıklı veya delikli boruların kullanılması planlanmıştır (MGS, 2006).

Deponi alanı için hazırlanan ÇED raporunda, sızıntı suları ve atık suların yeraltısuyu üzerine olası olumsuz etkilerinin belirlenmesine yönelik olarak çıkışta 1 adet ve akış yönünde 2 adet olmak üzere toplam 3 adet izleme (gözlem) kuyusu açılacağı belirtilmiştir. Ayrıca, proje faaliyete geçmeden önce yeraltısuyu kalitesinin belirlenmesi gerektiği vurgulanmış, deponi alanı faaliyete geçtikten sonraki dönemlerde de yeraltısuyu kalite değerlerinin karşılaştırılarak kalite değişiminin izleneceği ve izleme çalışmalarına tesis kapatıldıktan sonra da (10 yıl süreyle) devam edileceği belirtilmiştir (MGS, 2006).

DEPONİ ALANININ JEOLÖJİK JEOTEKNİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Katı atık düzenli deponi alanı olarak inşa edilmek istenilen alanda, öncelikle yoğun arazi çalışmaları yapılmıştır. Bölgenin temel zemininin jeoteknik özellikleri ile yeraltı durumu belirlenebilmesi amacıyla 5 noktada her biri 20 m derinlikte toplam 100 m derinliğe sahip sondaj kuyuları (SK) açılmış, bu kuyulara ek olarak daha sonraki dönemlerde 5 farklı noktada her biri 15 m derinlikte olmak üzere toplam 75 m derinliğe sahip yeni sondaj kuyuları (YSK) açılmıştır. Ayrıca, alanın 2 noktasında da sismik ölçümler alınmıştır (Şekil 3). Ayrıntılı arazi çalışmaları, sondajlar ve sismik veriler yardımı ile alanın 1/2.000 ölçekli enine kesiti çıkartılmıştır (Şekil 4).

Temel zemininin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve alınan örselenmiş örnekler üzerinde de laboratuvarda tanımlama deneyleri (zemin sıkılığı veya kıvam limitleri gibi) yapmak amacıyla açılan sondaj kuyularında 0-20 metre arasında (1.5-2.0, 3.5-4.0, 6.5-7.0, 9.0-9.5, 12.0-12.5, 15.5-16.0, 19.5-20.0 metrelerde) toplam 35 adet standart penetrasyon testi (SPT) yapılmış, daha sonra açılan sondaj kuyularında da 40 adet daha SPT yapılmıştır. İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından elde edilen veriler, sondaj logları üzerine işlenmiştir (Şekil 5).

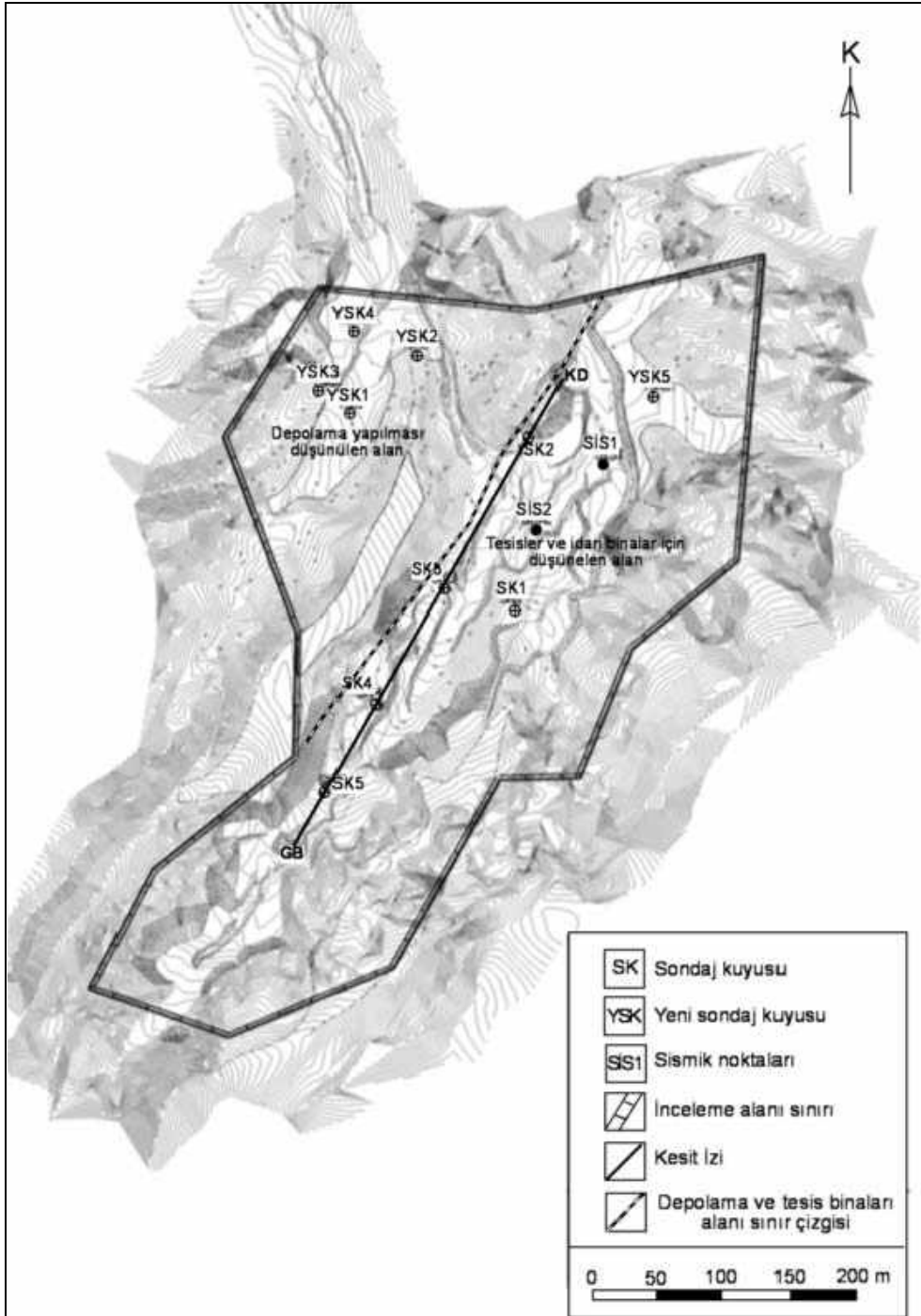
İnceleme alanındaki farklı lokasyonlarda ve farklı derinliklerde yapılan araştırma sondajlarından alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin örnekleri üzerinde, TS 1900-1 ve TS 1900-2 (2006) standartlarına uygun olarak doğal su içeriği, Atterberg limitleri, tane boyu dağılımı; örselenmemiş örnekler üzerinde ise birim hacim ağırlık, serbest basınç

ve üç eksenli basınç direnci deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen veriler toplu olarak Çizelge 2'de sunulmuştur.

Deponi alanındaki sondajlardan alınan örnekler üzerinde yapılan doğal birim hacim ağırlık deneylerinde 18.05-18.64 kN/m³ arasında değerler elde edilmiştir. Katı atık düzenli depolama alanı zeminini oluşturan birimlerin ağırlıklı olarak (ortalama % 70-85) kil ve siltten oluştuğu, kalan kısmının ise kum ve çakıldan oluştuğu (ortalama % 15-30) belirlenmiştir. Ayrıca, Atterberg (Kıvam) Limitleri deneylerine göre örneklerin çoğunluğunun CL grubu düşük plastisiteli killerden oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 6). CL-sınıfı killerin serbest basınç dayanımı değerlerinin $1.0 < q_u < 2.0 \text{ kg/cm}^2$ aralığında olduğu dikkate alındığında; "Katı kıvamda" oldukları anlaşılmaktadır.

Deponi alanının değişik kesimlerinde yapılan sondajlardan elde edilen düşük SPT-N₃₀ değeri, SK2 nolu sondajda 1.5-2 m'leri arasındaki siltli, çakıllı, kumlu kil seviyesinden elde edilmiştir. Sondajlarda farklı derinlik kademelerinde yapılan SPT deneylerinden elde edilen SPT-N₃₀ değerleri dikkate alındığında temel zemininin "Çok katı - Sert kıvamda" olduğu belirlenmiştir.

Araştırma kuyularının farklı derinliklerinde kesilen birimlerden alınan örselenmemiş numuneler üzerinde UU (Konsolidasyonsuz-Drenajsız) üç eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda, farklı derinliklerden alınan örnekler için 0.43-0.52 kg/cm² arasında değişen kohezyon değerleri ve 5 – 8° arasında değişen içsel sürtünme açısı değerleri elde edilmiştir (Çizelge 2).



Şekil 3. Deponi alanının ve araştırma kuyularının konumu (MGS, 2006)

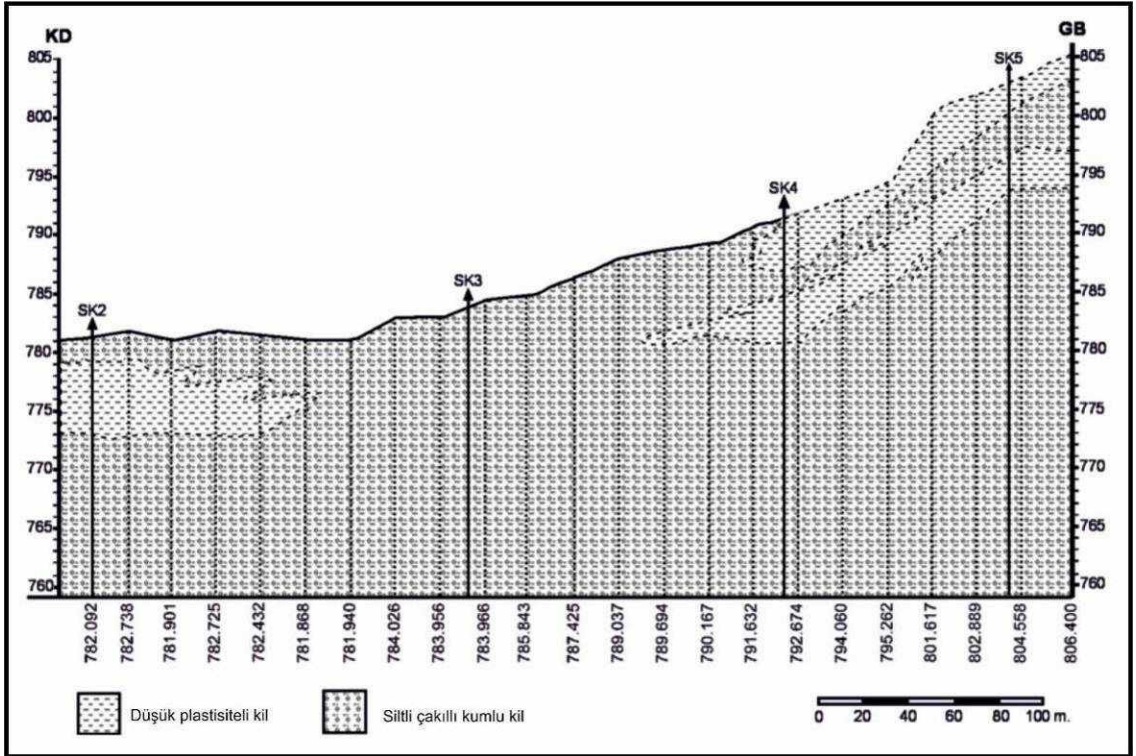
Figure 3. Location of the landfill site and boreholes (MGS, 2006)

Savaş ve Korkanç

Çizelge 2. Deponi alanındaki zeminlerinin indeks ve mekanik özellikleri

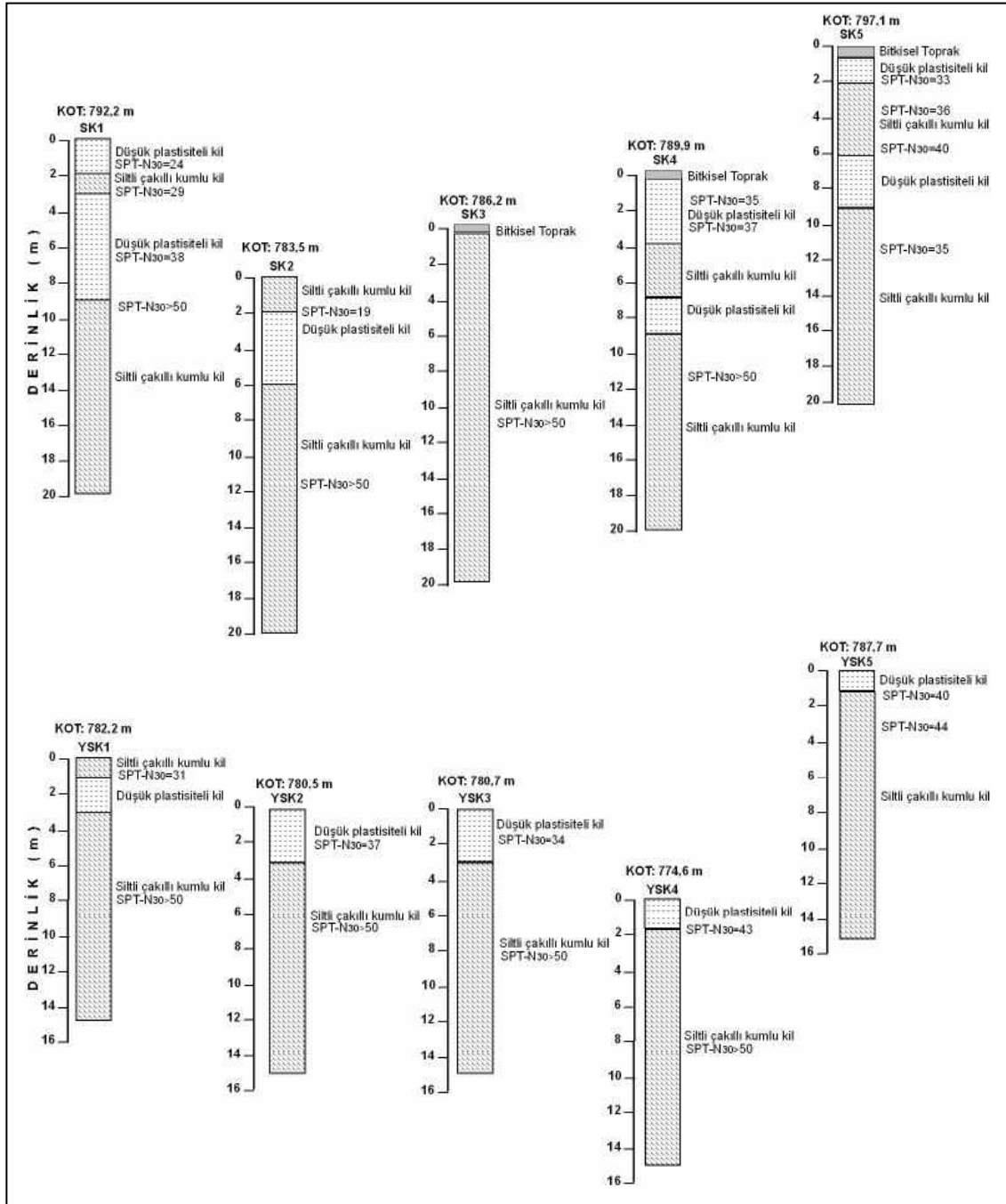
Table 2. Index and mechanical properties of the soils in the landfill site

Sondaj No	Derinlik (m)	Su içeriği (%)	Doğal birim hacim ağırlık (kN/m ³)	Atterberg Limitleri			Zemin sınıfı	Serbest basınç direnci (kg/cm ²)	Üç eksenli basınç deneyi (UU)		Konsolidasyon	
				Likit limit (%)	Plastik limit (%)	Plastisite indisi (%)			C (kg/cm ²)	Φ (°)	Şişme yüzdesi	Şişme basıncı (kg/cm ²)
SK-1	3	20.1	18.05	41	20	21	CL	-	0.52	5	-	-
SK-5	3	18.3	18.34	41	21	20	CL	1.41	-	-	-	-
YSK-1	3	17.6	18.54	44.7	20.9	23.8	CL	-	0.43	8	1	0.177
YSK-1	10.5	19.4	18.44	46.8	23.6	23.2	CL	1.47	-	-	-	-
YSK-2	3	16.3	18.64	45.9	24.1	21.8	CL	-	0.48	6	1.3	0.188
YSK-3	4.5	24.3	18.34	46.9	22.1	24.8	CL	-	0.51	6	-	-
YSK-4	10.5	22.2	18.34	47.7	23.9	23.8	CL	1.44	-	-	-	-
YSK-5	6	17.8	18.54	53.6	26.3	27.3	CH	1.49	-	-	-	-
YSK-5	12	19.0	18.44	49.2	24.2	25	CL	1.42	-	-	-	-



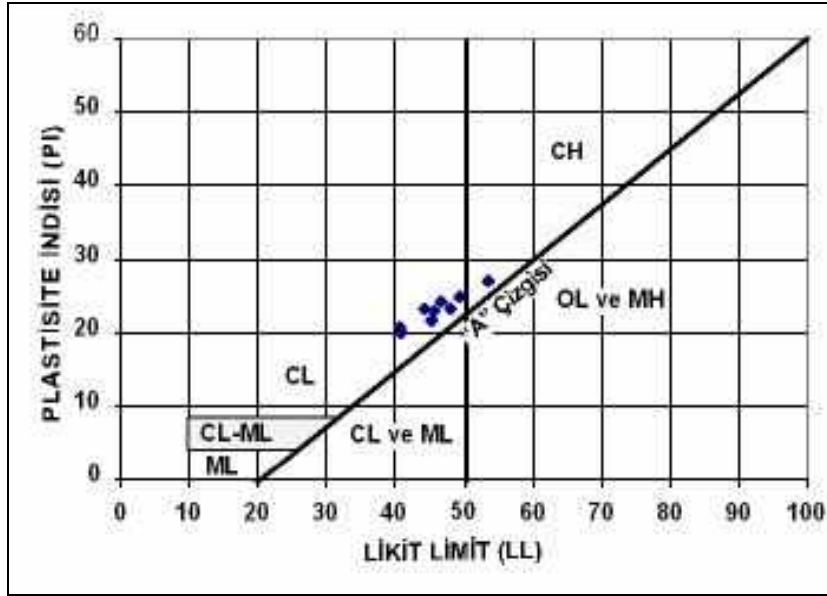
Şekil 4. Deponi alanına ait jeolojik enine kesit (MSG, 2006)

Figure 4. Geological cross-section of the landfill site (MSG, 2006)



Şekil 5. SK ve YSK araştırma sondaj logları

Figure 5. Logs of SK and YSK boreholes



Şekil 6. Zemin örneklerinin plastisite abağı üzerindeki yeri
Figure 6. Position of the soil samples on the plasticity chart

Düzenli depolama tesisi yapılması planlanan yapıların (idari bina, atölye binası, çöp ayıklama binası, su deposu, kantar binası, lastik yıkama ünitesi, foseptik tankı, evsel atık sızıntı suyu, toplama havuzu, çöp sızıntı suyu arıtma tesisi, tıbbi atık sızıntı suyu toplama havuzu ve atık pil deposu) statik projelerinin çıkartılmasına yardımcı olması açısından, temel zemininin taşıma gücü değerleri hesaplanmıştır. Örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan üç eksenli deneylerden elde edilen kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri ile doğal birim hacim ağırlık değerlerinin kullanılması ve güvenlik katsayısının da 3 alınması durumunda Terzaghi (1943)'e göre yapılan hesaplamalarda, izin verilebilir taşıma gücünün (q_a) 1.30 ile 1.42 kg/cm^2 arasında değerler aldığı belirlenmiştir.

Atık alanından çıkacak kazı malzemesinin dolgu malzemesi olarak değerlendirilmesi, yer seçimi yapılan bölge açısından çok önemlidir.

Atık alanı için gerekli olan geçirimsiz örtü malzemesinin ve drenler için taneli malzemenin ve çakılın aynı alandan veya yakın bir yerden alınması, katı atık depolama alanına ekonomiklik kazandırmaktadır (Tchobanoglous vd., 1993). Alanın eski bir kil ocağı olması ve sıkıştırma denemelerinde dolguda kullanılabilecek özelliklere sahip olması nedeniyle dışarıdan dolgu malzemesi teminine gerek kalmayacaktır.

Temel zemininin/kayasının geçirimsiz ve 20 metreden daha kalın, yeraltı derinliğinin de oldukça fazla olduğu alanlar, depolama alanları olma açısından oldukça nadir bulunan alanlardır. İnceleme alanının temel zemininin jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerinin uygun olması, katı atık depolama alanlarının gerekli altyapı maliyetlerini düşürmesi açısından da oldukça önemlidir (Tchobanoglous ve Kreith, 2002).

Deponi alanı olarak tanımlanan alanın iç kesimlerinin küçük tepelerle çevrili olması, kullanılmayan eski bir kil ocağı olması, önceden birçok alanda kazı yapılmış olması, geçirimsizlik özelliği ve sızıntı suyu drenajının kolaylıkla yapılabilir olması bölgenin deponi alanı olması açısından ekonomi sağlayacaktır.

Arazide 10 farklı noktada yapılan sondajlarda, benzer özellikte, karmaşık bir yapı gösteren killi birimler kesilmiştir. Katı atık depolama alanı taban zeminini oluşturacak birimlerden alınan numunelerin laboratuvar deney verilerinin değerlendirilmesi sonucunda, gözlenen killi birimlerin genel olarak geçirimsiz ve taşıma gücü açısından da uygun birimler olduğu sonucuna varılmıştır. Temel zemininin 20 m'den kalın olması yeraltısuyunun korunması açısından da oldukça önemlidir.

Deponi alanının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalardan biri de bölgenin aktif faylara uzaklığı, deprem tarihçesi ve olabilecek

deprem(ler)in büyüklüğüne yönelik değerlendirmelerdir. Mümkün olduğunca deprem açısından hareketli bölgelere katı atık depolama alanı inşa edilmemelidir. Bu tür bölgelere inşa edilen katı atık depolama alanları, depremden sonra giderilmesi çok zor ve çok büyük çevre sorunlarına neden olabilmektedir. İnceleme alanı ve çevresi, Bakanlar Kurulu'nun 18.04.1996 tarih ve 96/8109 sayılı kararı ile yürürlüğe giren Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'na göre 1. derece deprem bölgesi içerisinde yer almaktadır (Şekil 7). İnceleme alanında kabarma, akma, yayılma gibi zeminden kaynaklanan sorunlara rastlanmamıştır. Alanın heyelan, çığ, su baskını, göçme vb. doğal afetlere maruz kalması beklenmemektedir. İnceleme alanı ve civarında, yapısal projelendirme aşamalarında, 06.03.2007 tarih ve 26454 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik" esaslarına uyulmalıdır (MGS, 2006).



Şekil 7. Kırıkkale ili deprem bölgesi haritası (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1996)

Figure 7. Seismic zone map of the Kırıkkale province (The Ministry of Public and Settlement, 1996)

DEPONİ SAHASI OLABİLME ÖZELLİĞİ

Deponi alanları, buldukları bölgelerde yoğun bir şekilde koku ve hava kirliliğine neden olduklarından dolayı, yerleşim alanlarından uzak yerlere yapılmalıdır. Ancak, ekonomik bir işletme olabilmesi için şehir merkezinden çok uzakta da olmaması gerekmektedir.

Deponi alanı olarak öngörülen alan için hazırlanan Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) raporunda, deponi alanı için 285.575 m²'lik, sabit tesisler için 30.000 m²'lik alanın kullanılmasının düşünüldüğü, sağlık koruma bandı ile birlikte bu alanın toplam 580.107 m²'lik bir yer kapladığı belirtilmiştir. Aynı raporda, deponi alanının, şehir merkezine yaklaşık 12 km mesafede ve en yakın yerleşim yeri olan Bahşılı'ya 1034 m uzaklıkta olduğu, şehrin gelişim yönüne ters yönde bulunduğu belirtilmiştir (MSG, 2006). İnceleme alanı ve yakın yöresinde yüzeysel su kaynağının bulunmadığı, katı atık proje alanı civarında hiçbir koruma alanının (milli park, sulak alan, tabiat koruma alanı, sit alanı, turizm alanı vs.) yer almadığı belirtilmiştir (Çizelge 3). Deponi alanının çevresinde bulunan tepeler doğal bariyer oluşturmaktadır.

Jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri ayrıntılı olarak tanımlanan çalışma alanı, katı atık depolanması için gerekli olan jeolojik ve hidrojeolojik ölçütleri, büyük ölçüde sağlamaktadır (Çizelge 4). Ayrıca, düzenli deponi alanı olarak öngörülen alan, çevresel ölçütlere göre, katı atık depolama alanı olarak istenilen özellikleri taşımaktadır (Çizelge 3).

Katı atıklardan oluşan sıvı atıkların yeraltına sızmasını önlemek için ÇED raporunda öngörülen temel ve tavan örtü sistemlerinin

titizlikle uygulanması gerekmektedir. Çöp dolgusunun tabanına önerilen taban geçirimsizlik sistemi için 60 cm sıkıştırılmış kil serilecek, üzerine de sıvı atıkların sularını toplamak üzere dren tabakası olarak 30 cm çakıl serilecektir. Depolama alanında depolama işlemlerinin tamamlanıp projede belirtilen depo yüksekliğine erişildikten sonra, son kottaki çöp üzerine sırası ile 50 cm inorganik toprak + 30 cm çakıl + 60 cm sıkıştırılmış kil + 100 cm bitkisel tarım toprağı serilecektir. Ayrıca, düzenli katı atık depolama alanında, depolama sonrası yeraltı su kirliliğinin izlenmesi amacıyla, raporda öngörülen şekilde gözlem kuyuları açılmalı ve periyodik olarak izlenmelidir.

Proje için hazırlanan ÇED raporunda, alanın terk edilmiş eski bir kil ocağı olduğu, alanda ve yakın civarında herhangi bir tarımsal faaliyet yapılmadığı belirtilmiştir. Kırıkkale Tarım İl Müdürlüğü tarafından yapılan değerlendirmede, proje alanının mera ve tarım alanı olmadığı (tarım dışı alan) belirtilmiştir. Ayrıca, tesisin kurulacağı bölge orman alanı olmayıp, alan içinde ağaç bulunmamaktadır (MGS, 2006).

Projenin ÇED raporunda depolama sahasının 6 bölümden oluşması ve ilk etapta 3.54 hektar alanın en az 6 yıl için kullanılması planlanmıştır. Aynı şekilde 2. bölümün 3.3 yıl, 3. bölümün 4.4 yıl, 4. bölümün 3.3 yıl, 5. bölümün 3.7 yıl ve son bölümün de 3.3 yıl kullanılması öngörülmüştür. Böylece depolama sahasının en az 24 yıl işletilebileceği ön görülmektedir. Ambalaj atıklarının kaynakta ayrı toplanması projesinin uygulanması sonucunda, ilk bölümden itibaren depolanacak atık miktarının azalacağı varsayılarak alanın daha da uzun süre kullanılması hedeflenmektedir (MGS, 2006).

Çizelge 3. Katı atık alanının çevresel özelliklerinin uygunluğu

Table 3. Suitability of environmental characteristics of the solid waste area

Parametre	Genel Kriter	Kırıkkale Katı Atık Alanı	Uygunluk	Kaynaklar
1- Jeoloji	Konsolide olmamış birimler	Düşük plastisiteli kil	+	Langer (1995)
2- Şehir merkezine uzaklık	< 30 km	12	+	Gupta vd., (2003)
3- Arazi eğimi	$\alpha < 10^\circ$	0-10	+	Leao vd., (2004)
4- Fay zonlarına uzaklık	> 60 m	Yok	+	Langer (1995), EPA (1998)
5- Yol durumu	> 300 m	> 2000	+	Bagchi (1994)
6- Milli parka uzaklık	> 300 m	Yok	+	Gupta vd.,(2003), Langer (1995)
7- Yeraltı suyu derinliği	> 3 m	> 20	+	Bagchi (1994)
8- Nehirlere uzaklık	> 100 m	5000	+	Bagchi (1994), EPA (1998)
9-Göle veya havuza uzaklık	> 300 m	Yok	+	Bagchi (1994)
10-Yerleşim yerlerine uzaklık	> 1000 m	1034	+	Leao vd., 2004

Çizelge 4. Katı atık alanındaki zeminlerin mühendislik özelliklerinin uygunluğu

Table 4. Suitability of the engineering properties of soils in the solid waste area

Parametre	İstenilen Kriter (Bagchi, 1994)	Bulunan değer	Uygunluk
Geçirgenlik katsayısı (m/s)	$< 10^{-8}$	$9.8 \cdot 10^{-9} - 1.43 \cdot 10^{-8}$	+
Geçirimsiz temel kalınlığı (m)	> 3	~100	+
Likit limit (%)	20-40	41-53.6	-
Plastik limit (%)	10-20	20-27.3	-
Su içeriği (%)	15-20	16.3-24.3	+/-

Deponi alanlarında yer seçimi yapılırken sızdırmazlık amacıyla kullanılacak olan killi malzeme, toprak dolgu malzemesi ve drenaj malzemesi olarak kullanılacak olan çakıllı malzemenin depolama alanına yakın ve yeterli miktarda bulunan birim içerisindeki çakıllı, kumlu seviyelerden ve Kızılırmak formasyonunun yayılım sunduğu kesimlerden alınacak olması, depolama tesisinin ekonomikliği açısından

oldukça önemlidir. Bu projede gerekli olan dolgu malzemeleri bu alandan sağlanacaktır.

Deponi alanı ve çevresi için eğim durumu, yeraltı ve yerüstü su durumu, stabilite durumu, taşıma gücü ve oturma özellikleri dikkate alınarak yerleşime uygunluk değerlendirmeleri yapmak üzere, eğim haritası hazırlanmıştır (Şekil 8).

Savaş ve Korkanç

Hazırlanan eğim haritasında, yamaç eğiminin % 0-10 arasında değişiklik gösterdiği alanlar uygun alan (UA) olarak değerlendirilmiştir. Bu bölgeyi oluşturan birimin düşük plastisiteli kil olması ve eğimin % 0-10 arasında değişiklik göstermesi nedeniyle katı atık deponi tesisi için gerekli tüm geçici ve kalıcı idari binaların, araç yıkama istasyonlarının ve garajların sadece bu alanda yapılması planlanmıştır. Eğimin % 10-20 ve 20-30 arasında değiştiği alanlar önlemleri alan (ÖA) olarak değerlendirilmiştir. Eğimin % 30'dan büyük olduğu alanlar ise uygun olmayan alanlar (UOA) olarak değerlendirilmiştir. Bu alanlar, teknik ve ekonomik olarak önlem alınması uygun bulunmamış alanlar olduğu için planlama yapılmaması ve herhangi bir nedenden dolayı yapılaşmaya gidilmemesi gereken alanlar olarak ayrılmıştır.

Düzenli Depolama Tekniği ve Alınacak Önlemler

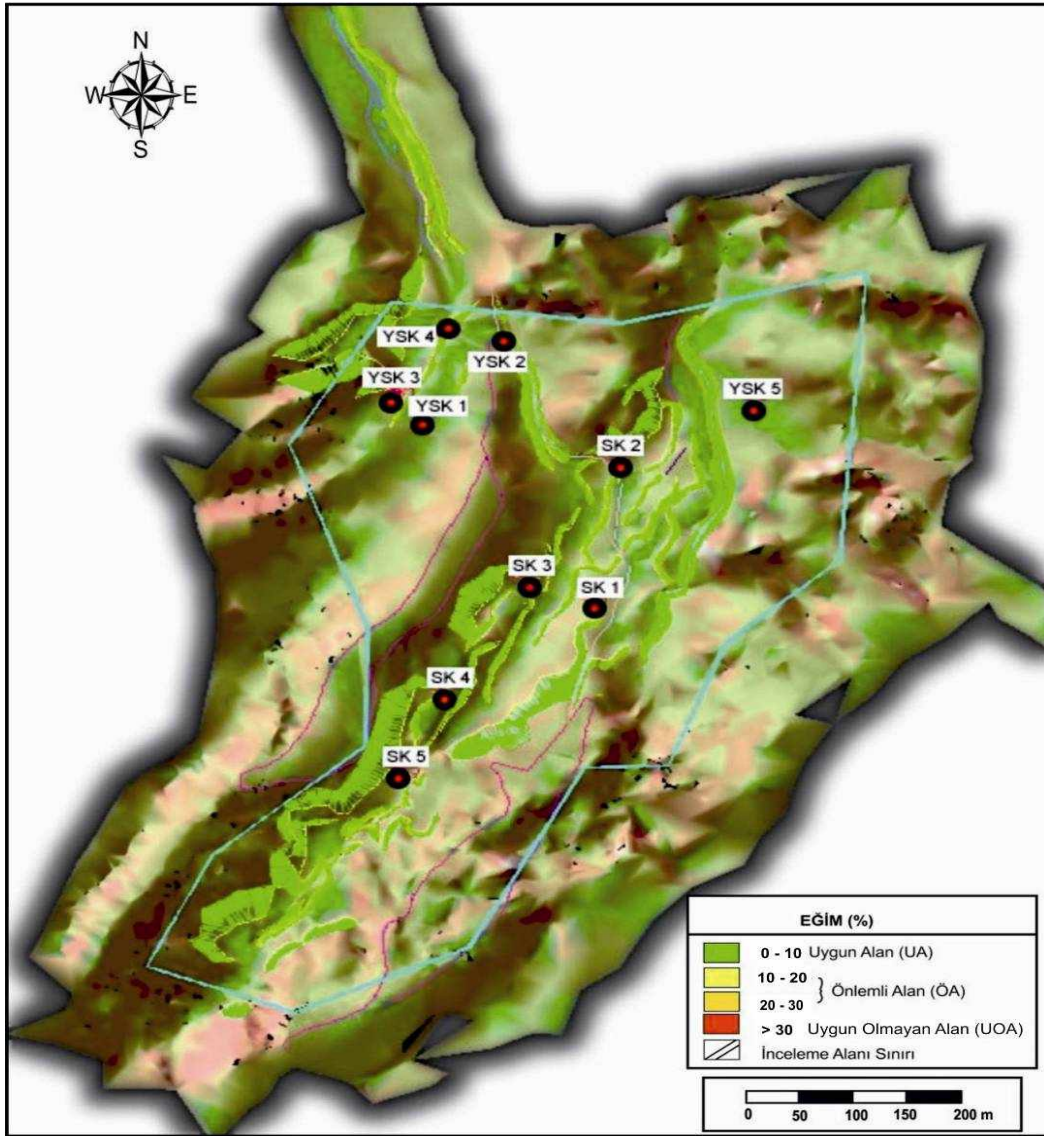
Düzenli depolama tekniği, belli sınırlar ve ölçütler çerçevesinde, katı atıkların bir arıtmadan geçirilmeden arazide depolanmasıdır. Düzenli katı atık depolama alanları için şehirden uzak, jeolojik ve hidrojeolojik açıdan risk taşımayan, morfolojik ve meteorolojik koşulları uygun, su kaynakları, I. ve II derece koruma alanı dışında ve sit alanı, milli park dışındaki alanlar tercih edilmelidir (Karagüzel ve Mutlutürk, 2005). Düzenli depolama tekniği ekonomik, uygulanabilir ve ön yatırımının az olması ve kullanılan alanın rekreasyon amacıyla kullanılma özelliği gibi bir çok olumlu yana sahiptir. Ancak, yerleşim birimlerinin kalabalık olduğu alanlarda halkın muhalafeti en önemli sorunu oluşturmaktadır (Yeşilnacar vd., 2001).

Düzenli depolama alanına, dışarıdan yüzey sularının girmesine izin verilmemelidir. Bunun

için sahanın üst kesimlerindeki yamaçlardan gelebilecek yağmur suları, kafa hendekleri ile toplanarak bölgeden uzaklaştırılmalıdır. Sabit tesislerin bulunduğu alanlardan ve yollardan gelen yağmur suları da yol kenarlarına yapılacak yüzey drenajları ile alan dışına verilmelidir. Depolama hücreleri inşa edilirken, yüzey sularının depo içine girmeden, taşkına neden olmadan kolaylıkla alan dışına ulaşabilmesi için gerekli önlemlerin alınması zorunludur.

Deponi alanındaki çakıllı, kumlu, killi mercerlerinin bulunduğu kesimlerdeki temel zemininden elde edilen geçirgenlik değerlerinin, yönetmelikte belirtilen değerlere oranla daha yüksek olmasından dolayı, projenin ÇED raporunda, alanın tamamına öncelikle 30 cm kil serileceği ve sıkıştırıldıktan sonra bu işleme kil kalınlığı 60 cm olana kadar devam edileceği belirtilmiştir. Zemin geçirimsizliğinin sağlanması için serilecek olan 60 cm kalınlığındaki kil tabakasının geçirimsizliğinin $1 \cdot 10^{-8}$ m/s'den küçük olması gerekmektedir. İstenilen geçirimsizliğin kil ile sağlanamaması durumunda, jeo-membran kullanılması öngörülmüştür (MGS, 2006).

Depolama sırasında oluşacak sızıntı sularının toplanması amacıyla, sıkıştırılmış kil tabakası üzerine drenaj borularının dikkatlice yerleştirilmesi gerekmektedir. Aynı raporda kil tabakasının üzerine 30 cm çakıl dren tabakası yerleştirileceği, sızıntı sularının toplanması amacıyla en fazla 100 m aralıklarla yarıklı veya delikli boruların kullanılacağı, bu boruların çapının en az 125 mm olacağı ve boruların, en az % 1 eğimle konumlandırılacağı öngörülmüştür. Dren boruları ise boru sırtından itibaren en az 30 cm kalınlığında çakıl ile doldurulacaktır (Şekil 9) (MGS, 2006).

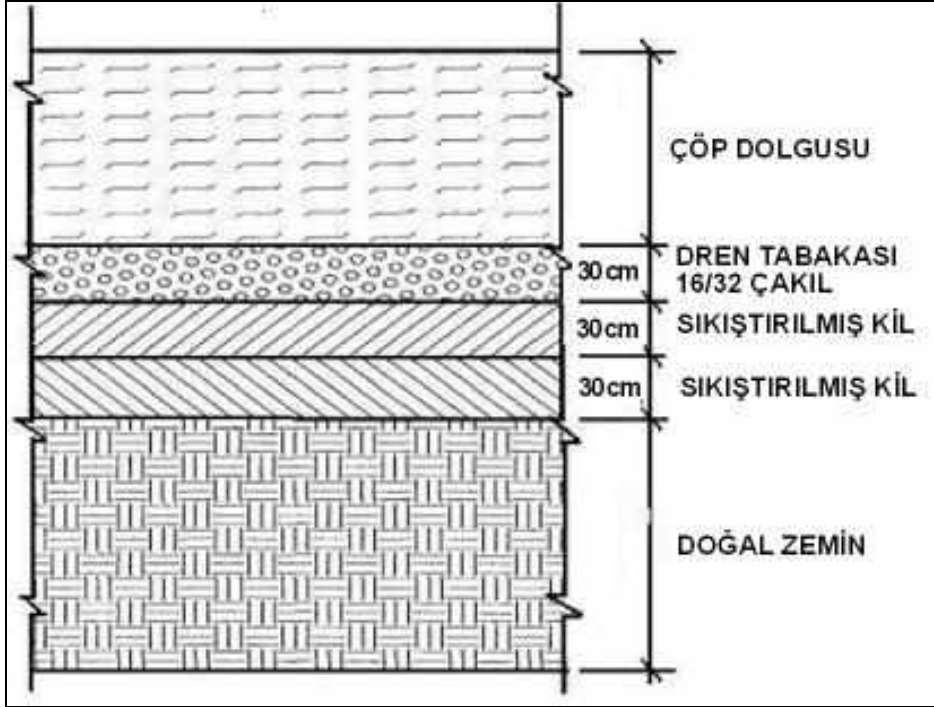


Şekil 8. Düzenli depolama alanının eğim haritası

Figure 8. Slope map of the landfill site

Toplama araçlarıyla günlük olarak depolama sahasına getirilen atıkların, kompaktör ile sıkıştırılarak alana yayılması, günün sonunda, oluşan atığın üzerinin 15 cm kalınlığında günlük örtü ile kaplanması planlanmıştır (MGS, 2006).

Deponi alanında oluşabilecek gazların olumsuz etkilerinden kurtulmak için gaz drenajı yapılacak olup, ortamda oluşabilecek depo gazlarının, Çevre ve Orman Bakanlığı (1991), Katı Atık Kontrolü Yönetmeliği'ne uygun olarak toplanıp, yakılması öngörülmüştür (MGS, 2006).



Şekil 9. Önerilen geçirimsizlik sisteminin kesiti (MGS, 2006)

Figure 9. Cross-section of the suggested impermeable system (MGS, 2006)

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İncelenen alan, temel zemininin jeoteknik özellikleri, kalınlığı, yeraltı su seviyesi ve geçirgenlik özellikleri dikkate alındığında, bir katı atık deponi alanı olabilmesi açısından gerekli ölçütleri büyük ölçüde karşılamaktadır. Özellikle, geçirimsiz temel zemininin kalınlığının 20 metreden daha fazla olması ve yeraltı suyunun derinde olması, yeraltı suyunun korunması açısından da büyük önem taşımaktadır. Bölgede yapılan sondajlarda, killeri içerisinde gözenekliliği artırıcı çakıllı kumlu kesimler gözlenmiş olup, bu alanlarda geçirimsizlik önlemlerinin alınmasına özen gösterilmelidir. Alanın büyük bir kısmında düşük plastisiteli killeri gözlenmektedir. Diğer taraftan, depolama alanı ve çevresinde akifer özelliği gösteren bir birim de gözlenmemiştir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, V.E., 2006. Alanya İlçesi (Antalya) Katı Atık Depolama Alanının Jeoteknik İncelemesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Yüksek Lisans Tezi (Yayınlanmamış), 49 s.
- Amin, A.M., 2000. Designing Sustainable Landfill For Jeddah City. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 58: 265-273.
- Bagchi, A., 1994. Design, Construction And Monitoring Of Landfills. 2nd Edition. Wiley Interscience Publication, New York, 360 p.
- Baran, S., 1995. Katı Atık (Çöp) Depo Yerlerinin Seçimi Ve İnşasındaki Bazı Ana Hususlar. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 46:52-54.

- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, 1996. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası.
- Baykal, F., 1941. Kırıkkale-Kalecik ve Keskin-Bala Mintıklarındaki Jeolojik Etütler. M.T.A. Rap. no. 1448 (yayınlanmamış), Ankara.
- Bayram, A., Nas, S.S., 2007. Doğu Karadeniz Bölgesi Katı Atık Yönetimi Üzerine Değerlendirmeler. 5. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu, 1-2 Kasım 2007 Hatay, Bildiriler Kitabı, s. 203-216.
- Bilgin, R., Akarsu, B., Arbas, A., Elibol, E., Yaşar, T., Esentürk, K., Güner, E., Kara, H., 1986. Kırıkkale-Kesikköprü-Çiçekdağ Alanının Jeolojisi. MTA raporu, s. 73, (yayınlanmamış).
- Birgili, Ş., Yoldaş, R., Ünalın, G., 1975. Çankırı-Çorum Havzasının Jeolojisi Ve Petrol Olanakları. MTA Rapor, Rapor no:5621, (yayınlanmamış).
- Çevre ve Orman Bakanlığı, 1991. Katı Atık Kontrolü Yönetmeliği 14 Mart 1991 Tarih ve 20814 Sayılı Resmî Gazete.
- EPA (1998) Guidelines for Major Solid Waste Landfill Depots. 19 pp, Washington, DC, USA.
- Gupta, R., Kewalramani, M.A. & Ralegaonkar, R.V. (2003), Environmental impact analysis using fuzzy relation for landfill siting. Journal of Urban Planning and Development, 129, 121-139.
- Kara, H., Dönmez, M., 1990. 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, Kırşehir G-17 Paftası ve Açıklaması. Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, No. 34, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları, 17 s.
- Karaca, C., Çobanoğlu, İ., Bozdağ, Ş., 2007. Düzenli Katı Atık Depolamada Yer Seçimini Etkileyen Faktörler Ve Alternatif Alanların Değerlendirilmesi Mersin İli Örneği. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22 (2):291-308.
- Karagüzel, R., Mutlutürk, M., 2005. Katı Atık Depolamada Yer Seçimi: Isparta Örneği. Uluslararası Mühendislik Jeolojisi Türk Millî Komitesi, Mühendislik Jeolojisi Bülteni, s. 21: 19-33.
- Kayalak, T.Ç., 2007. Kırıkkale İlinin Evsel Katı Atıklarının Bertarafının Çevresel ve Ekonomik Boyutuyla İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ankara, Yüksek Lisans Tezi, (yayınlanmamış), 91 s.
- Ketin, İ., 1955. Yozgat bölgesinin jeolojisi ve Orta Anadolu masifinin tektonik durumu. T.J.K. Bült. Sayı 6, 1-28 s.
- Langer, M., 1995. Criteria for Site Selection, Characterization, Evaluation; Principle of Safety Assessment and Special Purpose Mapping. Scientific Report and Recommendations of the IAEG Commission, No. 14, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Volume 51, 29 pp.
- Leao, S., Bishop, I., Evans, D., 2004. Spatial-temporal model for demand and allocation of waste landfills in growing urban region. Journal of Computers, Environment and Urban Systems, 28, 353-385.
- MGS, 2006. Çevre Mühendislik Müşavirlik ve Proje Hizmetleri Ltd. Şti., Kırıkkale Belediyesi, Evsel Katı Atık ve Tıbbi Atık Düzenli Depolama Tesisi Projesi. Kırıkkale İli Bahşılı İlçesi Bedesten Mevkii, Nihai ÇED Raporu, Ankara, 152 s.
- Mutlutürk, M., Karagüzel, R., 2004. Katı Atık Düzenli Depolama Yer Seçimi İçin Yeni Bir Öneri. 57. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri özleri Ankara s.182.
- Nas, S.S., Bayram, A., 2006. Gümüşhane İli Evsel Katı Atık Kompozisyonunun Belirlenmesi. GAP 5. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 2, s. 1422-1431, Şanlıurfa.
- Norman, T., 1972. Ankara Yahşihan Bölgesinde Üst Kretase-Alt Tersiyer İstifinin Stratigrafisi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni 15, 2, 180-277 s.
- Schmidt, G.C., (1960): Geologie Evolution of Licences MEM/360-363 and MES/365-367. District II. Mobil Report Petroleum Administration.

Savaş ve Korkanç

- Şimşek, C., 2002. Torbalı Ovasının Katı Atık Depolama Tesisleri Yer Seçimine Yönelik Hidrojeoloji İncelemesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Doktora tezi, yayımlanmamış), 297 s.
- Tay, Ş., 2005. Senirkent – Uluborlu (Isparta) Havzasının Katı Atık Düzenli Depolama Yeri Seçimine Yönelik Jeolojik-Jeoteknik İncelemesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Isparta, Yüksek Lisans Tezi (Yayımlanmamış), 109 s.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S., 1993. Integrated Solid Waste Management Engineering Principles Management Issues. McGraw-Hill, Inc, New York, 978 p.
- Tchobanoglous, G., Kreith, F., 2002. Handbook of Solid Waste Management. 2nd edition, McGraw Hill Publishers, 950 p.
- Terzaghi, K., 1943. Theoretical Soil Mechanics. John Wiley and Sons, Inc., New York, 527 p.
- Terzaghi, K., Peck, R.B., 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice. 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York, 729 p.
- Tınmaz, E., Demir, İ., 2006. Research on Solid Waste Management System: to Improve Existing Situation in Çorlu Town of Turkey. Waste Management Vol. 26: 307-314.
- TS 1900-1, 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneylemleri-Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini. Türk Standartları, Bakanlıklar, Ankara.
- TS 1900-2, 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneylemleri-Bölüm 2: Mekanik Deneylemler. Türk Standartları, Bakanlıklar, Ankara.
- Türkmen, A.M., Tağa, H., 2005. Engineering Geological Assessment of the Diyarbakır Solid Waste Landfill Site. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 64: 433-440.
- Yeşilnacar, M.İ., 2000. GAP Bölgesinde Tehlikeli Atıklar İçin Jeolojik Yer Seçimi. Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Adana, Doktora Tezi (yayımlanmamış), 113 s.
- Yeşilnacar, M.İ., Pulcu, S., Selçuk, B., 2001. GAP Bölgesinde Evsel Katı Atık Sorunu ve Bazı Değerlendirmeler. Ulusal Sanayi ve Çevre Sempozyumu, 25-27 Nisan 2001, Mersin, Bildiriler Kitabı, 243-251 s.
- Yeşilnacar, C., Çetin, H., 2005. Site Selection For Hazardous Wastes: A Case Study from the GAP Area. Turkey, Engineering Geology, 81:371-388.
- Yeşilnacar, M.İ., Bayındır, Y., Uyanık, S., Demir, Ö., Kırıkçı, A., 2005. GAP İlleri İçin Nüfus Tahmini ve Katı Atık Miktarının Belirlenmesi. DEÜ Çevre Mühendisliği Bölümü ve ÇEVMER III. Ulusal Katı Atık Kongresi UKAK'2005, 25-27 Mayıs 2005, İzmir, Bildiriler Kitabı 119-129 s.
- Yüksel, S., 1970. Etude Géologique de la Region d'Haymana (Turquie centrale), These. Fac. Sci. Univ. Nancy, Fransa (yayımlanmamış). 77p.

BASKI HATASI
ERRATUM

Baskı Hatası: “Çanakkale-Altınoluk Kurşun-Çinko Cevher Oluşumlarının Maden Jeolojisi”
Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 2010, Cilt 34, Sayı 1, sayfa 1-40
Yıldız İLBARS, Taner ÜNLÜ, İ. Sönmez SAYILI

Yukarıdaki makalenin 28. ve 29. sayfalarında basılan Çizelge 4 ve 5 aşağıdaki gibidir.

Erratum to: “Mining Geology of the Lead-Zinc Ore Mineralizations of Altınoluk, Çanakkale”
Journal of Geological Engineering, 2010, Vol. 34, No. 1, page 1-40
Yıldız İLBARS, Taner ÜNLÜ, İ. Sönmez SAYILI

In the above article on pages 28 and 29, Tables 4 and 5 should appear as follows:

Çizelge 4. Tüm örneklerin (cevher, mermer ve amfibol gnays) analizlerine özgü element çiftlerinin birbiriyle olan ilişkileri ve olası anlamları.

Table 4. Relationships of element pairs and their probable meanings due to the whole (ore, marble and amphibole gneiss) sample analyses.

CEVHER	Pb, Zn, Cu, Fe, Mn, Ni, Co, Ag, Au	*	Ca, Sr, (Mg, Ti, Al)	Ba, Nb
	Bi, Cd, Sb, Hg, As, P, Ba, S		BAZİK BİLEŞİM + KARBONAT	HİDROTERMAL ETKİ(?)
BAZİK BİLEŞİM + MUHTEMEL HİDROTERMAL ETKİ	(Mg, Ti, Cr, Al, Na, K, Rb)			

() içindeki elementler her iki grupta da yer alabilirler.

*Çift çizginin sağ ve solundaki elementler kendi grupları içinde pozitif korelasyon (artan ilişkili dağılım), karşı gruplar arasında ise negatif korelasyon (eksilen ilişkili dağılım) sergilerler.

Çizelge 5. Cevher, cevher+mermer, cevher+amfibolit, cevher+mermer+amfibol gnays örneklerine özgü belli başlı elementlere ait jeoistatistik birliktelikler.

Table 5. Geostatistical assemblages of some given elements at ore, ore+marble, ore+amphibole gneiss and ore+marble+amphibole gneiss associations.

CEVHER			
Na K	Muhtemel hidrotermal etki	*	Pb Cu Ag Cevher
Ti Cr Mg	Bazik Bileşim	*	

CEVHER + MERMER			
Ca Mg Sr	Karbonat	*	Pb Cu Ag Fe Co Cevher
		*	

CEVHER + AMFİBOL GNAYS			
Mg Ti Al	Bazik bileşim	*	Pb Cu Ag Cevher
Na Ba	Muhtemel hidrotermal etki	*	

CEVHER + MERMER + AMFİBOL GNAYS			
Mg Ca Sr Ti	Bazik bileşim + karbonat	*	Pb Cu Fe Co Cevher
Ba	Muhtemel hidrotermal etki	*	

*Çift çizginin sağ ve solundaki elementler kendi grupları içinde pozitif korelasyon (artan ilişkili dağılım), karşı gruplar arasında ise negatif korelasyon (eksilen ilişkili dağılım) sergilerler.

YAYIN AMAÇLARI VE KURALLARI, YAYINA KABUL İLKELERİ

AMAÇ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ,

- İnsan ile Yerküre arasındaki etkileşimlere ilişkin bilgi ve deneyimleri doğal çevreyi de gözetenek daha güvenli ve rahat bir yaşam ortamı sağlamak amacı ile insanlığın hizmetine sunmayı hedefleyen Jeoloji Mühendisliği mesleğinin, günlük yaşamdaki yerini ve önemini daha etkin bir şekilde yansıtmak,
- Bu alanda ulusal ve uluslararası gelişmeleri Jeoloji Mühendisleri'nin bilgisine sunmak,
- Konu ile doğrudan veya dolaylı etkinliklerde bulunan biliminsanları, araştırmacılar, mühendisler ve diğer uygulayıcılar arasındaki bilgi ve deneyim paylaşımını güçlendirecek ve hızlandıracak, kolay erişilebilen, geniş katımlı bir tartışma ortamı sağlamak ve bunları yayma olanağı yaratmak,
- Türkiye'nin toplumsal ve ekonomik kalkınmasını yakından ilgilendiren jeolojiye ilişkin sorunların daha etkin bir şekilde çözüme kavuşturulması açısından büyük önem taşıyan kurumlararası işbirliğinin başlatılmasına ve geliştirilmesine katkıda bulunmak,
- Türkçe'nin Jeoloji Mühendisliği alanında bilim dili olarak geliştirilmesini ve yabancı sözcüklerden arındırılmasını özendirme amaçlarına sahiptir.

KAPSAM VE NİTELİK

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ, ulusal ve uluslararası platformlarda, yerbilimlerinin uygulamaya yönelik alanlarında çalışmalar yapan herkesin katkısına açıktır. Bu çerçevede;

- İnsanların yaşamını etkileyen jeolojik süreçler ile mühendislik yapıları ve bunlara ilişkin sorunlar ve çözümler
- Jeolojik kaynakların yönetimi ve ekonomik açıdan değerlendirilmesi
- Doğal ve yapay kirlenmeler ve ekosisteme etkileri
- Jeolojik anıtların korunması
- Jeolojik sorunların çözümüne katkıda bulunan arazi ve laboratuvar yöntemlerinin ve tekniklerinin geliştirilmesi

ile ilgili kuramsal ve uygulamalı çalışmaları kapsayan ürünler, Yayın Kurulu'nun değerlendirmesinden geçtikten sonra Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nde yayımlanır.

Jeolojinin uygulama alanlarına ilişkin her türlü çalışma Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nin yayın amaçlarına uygundur. Bununla birlikte, çalışmaya konu olan sorunun kullanılan teknik ne olursa olsun, bilimsel yöntemlerle ele alınması ve jeolojinin uygulama alanlarına ilişkin olması aranan temel nitelikler arasındadır. Çalışmanın daha önce Türkçe yayımlanmamış olması gerekmektedir. Jeoloji Mühendisliği Dergisi'nde, yeni yapısıyla beş tür yazı yayımlanacaktır:

1- ELEŞTİREL İNCELEME (Review Paper): Editörün daveti üzerine veya bilgisi dahilinde hazırlanan, Jeoloji Mühendisliği'nin herhangi bir alanında halen kullanılmakta olan teknik, yöntem ve yaklaşımları günümüz teknolojik gelişmeleri ve kendi deneyimleri ışığında inceleyen, bu açıdan öneriler geliştiren yazıdır. Yazı uzunluğu konuya bağlı olarak değişebilir. Yayın Kurulu incelemesi zorunluluğu yoktur.

2- ARAŞTIRMA MAKALESİ (Research Article):

Özgün bir çalışmanın sunulduğu yazıdır. Kuramsal temel, yeterli miktar ve nitelikte veriye dayalı bulgu ve sonuçların ayrıntılarıyla değerlendirildiği bölümleri içermelidir. Yazının toplam uzunluğu 6000 sözcük eşdeğerini (10 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki Yayın Kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayımlanır.

3- TEKNİK NOT (Technical Note):

Herhangi bir süreci veya tekniği, kuramsal temel, yeterli veri ve ayrıntılı değerlendirmeye dayanmadan sunan ve amacı, bu süreci veya teknikleri kullanabilecek yerbilimcilerle duyurmak olan özgün yazıdır. Yazının uzunluğu 5000 sözcük eşdeğerini (5 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki Yayın Kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayımlanır.

4- ARAŞTIRMA NOTU (Research Note): Henüz tamamlanmamış, eksik veri ve bulgularla yüzeysel değerlendirmelere dayalı, kendi içinde tutarlı, özgün, deneysel, uygulamalı veya kuramsal araştırmaların ön sonuçlarının veya bulgularının sunulduğu yazıdır. Amaç, okuyucuya güncel bir konuya ilişkin bir çalışmanın ön bulgu ve sonuçlarını duyurarak konu üzerinde tartışma ortamı yaratmak, konunun gelişmesine diğer araştırmacıların katkılarını sağlamaktır. Yazı uzunluğu 5000 sözcük eşdeğerini (5 JMD sayfası) aşmamalıdır. En az iki Yayın Kurulu üyesi tarafından incelendikten sonra yayımlanır.

5- GÖRÜŞ-YORUM ve YANITLAR (View, Comment and Reply): Dergide yayımlanan yazılar hakkında her türlü görüş, yorum ve bunlara ilişkin yanıtları içerir. Editörün uygun gördüğü uzunlukta yayımlanır.

YAZILARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YAYINA KABUL İLKELERİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ Editörlüğü'ne **2 satır aralığında 12 punto harflerle yazılmış ve 1 nüsha halinde *.doc veya *.docx formatında hazırlanarak e-posta ile** gönderilen yazılar, öncelikle içerik, sunum, yayım kuralları, vd. yönlerden Editörlük tarafından incelenir ve daha sonra değerlendirilmek üzere en az iki Yayın Kurulu üyesine ve/veya Kurul dışından seçilecek uzmanlara gönderilir. Yayın Kurulu üyelerinden gelecek görüşler doğrultusunda yazının doğrudan, az veya önemli ölçüde düzeltilmesi koşuluyla yayımlanmasına veya reddine Editörce karar verilir ve sonuç yazarlara bildirilir.

Yayın Kurulu üyelerinin birbiriyle çelişen görüş bildirmeleri durumunda, Editör'ün bir karara varabilmesi için yazı, üçüncü bir Yayın Kurulu üyesine veya yazı konusundaki uzmana gönderilir. Yayın Kurulu üyeleri gerekli görürlerse yazıları düzeltilmiş haliyle tekrar görüp değerlendirebilirler.

Yazarlar, Yayın Kurulu üyelerinin ve Editör'ün yaptığı eleştiri, öneri ve düzeltmeler arasında katılmadıkları hususlar olduğunda bunları ayrı bir sayfada gerekçeleriyle birlikte açıklamalıdır.

Gönderilen yazılar, JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nde yayımlansın veya yayımlanmasın yazarlara iade edilmez.

YAZIM DİLİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nde yayın dili olarak "Türkçe" ve "İngilizce" kullanılmaktadır. Derginin oldukça geniş bir yurt dışı aboneliği ve sürümü olduğu için, Türkçe makalelerin, kabulden sonra "Genişletilmiş bir İngilizce Özet"nin yazılması gerekmektedir. Dergide; ayrıca yazıların başlıkları, özetleri ve tüm çizelgeler ile şekillerin açıklamaları Türkçe ve İngilizce olarak iki dilde birlikte verilmelidir.

YAZIM KURALLARI

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nde yayımlanması kabul edilen yazıların basım öncesi dizgi işlemleri Editörlükçe yazarlara gönderilecek olan "**Makale Yazım Formatı**"na göre yazarlar tarafından yapılır. Zaman tasarrufu, ekonomiklik ve yazıların son şeklinin yazarlar tarafından da kontrolünü sağlamak açısından tercih edilen bu yöntemde, yazarlar yazılarını baskıya girecek şekilde bilgisayarda formata uygun bir şekilde dizerler ve bırakılan boşluklara da şekil ve çizelgeleri yerleştirerek (camera-ready uygulamasına benzer şekilde) basım aşamasına getirerek Editörlüğe gönderirler.

Metin Bölümü

- 1- **Metin:** A4 boyutunda (29.7 x 21 cm) kağıtların üzerine bilgisayarda, 1.5 satır aralıklı, 10 punto ve Times New Roman yazı karakteri ile yazılmalıdır. Sayfa kenarlarında 3'er cm boşluk bırakılmalı ve sayfalar numaralandırılmalıdır.
- 2- **Başlık:** konuyu en iyi şekilde belirtecek ve 12 kelimeyi geçmeyecek şekilde kısa seçilmeli ve Türkçe başlığın (tamamı büyük harflerle ve koyu yazılmış) yanısıra, İngilizcesi (İtalik ve normal büyük harflerle) de yazılmalıdır. Eğer yazı İngilizce yazılmış ise, önce İngilizce sonra Türkçe başlık verilmelidir.
- 3- **Öz:** yazının başlangıcında 200 kelimeyi geçmeyecek şekilde hazırlanmış Öz/Abstract (Türkçe ve İngilizce) bulunmalıdır. Bu bölüm, yayının diğer bölümlerinden ayrı olarak yayımlanabilecek düzende yazılmış, yazının tümünü en kısa, ancak öz biçimde yansıtır nitelikte (özellikle çalışmanın amacını ve sonuçlarını yansıtarak) olmalıdır. Yazı Türkçe yazılmışsa Abstract'ın, İngilizce yazılmışsa Öz'ün başlığı ve metin kısmı italik karakterle yazılmalıdır. Ayrıca, Öz ve Abstract bölümlerinin altında bir satır boşluk bırakılarak **Anahtar Kelimeler ve Key Words** (en az 2, en çok 6 kelime alfabetik sıraya göre) verilmelidir. Eğer yazı İngilizce hazırlanmış ise, önce Abstract sonra Öz verilmelidir.
- 4- Yazının genel olarak aşağıda belirtilen düzene göre sunulmasına özen gösterilmelidir:
 - a) Başlık (Türkçe ve İngilizce)
 - b) Yazar ad(lar)ı ve adres(ler)i (yazar adları koyu karakterle ve soyadları büyük harflerle, adresler normal italik karakterlerle)
 - c) Öz (anahtar kelimeler eklenerek)
 - d) Abstract (key words eklenerek)
 - e) Giriş (amaç, kapsam, çalışma yöntemleri, vd.)
 - f) Metin bölümü (yöntemler, çalışılan malzeme, saha tanımlamaları, vd.)
 - g) Tartışmalar
 - h) Sonuçlar ve Öneriler
 - i) Katkı belirtme (gerekliyse)
 - j) Kaynaklar
- 5- Metin içinde ana bölüm başlıkları dışında en fazla üç alt başlık oluşturulmalı ve başlıklara numara verilmemelidir. Bunların yazım şekli aşağıdaki gibi olmalıdır:

ÖZ

ABSTRACT

GİRİŞ

ANA BAŞLIK

Birinci Derece Alt Başlık

İkinci derece alt başlık

Üçüncü derece alt başlık

TARTIŞMALAR

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

KATKI BELİRTME

KAYNAKLAR

- 6- Metrik sistem veya SI birimleri (kPa, kN/m³ vb.) kullanılmalıdır.
- 7- Gerek metin içinde ve çizelgelerde, gerekse şekillerde rakamların ondalık bölümlerinin ayrılması için nokta kullanılmalıdır (3.1 gibi).

Kaynaklar

- a) Metin içinde kaynaklara değinme yapılırken aşağıdaki örneklerde olduğu gibi, bibliyografya araştırmacı soyadı ve tarih sırasıyla verilir.
....Ford (1986) tarafından...
....bazı araştırmacılar (Williams, 1987; Gunn, 1990; Saraç ve Tarcan, 1995)
- b) Birden fazla sayıda yazarlı yayınlara metin içinde değinilirken ilk soyadı belirtilmeli, diğer yazarlar için vd. İbaresini kullanılmalıdır.
....Doyuran vd. (1995)....
....Smart vd.(1971)....
- c) Ulaşılamayan bir yayına metin içinde değinme yapılırken bu kaynakla birlikte alıntının yapıldığı kaynak da aşağıdaki şekilde belirtilmelidir. Ancak Kaynaklar Dizisinde sadece alıntının yapıldığı kaynak belirtilmelidir.
....Dreybrodt(1981; Schuster and White, 1971)....
- d) Kişisel görüşmelere metin içinde değinme yapılırken bu değinilmeli, ayrıca "Kaynaklar Dizini"nde de yer verilmelidir. (Soyadı, Adı, Tarih. Kişisel görüşme. Görüşülen kişinin/kişilerin adres(ler)i)
- e) Kaynaklar, yazar soyadları esas alınarak alfabetik sırayla verilmeli ve metin içinde değinilen tüm kaynaklar, "Kaynaklar Dizini"nde eksiksiz olarak belirtilmelidir. Kaynakların yazılmasında aşağıdaki örneklerde belirtilen düzen esas alınmalıdır:

Süreli yayınlara ve bildiriler

Yarbaşı, N., Kalkan, E., 2009. Geotechnical mapping for alluvial fan deposits controlled by active faults: a case study in the Erzurum, NE Turkey. Environmental Geology, 58 (4), 701-714.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Makalenin Başlığı. Süreli Yayının Adı (kısaltılmamış), Cilt No. (Sayı No.), Sayfa No.]

Altındağ, R., Sengün, N., Güney, A., Mutlutürk, M., Karagüzel, R., Onargan, T., 2006. The integrity loss of physicommechanical properties of building stones when subjected to recurrent cycles of freeze-thaw (F-T) process. Fracture and Failure of Natural Building Stones-Applications in the Restoration of Ancient Monuments (Editors: Stavros and Kourkoulis), 363-372.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Bildirinin Başlığı. Sempozyum veya Kongrenin Adı, Editörler), Basımevi, Cilt No. (birden fazla ciltten oluşuyorsa), Düzenlendiği Yerin Adı, Sayfa No.]

Kitaplar

Palmer, C.M., 1996. Principles of Contaminant Hydrogeology (2nd Edition). Lewis Publishers, New York, 235 p.

Ketin, İ., Canitez, N., 1972. Yapısal Jeoloji. İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, Sayı:869,520 s.

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Kitabın Adı (ilk harfleri büyük). Yayımevi, Basıldığı Şehrin Adı, Sayfa Sayısı.]

Raporlar ve Tezler

Demirok, Y., 1978. Muğla-Yatağan linyit sahaları jeoloji ve rezerv ön raporu. MTA Derleme No:6234, 17 s (yayımlanmamış).

Akın, M., 2008. Eskipazar (Karabük) travertenlerinin bozunmasının araştırılması. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Doktora Tezi, 263 s (yayımlanmamış).

[Yazar ad(lar)ı, Tarih. Raporun veya Tezin Başlığı. Kuruluşun veya Üniversitenin Adı, Arşiv No. (varsın), Sayfa Sayısı (yayımlanıp, yayımlanmadığı)]

NOT: Tüm kaynaklarda ilk satırdan sonraki satırlar 0.7 cm içeriden başlanarak yazılmalıdır.

Eşitlikler ve Formüller

- a)** Eşitlikler elle yazılmamalı ve bilgisayardan yararlanılmalıdır. Eşitliklerde, yaygın olarak kullanılan uluslararası simgelere yer verilmesine özen gösterilmelidir.
- b)** Her eşitliğe sırayla numara verilmeli, numaralar parantez içinde eşitliğin hizasında ve sayfanın sağ kenarında belirtilmelidir.
- c)** Eşitliklerde kullanılacak alt ve üst indisler belirgin şekilde ve daha küçük karakterlerle yazılmalıdır (I_a , x^2 gibi).
- d)** Eşitliklerdeki sembollerin açıklamaları eşitliğin hemen altındaki ilk paragrafta verilmelidir.
- e)** Karekök işareti yerine parantezle birlikte üst indis olarak 0.5 kullanılmalıdır ($\sigma_{\text{mass}} = \sigma_e^{0.5}$ gibi).
- f)** Bölme işareti olarak yatay çizgi yerine "/" simgesi kullanılmalıdır. Çarpma işareti olarak genellikle herhangi bir işaret kullanılmamalı, ancak zorunlu hallerde "*" işareti tercih edilmelidir ($y=5 * 10^{-3}$ gibi).
- g)** Kimyasal formüllerde iyonların gösterilmesi amacıyla Ca^{++} veya CO_3^{-} gibi ifadeler yerine Ca^{+2} ve CO_3^{-2} kullanılmalıdır.
- h)** İzotop numaraları, "¹⁸O" şeklinde verilmelidir.

Çizelgeler

- a)** Yazarlar, derginin boyutlarını dikkate alarak, çizelgeleri sınırlamalı ve gerekiyorsa metinde kullanılabilecek oranda daha küçük karakterlerle yazmalıdır. Bu amaçla çizelgeler tek sütuna (7.5 cm) veya çift sütuna (16 cm) yerleştirilebilecek şekilde hazırlanmalıdır. Tam sayfaya yerleştirilmesi zorunlu olan büyük çizelgelerin en fazla (16 x 21) cm boyutlarında olması gerekir. Bu boyutlardan daha büyük ve katlanacak çizelgeler kabul edilmez.
- b)** Çizelgelerin hemen altında gerekli durumlarda açıklayıcı dip notlara veya kısaltmalara ilişkin açıklamalara yer verilmelidir.
- c)** Çizelgelerin başlıkları, kısa ve öz olarak seçilmeli, hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfi büyük diğerleri küçük harfle) hem de İngilizce (ilk harfi büyük diğerleri küçük İtalic harflerle) "Çizelgeler Dizini" başlığı altında ayrı bir sayfaya yazılmalıdır. İngilizce olarak hazırlanmış yazılarda önce İngilizce sonra Türkçe çizelge başlığı verilmelidir.
- d)** Çizelgelerde kolonsal ayrımı gösteren düşey çizgiler yer almamalı, sadece çizelgenin üst ve alt sınırları ve gerek görülen diğer bölümleri için yatay çizgiler kullanılmalıdır.
- e)** Her çizelge, sıralı olarak ayrı bir sayfada olmalı ve çizelge başlıkları çizelgenin üzerine yazılmalıdır.

Şekiller (Çizim, fotoğraf ve levhalar)

- a)** Şekiller, uygun bir bilgisayar yazılımı kullanılarak hazırlanmalı, değerlendirmeyi kolaylaştıracak biçimde yüksek kalitede, metin sonunda verilmelidir. Ancak bu durum, elektronik dosya boyutunu fazla büyütmemelidir.
- b)** Tüm çizim ve fotoğraflar şekil olarak değerlendirilip numaralandırılmalıdır. Şekil altı yazıları "Şekiller Dizini" başlığı altında hem Türkçe (normal karakterle ve ilk harfi büyük diğerleri küçük harflerle) hem de İngilizce (ilk harfi büyük diğerleri küçük İtalic harflerle) ayrı bir sayfada verilmelidir.

Yazı İngilizce olarak hazırlanmışsa, şekil altı yazıları önce İngilizce sonra Türkçe verilmelidir.

- c)** Her şekil, ayrı bir sayfada yer alacak biçimde sıraya dizilerek "Şekiller Dizini" sayfasıyla birlikte çizelgelerden sonra sunulmalıdır.
- d)** Şekiller, ya tek sütuna (7.5 cm), ya da çift sütuna (en fazla 16 cm) yerleştirilebilecek boyutta hazırlanmalıdır. Tam sayfaya yerleştirilmesi zorunluluğu olan büyük şekillerin, şekil altı açıklamalarına da yer kalacak biçimde, en fazla (16 x 21 cm) boyutlarında olması gerekir. Belirtilen bu boyutlardan daha büyük ve katlanacak boyuttaki şekiller kabul edilmez.
- e)** Harita, kesit ve planlarda sayısal ölçek yerine çubuk (bar) türü ölçek kullanılmalıdır.
- f)** Şekiller yukarıda belirtilen boyutlarda hazırlanırken, şekil üzerindeki açıklamaların (karakterlerin) okunabilir boyutlarda olmasına özen gösterilmelidir.
- g)** Fotoğraflar, şekiller için yukarıda belirtilen boyutlarda basılmış olmalıdır. Fotoğrafların üzerinde gösterilecek olan simgeler okunaklı olmalıdır. Özellikle koyu tonların egemen olduğu bölgelerde simgelerin beyaz renk ile gösterilmesi tavsiye edilir. Yaygın olarak kullanılan uluslararası simgelerin kullanılmasına özen gösterilmelidir.

Ek Açıklamalar ve Dipnotlar

- a)** Ana metnin içine alındığında okuyucunun dikkatinin dağılmasına yol açabilecek, hatırlatma niteliğindeki bilgiler, yazının sonundaki "Ek Açıklamalar" başlığı altına konulabilir (İstatistik bilgilerin verilmesinde, formüllerin çıkarımının gösterilmesinde, bilgisayar programlarının verilmesinde, vb. konularda bu yol izlenebilir).
- b)** Dipnotlar, yerleştirme ve yazılma açısından güçlükler nedeniyle olduğundan, çok gerekli durumlar dışında kullanılmamalıdır. Eğer dipnot kullanılırsa, yıldız (*) işareti ile gösterilmeli ve mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır. Dipnotta eğer değinme yapılırsa bibliyografik bilgiler dipnotta değil, "Kaynaklar Dizini"nde verilmelidir.

YAZILARIN GÖNDERİLMESİ

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ'nin "Yayın Amaçları ve Kuralları, Yayına Kabul İlkeleri"nde belirtilen ilkelere uygun olarak elektronik ortamda hazırlanmış yazılar, e-posta ile gönderilmelidir.

E-posta adresi: topal@metu.edu.tr

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ DERGİSİ EDITÖRLÜĞÜ

T.M.M.O.B. Jeoloji Mühendisleri Odası

PK 464, Yenışehir

06444, Ankara

Tel : (312) 432 30 85 / (312) 434 36 01

Faks : (312) 434 23 88

E-posta : topal@metu.edu.tr

AYRI BASKILAR

Dergide yayımlanması kabul edilen yazıların ayrı baskısından on adet yazarına veya birden fazla yazarlı yazılarda yayım için başvuruyu yapan yazara olanaklar çerçevesinde ücretsiz olarak gönderilir. Ondand fazla ayrı baskı talebinde bulunulması halinde, Jeoloji Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu tarafından belirlenen ücret, her ayrı baskı için yazarlar tarafından ödenir.